

NANOANYAGOK AZ EGÉSZSÉGÜGYI SZÉKTORBAN: FOGLALKOZÁSI KOCKÁZATOK ÉS MEGELŐZÉS

A nanotechnológia területe gyorsan fejlődik, a nanoanyagok használata pedig egyre gyakoribb. Sok más iparághoz hasonlóan az egészségügyi szektorra is egyre nagyobb hatást gyakorol a nanotechnológia, és munkájuk során ez fokozódó kockázatot jelent a nanoanyagokkal érintkező dolgozókra. Az egészségügyi alkalmazásokban a nanotechnológia és a nanoanyagok sokféle előnnyel járnak, például a miniatürizálási technikákat és módszereket kémiai szintézissel és a molekuláris összetétel szabályozásával ötvözték, ezzel biztosítva izgalmas lehetőségeket a betegségek megelőzése, diagnosztizálása és kezelése terén. Azonban a jelenleg is zajló kutatások ellenére a nanotechnológia fejlődése gyorsabb, mint amilyen ütemben a nanoanyagok egészségügyi és biztonsági szempontjaival 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 az egészségügyi dolgozók miként kerülhetnek kapcsolatba a nanoanyagokkal a munkahelyükön a mindennapi munkavégzés során. A kiadvány információkkal szolgál továbbá a potenciális expozíció megelőzésének lehetséges lépéseire.

1. Bevezetés

1.1. Az egészségügyi szektor

Az Európai Unióban dolgozó munkavállalók jelentős részét foglalkoztatja az egészségügyi szektor. Az Európai Unió Egészségügyi Munkaerőre vonatkozó Akcióterve szerint [1] a szektoron belüli munkalehetőségek az idősödő népesség és az ebből adódó egészségügyi ellátási igények növekedése miatt folyamatosan bővülnek.

Az egészségügyi szektor közvetlen vagy közvetett módon különböző típusú egészségügyi szolgáltatásokat, így diagnosztikát, kezelést és megelőző ápolást nyújtó vállalkozásokból és közintézményekből áll. Az egészségügyi szolgáltatások többféle helyszínen érhetők el, így például kórházakban, fogorvosi rendelőkben, mobil sürgősségi egészségügyi ellátásként, sőt akár otthon is. Ez az e-tájékoztató elsősorban azokkal a személyekkel foglalkozik, akik közvetlenül nyújtanak egészségügyi szolgáltatásokat (pl. orvosok, ápolók vagy gyógyszerészek), valamint olyan dolgozókkal, akik szorosan kapcsolódnak az egészségügyi szektorhoz, így például laboratóriumi dolgozókkal vagy a takarító személyzettel. Az adminisztratív dolgozókra vagy az orvosi berendezéseket gyártó dolgozókra ez az e-tájékoztató nem terjed ki, így nem is szerepelnek benne.



Szerző: Raya Gergovska

1.2. Mi az a nanoanyag?

A nanoanyagok olyan részecskéket tartalmaznak, amelyeknek egy vagy több mérete 1 és 100 nm közötti ⁽¹⁾, 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 az egészségügyi szektoron belül.

Noha a nanoanyagok agglomerátumokat vagy aggregátumokat alkothatnak, amelyek nagyobbak lehetnek 100 nm-nél, ezek képesek lebomlani és nanoanyagokat szabadíthatnak fel. Ezért a nanoanyagok kockázatértékelésében ezeket az agglomerátumokat/aggregátumokat is számításba kell venni [3, 4].

A nanoanyagok nagy részét azért gyártják és forgalmazzák, mert specifikus tulajdonságokkal és viselkedéssel rendelkeznek, elsősorban kis méretükből fakadóan – aminek köszönhetően felületük sokszorosan nagyobb –, illetve egyéb jellemzőik, például a módosított (bevont) felületek vagy különleges morfológia (részecskealak) miatt. Ez az e-tájékoztató csak az egészségügyi szektorban megtalálható mesterséges nanoanyagokra összpontosít, és nem tartalmazza azokat, amelyek emberi tevékenységek nem szándékolt következményeként jönnek létre, mint például a dízelmotorok kipufogógázaiiban található nanorészecskék.

2. Nanoanyagok az egészségügyi szektorban

Amint bekerülnek a szervezetbe, a nanoanyagok a vérerekbe bejutva és azokból kilépve, a sejtekbe bejutva és a biomolekulákkal kölcsönhatásba lépve a sejt felszínén és a sejten belül egyaránt az emberi test számos területét érintve vándorolnak [5]. E képességük eredményeként az egészségügyi nanoanyagok újszerű módon használhatók fel a betegségek kimutatásában, a kezelések végzésében és a megelőzésben is.

A nanoanyagok használatának legfontosabb terápiás előnyei a következők: oldhatóság (az egyébként oldhatatlan gyógyszerek esetén), hidrofób entitások hordozása, multifunkcionális képesség, aktív és passzív célzás, ligandumok (méretkizárás) és kisebb toxicitás [6]. Továbbá specifikus tulajdonságaik miatt a nanoanyagokat diagnosztikai eszközökben, képalkotó anyagokban és módszerekben, valamint implantátumokhoz és szövetekből felépülő struktúrákban is használják.

A nanoanyagok tulajdonságai és viselkedése ezért lehetővé teszi az olyan betegségek diagnosztizálását, monitorozását, kezelését és megelőzését, mint a szív- és érrendszeri betegségek, a rák, az izom- és vázrendszeri és gyulladásos állapotok, a neurodegeneratív és pszichiátriai betegségek, a cukorbetegség és a fertőző betegségek [pl. bakteriális és vírusfertőzések, mint amilyen a HIV (humán immundeficiencia vírus)] [7].

Az 1. táblázat részletesen ismerteti néhányat az egészségügyi szektorban már használatos nanoanyagok közül.

⁽¹⁾ 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. táblázat: A nanoanyagok főbb típusai az egészségügyi alkalmazási területeken

Nanoanyag típusa	Egészségügyi felhasználás
Fémes részecskék (pl.: vas(III)-oxid, arany vagy ezüst)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hipertermia rákkezelés ▪ Szelektív mágneses bioszeparációk ▪ Antitestekből készült bevonat sejtspecifikus antigénekhez, a körülvevő mátrixtól való elválasztáshoz ▪ Membrántranszport-vizsgálatok ▪ Gyógyszerszállítás ▪ Mágneses rezonanciás képalkotás kontrasztanyaga
Ezüst nanorészecskék	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antimikrobiális szer ▪ Az orvosi eszközök széles körében megtalálhatók, beleértve a csontcementet, a sebészeti műszereket és a sebészi maszkokat
Arany héj nanorészecskék	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Javítják a gyógyszerek oldhatóságát ▪ További konjugációt tesznek lehetővé
Szén-nanoanyagok [fullerének és szén nanocsövek (CNT-k)]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A „buckyball” (focilabda alakú, 60 szénatomból álló szerkezet) gyógyszerszállító rendszerekben használatos az optimális transzport és a gyógyszer szerkezeten belüli célba juttatásának támogatásához [5]. ▪ Bevonatok protézisekhez és sebészeti implantátumokhoz ▪ Funkcionalizált CNT-k: <ul style="list-style-type: none"> ○ terápiás szállításhoz ○ orvosi biológiai alkalmazásokhoz, például érstentekhez és idegsejt-növekedéshez, valamint regenerációhoz ○ génterápia, mivel a DNS alkotóeleme nanocsőhöz köthető
Kvantumpontok	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Több biomolekula megjelölése a komplex sejtváltozások és betegségekhez társuló események figyelésére ▪ Optikai technológia [8] ▪ Betegségdiagnosztizálási és szűrési technológiák
Dendrimerek	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Polimerizált makromolekulák – szerteágazó struktúrák, ahol a belső nanoüregek vagy csatornák tulajdonságai eltérnek a külsőtől ▪ Különböző gyógyszerek hordozóiként használatosak (pl. rákellenes, vírusellenes, baktériumellenes stb.), és javítják a rosszul oldódó gyógyszerek oldhatóságát és biológiai hasznosíthatóságát.
Lipidalapú nanorészecskék	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Képesek egyesülni a sejtmembránnal és molekulákat szállítani a sejtek belsejébe
Kerámia nanorészecskék	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gyógyszerszállító anyagként használt szervesetlen rendszerek (ha porózus és biokompatibilis); kozmetikai alkalmazás (cink-oxid, titán-dioxid)
Nanocsövek, nanovezetékek, mágneses nanorészecskék	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betegségdiagnosztizálási és szűrési technológiák, beleértve a „laboratórium chipen” lehetőséget [8]

Az összeállítás különféle források szerzőitől származik [5, 6, 8-11].

Egy orvosi eszköz vagy gyógyszer feltalálásától a klinikai alkalmazásáig eltelt idő rendkívül hosszú. Azonban már jelenleg is fejlesztés alatt állnak bizonyos nanotechnológiai alkalmazások, amelyek rövidesen elérhetőek lesznek. Ezek többek között az orvosi képzés fejlesztésére [5], a szubkután chip alkalmazására (amelyek folyamatosan figyelik a fontos paramétereket, beleértve a pulzust, a testhőmérsékletet és a vércukorszintet) [5], illetve a patogénnövekedés és -átvitel minimálisra csökkentésére [8] irányulnak.

3. A nanoanyagok veszélyei az egészségügyi dolgozók számára

Noha az egészségügyi szektorban a nanoanyagok alkalmazása számos előnnyel járhat a betegek számára, az egészségügyi dolgozókra nézve új kockázatokat rejthetnek magukban.

Még mindig nincs elegendő ismeretünk a mesterséges nanoanyagok toxicitására vonatkozóan, és ez megnehezíti a kockázatértékelések elvégzését (lásd a 72. e-tájékoztatót a nanoanyagok kockázatkezelésének eszközeiről, amely itt érhető el: (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures/view>)). A legnagyobb kihívást azon lehetséges veszélyek megértése jelenti, amelyekkel az egészségügyi dolgozók a mesterséges nanoanyagokkal vagy nanoeszközökkel végzett munkájuk során találkozhatnak. Ezen anyagok egyedi tulajdonságai miatt – amely elsősorban a kis méretükkel, de a részecske alakjával, kémiai természetével, felszíni állapotával (pl. felszín területe, felületi funkcionalitás, felületi kezelés) és az aggregáció/agglomeráció állapotával is kapcsolatban van [8, 12] – az emberi szervezettel létrejövő kölcsönhatásuk és az ebből eredő egészségügyi hatásai a nanoskálán várhatóan eltérnek az azonos összetételű azonos anyagok makroskálán mérhető hatásaitól. Ez pedig aggodalomra ad okot a nanoanyagok foglalkozási expozícióból eredő egészségügyi hatásai tekintetében.

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 – akár az erősebben kötött aggregátumokból is. A kutatók jelenleg is vizsgálják, hogy az ilyen agglomerátumok vagy aggregátumok belélegzése után ugyanez a tüdőfolyadékban is lejátszódhat-e [8, 12]. A munkahelyi kockázatértékelésnek ezért a nanoanyagokat tartalmazó agglomerátumokra és 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 [13]. A nanoanyagok bioakkumulációjának, valamint a sejtekből és a szervekből való kiürülésük mechanizmusának kérdése azonban továbbra is válaszra 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 [14].

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 [8, 12].

A nanoanyagok sokféleképpen bejuthatnak az emberi szervezetbe, és ezek mind foglalkozás-egészségügyi veszélyforrásokat jelentenek:

- A munkahelyen a levegőben szálló nanorészecskék leggyakoribb expozíciós útvonala a **belélegzés** [15, 16]. 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 szaglóiúdegen 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 [15, 16]. 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 [15, 16]. Az ép bőr a jelek szerint megfelelő védőgátat képez a nanoanyagok bevitelle ellen [17]. A sérült bőr ugyanakkor kevésbé véd hatékonyan, de a felvétel mértéke vélhetően alacsonyabb, mint belélegzés esetén. Ettől függetlenül a nanoanyagok bőrrel való érintkezése is megelőzendő és ellenőrizendő.

A nanoanyagok az emberi szervezetbe parenterális útvonalon is bejuthatnak ⁽²⁾, ha a személy véletlenül megszúrja magát tűvel, megvágja magát, vagy más módon felsérti a bőrét [15].

Az egészségügyi szektorban végzett tevékenységeket figyelembe véve azok a dolgozók vannak leginkább kitéve a nanoanyagoknak, akik előkészítik vagy adagolják a nanogyógyszereket, vagy akik olyan területen dolgoznak, ahol ilyen gyógyszereket használnak, mivel ők ilyenkor könnyen kapcsolatba kerülhetnek ezekkel a levegőben lebegő anyagokkal (pl. gyógyszerári vagy ápolószemélyzet, orvosok, környezetvédelmi szolgálat dolgozói, szállító és átvevő személyzet).

Egészségügyi munkakörnyezetben a nanoanyagoknak való expozíció egyéb lehetséges esetei a következők [15]:

- nanogyógyszerekkel kezelt betegek salakanyagainak ártalmatlanítása;
- nanoanyagok kiömlése;
- nanoanyaggal szennyezett eszközök kezelése;
- nanogyógyszerekkel érintkező élelmiszerek és italok fogyasztása; és
- nanogyógyszerek kezelésére szolgáló munkaterület takarítása és karbantartása.

Expozíciós helyzetek fordulhatnak elő a fogászati és sebészeti eljárások során, beleértve a marást, fúrást, őrlést és csiszolást, ahol a felhasznált orvosi anyag nanoanyagokat tartalmaz. Ilyen expozíciós helyzetekre példa a fogorvosi ellátásban a lyukas fog kezelése, ahol általában nanoanyagokat tartalmazó fogtömő anyagot alkalmaznak (pl. nanokerámia tömőanyag), amelyet a felület nagysebességű eszközökkel történő csiszolásával igazítanak a kívánt anatómiai formára. A művelet során fennáll a kockázat, hogy a levegőbe került nanorészecskéket a beteg és az egészségügyi személyzet belélegzi.

Az egészségügyi szektorban előforduló nanoanyagok néhány potenciális munkahelyi biztonsági és egészségvédelmi kockázatát a 2. táblázat ismerteti.

⁽²⁾ Parenterális alkalmazás esetén a gyógyszert vagy más anyagot a gyomor-bélrendszertől eltérő úton (pl. injekcióval) juttatják be a szervezetbe.

2. táblázat: Példák az egészségügyi szektorban használatos nanoanyagokra és azok potenciális egészségügyi veszélyeire, valamint munkahelyi biztonsági és egészségvédelmi kockázataira

Nanoanyag	Potenciális egészségügyi veszélyek, valamint munkahelyi biztonsági és egészségvédelmi kockázatok
Szén-nanoanyagok	Bizonyított tény, hogy belélegezve bizonyos típusú szén-nanoanyagok tüdőrendellenességhez vezethetnek, beleértve az azbesztszerű hatásokat is [9]
Dendrimerek	<p>A gyógyszerészeti területen (például a rákellenes gyógyszerek célba juttatásában) való széles körű alkalmazhatóságuk ellenére a dendrimerek használata az emberi szervezetben a velük járó toxicitás miatt korlátozott [11].</p> <p>Volt olyan erythema multiforme-szerű érintkezéses dermatitis eset, amely dendrimerepozíció eredményeként alakult ki [14].</p>
Ezüst nanorészecskék	<p>Az ENRHES szerint [18] az ezüst nanorészecskék használata potenciális veszélyt jelent az emberi egészségre; a toxicitási vizsgálat azonban még mindig a kezdeti szakaszban van. Kikérték az Európai Unió új és újonnan azonosított egészségügyi kockázatokkal foglalkozó tudományos bizottságának (SCENIHR) tudományos véleményét a nanoezüst biztonságosságáról, egészségügyi és környezeti hatásairól, illetve az antimikrobiális ellenállásban betöltött szerepéről [19]. Súlyos aggályok merültek fel, mivel az ezüst nanorészecskék nagy dózisokban nemkívánatos egészségügyi hatásokat, például tüdőödémát és bőrfoltokat okozhatnak [3]. A hosszú ideig tartó nanoezüst-expozícióra az emberi szervezet leggyakoribb reakciója az argyria vagy argyrosis, vagyis ezüstmérgezés (azaz a bőr, a körmök, a szemek, a nyálkahártyák vagy a belső szervek ezüstlerakódás miatti szürke vagy szürkés-kék elszíneződése vagy fekete pigmentációja) [20]. Ezek az állapotok nem visszafordíthatók, és gyógyíthatatlanok [20].</p> <p>Az egészségügyi szektorban a nanoezüstöt antibakteriális szerként használják sebkezeléskor, a súlyos égési sérült betegek fertőzésektől való védelme érdekében. Az egészségügyi dolgozók számára ez a legfontosabb expozíciós kockázatok egyike. Továbbá, a mikroorganizmusok ezüstrrel szembeni növekvő ellenállása miatt aggályok merültek fel a nanoezüst emberi egészségre gyakorolt közvetett nemkívánatos hatásaival kapcsolatban is [19].</p> <p>Patkányokon végzett kísérletek során feljegyezték, hogy az ezüst nanorészecskék a felső légutakon át elérhetik az agyat [12].</p>
Titán-dioxid (TiO ₂)	A TiO ₂ részecskéket belélegzés esetén a Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség (IARC) „az emberre esetlegesen rákkeltő hatású anyagként” (2B csoport) sorolta be [21]. Az USA munkavédelmi kutatóintézete (NIOSH) alacsonyabb expozíciós határértéket ajánlott a TiO ₂ ultrafinom részecskéinek esetében: 0,3 mg/m ³ a TiO ₂ nanorészecskék esetén (< 100 nm) a finomrészecskék (> 100 nm) 2,4 mg/m ³ értékével szemben [22].
Arany nanorészecskék	Az arany nanorészecskék toxicitását patkányokon belélegzés közben vizsgálták, és ennek során a tüdőben és a vesékben arany lerakódását figyelték meg [23].

Forrás: a szerzők összeállítása.

Az egészségügyi kockázatokon túl a nanopor vagy az éghető nanorészecskék aeroszolizációja robbanás- vagy tűzvesélyt jelenthet.

Az egészségügyi szektorban fontos megfelelően felmérni és kezelni a nanoanyagok lehetséges munkahelyi biztonsági és egészségvédelmi kockázatait, hogy megfelelően biztosítani lehessen a dolgozók személyi biztonságát és egészségének védelmét.

4. Megelőzés

Az Európai Unió 89/391/EGK irányelve szerint [24] a munkáltatóknak rendszeres munkahelyi kockázatértékeléseket kell végezniük, és megfelelő megelőző intézkedéseket kell hozniuk; ez vonatkozik a munkahelyen előforduló nanoanyagok potenciális kockázataira is. Továbbá a munkájuk során vegyi anyagokkal kapcsolatos kockázatoknak kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 98/24/EK irányelv [25] még ennél is szigorúbb előírásokat tartalmaz a munkahelyi anyagok kockázatainak kezeléséről, amelyek vonatkoznak a nanoanyagokra is, mivel ezek is beletartoznak az „anyag” fogalom meghatározásába.

Ezért a dolgozók védelmét szolgáló ezen irányelvekben előírt kötelező munkahelyi kockázatértékelés és a szabályozó intézkedések hierarchiája [kiküszöbölés, helyettesítés, technikai intézkedések a forrásnál, szervezési intézkedések és egyéni védőeszközök (PPE) végső megoldásként] az egészségügyi szektor munkahelyeire és a nanoanyagokra is vonatkozik.

Továbbá, 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 [26] teljesülnie kell. A nemzeti jogszabályok esetenként szigorúbb előírásokat is tartalmazhatnak, ezeket ellenőrizni kell.

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

1. a nanoanyagok veszélyes tulajdonságainak ismerete;
2. a nanoanyagok és a kibocsátási források azonosításához, illetve az expozíciós szintek méréséhez rendelkezésre álló módszerek és eszközök; és
3. a nanoanyagok jelenlétére vonatkozó információk, 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 [13, 27–29]. A szervezeteknek ezért tanácsos a beszállítókhöz fordulniuk és tőlük további információkat kérniük.

Ezen túlmenően, mivel a nanoanyagok egyben anyagoknak is minősülnek, a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról szóló REACH-rendelet [30] és az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról szóló CLP-rendelet [41] egyformán relevánsak, és a REACH-rendelet II. mellékletének változásai [31], a biztonsági adatlapokra vonatkozó jogi keret, illetve az Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA) biztonsági adatlapokra vonatkozó iránymutatásai [32] – 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>) a jelenleg ismert korlátozások és a legújabb kutatási eredmények alapján ismerteti a rendelkezésre álló iránymutatásokat és eszközöket, amelyek jelenleg a nanoanyagok kockázatainak kezelésére rendelkezésre állnak. Jelenleg nincsenek specifikus iránymutatások a nanoanyagok munkahelyi biztonsági és egészségvédelmi kockázatainak megelőzésére vonatkozóan az egészségügyi szektorban. A más ágazatokban (pl. kutatólaboratóriumokban [33]) javasolt intézkedések azonban részben alkalmazhatók, és a fő alapelvek és megközelítések átültethetők az egészségügyi szektorba.

4.1. Kiküszöbölés és helyettesítés

Más veszélyes anyagokhoz hasonlóan a kiküszöbölés és helyettesítés elsőbbséget élvez az egyéb megelőző intézkedésekkel szemben (azaz a cél az összes dolgozó védelme a nanoanyag-expozícióval szemben). Sok esetben azonban a nanoanyagot tartalmazó vegyi anyagok, gyógyszerek vagy eszközök sajátos tulajdonságuk miatt használatosak az egészségügyi szektorban, illetve mert valamilyen konkrét funkciót látnak el. Ezért ezekben az esetekben, ha a nanoanyag kockázatot jelent az egészségügyi dolgozókra, a kiküszöbölés vagy a más, kevésbé veszélyes alternatívával történő helyettesítés nem mindig reális lehetőség, mivel az alternatív megoldás esetleg nem rendelkezik ugyanazzal a kívánt tulajdonsággal és (pozitív) hatással. 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. Továbbá előfordulhat, hogy lehetséges:

- elkerülni a levegőben lebegni képes nanoanyagok (például porok) jelenlétét kevésbé veszélyes halmazállapot használatával, például nanoanyagok por formáinak folyadékká, pasztákká, granulátumokká vagy vegyületekké való oldásával, illetve szilárd anyagokká való megkötésével;
- csökkenteni az anyagok veszélyes viselkedését a nanoanyag felületének módosításával, például ha bevonják valamivel a porlékonyoság, az oldhatóság és más tulajdonságok beállítására érdekében.

4.2. Műszaki szabályozások

Az egészségügyi szektor természetéből adódóan a legtöbb munkahely, például a kórházi kórtermek vagy akár a betegek otthona, nem rendelkezhet olyan műszaki rendszerrel, amely csökkenti vagy megakadályozza a nanoanyag-expozíciót a keletkezési forrásnál. Ilyen lenne például az olyan zárt rendszer, amely fizikai gátat képez a személy és a nanoanyag között. A műszaki szabályozások azonban más műveleteknél már a forrásnál megvalósíthatók, így a nanoanyagokat tartalmazó gyógyszerek készítésénél, pl. a tabletták vagy kenőcsök kesztyűs dobozokban való elhelyezésével.

A munkapadok nagy hatékonyságú szemcsés levegőszűrőkkel (HEPA) történő tisztítása szintén hatékony kockázatmegelőző intézkedés az olyan tevékenységek esetében, mint a nanogyógyszerek, illetve a betegek szöveteiből, testfolyadékaiból vagy salakanyagaiból vett minták elkészítése, amelyek nanoanyagokat tartalmazhatnak (ha a beteget nanogyógyszerekkel kezelték); vagy a nanoanyagtartalmú analitikai vegyszerekkel történő mintaelőkészítés vagy elemzés. A mintákból vagy mintaelőkészítő termékekből származó nanoanyagoknak folyadék, por vagy gőz formájában történő expozícióját nagy átmenő teljesítményű szellőzőrendszerrel kell kontrollálni az egyéni védőeszközök, különösképpen kesztyű és maszk együttes viselése mellett (lásd a 4.4. pontot).

Helyi elszívórendszerek általában megtalálhatók a laboratóriumi munkahelyeken, a műtőkben vagy magas biztonsági előírásokkal rendelkező területeken (pl. a fertőzés kockázata miatt) és a raktárakban. Az ilyen rendszerek felfogják a nanoanyagokat is. A nanoanyagok esetében azonban a normál, többszintű szűrők használata nagyhatékonyságú szemcsés levegőszűrővel (HEPA H14) vagy ultraalacsony áthatolású levegőszűrőkkel kombinálva utolsó szűrőként javasolt az extrahált levegő visszavezetése előtt. Minden esetben értékelni kell a telepített szűrőrendszerek alkalmasságát.

4.3. Szervezési intézkedések

Az egészségügyi szektorban a veszélyes nanoanyagokkal foglalkozó munkahelyeken alkalmazott kockázat-megelőzési intézkedések közé tartozhatnak az alábbiak:

- a nanoanyagok kezelésére kijelölt területek vagy munkahelyek, amelyek más munkahelyektől elkülönülnek, egyértelmű jelzésekkel ellátva;
- a nanoanyagoknak kitett dolgozók számának minimálisra csökkentése;
- a dolgozók nanoanyagokkal szembeni expozíciója időtartamának minimálisra csökkentése;
- jogosulatlan személyzet belépésének megtiltása;
 - a nanoanyagok használatára vagy kezelésére szolgáló munkaterületek rendszeres takarítása (nedves törlés); és
 - a levegő koncentrációjának folyamatos figyelése, pl. a háttérszintekkel összehasonlítva azokban az időszakokban, amikor nanoanyagokkal való munkavégzés nem zajlik.



Szerző: Jim Holmes

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) [41] 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.

Be kell tartani továbbá néhány általános alapelvet, amelyek a nanoanyagok használatától függetlenül érvényesek:

- A munka megtervezésének alapja mindig egy kockázatértékelés, és figyelembe kell venni a dolgozó érintettségét is. Ha a munka 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.
- Elegendő képzést kell biztosítani, hogy a dolgozók rendelkezzenek a munka biztonságos elvégzéséhez szükséges képességekkel és tudással, és hogy védekezhessenek a nanoanyagok felszabadulásából eredő expozícióval szemben.
- Minden dolgozónak biztosítani kell a megfelelő utasításokat és információkat, különösen, amikor a dolgozókkal csak egy feladatra kötnek szerződést és/vagy ha általában nem járatosak a vegyi anyagokkal – és különösen a nanoanyagokkal – kapcsolatos kockázatok terén (pl. takarító személyzet, diákmunkások). Ide kell tartoznia a védelmi intézkedéseknek, például, hogy hogyan kell a nanoanyagokat tartalmazó gyógyszerekkel vagy mintákkal biztonságosan bánni; hogyan kell őrölni vagy csiszolni a nanoanyagokat tartalmazó töltőanyagokat vagy felületeket; és hogyan kell ártalmatlanítani a termékeket. 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 potenciálisan veszélyes nanoanyagokkal dolgozó vagy azoknak más módon kitett dolgozóknak egészségügyi felügyeleti programokban kell részt venniük, az expozíciós helyzetek részletes dokumentálásával.

4.4. Egyéni védőeszközök (PPE)

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. Az egészségügyi szektor dolgozói egyéb egészségügyi kockázatok miatt (pl. biológiai anyagok) valószínűleg használnak egyéni védőeszközöket munkájuk során ⁽³⁾ [34]. Az alkalmazott személyi védőeszközt azonban értékelni kell a nanoanyagokkal történő használatra való alkalmasság szempontjából is.

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.

4.4.1. Légzésvédelem

A levegőben lebegő nanoanyagokkal végzett tevékenységek (például nanoanyagokat tartalmazó hidak vagy implantátumok őrlése, csiszolása vagy marása) esetén előfordulhat, hogy a helyi elszívórendszer nem elégséges. Ilyen esetekben légzésvédelmet is kell alkalmazni. A levegőben lebegő nanoanyagokkal szemben a rostos szűrőbetéttel ellátott HEPA-szűrők, légzőpatronok és maszkok hatékonyak. A fél vagy teljes arcot fedő maszkok P3/FFP3 vagy P2/FFP2 szűrőkkel szintén hatékonyan tekinthetők az ilyen expozíciókkal szemben. A 3-as védelmi faktorú szűrők jobb védelmet biztosítanak, mint a 2-es faktorúak [35, 36]. Az arcmaszkoknak elég szorosnak kell lenniük [36] – minden felhasználó esetében rendszeres illesztési teszteket kell végezni.

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); és
- a munkakörülmények.

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

⁽³⁾ A 89/686/EGK európai uniós irányelv szabályozza az egyéni védőeszközök kivitelét és használatát, és biztosítja, hogy azok megfeleljenek a dolgozók meghatározott kockázatokkal szembeni védelmére.

4.4.2. Kesztyű

Az egészségügyi szektorban gyakran használnak kesztyűt. Kémiai veszély esetén általában csak az EN 374 szabvány ⁽⁴⁾ előírásait teljesítő kesztyűk használhatók. A nanoanyagok esetében a szintetikus polimerekből, például latexből, nitrilből vagy neoprénből készült kesztyűket találták hatékonynak [36]. 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. A kesztyű anyagának vastagsága fontos tényező a nanoanyag diffúziós sebességének meghatározásakor. Ezért egyszerre két pár kesztyű használata javasolt [37].

4.4.3. Védőruházat

A szőtt anyagokkal szemben előnyben kell részesíteni a nem szőtt textiliákat (légzáró anyagok), például a nagysűrűségű polietilént (jellemzői az alacsony porretenció és porkibocsátás), és kerülni kell a pamutból készült védőruházat használatát [36].

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.

4.5. Robbanás és/vagy tűz megakadályozása

A por formájú nanoanyagok kis méretük miatt robbanásveszélyt jelenthetnek akkor is, ha durva formában nem robbanásveszélyesek ⁽⁵⁾ [38]. Ezért óvatosan kell eljárni, amikor nanoporok képződnek (pl. nanoanyagokat tartalmazó implantátumok és hidak őrlése, csiszolása vagy fényezése esetén) vagy ahol azokkal dolgoznak (pl. ilyen porok összekeverése, tisztítása vagy ártalmatlanítása).

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:

- a gyógyszerészeknek például az ilyen anyagok kezelését, ha lehetséges, kizárólag az erre kijelölt Ex-zónában, inert légkörben kell végezniük;
- 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, és
- a munkahelyen minimalizálni kell a tűz- és robbanásveszélyes anyagok tárolását. Antisztatikus tasakok is használhatók.

⁽⁴⁾ EN 374-1:2003: Vegyszerek és mikroorganizmusok elleni védőkesztyűk – 1. rész: Terminológia és teljesítményelőírások; EN 374-2:2003: Vegyszerek és mikroorganizmusok elleni védőkesztyűk – 2. rész: Az áthatolással szembeni ellenállás meghatározása; és EN 374-3:2003: Vegyszerek és mikroorganizmusok elleni védőkesztyűk – 3. rész: Vegyszerek áthatolásával szembeni ellenállás meghatározása.

⁽⁵⁾ ²A 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.

4.6. Az 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. Ezekon 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 ⁽⁶⁾ [39, 40] 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. Európai Bizottság (EB), *Commission Staff Working Document on an Action Plan for the EU Health Workforce*, SWD(2012) 93 végleges, Strasbourg, 2012. április 18.
Elérhető: http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/docs/swd_ap_eu_healthcare_workforce_en.pdf
2. 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>
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. október 3. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:HU: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
5. 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>
6. Kale, S.N.: *Nanomaterials and their Applications in Healthcare*, presentation at ICS-UNIDO, SISSA műhely a potenciális gyógyszerek számítógépes tervezéséről és felfedezéséről a fejlődő országokban, 2009.
7. Filipponi, L., Sutherland, D.: *Medicine and Healthcare. Module 2—Applications of Nanotechnologies*, Interdisciplinary Nanoscience Centre (iNANO), 2010.
Elérhető: www.hessen-nanotech.de

⁽⁶⁾ 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 kiadványait.

8. Ellis, J.R.: *Nanomaterials and Their Potential in Therapy*, 2012.
Elérhető: <http://www.mddionline.com/blog/devicetalk/nanomaterials-and-their-potential-therapy>
(letöltve: 2012. október 20.).
9. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology*, 2012.
Elérhető: http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php (letöltve: 2012. október 19.).
10. Mody, V.V., Siwale, R., Singh, A., Mody, H.R.: „Introduction to metallic nanoparticles”, *Journal of Pharmacy & BioAllied Science*, 2012, 2(4): 282–289. o.
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): 122–142. o.
12. 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: *Toxicological Sciences*, 2012, 126(2), 457–468.o.
13. 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>
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” in: *Contact Dermatitis*, 2008, 59(2): 122–123. o.
15. Murashov, V.:” Occupational exposure to nanomedical applications” in: *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009, 1: 203–213. o.
16. Az Egyesült Államok munkavédelmi kutatóintézete (NIOSH): *Approaches to Safe Nanotechnology — Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, Egészségügyi Minisztérium, Betegségmegelőzési és járványvédelmi központ, 2009-125. sz., 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” in: *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): 586–595. o.
18. ENRHES projekt, Európai Bizottság: *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Elérhető: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report>
19. 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
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.
Elérhető: http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf
21. 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>
22. 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/>

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: 16. o.
24. A Tanács 1989. június 12-i 89/391/EGK irányelve a munkavállalók munkahelyi biztonságának és egészségvédelmének javítását ösztönző intézkedések bevezetéséről, HL L 183., 1989. június 29. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:HU:PDF>
25. 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) Elérhető: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:HU:PDF>
26. 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). Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R%2801%29:HU: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, Miniszterek Északi Tanácsa, Koppenhága, 2007. Elérhető: 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. Elérhető: <http://www.nano4all.nl/Reporsshortsummary.pdf>
29. 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
30. 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 hatályon kívül helyezéséről, HL L 396., 2006. december 30. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:HU:NOT>
31. 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. Elérhető: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010R0453:HU:NOT>
32. Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA): *Útmutató a biztonsági adatlapok elkészítéséhez*, 2011. december. Elérhető: http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_hu.pdf
33. Egészségügyi Minisztérium, Betegségmegelőzési és járványvédelmi központ (CDC): *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, DHHS (NIOSH), 2012–147. sz. Elérhető: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/>
34. 89/656/EGK irányelv – egyéni védőfelszerelések használata (1989. november 30.) a munkavállalók által a munkahelyen használt egyéni védőeszközök egészségvédelmi és biztonsági minimumkövetelményeiről (harmadik egyedi irányelv a 89/391/EGK irányelv 16. cikk (1) bekezdése értelmében) Elérhető: <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 (*Safe Application of Nanomaterials in the Paint Sector—A Guideline*)', *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Elérhető: 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.
Elérhető: 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.
Elérhető: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf
38. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben* [Robbanásvédelem: Nanoporok esetében szükséges műveletek], dátum nélkül.
Elérhető: <http://www.arbeitsicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (letöltve: 2012. december 3.).
39. Hollandia Szociális és Gazdasági Tanácsa (SER): *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*, 2012.
Elérhető: http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx (letöltve: 2012. október 20.).
40. Nanowerk: *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*, 2012. Elérhető: <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php> (accessed 20 October 2012)
41. Az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK rendelete (2008. december 31.) az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról (CLP-rendelet), HL L 353., 2008. december 31. Elérhető: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>

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 (letöltve: 2012. július 23.).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomaterialien—Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz*, Hauptvorstand, 2011.
Elérhető: http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site_www.igbce.de/static_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf
- Európai Bizottság: *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”*, Strasbourg, 2012. április 18. SWD(2012) 93 végleges.
- 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), *Az egészségügyi személyzet egészsége és biztonsága*. Elérhető: <http://osha.europa.eu/en/sector/healthcare>.