

## NANOANYAGOK A KARBANTARTÁSI MUNKÁKBAN: FOGLALKOZÁSI KOCKÁZATOK ÉS MEGELŐZÉS

A nanotechnológia területe gyorsan fejlődik, a nanoanyagok használata pedig egyre gyakoribb a mindennapi életünkben és a munkahelyeinken. Ez azt jelenti, hogy több, karbantartási munkát végző munkavállaló érintkezhet nanoanyagokkal. A jelenleg is zajló kutatások ellenére a nanotechnológia fejlődése gyorsabb, mint amilyen ütemben a nanoanyagok egészségügyi és biztonsági hatásaival kapcsolatos ismeretanyag rendelkezésre áll. Még mindig sok olyan ismeretlen tényező van, amely kérdéseket vet fel a munkahelyi egészségvédelemmel és biztonsággal kapcsolatos kockázatok értékelését illetően.

Ez az e-tájékoztató ismerteti, hogy a karbantartási munkák során a munkavállalók hogyan kerülhetnek érintkezésbe nanoanyagokkal, és arról, hogy mit kell tenni a lehetséges kitettség megakadályozása érdekében.

### 1. Bevezetés

#### 1.1. Mi az a nanoanyag?

A nanoanyagok olyan részecskéket tartalmaznak, amelyeknek egy vagy több mérete 1 és 100 nm közötti <sup>(1)</sup>, ez a méret az atomok és molekulák méretével összehasonlítható. A nanoanyagok lehetnek természetes eredetűek (például származhatnak vulkáni hamuból), vagy emberi tevékenység szándékolatlan következményei (például a dízel kipufogógázokban találhatóak). A nanoanyagok nagy része azonban szándékosan előállított és forgalmazott, ezért ez az e-tájékoztató ezekre fókuszál.

Noha a nanoanyagok agglomerátumokat vagy aggregátumokat alkothatnak, amelyek nagyobbak lehetnek 100 nm-nél, ezek képesek lebomlani és nanoanyagokat szabadíthatnak fel. Ezért a nanoanyagok kockázateértékelésében ezeket az agglomerátumokat/aggregátumokat is számításba kell venni.

A mesterséges nanoanyagok specifikus (újszerű) tulajdonságai számtalan felhasználási területen mutatnak előnyöket. A mesterséges nanoanyagok felhasználhatók önmagukban, vagy más anyagokkal ötvözve többek között az alábbi területeken:

1. miniaturizálás (pl. elektronikai berendezéseké);
2. súlycsökkentés (a megnövekedett anyaghatásosság eredményeként); és
3. az anyagok funkcionalitásának javítása (pl. nagyobb tartósság, vezetőképesség, hőstabilitás, oldhatóság, csökkent sűrűség).

Hogy a mesterséges nanoanyagok mely típusai fordulhatnak elő a munkahelyeken, az nagymértékben függ az elvégzett folyamatok típusától, az előállított termékek típusától és a bemenetként vagy feldolgozási segédanyagként használt anyagoktól.

<sup>(1)</sup> Az Európai Bizottság ajánlása szerint [1]:

- A „nanoanyag” olyan „természetes anyag, szándékolatlanul előállított mesterséges anyag vagy szándékosan előállított anyag, amely nem kötött állapotban, aggregátum formájában vagy agglomerátum formájában olyan részecskéket tartalmaz, amelyeknek legalább egy külső mérete a részecskének a darabszám szerinti méreteloszlás alapján vett legalább 50%-a esetében az 1 nm-től 100 nm-ig terjedő mérettartományba esik.” A darabszám szerinti méreteloszlást az adott mérettartományon belüli tárgyak száma osztva az összes tárgyak számával fejezik ki.
- „Konkrét esetekben, továbbá akkor, ha azt környezetvédelmi, egészségügyi, biztonsági vagy versenyképességi szempontok indokolják, a darabszám szerinti méreteloszláshoz tartozó 50%-os küszöbérték helyett 1%-nál nagyobb, de 50%-nál kisebb küszöbérték alkalmazható.”
- „A fentiekől eltérően nanoanyagoknak minősülnek azok a fullerének, grafénlapkák és egyrétegű szén nanocsövek, amelyeknek legalább egy külső mérete 1 nm-nél kisebb.”

## 1.2. Karbantartás

A rendszeres karbantartás alapvető fontosságú a berendezések, gépek, épületek és szerkezetek (például hidak vagy alagutak), valamint a munkakörnyezet biztonságosságának és megbízhatóságának megőrzéséhez. A karbantartás számtalan tevékenységet ölel fel különböző



Szerző: Dovile Cizaite

iparágakban és munkakörnyezet-típusokban. A karbantartás jellemzően alkatrészek szervizeléséből, javításából, ellenőrzéséből, teszteléséből, beállításából vagy cseréjéből áll, és tartalmazhatja például zárt gyártóterek kinyitását, szűrők cseréjét, festékrétegek eltávolítását, robbantást, őrlést, csiszolást, töltőanyagok alkalmazását, festék felvitelét, szigetelést és motorizált rácsok, gáz- és vízellátó rendszerek javítását. Mivel bizonyos mértékű karbantartásra minden iparágban és minden munkahelyen sor kerül, a karbantartással foglalkozó munkavállalók más dolgozóknál is nagyobb eséllyel vannak kitéve a foglalkozási kockázatok különféle válfajainak.

A karbantartás lehet proaktív – ennek célja a gép vagy a szerkezet meghibásodásának és a nem biztonságos munkahelyi körülmények kialakulásának megakadályozása –, vagy reaktív, amelynek célja a berendezések vagy épületelemek megjavítása. A karbantartási tevékenységek ezért beépülhetnek a dolgozó napi rutinjába (például egy szórópisztoly tisztítása és ellenőrzése a munkanap végén), de lehetnek olyan speciális tevékenységek is, amelyeket a berendezés vagy gép nem megfelelő működésekor kell elvégezni. Az építőipari munkások esetében viszont a karbantartási munka lehet elsődleges tevékenység is.

A karbantartásról és a munkahelyi biztonságról és egészségvédelemről hasznos információk találhatóak az EU-OSHA honlapján: <https://osha.europa.eu/en/topics/maintenance>.

## 1.3. Nanoanyagok a karbantartási munka során

Habár a nanotechnológia az ipar viszonylag új ága, speciális jellegzetességeik miatt a nanoanyagoknak már most is számos alkalmazási területe ismert. Ez azt jelenti, hogy egyre több iparágban és munkahelyen kell szem előtt tartani a nanoanyagokkal szembeni esetleges expozíciót a karbantartási tevékenységek során.

Mivel a nanoanyagokat tartalmazó mesterséges termékek száma egyre nő, egyre nagyobb a valószínűsége annak is, hogy a dolgozók ilyen termékeken végeznek karbantartási munkát és nanoanyagokkal kerülnek érintkezésbe. Ilyen nanoanyagokat tartalmazó termékek az autók, az alacsony gördülési ellenállású gumiabroncsok, az elektromos és elektronikus berendezések (például a nagyhatékonyságú szenzorok és elektronikák), az energiageneráló berendezések (például a nagyteljesítményű újratölthető akkumulátorrendszerek vagy vékony filmből készült intelligens napenergiás panelek). Emellett maguk az épületek is tartalmazhatnak nanoanyagokat.

Ezenkívül egyre több mesterséges nanoanyagokat tartalmazó karbantartási termék kerül a piacra, például kenőanyagok, bevonatok vagy ragasztók. Megfelelő megelőző intézkedések híján ezek szintén dolgozói kitettséget eredményezhetnek.

A munkahelyi biztonság és egészségvédelem szempontjából a mesterséges nanoanyagok – például a festett felületek repedéseit vagy korrózióját kimutató intelligens festékek – bizonyos alkalmazásai szintén nagyban segíthetik a karbantartást végző dolgozók munkáját. Az intelligens festékek szén nanocsöveket tartalmaznak, amelyek vezetnek az elektromosságot. Mivel vezetőképességüket a felület ilyen meglévő hiányosságai alakítják, ezek a festékek például hidak vagy szélturbinák esetében alkalmasak a mikroszkopikus szerkezeti problémák távolból történő kimutatására, azaz felhasználásukkal elkerülhető a magasban végzett szerkezetellenőrzési munka.

## 2. Karbantartási munkát végző dolgozók nanoanyagokkal összefüggő biztonsági és egészségügyi kockázatai

Számos előnyük mellett vannak olyan nanoanyagok is, amelyek veszélyt jelenthetnek az emberi egészségre és biztonságra [2–4], illetve a karbantartást végző dolgozókra.

### 2.1. Veszélyek és expozíciós útvonalak

A biztonsági veszélyek oka lehet a nagy robbanékonyosság, a tűzveszélyesség és néhány nanopor (por formájú nanoanyagok), különösen a fém nanoporok katalitikus potenciálja.

A nanoanyagoknak sokféle potenciális mérgező hatásuk lehet, még akkor is, ha ugyanannak az anyagnak makroszinten nincs mérgező hatása. Ennek oka elsősorban a nanoanyagok kis mérete, de függ még többek között a részecske alakjától, kémiai jellemzőitől, a felület állapotától (pl.: felszín területe, felületi funkcionalitás, felületi kezelés) vagy az aggregáció/agglomeráció állapotától stb. [3, 4].

Normál környezeti körülmények között a nanoanyagok 100 nm-nél nagyobb agglomerátumokat vagy aggregátumokat alkothatnak, miáltal nanospecifikus tulajdonságaik megváltoznak (de nem feltétlenül vesznek el). A nanoanyagok azonban kiszabadulhatnak a gyengén kötött agglomerátumokból, sőt – bizonyos körülmények között – az erősebben kötött aggregátumokból is. A kutatók jelenleg is vizsgálják, hogy az ilyen agglomerátumok vagy aggregátumok belélegzése után ugyanez a tüdőfolyadékban is lejátszódhat-e [3, 4]. A munkahelyi kockázatértékelésnek ezért a nanoanyagokat tartalmazó agglomerátumokra és az aggregátumokra is ki kell terjednie.

Miután a nanoanyag bejutott a szervezetbe, a belső expozíciós mechanizmus további felszívódást, szétoszlást és anyagcserét vonhat maga után. Megállapítást nyert, hogy egyes nanoanyagok többek között a tüdőben, a májban, a vesében, a szívben, a szaporító szervekben, a magzatban, az agyban, a lépben, a csontozatban és a lágy szövetekben is megtalálhatók [5]. A nanoanyagok bioakkumulációjának, valamint a sejtekből és a szervekből való kiürülésük mechanizmusának kérdése azonban továbbra is válasszra vár. További probléma, hogy miközben lehet, hogy a nanoanyag önmagában nem mérgező, egyfajta „trójai faló” is lehet, ami azt jelenti, hogy egy mérgezőbb anyag a nanoanyaghoz csatlakozva bejuthat a szervezetbe, szervekbe vagy sejtekbe [6].

A nanoanyagok legfontosabb hatásait a tüdőben mutatták ki: gyulladást, szövetsérülést, oxidatív stresszt, krónikus mérgezést, citotoxicitást, fibrózist és tumorképződést okozhatnak. Néhány nanoanyag a szív- és érrendszert is károsíthatja. A mesterséges nanoanyagok potenciálisan veszélyes tulajdonságairól jelenleg is zajlanak kutatások [3, 4].

Az 1. táblázat bemutatja azokat a nanoanyagokat, amelyeknek a karbantartást végző dolgozók ki lehetnek téve, valamint az azokkal járó egészségügyi veszélyeket. Ezek a nanoanyagok a karbantartás során különösen gyakran fordulnak elő, mivel festékekben, fertőtlenítő- és tisztítószerekben vagy a karbantartási munkákhoz gyakran használt egyéb termékekben használatosak.

**1. táblázat: Nanoanyagok, amelyeknek a karbantartást végző dolgozók ki lehetnek téve, valamint potenciális egészségügyi veszélyeik**

Nanoanyag típusa	Egészségügyi veszélyek
Ezüst nanorészecskék	<p>Az ezüst nanorészecskék használata potenciális veszélyt jelent az emberi egészségre [8]; ezért kikérték az EU új és újonnan azonosított egészségügyi kockázatokkal foglalkozó tudományos bizottságának tudományos véleményét a nanoezüst biztonságosságáról, egészségügyi és környezeti hatásairól, illetve az antimikrobiális ellenállásban betöltött szerepéről [9].</p> <p>Aggály merült fel azzal kapcsolatban is, hogy az ezüst nanorészecskék káros egészségügyi hatást fejthetnek ki, például allergiát [10], tüdőödémát [11] és argyriát vagy argyrosist (a bőr, a körmök, a szemek, a nyálkahártyák vagy a belső szervek szürke vagy szürkés-kék elszíneződése, illetve fekete pigmentációja az ezüst lerakódása miatt) okozhatnak, amely hatások visszafordíthatatlanok és gyógyíthatatlanok [12]. Patkánykísérletek során sikerült dokumentálni, hogy az ezüst</p>



Nanoanyag típusa	Egészségügyi veszélyek
	nanorészecskék a felső légutakon át elérhetik az agyat [13]
Titán-dioxid nanorészecskék (TiO <sub>2</sub> )	A titán-dioxid részecskéket belélegzés esetén a Nemzetközi Rákkutatói Ügynökség (IARC) „az emberre esetlegesen rákkeltő hatású anyagként” (2B csoport, karcinogén) sorolta be [14]. Az USA munkavédelmi kutatóintézete (NIOSH) alacsonyabb expozíciós határértéket ajánlott a TiO <sub>2</sub> ultrafinom részecskéinek esetében: 0,3 mg/m <sup>3</sup> a TiO <sub>2</sub> nanorészecskék esetén (< 100 nm) a finomrészecskék (> 100 nm) 2,4 mg/m <sup>3</sup> értékével szemben [15].
Szilícium nanorészecskék	A nanoszilícium toxicitásáról szóló vizsgálatok alapján a légutakon át történő érintkezést követő egészségi hatások szolgáltak, akut vagy szubakut expozíció után. A jelentett egészségügyi hatások közé tartozott a tüdőgyulladás, a granuloma kialakulása és a gócos tüdőátágulás [16].

A munkahelyi környezetben a nanoanyagoknak három fő lehetséges expozíciós útvonala van [2, 3, 6, 17–19]:

- A munkahelyen a levegőben szálló nanorészecskék leggyakoribb expozíciós útvonala a **belélegzés**. A belélegzett nanorészecskék alakjuktól és méretüktől függően a légutakban és a tüdőben egyaránt lerakódhatnak. Belélegzés után bejuthatnak a tüdő hámszövetébe, bekerülhetnek a véráramba és további szervekhez és szövetekhez is elérhetnek. A vizsgálatok során olyan belélegzett nanoanyagokat is találtak, amelyek a szaglóidegen keresztül egészen az agyig jutottak.
- **Lenyelés** akkor fordulhat elő, ha egy személy az anyagot a kezével a szennyezett felületről véletlenül a szájához viszi, vagy ha szennyezett ételt vagy vizet fogyaszt. Lenyelés azonban nanoanyag belélegzése miatt is történhet, mivel a légutakból kiszabadult, belélegzett részecskék a hörgő tisztítófolyamatán keresztül lenyelhetők. A lenyelt nanoanyagok a bél hámszövetén átjutva a véráramba kerülhetnek és további szervekhez és szövetekhez érhetnek el.
- A **bőrbehatoló képesség** jelenleg is vizsgálat tárgyát képezi [2, 18]. Az ép bőr a jelek szerint megfelelő védőgátat képez a nanoanyagok bevitelére ellen [20]. A sérült bőr ugyanakkor kevésbé véd hatékonyan, de a felvétel mértéke vélhetően alacsonyabb, mint belélegzés esetén [20]. Ettől függetlenül a nanoanyagok bőrrel való érintkezése is megelőzendő és szabályozásra szorul.

Az expozíciós potenciál ezért főleg annak valószínűségétől függ, hogy a nanoanyag a levegőben lebeg-e, ugyanis por vagy permet formájában nagyobb kockázati potenciált képvisel, mint a folyadékszuszpenziók, paszták, granulátumanyagok vagy kompozitok. Ezzel szemben a nanoanyagok a folyadékokban nagyobb kockázatot jelentenek, mint a kötött vagy fix nanostruktúrák (például egy polimer mátrixban) [21].

## 2.2. Nanoanyagnak való expozíció veszélyével járó karbantartási tevékenységek

A karbantartást végző dolgozók az alábbi helyzetekben kerülhetnek érintkezésbe mesterséges nanoanyagokkal:

- nanoanyagokat tartalmazó karbantartási szerek használata során;
- nanoanyagokkal érintkező berendezések karbantartása során (például gyártósor, amelyen nanoanyagokat vagy nanoanyag-tartalmú termékeket használnak vagy dolgoznak fel), vagy amikor e nanoanyagok lerakódtak a karbantartásra váró berendezés felületére;
- amikor maga a karbantartási folyamat eredményez nanoanyagokat, például őrlés vagy csiszolás.

A 2. táblázat olyan nanoanyag-tartalmú termékeket sorol fel, amelyeket a karbantartást végző dolgozó használhat, kezelhet vagy feldolgozhat, és amelyekkel a munkavégzés során érintkezésbe kerülhet.

2. táblázat: Karbantartásban használatos nanoanyag-tartalmú termékek (példák)

A nanoanyagok főbb típusai	Karbantartásban használt termékek (példák)
Titán-dioxid (TiO <sub>2</sub> )	Festékek, antibakteriális bevonatok, tisztítószer, kötőanyagok, csempék, fali bevonatok, ablaktáblákhoz használatos szennyeződéscsökkentő bevonatok, autóbevonatok (az összes ilyen termék a TiO <sub>2</sub> nanoskálán mért sterilizáló, szagtalanító, páramentesítő és öntisztító tulajdonságait használja ki); és egyes üvegek, ha a nanoanyagot színváltoztató tulajdonsága miatt fénynek teszik ki [6, 22–24].
Szilícium-dioxid (SiO <sub>2</sub> )	Festékek, beton és tisztítószer [6, 23].
Ezüst nanorészecskék	Biocidként használatos festékekben és lakkokban, polimerekben, mosogatókban és kerámiaszaniterekben, illetve különféle „fogasztói” felhasználási területeken, például fertőtlenítő- és tisztítószerben [6]
Szén nanocsövek	Festékek [23], könnyűszerkezetes építmények
Korom	Pigmentek
Karbidok (pl. WC, TiC, SiC), nitridek (pl. TiN, CrN), fémek (pl. W, Ti, Mo) vagy kerámiák (pl. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Egy adott komponens felületére a súrlódás és a kopás kontrollálása érdekében felvitt tribológiai bevonatok [25]
Vas-oxidok	Adalékanyagok ragasztókban; készítmények, amelyek lehetővé teszik a „vezényszóra történő” kötést és kötéselengedést [25]
Cirkónium-dioxid	Cement-adalékanyagok, műanyag-adalékanyagok
Réz-oxidok	Fakonzerválók
Arany nanorészecskék	Gépjárművek és kenőanyagok [26]

Néhány karbantartási tevékenység, amely a dolgozók nanoanyaggal való érintkezésével járhat:

- **Nanoanyagokat tartalmazó folyékony termékek használata:**
  - folyékony termékekkel (pl. kenőanyagok, festékek, bevonatok, ragasztók) való munka vagy kiömlött termék feltakarítása, amely a védtelen bőr expozícióját eredményezheti;
  - bizonyos körülmények között karbantartási tevékenységek közé sorolható a folyékony termék előkészítése is; ez jelentheti az erős rázással járó öntési vagy keverési műveleteket, amelynek során belélegezhető (majd részben lenyelhető), illetve a védtelen bőrre lerakódó és bőrexpozíciót eredményező aeroszolok képződhetnek;
  - a permetezés (például szigetelő nanobevonaté vagy nanofestéké) belélegzést, lenyelést vagy bőrexpozíciót eredményezhet;
  - a folyékony, éghető nanoanyag permetezése növeli a tűz- és robbanásveszélyt is.
- **Nanoanyagok porának felhasználása:**
  - A nanoanyag-tartalmú porral végzett munkálatok (pl. kimérés, öntés vagy keverés) végzése – amelyek célja, hogy a karbantartási tevékenységekhez a dolgozó előkészítse a termékeket – levegőben lebegő nanoanyagokat hozhat létre, és a nanoanyag bőrexpozíciójához, belélegzéséhez vagy lenyeléséhez vezethet.
- **Kötött vagy fix nanostruktúrák használata (polimer mátrix):**
  - A megmunkálás, csiszolás, fúrás vagy más olyan tevékenység, amely megsértheti a mátrix szerkezetét, a nanorészecskék levegőbe jutásához vezethet, ami pedig a nanorészecskék bőrbe való behatolását, belélegzését vagy lenyelését eredményezheti. A mátrixban található nanoanyagok lecsiszoláskor nem feltétlenül szabadulnak fel elsődleges részecskékként, mivel a folyamat során létrejövő aeroszolok más részecskéin is

megkötődhetnek; e kötött nanoanyagok azonban belélegzéskor felszabadulhatnak az aeroszol-részecskékről, így jutva be a szervezetbe.

- **Nanoanyagok vagy nanoanyag-tartalmú termékek előállításához/feldolgozásához használt berendezés karbantartása:**
  - Nanoanyagokat szabadíthat fel – néhány esetben véletlenül – a bőrexpozíció, a belélegzés és a lenyelés lehetséges kockázatával.
- **Nanoanyagok befogására használt porgyűjtő rendszerek tisztítása:**
  - E művelet során a dolgozók nagy koncentrációjú, lerakódott vagy levegőben lebegő nanoanyagokkal érintkezhetnek, aminek nyomán bőrexpozíció, belélegzés és lenyelés történhet.
- **Kiömlött nanoanyagok feltakarítása:**
  - Ez a munkafolyamat bőrexpozíciót, belélegzést és lenyelést eredményezhet.
- **Nanoanyag-tartalmú hulladék szállítása és ártalmatlanítása:**
  - Ez a munkafolyamat bőrexpozíciót, belélegzést és lenyelést eredményezhet.

Emellett a nanoporok levegőben való diszperziója növeli a tűz- és robbanásveszélyt.

Az expozíció szintje nő, ha e munkafolyamatokat zárt térben (például tartályokban), megfelelő szabályozó intézkedések nélkül végzik.

### 3. Megelőzés

Az Európai Unió 89/391/EGK irányelve [5] szerint a munkáltatóknak rendszeres munkahelyi kockázatértékeléseket kell végezniük, és megfelelő megelőző intézkedéseket kell hozniuk. Ez a munkahelyen előforduló nanoanyagok potenciális kockázataira is vonatkozik. Továbbá a munkájuk során vegyi anyagokkal kapcsolatos kockázatoknak kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 98/24/EK irányelv [27] még ennél is szigorúbb előírásokat tartalmaz a munkahelyi anyagok kockázatainak kezeléséről, amelyek vonatkoznak a nanoanyagokra is, mivel ezek is beletartoznak az „anyag” fogalom meghatározásába. Ezenkívül, ha egy nanoanyag vagy ugyanazon összetétel makroskálán mért anyaga karcinogén vagy mutagén, akkor a munkájuk során rákkeltő anyagokkal és mutagénekkel kapcsolatos kockázatoknak kitett munkavállalók védelméről szóló 2004/37/EK irányelvnek [28] teljesülnie kell. A nemzeti jogszabályok esetenként szigorúbb előírásokat is tartalmazhatnak, ezeket ellenőrizni kell.

Mivel a nanoanyagok egyben anyagoknak is minősülnek, a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról szóló REACH-rendelet [29] és az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról szóló CLP-rendelet [30] egyformán relevánsak.

#### 3.1. Nehézségek a karbantartás során felmerülő nanoanyag-kockázatok megelőzése terén

A nanoanyagokkal kapcsolatos munkahelyi kockázatértékelés során általános nehézségek merülhetnek fel az alábbi, jelenleg még fennálló hiányosságok miatt:

1. a nanoanyagok veszélyes tulajdonságaival kapcsolatban egyelőre korlátozottak az ismeretek;
2. a nanoanyagok és a kibocsátási források azonosításához, illetve az expozíciós szintek méréséhez rendelkezésre álló módszerek és eszközök jelenleg korlátozottan állnak rendelkezésre; és
3. kevés információ áll rendelkezésre a nanoanyagok jelenlétére vonatkozóan, különösen olyan elegyekben vagy árucikkekben, illetve a felhasználói láncban lefelé, amelyekben/ahol nanoanyagokat vagy nanoanyagokat tartalmazó termékeket használnak vagy dolgoznak fel.

A biztonsági adatlapok (SDS), amelyek fontos információs eszközök a veszélyes anyagokkal járó kockázatok megelőzéséhez a munkahelyeken, általában kevés vagy semmi információt nem tartalmaznak a nanoanyagok jelenlétéről vagy azok jellemzőiről, a dolgozókat érintő kockázataikról és a megelőzésről [31–34]. Ez a beszállítói vagy alvállalkozói láncban lefelé haladva különösen sok problémát jelenthet. Például az építőipari dolgozók és alkalmazottak 75%-a nincs tisztában azzal,

hogy a munkahelyén nanotermékekkel kerülhet érintkezésbe [35]. A szervezeteknek ezért tanácsos közvetlenül a beszállítókhöz fordulniuk és tőlük további információkat kérniük. Segítséget jelenthetnek továbbá a kereskedelmi forgalomban lévő, nanoanyag-tartalmú termékeket tartalmazó adatbázisok is [36–38]. Ezen túlmenően a REACH-rendelet II. mellékletének változásai [39], a biztonsági adatlapokra vonatkozó jogi keret, illetve az Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA) biztonsági adatlapokra vonatkozó iránymutatásai – amelyek további tanácsokkal szolgálnak a nanoanyagok jellemzőinek kezeléséhez – várhatóan javítani fogják a biztonsági adatlapon található információk minőségét.

A 72. E-fact kiadvány (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) ismerteti a rendelkezésre álló iránymutatásokat és eszközöket, amelyek jelenleg a nanoanyagok kockázatainak kezelésére rendelkezésre állnak. A nanoanyagok kockázatainak kezelésével és a karbantartási munkákat végző dolgozók védelmével kapcsolatban azonban további nehézségek is felmerülhetnek.

Gyakori, hogy a karbantartási munkát alvállalkozók végzik. Ők gyakran dolgoznak számukra ismeretlen helyszíneken, és megfelelő tájékoztatás híján akár tudtukon kívül is érintkezhetnek nanoanyagokkal. A karbantartásra váró gépekben (pl. olyan gyártósorokon, ahol nanoanyagok vagy nanoanyag-tartalmú termékek használata vagy feldolgozása zajlik), berendezésekben (pl. extrakciós rendszerek) vagy épületekben (pl. nanoanyag-tartalmú festékekkel festett felületek) jelen lévő nanoanyagokkal kapcsolatos információk hiánya megnehezíti a kockázatok megfelelő értékelését és megelőzését. Ennek oka elsősorban a rosszul tervezett munkavégzés és munkaszervezés, valamint a gyenge kommunikáció az alvállalkozói láncban felfelé és lefelé.

A másik nehézséget az jelenti, hogy karbantartás során az üzemi körülmények gyakran a megszokottól eltérőek, a berendezések használata pedig nem rendeltetésszerű. Vannak olyan esetek, amikor a kockázatkezelési intézkedések a végzendő karbantartási munka miatt nem fogantatosíthatók: például amikor egy zárt rendszert kell kinyitni ahhoz, hogy a dolgozók bejuthassanak és el tudják végezni egy nanoanyagokat előállító vagy feldolgozó gép karbantartását, vagy amikor maga a technikai kockázatokat szabályozó eszköz karbantartása a feladat. A nanoanyagok miatti biztonsági és egészségügyi kockázatok megelőzésére vonatkozó iránymutatások általában normál működési körülményeket feltételeznek, de a dolgozók ilyen „rendellenes” működési körülmények melletti kitettségének mértéke a karbantartás alatt ettől jelentősen eltérhet. Ha a karbantartási munka során nincsenek megfelelő szabályozó intézkedések, akkor az a karbantartókat – sőt, adott esetben az ügyfél vállalatának dolgozóit is – veszélynek teszi ki.

A nanoanyagok miatt felmerülő esetleges potenciális foglalkozási kockázatokat a karbantartási munka ütemezése és (alvállalkozói) kivitelezése előtt megfelelően azonosítani, értékelni és közölni kell [41]. Fontos, hogy a karbantartási munkákat végző dolgozók megfelelő tájékoztatást kapjanak a karbantartás helyszínéről szolgáló munkahelyeken használt, kezelt vagy feldolgozott nanoanyagok jelenlétéről, jellemzőiről, lehetséges kockázatairól és a megfelelő megelőző intézkedésekről, illetve az egyéb munkahelyi veszélyekről. Szintén alapvető, hogy a dolgozók megfelelő képzésben részesüljenek, és megfelelő munkautasításokat kapjanak.

## 3.2. Megelőző intézkedések

A megelőző intézkedéseket a munkahelyi kockázatértékelés függvényében kell megválasztani; az intézkedéseknek követniük kell továbbá a szabályozó intézkedések hierarchiáját, amelyben prioritást élvez a kockázatok kiküszöbölése és helyettesítése; ezt követik a kockázat forrásánál alkalmazott technikai intézkedések, a szervezési intézkedések, végső lehetőségként pedig az egyéni védőeszközök. Ha a nanoanyagok kockázataival kapcsolatban bizonytalanság merülne fel, az expozíció elkerülését szolgáló megelőző intézkedések megválasztása során alapos körütekintéssel kell eljárni.

### 3.2.1 Kiküszöbölése és helyettesítés

A karbantartási munkát megrendelő vállalatnak fel kell tárnia a veszélyes nanoanyagok kiküszöbölésének vagy helyettesítésének lehetőségeit. Ha a karbantartásra olyan munkahelyeken kerül sor, ahol nanoanyagok előállítása történik vagy felhasználásukat specifikus nanotulajdonságaik indokolják, illetve ha a karbantartást meglévő, már eleve nanoanyag-tartalmú épületszerkezeteken végzik, a kiküszöbölés és a helyettesítés megoldásként nem jöhet szóba. A kívánt tulajdonságok és hatások, illetve az egészségügyi kockázatok közötti egyensúlyt azonban mindig szem előtt kell tartani, és a kiküszöbölést és helyettesítést alaposan mérlegelni kell. Veszélyes nanoanyagokat tartalmazó



termékek – például tisztításhoz vagy javításhoz való – felhasználása esetén kevésbé veszélyes alternatívákat is mérlegelni kell.

A levegőben adott esetben lebegővé váló (például por) nanoanyagok minden formáját oldott vagy folyékony formulákkal, granulátumokkal, pasztákkal vagy szilárd anyagokhoz kötött nanoanyagokkal kell helyettesíteni, a porok használatát pedig ahol csak lehet, kerülni kell.

A nanoanyag veszélyes viselkedésének mérséklése az anyag módosításával is elképzelhető, például úgy, ha porlékonysága, oldhatósága és egyéb tulajdonságai beállításához bevonatot kap.

A helyettesítés lehetőségeinek megállapítását speciális webalapú információs eszközök – például Stoffenmanager [42] vagy GISBAU [43] – is segítik.

### 3.2.2 Műszaki szabályozások

A nanoanyagok emisszióforrásánál műszaki megelőző intézkedéseket kell végrehajtani. Ezek közül a leghatásosabb, ha az emissziót lezárt rendszerekkel és berendezésekkel már a forrásnál sikerül visszatartani. Amennyiben a visszatartás nem kivitelezhető, a nanoanyagok befogásának másik hatásos módja az lehet, ha a forrásnál a helyi elszívőrendszereket nagy hatékonyságú szemcsés levegőszűrőkkel (HEPA) vagy ultraalacsony légbehatalású szűrőkkel (ULPA) kombinálják.

Bizonyos esetekben azonban előfordulhat, hogy a karbantartási munka éppen az ilyen műszaki szabályozórendszerek ellenőrzése és javítása, ezért a megelőző funkciójuk nem működőképes. Például, ha karbantartáskor a nanoanyagot előállító tartályt – ami általában egy zárt rendszer – ki kell nyitni, és ezért leállítják az elszívőrendszert, a karbantartást végző dolgozót csak az egyéni védőeszköze védi (lásd a 4.4. pontot).

Ilyenkor – például festék felületekről való eltávolításakor, ami szemcseképződést eredményez – a helyi (mobil) levegőelvonó rendszerek használata különösen nagy segítséget jelent a karbantartást végző dolgozók expozíció elleni védelmében. Egy helyi légelszívó rendszer részecske-befogadó hatékonysága ugyanis a nanoanyagok esetében legalább annyira jó, mint a szemcsés anyagok esetében. Mobil légelszívó eszközök használatakor a dolgozó légzési magassága nem lehet a nanoanyag emissziójának potenciális forrása és a légelszívó rendszer közötti levegőáramon belül.

A nanoanyag-expozíció szabályozásához használt szellőzőrendszert több szintű szűrővel kell ellátni, amelyek közül az utolsó egy HEPA- (H14) vagy ULPA-szűrő legyen. A nanorészecskék és aeroszolk esetében használt szűrőanyagok hatékonyságát mérő kutatások szerint a hagyományos üvegszál-szűrők és a mágnesként viselkedő electret szűrők sok esetben a nanorészecskék és aeroszolk esetében is hatékonyak.

Zárt terekben az extrahált levegőt friss levegőre kell cserélni.

### 3.2.3 Szervezési intézkedések

A szervezési intézkedések fontos szerepet játszanak a megelőzésben. A karbantartási helyszínek és tevékenységek sokfélesége miatt a megfelelő folyamattervezés és az egyéb szervezési intézkedések alapvető fontosságúak. Ezek többek között az alábbiak lehetnek:

- A karbantartási munka elvégzésére egy olyan konkrét terület kijelölése, ahol a nanoanyagok az karbantartó szerekből vagy a karbantartásra váró berendezésekből felszabadulhatnak. E munkaterületeket más munkahelyektől elszigetelve és leválasztva, egyértelmű jelzéssel kell ellátni.
- A potenciálisan veszélyeztetett dolgozók számának és a nanoanyag-expozíció időtartamának minimalizálása.
- Jogosulatlan személyzet belépésének megtiltása a karbantartási tevékenységek helyszínén, jelzés kihelyezésével vagy a terület kordonnal való lezárásával.
- A nanoanyagok használatára vagy kezelésére szolgáló munkaterületek rendszeres takarítása (nedves törlés).
- A levegő koncentrációjának folyamatos figyelése, pl. a háttérszintekkel összehasonlítva azokban az időszakokban, amikor nanoanyagokkal való munkavégzés nem zajlik.

Mivel jelenleg nincs egységes megközelítés a nanoanyagokhoz kapcsolódó munkahelyek vagy azokat tartalmazó tartályok biztonsági jelzésére és címkézésére vonatkozóan, javasolt szigorú megközelítést alkalmazni, mégpedig az anyagok és keverékek osztályozására, címkézésére és csomagolására vonatkozó uniós rendelet (CLP) [30] szerinti meglévő, kockázatra és biztonságra vonatkozó mondatok



és figyelmeztető jelzések használatával, hogy megfelelő, releváns és specifikus információkkal szolgáljanak a tényleges és potenciális egészségügyi és biztonsági kockázatokról, amelyek a nanoanyagok használatával és kezelésével függnek össze.

A karbantartási folyamatok során be kell tartani néhány általános alapelvet, amelyek a nanoanyagok használatától függetlenül érvényesek:

- A karbantartás megtervezésének alapja mindig egy kockázatértékelés, és figyelembe kell venni a dolgozó érintettségét is. Ha a karbantartás olyan munkahelyeken történik, ahol ismeretlen toxicitású és viselkedésű nanoanyagokkal dolgoznak, akkor ezeket figyelembe kell venni. A kockázatkezelésben nem csupán az ismert kockázatokat kell prioritásként kezelni, hanem a nanoanyagok értékelését és kezelését is azokon a munkahelyeken, ahol a veszély- és expozíciós információk hiányoznak, nem teljesek vagy bizonytalanok.
- Kerülni kell a rövid határidő miatti nyomást, azaz a karbantartási munka elvégzésére és vállalására elegendő időt kell tervezni.
- Megfelelő képzés nyújtásával biztosítani kell, hogy a karbantartást végző dolgozók rendelkezzenek a munka biztonságos elvégzéséhez szükséges képességekkel és tudással, és hogy védekezhessenek a nanoanyagok felszabadulásából eredő expozíció ellen.
- Minden karbantartást végző dolgozó számára biztosítani kell a karbantartással kapcsolatos utasításokat és információkat, különösen akkor, ha kizárólag erre a feladatra kötnek velük szerződést és/vagy ha általában nem járatosak a vegyi anyagokkal – és különösen a nanoanyagokkal – kapcsolatos kockázatok terén. Ezeket az információkat dokumentálni is kell a munkahelyi utasításokban.
- A nanoanyagokkal járó kockázatok megelőzése érdekében óvintézkedéseket kell tenni; az előírt intézkedéseket a prevenció intézkedések hierarchiája szerint végre kell hajtani, így csökkentve a nanoanyagok felszabadulását.
- A karbantartás befejezése után a munkahelyet meg kell tisztítani és a teljes karbantartási folyamatot dokumentálni kell.

A karbantartás közben veszélyes nanoanyagoknak kitett dolgozóknak egészségügyi felügyeleti programokban kell részt venniük, az expozíciós helyzetek részletes dokumentálásával.

### 3.2.4 Egyéni védőeszközök

Ha az expozíció a fenti intézkedésekkel nem csökkenthető elég hatékonyan, végső lehetőségként egyéni védőeszközökre van szükség. Ha a kockázatértékelés szerint egyéni védőeszközök igénybevétele indokolt, akkor egy erre vonatkozó programot kell kidolgozni. Egy jó egyéni védőeszköz-program az alábbiakat tartalmazza: a megfelelő egyéni védőeszköz kiválasztása és kialakítása, karbantartása, illetve a használatával kapcsolatos képzés.

A nanoanyagok elleni védőeszközökkel kapcsolatos ajánlások – az adott expozíció típusától, valamint a bőrexpozíciótól függően – jelenleg megegyeznek a porok és aeroszolok expozíciójának megelőzéséről szóló ajánlásokkal [44]. Ezeket a védelmi intézkedéseket a nanoanyagok esetében is egyformán hatékonynak tekintik.

Az egyéni védőeszköz viselőjének munkavégzési sebességét és orvosi alkalmasságát ki kell értékelni, hogy megállapítható legyen, hogy az egyéni védőeszköz megfelelő szintű védelmet biztosít-e és megfelelően használható-e. Az egyéni védőeszközökön végzett vizsgálatokkal meg kell győződni arról, hogy viselőjük képes-e biztonságosan végezni munkáját az egyéni védőeszközökkel, és hogy van-e lehetősége szükség szerint más felszerelést (pl. szemüveget) vagy eszközt is használni egyidejűleg. Fontos, hogy az egyéni védőeszköz által nyújtott védelem szintje többféle hasonló eszköz egyidejű viselése esetén gyengülhet. Az egyéni védőeszköz hatékonyságát a nanoanyagokon kívül egyéb veszélyek is befolyásolhatják és csökkenthetik. Ezért az egyéni védőeszköz kiválasztása során minden munkahelyi veszélyt szem előtt kell tartani. Valamennyi egyéni védőeszközön szerepelnie kell a CE-jelzésnek, és azokat a gyártó utasításainak módosítása nélkül, rendeltetésszerűen kell viselni/használni.

Előfordulhat, hogy a karbantartást végző dolgozónak olyan egyéni védőeszközt kell viselniük, amelyet a karbantartás helyszínénél szolgáló munkahelyen normális üzemi feltételek mellett nem kellene viselni. Ilyen eset például, ha egy nanoanyagot tartalmazó festékkeverő tartály fedele nyitva van; ekkor a dolgozónak a nanoanyagok belégzésének megakadályozása érdekében külső

levegőtáplálású légzőkészüléket kell viselnie. Normál üzemi működés során a tartály fedele zárva van, ezért nincs szükség lélegeztető védőeszközre.

### ▪ Légzésvédelem

Ha a levegőben lebegő nanoanyagok expozíciója a korábban, a 4.1. – 4.3. fejezetekben említett megelőző intézkedésekkel nem kerülhető el, akkor ilyen expozíciós helyzetekben a megfelelő légzésvédelem alkalmazása javasolt. E védelem eszközei lehetnek: fél vagy teljes arcot fedő maszkok P3/FFP3 vagy P2/FFP2 szűrőkkel, részecskeszűrő eszközök levegőbefúvóval és sisakkal (TH2P vagy MH3P), vagy részecskeszűrő eszközök levegőbefúvóval és fél vagy teljes arcot takaró maszkokkal (TM2P és TM3P)<sup>(2)</sup> [45].

A nanoanyagokkal szemben a rostos szűrőbetéttel ellátott HEPA-szűrők, légzőpatronok és maszkok tekinthetők hatékonyak.

A légzésvédelmi eszköz (RPD) kiválasztása az alábbiaktól függ:

- a levegőben lebegő nanoanyag típusa, mérete és koncentrációja;
- a légzésvédelmi eszköz védelmi faktora (amely tartalmazza a szűrés hatékonyságát és az arc-tömítés illeszkedését); valamint
- a munkakörülmények.

A légzésvédelmi eszköz értékelése során a légzőkészülék és a szűrők szűrési hatékonysága az egyik legfontosabb tényező. Más tényezők – hogy mennyire jól illeszkedik viselőjének arcához, milyen hosszú ideig viselik, vagy megfelelően karban van-e tartva – szintén befolyásolhatják az expozíció csökkentését. A fél arcot takaró maszkba épített szűrő esetében fontos, hogy ha az arc és a maszk között nem megfelelő a tömítés, akkor az kiemelt kockázati tényezőt jelent [44]. Az expozíció csökkentésének mértékét mindig a szűrő hatékonysága és a légzőkészülék használati tulajdonságainak ötvözte adja, ezt az EU néhány tagállamában használatos ún. légzőkészülék faktor fejezi ki.

Olyan esetekben, amikor a légzésvédő a szemeket nem takarja, szemvédelmet is kell alkalmazni (szorosan illeszkedő biztonsági szemüveg viselése).

### ▪ Védőruházat

A szőtt anyagokkal szemben előnyben kell részesíteni a nem szőtt textíliákat (légzáró anyagok), például a nagysűrűségű polietilént (jellemzői az alacsony porretenció és porkibocsátás). A pamutból készült védőruházat használata nem javasolt [44].

Többször használható védőruházat – például kezeslábas – használata esetén annak rendszeres mosását és a másodlagos expozíció megakadályozását előírásban kell rögzíteni. Ugyancsak előírásban kell meghatározni, hogy a tiszta kezeslábasok és védőkabátok felvétele, illetve a használtak levétele során kerülni kell más személyek, vagy általában a munkahely szennyeződését.

### ▪ Kesztyű

A kesztyű különösen fontos a karbantartási munka során, mivel a dolgozók gyakran kerülnek közvetlen kapcsolatba nanoanyagokkal, akár a használt vegyszerek útján, akár a karbantartásra váró berendezésekből és anyagokból. Mint általában a vegyszereknél, a védőanyagok hatékonysága a nanoanyagok jellemzőitől függ. A beszállítók nanoanyagokra vonatkozó – pl. a biztonsági adatlapokon szereplő – ajánlásait szem előtt kell tartani. Titán-dioxid- és platinarészecskék esetében a vizsgálatok a nitrilt, a latexet és a neoprént találták hatékonyaknak [44]. A kesztyű anyagának vastagsága fontos tényező a nanoanyag diffúziós sebességének meghatározásakor. Ezért egyszerre két pár kesztyű használata javasolt [46].

Ez azonban folyadékok vagy kolloidok kezelése esetén nem determinálja előzetesen a kesztyű hatékonyságát. Egy kesztyű konkrét nanoanyaggal szembeni hatékonysága attól függ, hogy az anyag milyen formában (porok, folyadékok stb.) fordul elő a munkahelyen; e hatékonyságról a kesztyű beszállítójától tájékoztatást kell kérni.

<sup>2</sup> A vizsgálatok szerint a kálium-klorid nanorészecskék esetén a P2 szűrők penetrációja 0,2%, a P3 szűrőké pedig 0,011% részecske. A különböző méretű grafitrészecskékkel végzett tesztek maximum 8% penetrációt mutattak. Ez a P3 szűrőknél nagyobb védelmet jelent, de az eredményekből nem lehet általános következtetést levonni az összes nanorészecskére vonatkozóan (lásd [45]).

### 3.3. Robbanás és/vagy tűz megakadályozása

A por formájában előforduló nanoanyagok kis méretük miatt robbanásveszélyt jelenthetnek, ugyanakkor durva szemcsés formában ez nem feltétlenül igaz <sup>(3)</sup> [47]. Ezért nanoporok kezelése és képződése során – beleértve a nanoanyagokat tartalmazó anyagok őrlését, csiszolását vagy fényezését – óvatosan kell eljárni.

A por formában előforduló nanoanyagokra alapvetően ugyanazok a megelőző intézkedések vonatkoznak, mint minden más robbanékony és tűzveszélyes durva anyagra és robbanékony porfelhőre, emellett be kell tartani a robbanásveszélyes légkör kockázatának kitett munkavállalók biztonságának és egészségvédelmének javítására vonatkozó minimumkövetelményekről szóló 99/92/EK irányelv előírásait is. Ezek az előírások a következők:

- Az ilyen anyagokkal végzett tevékenységeket, ha lehetséges, kizárólag az erre kijelölt Ex-zónákban, inert légkörben kell végezni.
- Az anyagokat a munkahely padlózatának nedvesítésével kell oldani (porképződés megelőzése).
- A kis gyújtófeszültségű berendezéseket és egyéb gyújtóforrásokat vagy az elektrosztatikus feltöltődést elősegítő körülményeket meg kell szüntetni a munkahelyen; helyette, amikor lehetséges, eleve biztonságos berendezéseket (alacsony áramerősségű és feszültségű jeladó és vezérlő rendszerek) kell használni.
- A porréteget nedves felmosóval el kell távolítani.
- A munkahelyen minimalizálni kell a tűz- és robbanásveszélyes anyagok tárolását. Antisztatikus tasakok is használhatók.

### 3.4. A megelőző intézkedések hatékonyságának ellenőrzése

A kockázatértékelést rendszeresen felül kell vizsgálni, a kockázatkezelési intézkedések kiválasztását és végrehajtását pedig hatékonyságuk tekintetében rendszeres ellenőrzés alá kell vonni. Ez azt jelenti, hogy biztosítani kell a védőberendezések megfelelő működését, azaz például meg kell tisztítani a munkapadokat vagy a lamináris áramlású fülkéket, és a szellőzőberendezéseket és azok szűrőrendszereit rendszeresen át kell vizsgálni. Továbbá ellenőrizni kell az egyéni védőeszközök alkalmasságát, és szükség esetén a módosításokat megtenni.

A kockázatcsökkentő intézkedés hatékonysága továbbá a levegő nanoanyag-koncentrációjának megelőző intézkedések előtti és utáni elemzésével is értékelhető. A kockázatkezelési intézkedések megtételekor mért expozíciós szintek nem térhetnek el jelentősen a mesterségesen előállított nanoanyagtól mentes körülmények között mért háttérkoncentrációtól. Ezeken kívül egyéb közvetett, a műszaki megelőző intézkedések hatékonyságára vonatkozó mérések is alkalmazhatók (pl. füsttesztek és/vagy a kontrollsebességek mérése).

A nanoanyagokra vonatkozó foglalkozási expozíciós határértékek <sup>(4)</sup> [48] meghatározása a közeljövőben várható; addig azonban a munkahelyi kockázatkezelés elsődleges célja az expozíció minimalizálása kell, hogy legyen, ezért a foglalkozási expozíciós határértékek betartása nem elegendő.

## Szakirodalom

1. A Bizottság 2011. október 18-i ajánlása a nanoanyag fogalmának meghatározásáról, HL L 275., 38–40. o. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:HU:PDF>
2. Az Egyesült Államok munkavédelmi kutatóintézete (NIOSH): *Approaches to Safe Nanotechnology — Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered*

<sup>(3)</sup> A legtöbb szerves és sok fémpor robbanékonyasága a részecskeméret csökkenésével nő. A jelek szerint az 500 µm az a felső részecskeméret-határ, ahol robbanékony porfelhő alakul ki. Jelenleg nincs olyan mérethatár meghatározva, amely alatt a porrobbanás kizárható (lásd [47]).

<sup>(4)</sup> Lásd például Hollandia Szociális és Gazdasági Tanácsának (SER) *Provisional nano reference values for engineered nanomaterials*, 2012 [Mesterséges nanoanyagok előírt referenciaértékei], és a *Nanowerk* [42], *SAFENANO team complete BSI British Standards guide to safe handling of nanomaterials*, 2012 [Nanowerk (2012), SAFENANO csapat teljes BSI Brit Standard Útmutató a nanoanyagok biztonságos kezeléséhez] című kiadványát.



- Nanomaterials*, Egészségügyi Minisztérium, Betegségmegelőzési és járványvédelmi központ, 2009-125. sz., 2009.
3. A nanoanyagok típusairól és alkalmazásáról szóló, biztonsági szempontokat is vizsgáló bizottsági szolgálati munkadokumentum, amely a következő dokumentumot kíséri: A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak és az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak: a nanoanyagokra vonatkozó második szabályozásbeli áttekintés (SWD(2012) 288 végleges, Brüsszel, 2012. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
  4. Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA): *Workplace Exposure to Nanoparticles*, European Risk Observatory, szakirodalmi áttekintés, 2009. Elérhető: [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. A Tanács 89/391/EGK irányelve (1989. június 12.) a munkavállalók munkahelyi biztonságának és egészségvédelmének javítását ösztönző intézkedések bevezetéséről, HL L 183., 1989.6.29. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:HU:NOT>
  6. Senjen, R.: *Nanomaterials – Health and Environmental Concerns* in: *Nanotechnologies in the 21<sup>st</sup> century*, Európai Környezetvédelmi Hivatal, 2. kiadás, 2009. július. Elérhető: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>
  7. Nanowerk: *Introduction to Nanotechnology*, 2012. Elérhető: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction\\_to\\_nanotechnology\\_1.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php) (letöltve: 2012. október 19.)
  8. ENRHES projekt: *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Elérhető: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report> (letöltve: 2013. április 29.)
  9. Új és újonnan azonosított egészségügyi kockázatok tudományos bizottsága (SCENIHR): *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*, 2012. Elérhető: [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)
  10. Bundesministerium für Gesundheit (BMG, Austrian Ministry of Health), *Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien - Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte* Bécs, 2010. Elérhető: [http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg\\_nanosilber\\_fassung\\_veroeffentlichung\\_final\\_mit\\_deckblaetter1.pdf](http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter1.pdf)
  11. A nanoanyagok típusairól és alkalmazásáról szóló, biztonsági szempontokat is vizsgáló bizottsági szolgálati munkadokumentum, amely a következő dokumentumot kíséri: A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak és az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak: a nanoanyagokra vonatkozó második szabályozásbeli áttekintés (SWD(2012) 288 végleges, Brüsszel, 2012. október 3. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:HU:PDF>
  12. 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. Elérhető: [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)
  13. Haase, A., Rott, S., Mantion, 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” in: *Toxicology Science*, 2012, 126(2): 457–468.o.
  14. Egészségügyi Világszervezet (WHO): *Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc*, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 93, 2010. Elérhető: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>
  15. Egyesült Államok munkavédelmi kutatóintézete (NIOSH): „Occupational exposure to titanium dioxide” in: *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Elérhető: <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” in: *Particle and Fibre Toxicology*, 2010, 7: 39. o.

17. Lauterwasser, C.: *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, Report of Allianz Center for Technology & OECD, dátum nélkül. Elérhető: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
18. Murashov, V.: „Occupational exposure to nanomedical applications” in: *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 2009, 1: 203–213. o.
19. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T.: *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively*, Az Amerikai Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége, Jelentés sz.: 12-P-0162, 2011. Elérhető: <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” in: *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): 586–595. o.
21. Az Egyesült Államok munkavédelmi kutatóintézete (NIOSH): *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Egészségügyi Minisztérium, 2012–147. sz., 2012.
22. Elvin, G.: *Nanotechnology for Green Building*, Zöld Technológiai Fórum, 2007. Elérhető: [http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano\\_Green\\_Building55ex.pdf](http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf)
23. Felelős Nanofórum: *Nano Products - Where and How Nanotechnologies are Used Now*, dátum nélkül. Elérhető: <http://www.nanoandme.org/nano-products/> (letöltve: 2012. október 19.).
24. Az Egyesült Államok nanotechnológiáért felelős legfőbb ellenőrző intézménye (GAO): *Improved Performance Information Needed for Environmental, Health, and Safety Research* (2012). Elérhető: <http://www.gao.gov/assets/600/591007.pdf> (letöltve: 2012. október 19.).
25. NANO Kutatóközpont: *Coatings, Adhesives and Sealants for the Transport Industry*, 2010. Elérhető: [http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB\\_coating\\_adhesives\\_sealants\\_transport\\_final.pdf](http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf) (letöltve: 2012. október 19.).
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” in: *Particle and Fibre Toxicology*, 2011, 8: 16. o.
27. A Tanács 98/24/EK irányelve (1998. április 7.) a munkájuk során vegyi anyagokkal kapcsolatos kockázatoknak kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről (tizennegyedik egyedi irányelv a 89/391/EGK irányelv 16. cikkének (1) bekezdése értelmében), HL L 131., 1998. május 5. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:HU:PDF>
28. Az Európai Parlament és a Tanács 2004/37/EK irányelve (2004. április 29.) a munkájuk során rákkeltő anyagokkal és mutagénekkel kapcsolatos kockázatoknak kitett munkavállalók védelméről (hatodik egyedi irányelv a 89/391/EGK tanácsi irányelv 16. cikkének (1) bekezdése értelmében), HL L 158., 2004. április 30. Elérhető: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R\(01\):HU:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R(01):HU:NOT)
29. Az Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK rendelete (2006. december 18.) a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról (REACH), az Európai Vegyianyag-ügynökség létrehozásáról, az 1999/45/EK irányelv módosításáról, valamint a 793/93/EGK tanácsi rendelet, az 1488/94/EK bizottsági rendelet, a 76/769/EGK tanácsi irányelv, a 91/155/EGK, a 93/67/EGK, a 93/105/EK és a 2000/21/EK bizottsági irányelv hatályaon kívül helyezéséről, HL L 396., 2006. december 30. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:HU:NOT>
30. Az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK rendelete (2008. december 16.) az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról, a 67/548/EGK és az 1999/45/EK irányelv módosításáról és hatályaon kívül helyezéséről, valamint az 1907/2006/EK rendelet módosításáról (CLP-rendelet), HL L 353., 2008. december 31. Elérhető: <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, Miniszterek Északi Tanácsa, Kopenhagen, 2007.

- Elérhető: [http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at\\_download/publicationfile](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*, megjelentetve és terjesztve a Nano4All-ban, 2008. október 15.
  33. Osztrák Központi Munkafelügyelet (ACLI): *Use of Nano at the Workplace*, 2009. Elérhető: [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)
  34. SafeWork Australia: *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials*, 2010. Elérhető: <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 – Executive Summary*, Építő- és Faipari Munkások Európai Szövetsége (EFBWW), Európai Építőipari Szövetség (FIEC), Amszterdam, 2009. Elérhető: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20GB%20Summary.pdf>
  36. Az Európai Fogyasztók Szervezete (ANEC/BEUC): *Inventory of Products Claiming to Contain Nano-silver Particles Available on the EU Market*, 2012. Elérhető: <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (letöltve: 2012. október 19.).
  37. Nemzeti Gyógyszerkönyvtár, Fogyasztói Termékinformációs Adatbázis: *The Household Products Database*, 2011. Elérhető: <http://hpd.nlm.nih.gov/about.htm> (letöltve: 2012. október 19.).
  38. A nanoanyagok típusairól és alkalmazásáról szóló, biztonsági szempontokat is vizsgáló bizottsági szolgálati munkadokumentum, amely a következő dokumentumot kíséri: A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak és az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak: a nanoanyagokra vonatkozó második szabályozásbeli áttekintés (SWD(2012) 288 végleges, 2012. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:HU:PDF>
  39. A Bizottság 453/2010/EU rendelete (2010. május 20.) a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról (REACH) szóló 1907/2006/EK rendelet módosításáról, HL L 133., 2010. május 31.
  40. Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA): *Guidance on the Compliance of Safety Data Sheets*, 2011. december. Elérhető: [http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds\\_en.pdf](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: 3062–3068. o.
  42. Holland Szociális és Munkaügyi Minisztérium, *Stoffenmanager 4.5*, dátum nélkül. Elérhető: <https://www.stoffenmanager.nl/> (holland, angol és finn) (letöltve: 2012. december 3.)
  43. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), *Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU - GISBAU* [A BG-BAU veszélyes anyagokról szóló információs rendszere]. Elérhető: <http://www.gisbau.de/index.html> (accessed 3 December 2012).
  44. 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. Elérhető: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1\\_s.pdf](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 [Nanoanyagok biztonságos alkalmazása a festő iparágban – iránymutatás], *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Elérhető: [www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de)
  46. Klenke, M.: *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*, DR-331 200810-6, Nanosafe2, 2008. Elérhető: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf)
  47. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben* [Robbanásvédelem: Nanoporok esetében szükséges műveletek], dátum nélkül. Elérhető: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (letöltve: 2012. december 3.).



48. Technológiai Intézet (OAWITA): *Assessment of the Austrian Academy of Science*, 2010.  
Elérhető: <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016en.pdf> (letöltve: 2011. június 10.)

## További olvasmányok

- Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA) online esetvizsgálati adatbázisa, 2012. Elérhető: [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) (letöltve: 2012. július 23.)
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomaterialien—Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz*, Hauptvorstand, 2011. Elérhető: <http://www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf>
- Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA): *Safe Maintenance in Practice* [Biztonságos karbantartás a gyakorlatban], 2010. Elérhető: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>
- Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA), 12. magazin – Egészséges munkahelyek. Európai kampány a biztonságos karbantartásról, 2011. Elérhető: <http://osha.europa.eu/en/publications/magazine/12/view>
- Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség (EU-OSHA): Biztonságos karbantartás – Tájékoztató munkáltatóknak. A munkavállalók biztonsága költségmegtakarítást is jelent, E-facts 89. szám, 2011. Elérhető: <https://osha.europa.eu/hu/publications/factsheets/89>
- Health and Safety Executive (HSE), *Risk Management of Carbon Nanotubes*, Crown, 2009. Elérhető: [www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf](http://www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf) (letöltve).