

## NANOMATERJALID TERVISHOIUSEKTORIS: RISKID TÖÖKOHAL JA NENDE ENNETAMINE

Nanotehnoloogia on kiiresti arenev valdkond ja nanomaterjalide kasutamine muutub üha tavalisemaks. Nanotehnoloogia mõjutab paljusid majandussektoreid, sealhulgas üha enam ka tervishoiusektorit ning see suurendab töötajate kokkupuute riski nanomaterjalidega töökeskkonnas. Nanotehnoloogiast ja -materjalidest on tervishoius rohkesti kasu, näiteks on miniaturiseerimismeetodite ja -põhimõtete rakendamine koos keemilise sünteesi ja molekulide agregatsiooniga loonud huvitavaid haiguste ennetamise, diagnoosimise ja ravi võimalusi. Hoolimata käimasolevatest teadusuuringutest areneb nanotehnoloogia valdkond siiski kiiremini kui nanomaterjalide tervisemõju ja ohutuse kohta teadmiste saamine. On veel palju ebaselget, mis tekitab küsimusi töötervishoiu ja -ohutuse riskide hindamisel.

Käesolevas artiklis selgitatakse, kuidas tervishoiutöötajad võivad oma igapäevatoos nanomaterjalidega kokku puutuda. Samuti antakse nõu, kuidas võimalikke kokkupuuteid vältida.

### 1 Sissejuhatus

#### 1.1 Tervishoiusektor

Tervishoiusektoris töötab suur osa ELi tööjõust. ELi tervishoiutöötajate tegevuskava [1] kohaselt selles sektoris töötamise võimalused aina suurenevad, sest rahvastik vananeb ja selle tagajärjel suurenevad ka vajadused tervishoiuteenuste järele.

Tervishoiusektor koosneb ettevõtetest ja avalik-õiguslikest asutustest, mis osutavad otseselt või kaudselt eri liiki tervishoiuteenuseid, nagu diagnoosimine, ravi ja ennetav ravi. Tervishoiuteenuseid võidakse osutada mitmel pool, sealhulgas haiglates, hambakliinikutes, kiirabiautodes ja kodudes. Käesolev artikkel on suunatud peamiselt otseselt tervishoiuteenuseid osutavatele isikutele (nt arstid, õed ja farmatseudid), samuti tervishoiusektoriga tihedalt seotud töötajatele, nagu labori- ja puhastustöötajad. Haldustöötajad ja meditsiiniseadmeid tootvad töötajad ei kuulu käesoleva artikli vaatlusalasse ja seetõttu artikkel neid ei hõlma.



Autor: Raya Gergovska

## 1.2 Mis on nanomaterjalid?

Nanomaterjalid on materjalid, mis sisaldavad osakesi, mille üks või mitu mõõdet on vahemikus 1 kuni 100 nm<sup>(1)</sup>, mis on aatomite ja molekulidega võrreldav suurusjärg. Need võivad olla looduslikud, näiteks pärineda vulkaanituhast, või inimtegevuse soovimatu tagajärg, nagu näiteks diiselmootorite heitgaasides sisalduvad nanomaterjalid. Kuid suurt osa nanomaterjale toodetakse ja lastakse turule tahtlikult ning neile tervishoiusektoris kasutatavatele nanomaterjalidele käesolev artikkel keskendubki.

Kuigi nanomaterjalid võivad moodustada aglomeraate või agregate, mis võivad olla suuremad kui 100 nm, võivad need laguneda ja nanomaterjale vabastada. Seetõttu tuleks nanomaterjalidega seotud riskide hindamisel arvesse võtta ka neid aglomeraate või agregate [3, 4].

Suurt osa nanomaterjalidest toodetakse ja lastakse turule, sest neil on eriomadusi ja -toimeid, mis on peamiselt tingitud nende väiksusest – ja seega mitu korda suuremast pindalast – või muudest omadustest, nagu modifitseeritud (kaetud) pind või spetsiifiline morfoloogia (osakeste kuju). Käesolevas artiklis keskendutakse ainult tervishoiusektoris leiduvatele tööstuslikult toodetud nanomaterjalidele ega käsitleta neid, mis on inimtegevuse soovimatu tagajärg, nagu diiselmootorite heitgaasides sisalduvad nanoosakesed.

## 2 Nanomaterjalid tervishoiusektoris

Kehasse jõudnud nanomaterjalid võivad liikuda veresooni mööda läbi keha, siseneda rakkudesse ja olla paljudes inimkeha osades nii rakupinnal kui ka rakkudes biomolekulidega kokkupuutes [5]. Selle võime tõttu saab nanomaterjale tervishoius kasutada haiguste avastamiseks, ravimite manustamiseks ja haiguste ennetamiseks.

Nanomaterjalide ravikasutuse peamised eelised on lahustuvus (muidu lahustumatute ravimite puhul), võime kanda hüdrofoobseid üksusi, multifunktsionaalsus, aktiivne ja passiivne sihtmärgini jõudmine, ligandid (suuruse järgi eraldamine) ja väiksem mürgisus [6]. Peale selle kasutatakse nanomaterjale tänu nende eriomadustele ka diagnostikavahendites, kuvamisainetes ja -meetodites ning implantaatides ja koetehnoloogilistes toodetes.

Nanomaterjalide omadused ja -toimed võimaldavad seega diagnoosida, jälgida, ravida ja ennetada haigusi, näiteks südame-veresoonkonna haigusi, vähktõbe, luu- ja lihaskonna vaevusi, põletikulisi seisundeid, neurodegeneratiivseid ja vaimuhaigusi, diabeeti ja nakkushaigusi (nt bakter- ja viirusnakkused, nagu HIV – inimese immuunpuudulikkuse viirus) [7].

Tabelis 1 on loetletud mõned tervishoiusektoris juba kasutusel olevad nanomaterjalid.

**Tabel 1. Tervishoius kasutatavate nanomaterjalide põhiligid**

Nanomaterjali liik	Kasutusala tervishoius
Metalliosakesed (nt raud(III)oksiid, kuld või hõbe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hüpertermial põhinev vähiravi</li> <li>▪ valikuline magnetiline bioeraldamine</li> <li>▪ rakuspetsiifiliste antigeenide vastaste antikehadega kaetult võimaldab ümbritsevast maatriksist eraldamist</li> </ul>

<sup>(1)</sup> Euroopa Komisjoni soovitus [1] on sätestatud:

- „Nanomaterjal” – „looduslik, juhuslikult tekkinud või tööstuslikult toodetud materjal, mis on sidumata olekus või esineb kämbu või pahma kujul ning mille lõimise vähemalt 50% moodustab fraktsioon osakestest, mille üks või mitu välismõõdet on vahemikus 1–100 nm. [...] [Fraktsioon on] teatavasse suurusvahemikku kuuluvate osakeste arvu suhe osakeste koguarvu. [...]
- Konkreetsetes olukordades ning kui see on põhjendatud keskkonna-, tervise-, ohutuse- või konkurentsivõimekõikumustega, võib lõimist iseloomustava suurusvahemiku piirmäär 50% asendada piirmääraga vahemikust 1–50%.
- [...] Erandina [eeltoodust] käsitatakse nanomaterjalina fullereene, grafeenihelbeid ja ühekordse seinaga süsiniknanotorusid, mille üks või mitu välismõõdet on alla 1 nm.”

Nanomaterjali liik	Kasutusala tervishoius
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ membraantranspordi uuringud</li> <li>▪ ravimite manustamine</li> <li>▪ magnetresonantskuvamise kontrastaine</li> </ul>
Hõbeda nanoosakesed	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ mikroobivastane aine</li> <li>▪ lisatakse mitmesugustesse meditsiiniseadmetesse, sealhulgas luutsementi, kirurgiainstrumentidesse, kirurgimaskidesse</li> </ul>
Kullast kestaga nanoosakesed	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ parandavad ravimite lahustuvust</li> <li>▪ võimaldavad täiendavat konjugatsiooni</li> </ul>
Süsiniknanomaterjalid (fullereenid ja süsiniknanotorud (CNT))	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kerajad molekulid (inglise keeles <i>buckyballs</i>; 60 süsinikuaatomist koosnevad jalgpallikujulised struktuurid), mida kasutatakse ravimite manustamisel, et toetada ravimite optimaalset kohaletoimetamist ja vabastamist õiges sihtkohas [5]</li> <li>▪ proteeside ja kirurgiliste implantaatide katted</li> <li>▪ funktsionaalsed süsiniknanotorud: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ravimite manustamiseks;</li> <li>○ biomeditsiinilisteks rakendusteks, nagu vaskulaarstendid ning neuronite kasvatamine ja taastamine;</li> <li>○ geeniteraapia, sest DNA ahela saab siduda nanotoruga</li> </ul> </li> </ul>
Kvantpunktid	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ mitmete biomolekulide märgistamine, mis võimaldab jälgida haigustega seotud kompleksseid rakumuutusi ja protsesse</li> <li>▪ optikatehnika [8]</li> <li>▪ haiguste diagnoosimine ja läbivalgustamistehnika</li> </ul>
Dendrimeerid	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ polümeriseeritud makromolekulid – paljuharulised struktuurid, mille sisemised nanoõõnsused või -kanalid on teistsuguste omadustega kui välimised</li> <li>▪ kasutatakse mitmesuguste (nt vähi- ja viirusevastaste, antibakteriaalsete jm) ravimite kandjana ning nad parandavad halvasti lahustuvate ravimite lahustuvust ja biosaadavust</li> </ul>
Lipiidipõhised nanoosakesed	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ suudavad sulanduda rakumembraaniga ja molekulid rakkudesse toimetada</li> </ul>
Keraamilised nanoosakesed	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ravimikandjatena kasutatavad anorgaanilised süsteemid (kui need on poorsed ja bioühilduvad); kasutatakse kosmeetikas (tsinkoksiid, titaandioksiid)</li> </ul>
Nanotorud, nanotraadid, magnetilised nanoosakesed	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ haiguste diagnoosimine ja läbivalgustamistehnika, sealhulgas kiiplabor [8]</li> </ul>

Koostanud autorid mitme allika põhjal [5, 6, 8–11].

Ajavahemik meditsiiniseadme või ravimi leiutamisest kuni selle kliinilise kasutuselevõtmiseni on äärmiselt pikk. Teatavad nanotehnoloogiarakendused on aga juba väljaarendamisel ja saavad peatselt kättesaadavaks. Need on näiteks seotud tõhustatud meditsiinilise kuvamise [5], olulisi

parameetreid, sh pulssi, kehatemperatuuri ja veresuhkru taset pidevalt jälgivate nahaaluste kiipide kasutamise [5] ning patogeenide kasvu ja edasikandumise minimeerimisega [8].

### 3 Nanomaterjalidest tulenevad riskid tervishoiutöötajatele

Kuigi nanomaterjalide kasutamisest tervishoiusektoris võib patsientidele palju kasu olla, võivad need tekitada uusi riske tervishoiutöötajatele.

Tööstuslikult toodetud nanomaterjalide mürgisuse kohta ei ole veel piisavalt teavet, mistõttu riske on keeruline hinnata (vt nanomaterjalidega seotud riskijuhtimisvahendeid käsitlev „E-fact 72”, mis on aadressil <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures/view>). Oluline on mõista võimalikke ohte, millega tervishoiutöötajad võivad tööstuslikult toodetud nanomaterjalide või nanoseadmetega töötades kokku puutuda. Et nanotasandi materjalidel on ainulaadseid omadusi, mis on peamiselt seotud nende väiksuse, aga ka osakeste kuju, keemilise koostise, pinnaomaduste (nt pindala, pinna funktsionaalsuse, pinnatöötuse) ning agregatsiooni või aglomeratsiooniga [8, 12], on nende toime inimorganismile ja sellest tulenevalt ka tervisemõju arvatavasti erinev sama koostisega makrotasandi materjalide mõjust. See tekitab küsimuse, kuidas nanomaterjalidega kokkupuutumine töökohal mõjub tervisele.

Nanomaterjalid võivad normaaltingimustes moodustada aglomeraate või agregate, mis on suuremad kui 100 nm, ja mille tagajärjel nende nanospetsiifilised omadused muutuvad (aga ei pruugi kaduda). Nanomaterjalid võivad siiski nõrgalt seotud aglomeraatidest uuesti vabaneda ja teatavatel tingimustel isegi tugevamalt seotud agregate moodustada. Praegu uuritakse, kas see võib toimuda kopsuvedelikus pärast selliste aglomeraatide või agregaatide sissehingamist [8, 12]. Tööga seotud riskide hindamisel tuleks seetõttu arvesse võtta ka nanomaterjale sisaldavaid aglomeraate ja agregate.

Nanomaterjalide kehasse sisenemisele järgnev sisemine kokkupuude võib hõlmata nende imendumist, jaotumist ja metabolismi. Mõnda nanomaterjali on leitud näiteks kopsudest, maksast, neerudest, südamest, suguorganitest, lootest, ajust, põrnast, luustikust ja pehmetest kudedest [13]. Nanomaterjalide bioakumulatsiooni ning rakkudest ja organitest eemaldamise küsimus on veel lahtine. Lisaprobleem on see, et kuigi nanomaterjal ise ei pruugi olla mürgine, võib see käituda nn Trooja hobusena, mis tähendab seda, et mürgisem aine võib nanomaterjali külge kinnituda ja kehasse, organitesse või rakkudesse pääseda [14].

On leitud, et nanomaterjalid avaldavad suurimat mõju kopsudele ja võivad tekitada põletikku, koekahjustusi, oksüdatiivset stressi, kroonilist toksilist toimet, tsütotoksilist toimet, fibroosi ja kasvajaid. Mõned nanomaterjalid võivad mõjutada ka südame-veresoonkonda. Tööstuslikult toodetud nanomaterjalide võimalikke ohtlikke omadusi alles uuritakse [8, 12].

Nanomaterjalid võivad inimkehasse sattuda mitmel viisil, ohustades inimeste tervist töökohal:

- **sissehingamine** on kõige levinum õhus edasikanduvate nanoosakestega kokkupuutumise viis töökohal [15, 16]. Sissehingatud nanoosakesed võivad olenevalt kujust ja suurusest ladestuda hingamisteedes ja kopsudes. Need võivad pärast sissehingamist läbida kopsuepiteeli, siseneda vereringesse ning jõuda muude organite ja kudedeni. Samuti on kindlaks tehtud, et mõned sissehingatud nanomaterjalid jõuavad haistmisnärvi kaudu aju;
- **allaneelamine** võib toimuda tahtmatult, kui saastunud pinnaga kokkupuutunud käsi pistetakse suhu, või saastunud toidu või vee allaneelamisel. Allaneelamine võib toimuda ka nanomaterjali sissehingamise tagajärjel, kuna mukotsiliaarse kliirensi kaudu hingamisteedest eemaldatavad sissehingatud osakesed alla neelatakse [15, 16]. Mõned sissehingatud nanomaterjalid võivad läbida seedeepiteeli, siseneda vereringesse ning jõuda muude organite ja kudedeni;
- **nahakaudset** imendumist alles uuritakse [15, 16]. Terve nahk näib olevat nanomaterjalide imendumise vastu hea kaitse [17]. Kahjustatud nahk näib olevat vähem tõhus, aga imendumise tase on tõenäoliselt madalam kui sissehingamisel. Siiski tuleks ka nahakaudset kokkupuudet ennetada ja kontrollida.



Nanomaterjalid võivad inimkehasse sattuda ka parenteraalselt<sup>(2)</sup> või juhuslike süstlatorkevigastuste, haavade ja muude nahakahjustuste kaudu [15].

Arvestades tervishoiusektoris tehtavaid toiminguid, puutuvad nanomaterjalidega kõige tõenäolisemalt kokku töötajad, kes valmistavad või manustavad nanoravimeid või töötavad osakondades, kus neid ravimeid kasutatakse, sest seal on nende õhu kaudu levivate ainete hõlbust kokku puutuda (nt farmaatsia- ja põetustöötajad, arstid, keskkonnateenistuse töötajad, veo- ja vastuvõtutöötajad).

Muud nanomaterjalidega kokkupuute juhud tervishoiusektoris [15] on järgmised:

- nanoravimeid tarvitavate patsientide väljaheidete kõrvaldamine;
- nanomaterjalide lekked;
- nanomaterjalidega saastunud esemete käitlemine;
- nanoravimitega kokku puutunud toidu ja joogi tarvitamine ning
- nanoravimite käitlemiskohtade puhastamine ja hooldus.

Nanomaterjalidega võidakse kokku puutuda ka stomatoloogiliste ja kirurgiliste protseduuride puhul, mis hõlmavad nanomaterjale sisaldavate meditsiinimaterjalide peenestamist, puurimist, lihvimist ja poleerimist. Sellise kokkupuute näide on hambakaariese ravi, milleks kasutatakse tavaliselt nanomaterjale (nt nanokeraamilisi täiteaineid) sisaldavaid täidiseid, millele antakse kiiresti töötavate tööriistadega lihvides anatoomiliselt sobiv kuju. Selle protseduuri ajal on oht, et nanoosakesed satuvad õhku ja nii patsient kui ka tervishoiutöötajad hingavad neid sisse.

Mõned tervishoiusektoris kasutatavatest nanomaterjalidest tulenevad töötervishoiu ja -ohutuse riskid on esitatud tabelis 2.

**Tabel 2. Tervishoiusektoris kasutatavate nanomaterjalide näited ja nendega seotud võimalikud terviseohud ning töötervishoiu ja -ohutuse riskid**

Nanomaterjalide näited	Võimalikud terviseohud ning töötervishoiu ja -ohutuse riskid
Süsiniknanomaterjalid	On tõendeid, et mõned süsiniknanomaterjalid võivad sissehingamisel põhjustada kopsuvaevusi, sealhulgas mõjuda asbestilaadselt [9].
Dendrimeerid	Olenemata sellest, et neil on farmaatsias väga palju rakendusi, nagu vähivastaste ravimite manustamine, piirab dendrimeeride kasutamist inimkehas nende mürgisus [11]. Dendrimeeridega kokkupuude on põhjustanud multiformse erüteemi laadset kontaktdermatiiti [14].
Hõbeda nanoosakesed	ENRHESi [18] kohaselt võib hõbeda nanoosakeste kasutamine ohustada inimeste tervist, kuid nende mürgisuse uurimine on siiski alles algfaasis. ELi tekkivate ja hiljuti avastatud terviseriskide teaduskomiteelt küsiti teaduslikku arvamust nanohõbeda ohutuse ning tervise- ja keskkonnamõju kohta ja nanohõbeda rolli kohta ravimiresistentsuses [19]. Tõsist muret teeb see, et hõbeda nanoosakesed võivad suurtes kogustes avaldada tervisele negatiivset mõju, näiteks põhjustada kopsuõdeemi ja nahaplekkke [3]. Tegelikult on inimeste kõige sagedam reaktsioon pikaajalisele kokkupuutele nanohõbedaga argüüria või argüroos (st naha, küünte, silmade, limaskestade või siseorganite värvuse muutumine halliks või hallikassiniseks või pigmenteerumine mustaks hõbeda ladestumise tõttu) [20]. Need seisundid on pöördumatud ja ravimatud [20].

<sup>(2)</sup> Kui ravimit või muud ainet manustatakse kehasse parenteraalselt, siis manustatakse seda seedekulgla väliselt (nt süstides).

	<p>Nanohõbedat on tervishoiusektoris kasutatud haavasidemetes antibakteriaalse ainenä, et kaitsta raskete põletustega patsiente nakkuste eest. Sellest tuleneb tervishoiutöötajate üks peamisi kokkupuuteriske. Peale selle teeb muret nanohõbeda kaudne negatiivne mõju inimtervisele, mis avaldub mikroorganismide hõbedaresistentsuse suurenemise kaudu [19].</p> <p>Rottidega tehtud uuringute käigus dokumenteeriti, et hõbeda nanoosakesed võivad jõuda ülemiste hingamisteede kaudu ajju [12].</p>
Titaandioksiid (TiO <sub>2</sub> )	<p>Rahvusvaheline Vähiuuringute Agentuur (IARC) on klassifitseerinud sissehingatavad TiO<sub>2</sub> osakesed rühma 2B: „võimalik kantserogeenne mõju inimestele” [21]. NIOSH (Ameerika Ühendriikide riiklik töötervishoiu ja -ohutuse instituut) soovitas TiO<sub>2</sub> ülipeente osakeste jaoks madalamat kokkupuute piirnormi: 0,3 mg/m<sup>3</sup> TiO<sub>2</sub> nanoosakeste (&lt;100 nm) puhul, võrreldes peente osakeste (&gt;100 nm) piirnormiga, mis on 2,4 mg/m<sup>3</sup> [22].</p>
Kulla nanoosakesed	<p>Uuritud on rottide sissehingatud kulla nanoosakeste mürgisust ning on täheldatud kulla ladestumist kopsudes ja neerudes [23].</p>

Allikas: autorite koostatud.

Peale terviseriskide võivad nanotolmu aerosoolistumine ja tuleohtlikud nanoosakesed põhjustada plahvatus- või tuleohtu.

Oluline on tervishoiusektoris kasutatavate nanomaterjalidega seotud töötervishoiu ja -ohutuse riske asjakohaselt hinnata ja juhtida, et tagada töötajate ohutus ja kaitsta nende tervist piisaval määral.

## 4 Ennetus

ELi direktiivi 89/391/EMÜ [24] kohaselt peavad tööandjad tööga seotud riske korrapäraselt hindama ja kehtestama piisavad ennetusmeetmed ning see kehtib ka nanomaterjalidega seotud riskide kohta töökohas. Lisaks kehtestab direktiiv 98/24/EÜ, mis käsitleb keemilisi mõjureid töökohas, [25] töökohal leiduvate ainetega seotud riskide juhtimisele rangemad nõuded, mis kehtivad ka nanomaterjalidele, sest need kuuluvad aine mõiste alla.

Seetõttu kehtivad neis töötajate kaitse direktiivides sätestatud nõuded, nagu kohustuslik töökohaga seotud riskide hindamine ja riskijuhtimismeetmete hierarhia (kõrvaldamine, asendamine, tehnilised meetmed tekkekohas, organisatsioonilised meetmed ja viimase abinõuna isikukaitsevahendid) ka tervishoiusektori töökohtadel ja nanomaterjalide valdkonnas.

Peale selle tuleb juhu, kui nanomaterjal või sama koostisega makrotasandi materjal on kantserogeenne või mutageenne, järgida ka direktiivi 2004/37/EÜ, mis käsitleb kantserogeene ja mutageene töökohal [26]. Liikmesriikide õigusnormid võivad aga olla rangemad ja neid tuleks arvestada.

Nanomaterjalidest tulenevate riskide hindamine töökohal võib siiski olla keeruline, arvestades, et praegu on meil piiratud teadmised järgmistes valdkondades:

- 1) nanomaterjalide ohtlikud omadused;
- 2) nanomaterjalide ja nende eraldumise allikate tuvastamise ning kokkupuutetasemete mõõtmise meetodid ja seadmed
- 3) teave nanomaterjalide olemasolust eelkõige segudes ja toodetes ning allpool kasutajaahelas nanomaterjalide või nanomaterjale sisaldavate toodete kasutamise või töötlemise korral.

Ohutuskaardid, mis on oluline teabevahend ohtlike ainetega seotud riskide ennetamiseks töökohal, kas sisaldavad üldiselt vähe või ei sisalda üldse teavet nanomaterjalide olemasolu ja omaduste ning töötajatele avalduvate riskide ja nende ennetamise kohta [13, 27–29]. Organisatsioonidel soovitatakse seetõttu tarnijatega ühendust võtta ja neilt lisateavet küsida.

Et nanomaterjale käsitataks ainetena, on samavõrd asjakohased ka REACH-määrus (kemikaalide registreerimise, hindamise ja autoriseerimise määrus) [30] ja CLP-määrus (ainete ja segude klassifitseerimise, märgistamise ja pakendamise määrus) [41]. REACH-määruse II lisa muudatused [31], ohutuskaartide õigusraamistik ja Euroopa Kemikaaliameti (ECHA) suunised ohutuskaartide kohta [32], kus antakse lisanõu nanomaterjalide omaduste arvessevõtmise kohta, peaksid parandama ohutuskaartidel esitatud teabe kvaliteeti. Teabelehes „E-fact 72” (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) tutvustatakse olemasolevaid suuniseid ja vahendeid nanomaterjalidega seotud riskide juhtimiseks, arvestades praegusi piiranguid ja teaduse taset. Hetkel puuduvad konkreetset suuniseid nanomaterjalidega seotud tervishoiu ja -ohutuse riskide ennetamiseks tervishoiusektoris. Osaliselt saab siiski kohaldada teistes sektorites (nt teaduslaborid [33]) soovitatud meetmeid, mille põhimõtted ja lähenemisviisid saab üle kanda tervishoiusektoris.

## 4.1 Kõrvaldamine ja asendamine

Nagu teistegi ohtlike ainete puhul, tuleks kõrvaldamist ja asendamist eelistada muudele ennetusmeetmetele (eesmärk on vältida kõigi töötajate kokkupuudet nanomaterjalidega). Paljudel juhtudel kasutatakse nanomaterjale sisaldavaid keemilisi mõjureid, ravimeid või seadmeid tervishoiusektoris siiski nende eriomaduste ja spetsiaalse otstarve tõttu. Seetõttu ei pruugi tervishoiutöötajatele ohtliku nanomaterjali kõrvaldamine või asendamine vähem ohtliku alternatiiviga neil juhtudel võimalik olla, sest alternatiivil ei pruugi olla samu soovitud omadusi ja sama (positiivset) mõju. Alati tuleks siiski silmas pidada tasakaalu ühelt poolt soovitud omaduste ja mõju ning teisalt terviseriskide vahel ning kõrvaldamist ja asendamist põhjalikult kaaluda. Lisaks tuleks

- vältida nanomaterjale, mis võivad õhu kaudu edasi kanduda (nt pulbrid või tolm), kasutades neid vähem ohtlikul kujul, näiteks lahustades pulbrilised nanomaterjalid vedelikes, pastades, graanulites või ühendites või sidudes need tahkete ainetega, ning
- vähendada ohtlikku toimet nanomaterjali pinna muutmise, näiteks selle katmisega, et kohandada tolmu, lahustuvust ja muid omadusi.

## 4.2 Tehnilised riskijuhtimismeetmed

Tervishoiusektoris tehtava töö olemuse tõttu ei pruugi enamikus töökohtades, nagu haiglapalattites või isegi patsientide kodudes olla tehnilisi süsteeme nanomaterjalidega kokkupuute vähendamiseks või vältimiseks tekkekohas, näiteks suletud süsteeme, mis loovad inimese ja nanomaterjali vahele füüsilise barjääri. Muude toimingute, nagu nanomaterjale sisaldavate ravimite, näiteks tablettide või salvide valmistamise puhul kinnasboksides, on tehniliste riskijuhtimismeetmete rakendamine tekkekohas siiski võimalik.

Nanoravimite valmistamisel, nanomaterjale sisaldada võivate (kui patsienti ravitakse nanoravimitega) koeproovide, kehavedelike või väljaheidete ettevalmistamisel ning proovide ettevalmistamisel või analüüsimisel nanomaterjale sisaldavaid analüüsikemikaalide abil on veel üheks tõhusaks riskienetusmeetmeks puhaskapid tahkete osakeste üliefektiivsete õhufiltritega (HEPA-filtritega). Proovidest või proovide ettevalmistamiseks kasutatavatest toodetest pärit nanomaterjalide lekete, tolmu või aurudega kokkupuutumise vältimiseks tuleks kasutada suure läbilaskevõimega ventilatsioonisüsteemi koos isikukaitsevahendite, eelkõige kinnaste ja maskiga (vt punkt 4.4).

Laborites, operatsioonitubades ja rangete ohutusstandarditega kohtades (nt nakkusohu tõttu) ning laoruumides on tavaliselt kasutusel kohaliku tõmbeventilatsiooni süsteemid. Sellised süsteemid püüavad kinni ka nanomaterjalid. Nanomaterjalide puhul on siiski soovitatav kasutada tavalisi mitmeastmelisi filtreid koos tahkete osakeste üliefektiivsete õhufiltrite (HEPA H14) või kõrgema puhastusastmega õhufiltritega (viimase filtrina enne väljatõmmatud õhu tagasilaskmist). Kindlasti tuleks hinnata olemasolevate filtreerimissüsteemide sobivust.

### 4.3 Korralduslikud meetmed

Riskiennetusmeetmed tervishoiusektori töökohtades, kus kasutatakse ohtlikke nanomaterjale, hõlmavad järgmist:

- muudest töökohtadest eraldatud ning asjakohaselt ja selgelt tähistatud spetsiaalselt nanomaterjalide käitlemiseks ettenähtud alad või töökohad;
- nanomaterjalidega kokkupuutuvate töötajate arvu minimeerimine;
- töötajatepoolse nanomaterjalidega kokkupuute kestuse minimeerimine;
- kõrvaliste isikute juurdepääsu keelamine;
  - nanomaterjalide kasutamise või käitlemise alade korrapärane puhastamine (mürgipuhastus) ning
  - nanomaterjalide kontsentratsioonitasemete seire õhus, näiteks võrreldes taustatasemetega ajal, mil nanomaterjale ei käidelda.



Autor: Jim Holmes

Et nanomaterjalide käitluskohtade ja konteinerite ohutähiste ja -märgiste kasutamise standardid praegu puuduvad, on soovitatav tegutseda läbimõeldult ning kasutada ainete ja segude klassifitseerimise, märgistamise ja pakendamise määru (CLP-määrus) [41] sätestatud riski- ja ohutuslauseid ning hoiatusmärke, et anda piisavat, asjakohast ja konkreetset teavet nanomaterjalide kasutamise ja käitlemisega seotud tegelike ja võimalike tervise- ja ohutusriskide kohta.

Peale selle tuleks järgida ka mõningaid üldisi põhimõtteid, mis kehtivad olenemata seotusest nanomaterjalidega:

- töö kavandamisel tuleks lähtuda riskihindamisest ja kaasata töötajad. Kui töökohas käideldakse teadmata mürgisuse ja toimega nanomaterjale, tuleb sellega arvestada. Riskijuhtimise prioriteediks ei peaks olema mitte ainult teadaolevad riskid, vaid ka nanomaterjalide hindamine ja juhtimine töökohtades, mille kohta ohu- ja kokkupuuteteave puudub, on poolik või ebaselge;
- ajasurvet tuleks vältida;
- tuleks tagada piisav väljaõpe, et töötajate oskused ja teadmised võimaldaksid neil töötada ohutult ja end nanomaterjalidega kokkupuutumise eest kaitsta;
- kõiki töötajaid tuleks alati juhendada ja teavitada, eriti kui nad täidavad ainult üht ülesannet ja/või ei ole teadlikud keemilistest riskidest üldiselt ja eelkõige nanomaterjalidega seotud riskidest (nt puhastustöötajad, üliõpilasassistendid). See peaks hõlmama kaitsemeetmeid, näiteks kuidas ravimeid või nanomaterjale sisaldavaid proove ohutult käidelda, nanomaterjale sisaldavaid täidiseid ja pindu lihvida või poleerida ning tooteid kõrvaldada. See teave tuleks dokumenteerida ka tööjuhendites;
- ettevaatusprintsipi järgimine nanomaterjalidega seotud riskide ennetamisel: nanomaterjalide eraldumise vähendamiseks tuleks võtta kõik olemasolevad meetmed vastavalt ennetusmeetmete hierarhiale.

Töötajad, kes käitlevad nanomaterjale, mis võivad olla ohtlikud, või puutuvad nendega muul viisil kokku, tuleks kaasata tervisekontrolliprogrammidesse ning kokkupuutejuhud tuleks üksikasjalikult dokumenteerida.

### 4.4 Isikukaitsevahendid

Isikukaitsevahendeid tuleks kasutada viimase abinõuna, kui kokkupuudet ei ole võimalik eelnimetatud meetmetega piisavalt tõhusalt vähendada. Kui riskihindamise käigus leitakse, et isikukaitsevahendid on vajalikud, tuleks koostada isikukaitsevahendite programm. Hea isikukaitsevahendite programm koosneb järgmistest osadest: sobivate isikukaitsevahendite valik, sobitamine ja hooldus ning isikukaitsevahendite koolitus. Tervishoiusektori töötajad kasutavad oma töös tõenäoliselt



isikukaitsevahendeid muude terviseriskide (nt bioloogiliste mõjurite) tõttu<sup>(3)</sup> [34]. Tuleb siiski hinnata, kas kasutusel olevad isikukaitsevahendid on nanomaterjalide puhul sobivad.

Hinnata tuleb ka isikukaitsevahendi kasutaja töökoormust ja tervises seisundit, et olla kindel, et isikukaitsevahend tagab piisava kaitse ja et seda saab nõuetekohaselt kasutada. Isikukaitsevahendiga tehtud katsed peaksid tagama, et selle kasutajad saavad isikukaitsevahendit kandes ohutult töötada ja samal ajal vajadust mööda muid vajalikke vahendeid (nt prille) või tööriistu kasutada. Tuleks arvestada, et isikukaitsevahendi pakutav kaitse võib nõrgeneda, kui kasutatakse korraga mitut isikukaitsevahendit. Mõju võivad avaldada ja isikukaitsevahendi tõhusust vähendada ka muud ohutegurid peale nanomaterjalide. Seega tuleb isikukaitsevahendit valides arvestada kõiki töökohaga seotud ohte. Kõikidel kasutatavatel isikukaitsevahenditel peaks olema CE-märgis ning neid tuleks kasutada tootja juhtnõrde kohaselt ja muutmata kujul.

#### 4.4.1 Hingamisteede kaitse

Õhu kaudu edasikanduvate nanomaterjalidega seotud tegevuste, näiteks nanomaterjale sisaldavate sildade või implantaatide lihvimisel ja freesimisel ei pruugi kohaliku tõmbeventilatsiooni süsteemidest piisata. Neil juhtudel tuleks kasutada ka hingamisteede kaitset. Õhu kaudu edasikanduvate nanomaterjalide puhul on tõhusad HEPA-filtrid, respiraatorid ja kiuliste filtreerimismaterjalidega maskid. Sellise kokkupuute vältimiseks peetakse tõhusaks P3/FFP3- või P2/FFP2-filtritega pool- või täismaske. Filtrid, mille kaitsefaktor on 3, pakuvad paremat kaitset kui filtrid kaitsefaktoriga 2 [35, 36]. Näomaskid peaksid olema piisavalt pingul [36] – kõikidele kasutajatele tuleks korraldada regulaarseid sobivuskatseid.

Hingamisteede kaitsevahendi valik sõltub:

- õhus edasikanduva nanomaterjali liigist, suurusest ja kontsentratsioonist;
- hingamisteede kaitsevahendi kaitsefaktorist (mis põhineb filtreerimise tõhususel ja tihendi näole sobivusel) ning
- töötingimustest.

Kui hingamisteede kaitsevahend ei kata silmi, tuleks kasutada ka silmade kaitset (tihedalt liibuvaid kaitseprille).

#### 4.4.2 Kindad

Kindaid kasutatakse tervishoiusektoris sageli. Keemiliste ohtude korral tuleks üldiselt kasutada ainult standardiseeritud EN 374<sup>(4)</sup> nõuetele vastavaid kindaid. Nanomaterjalide puhul on osutunud tõhusaks sünteetilistest polümeeridest, nagu lateksist, nitrilist ja neopreenist kindad [36]. Kinnaste tõhusus konkreetse nanomaterjali puhul sõltub sellest, millisel kujul (tolm, vedelik jne) seda töökohas leidub, ja see tuleks kinnaste tarnijatelt täpselt järele küsida. Peamine tegur, mis mõjutab nanomaterjali levimist, on kinnaste materjali paksus. Seetõttu on soovitatav kasutada korraga kaht paari kindaid [37].

#### 4.4.3 Kaitseriietus

Kootud riidele tuleks eelistada lausriiet (õhukindlaid materjale), näiteks suure tihedusega polüetüleen (vähene tolmusiduvus ja vähene tolmu läbilaskvus), ja vältida tuleks puuvillast kaitseriietust [36].

Kui kasutatakse kordvkasutatavat kaitseriietust, nagu kombinesooni, tuleks seda korrapäraselt pesta ja vältida teisest kokkupuudet. Tuleb ette näha võimalused puhaste kombinesoonide ja kaitsejakkide selgatõmbamiseks ja määrdunute äravõtmiseks, ilma et saastataks inimesi või töökohta üldiselt.

<sup>(3)</sup> ELi direktiiv 89/686/EMÜ reguleerib isikukaitsevahendite projekteerimist ja kasutamist ning tagab, et need täidavad oma funktsiooni kaitsta töötajaid eririskide eest.

<sup>(4)</sup> EN 374-1:2003: Kemikaalide ja mikroorganismide eest kaitsvad kindad. Osa 1: Terminoloogia ja nõuded eksploatatsioonimadustele; EN 374-2:2003: Kemikaalide ja mikroorganismide eest kaitsvad kindad. Osa 2: Läbistamiskindluse määramine, ja EN 374-3:2003: Kemikaalide ja mikroorganismide eest kaitsvad kindad. Osa 3: Läbistamiskindluse määramine kemikaalide suhtes.

## 4.5 Plahvatuste ja/või tulekahjude ennetamine

Oma väiksuse tõttu võivad pulbrilised nanomaterjalid olla plahvatusohtlikud, erinevalt vastavatest jämedatest materjalidest<sup>(5)</sup> [38]. Nanopulbrite tekitamisel (nt nanomaterjale sisaldavate implantaatide ja sildade lihvimisel või poleerimisel) või käitlemisel (nt selliste pulbrite segamisel, puhastamisel või kõrvaldamisel) tuleks olla ettevaatlik.

Pulbriliste nanomaterjalidega seotud ennetusmeetmed on põhimõttelised samad kui plahvatus- ja tuleohtliku jämeda materjali ja plahvatusohtlike tolmupilvede puhul ning peaksid vastama nõuetele, mis on sätestatud direktiivis 99/92/EÜ plahvatusohtlikust keskkonnast potentsiaalselt ohustatud töötajate ohutuse ja tervisekaitse parandamise miinimumnõuete kohta. Need meetmed on järgmised:

- farmatseudid peaksid võimaluse korral selliseid materjale käitlema ainult spetsiaalsetes plahvatusohu tsoonides ja töötama inertses keskkonnas;
- materjalide lahustuvuse parandamiseks tuleks töökohta niisutada (tolmu vältimiseks);
- töökohast tuleks kõrvaldada väikese sädemeohuga seadmed ja muud süüteallikad või elektrostaatilise laengu teket soodustavad tingimused; võimaluse korral tuleks kasutada sädemeohutuid seadmeid (madalvoolul ja -pingel töötavad signaal- ja kontrollahelad);
- tolmukihid tuleks märgpuhastusega eemaldada ning
- plahvatus- või tuleohtlike materjalide hoiustamist töökohal tuleks minimeerida. Kasutada võib antistaatilisi kotte.

## 4.6 Meetmete tõhususe kontroll

Riskihindamise tulemused tuleb korrapäraselt läbi vaadata ning riskijuhtimismeetmete valimist ja rakendamist tuleb korrapäraselt kontrollida, et hinnata nende tõhusust. See tähendab, et tuleb tagada kõigi kaitsevahendite, nagu puhas- ja laminaarkappide nõuetekohane toimimine ning kõigi ventilatsiooniseadmete ja nende filtreerimissüsteemide korrapärane kontroll. Peale selle tuleb kontrollida isikukaitsevahendite sobivust ja neid vajaduse korral ajakohastada.

Lisaks sellele võib riskivähendusmeetme tõhususe hindamiseks analüüsida nanomaterjalide kontsentratsiooni õhus enne ja pärast ennetusmeetme rakendamist. Riskijuhtimismeetmete rakendamise korral mõõdetavad kokkupuutetasemed ei tohiks oluliselt erineda taustkontsentratsioonist juhul, kui tööstuslikult toodetud nanomaterjalide allikas puudub. Kasutada võib ka muid tehniliste ennetusmeetmete tõhususe hindamise kaudseid meetodeid, nagu suitsukatsed ja/või kontrollkiiruse mõõtmine.

Edaspidi võidakse välja töötada nanomaterjalide piirnormid töökeskkonnas (OEL)<sup>(6)</sup> [39, 40], kuid töökohaga seotud riskide juhtimise peamine eesmärk peaks olema kokkupuute minimeerimine ja seetõttu piirnormide järgimisest ei piisa.

## Allikaviited

1. Euroopa Komisjon, *Commission Staff Working Document on an Action Plan for the EU Health Workforce*, SWD(2012) 93 (lõplik), 18. aprill 2012, Strasbourg. Kättesaadav veebilehel [http://ec.europa.eu/dgs/health\\_consumer/docs/swd\\_ap\\_eu\\_healthcare\\_workforce\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/docs/swd_ap_eu_healthcare_workforce_en.pdf).
2. Komisjoni soovitus, 18. oktoober 2011, nanomaterjali määratluse kohta, ELT L 275, lk 38–40. Kättesaadav veebilehel <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>.

<sup>(5)</sup> Enamiku orgaaniliste tolmude ja paljude metallitolmude plahvatusohtlikkus kasvab osakeste suuruse vähenedes. 500 µm näib olevat plahvatusohtliku tolmupilve osakeste suuruse ülempiir. Praegu ei ole kindlaks määratud piiri, millest väiksemate osakeste puhul saab tolmuplahvatused välistada.

<sup>(6)</sup> Vt nt Madalmaade sotsiaal- ja majandusnõukogu (SER) (2012), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*, ja Nanowerk (2012), *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*.

3. Euroopa Komisjon, *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 (lõplik), 3. oktoober 2012, Brüssel. Kättesaadav veebilehel <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>.
4. Euroopa Tööohutuse ja Töetervishoiu Agentuur (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles*, European Risk Observatory, erialakirjanduse ülevaade, 2009. Kättesaadav veebilehel [http://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles).
5. Lauterwasser, C., *Small Sizes that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, Allianz Center for Technology ja OECD aruanne, kuupäevata. Kättesaadav veebilehel <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>.
6. Kale, S. N., *Nanomaterials and their Applications in Healthcare*, ettekanne ICS-UNIDO, SISSA õpikoda „Computer Design and Discovery of Potential Drugs for Developing Countries”, 2009.
7. Filipponi, L., Sutherland, D., *Medicine and Healthcare. Module 2 – Applications of Nanotechnologies*, Interdisciplinary Nanoscience Centre (iNANO), 2010. Kättesaadav veebilehel <http://nanoyou.eu/>.
8. Ellis, J.R., *Nanomaterials and Their Potential in Therapy*, 2012. Kättesaadav veebilehel <http://www.mddionline.com/blog/devicetalk/nanomaterials-and-their-potential-therapy> (vaadatud 20. oktoobril 2012).
9. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology*, 2012. Kättesaadav veebilehel [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction\\_to\\_nanotechnology\\_1.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php) (vaadatud 19. oktoobril 2012).
10. Mody, V. V., Siwale, R., Singh, A., Mody, H. R., „Introduction to metallic nanoparticles”, *Journal of Pharmacy & BioAllied Science*, 2012, 2(4): lk 282–289.
11. Jain, K., Kesharwani, P., Gupta, U., Jain, N. K., „Dendrimer toxicity: let’s meet the challenge”, *International Journal of Pharmaceutics*, 2010, 394(1–2): lk 122–142.
12. 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”, *Toxicological Sciences*, 2012, 126(2): lk 457–468.
13. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials*. Kättesaadav veebilehel <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
14. Toyama T., Matsuda H., Ishida I., Tani M., Kitaba S., Sano S., Katayama I., „A case of toxic epidermal necrolysis-like dermatitis evolving from contact dermatitis of the hands associated with exposure to dendrimers”, *Contact Dermatitis*, 2008, 59(2): lk 122–123.
15. Murashov, V., „Occupational exposure to nanomedical applications”, *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009, 1: lk 203–213.
16. 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, Publication No. 2009–125, 2009.
17. 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): lk 586–595.

18. ENRHESi projekt, Euroopa Komisjon, *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Kättesaadav veebilehel <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report>.
19. Tekkivate ja hiljuti avastatud terviseriskide teaduskomitee (SCENIHR), *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*, 2012. Kättesaadav veebilehel [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_q\\_027.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_q_027.pdf).
20. Luoma, S.N., *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges?*, the Pew Charitable Trust and the Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2008. Kättesaadav veebilehel [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano\\_pen\\_15\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf).
21. Maailma Terviseorganisatsioon (WHO), „Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc”, *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, vol. 93, 2010. Kättesaadav veebilehel <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>.
22. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), „Occupational exposure to titanium dioxide”, *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Kättesaadav veebilehel <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>.
23. 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: lk 16.
24. Nõukogu direktiiv, 12. juuni 1989, töötajate tervishoiu ja tööohutuse parandamist soodustavate meetmete kehtestamise kohta (89/391 EMÜ), EÜT L 183, 29.6.1989. Kättesaadav veebilehel <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:EN:PDF>.
25. Nõukogu direktiiv 98/24/EÜ, 7. aprill 1998, töötajate tervise ja ohutuse kaitse kohta keemiliste mõjuritega seotud ohtude eest tööl (neljateistkümnes üksikdirektiiv direktiivi 89/391/EMÜ artikli 16 lõike 1 tähenduses). Kättesaadav veebilehel <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:EN:PDF>.
26. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2004/37/EÜ, 29. aprill 2004, töötajate kaitse kohta tööl kantserogeenide ja mutageenidega kokkupuutest tulenevate ohtude eest (kuues üksikdirektiiv nõukogu direktiivi 89/391/EMÜ artikli 16 lõike 1 tähenduses). Kättesaadav veebilehel <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R%2801%29:EN:HTML>.
27. 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, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2007. Kättesaadav veebilehel [http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile).
28. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, 2008. Kättesaadav veebilehel <http://www.nano4all.nl/Reporthandbooksummary.pdf>.
29. Austria tööinspeksioon, *Umgang mit Nano im Betrieb*, 2009. Kättesaadav veebilehel [http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano\\_Untersuchung.pdf](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf).
30. Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr 1907/2006, 18. detsember 2006, mis käsitleb kemikaalide registreerimist, hindamist, autoriseerimist ja piiramist (REACH) ja millega asutatakse Euroopa Kemikaalide Agentuur ning muudetakse direktiivi 1999/45/EÜ ja tunnistatakse kehtetuks nõukogu määrus (EMÜ) nr 793/93, komisjoni määrus (EÜ) nr 1488/94 ning samuti nõukogu direktiiv 76/769/EMÜ ja komisjoni direktiivid 91/155/EMÜ, 93/67/EMÜ, 93/105/EÜ ja 2000/21/EÜ, ELT L 396, 30.12.2006. Kättesaadav veebilehel <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:en:NOT>.



31. Komisjoni määrus (EL) nr 453/2010, 20. mai 2010, millega muudetakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrust (EÜ) nr 1907/2006, mis käsitleb kemikaalide registreerimist, hindamist, autoriseerimist ja piiramist (REACH), ELT L 133, 31.5.2010. Kättesaadav veebilehel <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010R0453:EN:NOT>.
32. Euroopa Kemikaaliamet (ECHA), *Ohutuskaartide koostamise juhend*, detsember 2011. Kättesaadav veebilehel [http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_en.pdf).
33. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, DHHS (NIOSH) Publication No. 2012–147. Kättesaadav veebilehel <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/>.
34. Direktiiv 89/656/EMÜ, 30. november 1989, töötajate isikukaitsevahendite kasutamisega seotud tervisekaitse ja ohutuse miinimumnõuete kohta (kolmas üksikdirektiiv direktiivi 89/391/EMÜ artikli 16 lõike 1 tähenduses). Kättesaadav veebilehel <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>.
35. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, „Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden“, *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Kättesaadav veebilehel [www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de).
36. 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?*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Kättesaadav veebilehel [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf).
37. Klenke, M., *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*, DR-331 200810-6, Nanosafe2, 2008. Kättesaadav veebilehel [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf).
38. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben*, kuupäevata. Kättesaadav veebilehel <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (vaadatud 3. detsembril 2012).
39. Madalmaade sotsiaal- ja majandusnõukogu (SER), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*, 2012. Kättesaadav veebilehel [http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012\\_01.aspx](http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx) (vaadatud 20. oktoobril 2012).
40. Nanowerk, *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*, 2012. Kättesaadav veebilehel <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php> (vaadatud 20. oktoobril 2012).
41. Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr 1272/2008, 16. detsember 2008, mis käsitleb ainete ja segude klassifitseerimist, märgistamist ja pakendamist (CLP-määrus), ELT L 353, 31.12.2008. Kättesaadav veebilehel <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>.

## Lisakirjandus

- Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuur (EU-OSHA), juhtumiuuringute elektrooniline andmebaas, 2012. Kättesaadav veebilehel [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](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) (vaadatud 23. juulil 2012).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomaterialien – Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz*, Hauptvorstand, 2011. Kättesaadav veebilehel

[http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site\\_www.igbce.de/static\\_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf](http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site_www.igbce.de/static_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf).

Euroopa Komisjon, *Commission staff working document on an Action Plan for the EU Health Workforce Accompanying the document communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions "Towards a job-rich recovery"*, 18. aprill 2012, Strasbourg, SWD(2012) 93 (lõplik).

Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuur (EU-OSHA), *Safe Maintenance in Practice*, 2010. Kättesaadav veebilehel <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>.

Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuur (EU-OSHA), *Tervishoiutöötajate tervis ja ohutus*. Kättesaadav veebilehel <http://osha.europa.eu/en/sector/healthcare>.