

N. Pejnović, E. Zdraveva, A. Bogadi-Šare\*

# ZAŠTITA NA RADU U LABORATORIJU ZA ELEKTROPREDENJE

UDK 331.45/48:677.052  
PRIMLJENO: 1.12.2010.  
PRIHVAĆENO: 20.12.2010.

**SAŽETAK:** Elektropredenje je postupak dobivanja nanovlakana iz polimerne otopine pod utjecajem elektrostatičke sile. Zbog svoje široke primjene proces je postao vrlo popularan, jer omogućava proizvodnju materijala ciljanih fizikalno-kemijskih svojstava. U ovom radu prikazan je kratak pregled potencijalnih štetnih učinaka nanočestica na zdravlje, pregled opreme uređaja za elektropredenje, mjere sigurnosti, te osobna zaštitna sredstva djelatnika u laboratoriju.

**Ključne riječi:** nanočestice, elektropredenje, zaštitna oprema, utjecaj na zdravlje, zaštita na radu

## UVOD

Nanotehnologija je pojam koji označava istraživanje i tehnološki razvoj struktura na atomskoj, molekularnoj i makromolekularnoj skali, najčešće u području dimenzija od 1 do 100 nm. Svijet nanotehnologije nije vidljiv za ljudsko oko, ali njegov potencijalni učinak na ljudski svijet je velik.

Prema definiciji norme ISO/TS 27687:2008, nanomaterijali su nanoobjekti ili nanostrukturni materijali s najmanje jednom dimenzijom manjom od 100 nm. Za usporedbu, dimenzije ljudske kose se kreću od 10 000 do 50 000 nm, promjer crvene krvne stanice je oko 5 000 nm,

virusi su najčešće maksimalnih dimenzija od 10 do 100 nm, a promjer DNK molekule je od 2 do 12 nm (*Aitken i sur., 2004.*). S obzirom na dimenzije, nanomaterijali čine nekoliko skupina (Tablica 1).

**Tablica 1. Dimenzije nanomaterijala**

**Table 1. Nanomaterial dimensions**

Nanomaterijal	Dimenzije
Nanočestice	Tri dimenzije u rasponu od 1 do 100 nm
Nanocijevi/nanožice	Dvije dimenzije u rasponu od 1 do 100 nm
Nanovlakna	Duljina između 50 i 300 nm, promjer < 50 nm
Nanofilmovi	Jedna dimenzija u rasponu od 1 do 100 nm
Nanoploče	Dvije dimenzije u rasponu od 1 do 100 nm

\*Natalija Pejnović, dipl. ing. (npejnovic@hzzzs.hr), prim. dr. sc. Ana Bogadi-Šare, dr. med., spec. med. rada, Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, R. Cimermana 64a, 10000 Zagreb, Emilija Zdraveva, dipl. ing., Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28 a, 10000 Zagreb.

Nanočestice normalno postoje u prirodi, a u živim organizmima reguliraju važne funkcije, kao što je to npr. prijenos kisika krvlju putem hemoglobina, koji je protein promjera 5 nm. Osim onih koji normalno postoje u prirodi, nanočestice se pojavljuju kao nusprodukti pri izgaranju, zavarivanju i drugim industrijskim procesima ili se proizvode, kao npr. nanočestice srebra, zlata, željeza, nikla, ugljika, titanovog dioksida, aluminijevog oksida, silicijevog dioksida, polistirena. Primjena proizvedenih nanočestica u komercijalne svrhe je česta, za pojačanje kompozitnih materijala u proizvodnji npr. teniskih reketi, palica za bejzbol ili bicikla, za povećanje učinkovitosti nekih tehnoloških procesa i time štednje energije i smanjenje otpada, za povećanje apsorpcije lijekova, zaštitu površina npr. leća naočala ili površina metala, za površinsku zaštitu i impregnaciju tkanina, za hidro i termoizolaciju, stomatološke implantante, za proizvodnju elektronskih proizvoda, kozmetičkih i higijenskih preparata (*Aitken i sur., 2004.*). U Tablici 2. prikazane su tipične izloženosti nanočesticama u radnom i životnom okolišu.

**Tablica 2. Tipična izloženost nanočesticama u radnoj i životnoj okolini**

**Table 2. Typical nanoparticle exposure in a working and living environment**

Uvjeti okoliša Radni procesi	Ukupna koncentracija [broj nanočestica/cm <sup>3</sup> ]
Otvoreni prostor, ured	do 10 000
Strojna obrada	do 130 000
Lemljenje	do 400 000
Rezanje plazmom	do 500 000
Pekara	do 640 000
Pista zračne luke	do 700 000
Termolemljenje	54 000 do 3 500 000
Zavarivanje	100 000 do 40 000 000

Prednost, ali istovremeno i najveći nedostatak, nanotehnologije jest veličina njezinog produkta, odnosno male dimenzije samih nanočestica. Nanomaterijali imaju veći omjer površine i volumena u odnosu na svoje konvencionalne oblike, što rezultira većom kemijskom reaktivnošću i promjenom čvrstoće. Zbog toga nanomate-

rijali dobivaju nova i specifična fizikalna, kemijska, optička, električna i magnetska svojstva, a mogu se očekivati i posebna biološka svojstva.

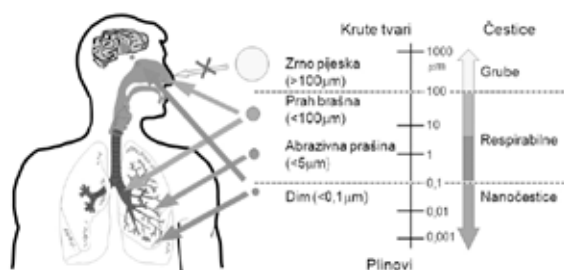
Do sada nisu određene granične vrijednosti za nanomaterijale, što znači da još uvijek nisu poznate granične razine izloženosti koje mogu osigurati zaštitu zdravlja većine izloženih osoba. Budući da nije jasno kakav je i koliki zdravstveni rizik pri proizvodnji i upotrebi nanomaterijala, radi predostrožnosti poduzimaju se zaštitne mjere koje se odnose na zaštitu okoliša i zaštitu radnika (*Aitken i sur., 2004.*). Zato je važno poznavati mjere zaštite prilikom izvođenja procesa za proizvodnju nanomaterijala, tj. mjere koje se odnose na korištene tvari, uvjete rada i mjerenje prisutnosti nanočestica u zraku (*Verband der Chemischen Industrie e.V., 2010., Scott i sur., 2005., Hoyt i sur., 2008., NICNAS, 2006.*).

## UTJECAJ NANOČESTICA NA LJUDSKO ZDRAVLJE

Najnovija istraživanja koja se odnose na učinak nanomaterijala na zdravlje ispituju posljedice izloženosti nanočesticama u procesu proizvodnje ili tijekom infiltracije nanočestica u neki proizvod (*Linkov i sur., 2009.*). Nanočestice mogu ući u organizam udisanjem, apsorpcijom preko kože i gutanjem (*Sellers i sur., 2008.*).

### Dišni sustav

Najveću zabrinutost izaziva potencijalni utjecaj nanočestica na ljudsko zdravlje pri udisanju. Slika 1. prikazuje čestice različitih dimenzija i mogućnost njihovog prodiranja u dišni sustav. Čestice manje od 100 mikrometara ulaze u dišni sustav, a one veće od 50 mikrometara se u cijelosti zadrže u nosu. Čestice veličine oko 10 mikrometara prodiru do bronha, a one manje od 5 mikrometara (5000 nanometara) s lakoćom dolaze do plućnih mjehurića i mogu prodrijeti u samo tkivo pluća. S obzirom da su nanočestice bitno manje i imaju sve tri dimenzije na nanoskali, mogu biti vrlo lako udahnute (*Hoyt i sur., 2008.*).



Slika 1. Razina prodiranja čestica u dišni sustav (granica „unosa“ označena je crvenom isprekidanom crtom)

Figure 1. Particles' level of entry into the respiratory system (the red dots underline the limit of inhalability)

Prodiranje nanočestica u dišni sustav i njihovo zadržavanje je to veće što su nanočestice manjih dimenzija i što je disanje brže i dublje, kao npr. kod fizičkog rada (Yang i sur., 2008.). Prodiranje ovisi i o obliku nanočestica, građi i postojećim bolestima dišnog sustava (npr. astma, emfizem) (NIOSH, 2009.). U životinjskom pokusu je dokazano da su nanočestice, koje se zadrže u nosu, sposobne prodrijeti u mozak mehanizmom translokacije, tj. kretanjem duž njušnog živca (Oberdorster i sur., 2004.). Ovaj mehanizam je prvi puta opisan kod virusa dječje paralize, a utvrđen je za različite nanomaterijale, kao npr. nanočestice zlata i ugljika (Borm, 2005.). Nanočestice mogu, nakon udisanja i ulaska u dišni sustav sve do razine plućnih mjehurića, prijeći u plućno tkivo ili krvotok i na taj način utjecati na druge dijelove i organe organizma.

U životinjskim pokusima dokazani su štetni učinci nanočestica na pluća, u obliku upale plućnog intersticija, edema, stvaranja granuloma i fibrogene intersticijske reakcije. U epidemiološkim studijama su u radnika izloženih nanočesticama nađene dišne smetnje, smanjenje dišnih funkcija, kronična opstruktivna bolest pluća, plućna fibroza, pa čak i učestaliji zloćudni tumori pluća (Borm, 2005., NIOSH, 2009.). Epidemiološka ispitivanja opće populacije izložene onečišćenjima zraka nanodimenzija pokazala su povećanu stopu obolijevanja i umiranja od bolesti dišnog i srčano-žilnog sustava (Kreyling, 2002.). S obzirom da je izvjesno da nanočestice mogu uzrokovati oštećenja dišnog sustava, potrebno je primjenjivati mjere zaštite pri proizvodnji i primjeni nanomaterijala, gdje postoji rizik udisanja nanočestica.

## Koža

Koža, kao po površini najveći organ ljudskog tijela, prekriva cijelo tijelo i štiti ga od vanjskih utjecaja. Stajališta o mogućnosti prodora kroz kožu i apsorpcije nanočestice u krv su različita. S jedne strane se smatra da nanočestice ne mogu prijeći kroz gornji sloj kože, a s druge strane se tvrdi da je uočena njihova prisutnost u krvnim žilama kože i da mogu ući u organizam preko kože (Linkov i sur., 2009.). Neki autori smatraju da sama aplikacija nanočestica na kožu bez mehaničkog utrljavanja ne može rezultirati apsorpcijom u krvotok (Hett, 2004.). Navedena istraživanja učinjena su u životinjskim pokusima ili kulturi tkiva, pa ovi različiti rezultati mogu biti posljedica uporabe različitih metoda ispitivanja, kao i metode koje ne stvaraju iste uvjete kao kod živog organizma (NIOSH, 2009.).

Kako još uvijek nije sa sigurnošću potvrđena mogućnost prodora nanočestica kroz kožu i apsorpciju u krv, tako isto nije pouzdano poznato mogu li nanočestice nakon penetracije u kožu uzrokovati promjene u koži. U *in vitro* ispitivanjima i životinjskim pokusima nađene su upalne promjene kože, ali još uvijek se ovi rezultati ne mogu bez ograda ekstrapolirati na čovjeka (NIOSH, 2009.). Međutim, rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju na oprez i potrebu primjene mjera zaštite u radnim uvjetima gdje postoji izloženost kože nanočesticama.

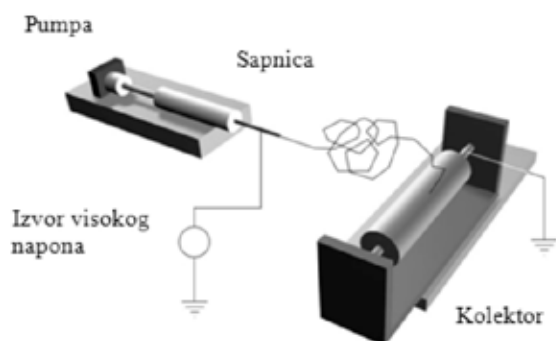
## Probavni sustav

Unos nanočestica u organizam putem probavnog sustava je moguć kroz sluznicu usta, jednjaka, želuca, dvanaesnika i crijeva. Usta su značajno mjesto apsorpcije ako se nanočestice u njima stalno zadržavaju ili ako je sluznica značajnije oštećena. Apsorpcija u jednjaku može se pojaviti samo u slučaju oštećenja sluznice. Crijeva su glavno mjesto apsorpcije, jer je njihova površina izrazito velika, dobro su prokrvljena i imaju dovoljno tekućine i tvari koje poboljšavaju apsorpciju. S obzirom na to, apsorpcija i biodostupnost nekih tvari, kao što su vitamini ili proteini, može se bitno poboljšati ako se sintetiziraju kao nanočestice (Brom, 2005.). Dobra apsorpcija nanočestica kroz sluznicu crijeva može s jedne strane imati pozitivne aspekte, ali s druge strane

predstavlja, prilikom rukovanja nanomaterijalima, lagan put unosa nepoželjnih nanočestica u organizam. To se događa zbog slučajnog prenošenja nanočestica s ruku u usta i kao rezultat rada mehanizma čišćenja dišnog sustava i gutanja nanočestica (*Hoyt i sur., 2008., NIOSH – Department of health and human services, 2009.*). S obzirom na dobru resorpciju nanočestica kroz sluznicu crijeva, mjere zaštite zdravlja radnika u proizvodnji i primjeni nanočestica moraju spriječiti unos nanočestica u probavni trakt, odnosno dolazak progutanih nanočestica do crijeva.

## PREGLED OPREME ZA ELEKTROPREDENJE

U zadnjem desetljeću interes za proučavanje strukture nanomaterijala je sve veći, što je i rezultiralo velikom primjenom procesa elektropredenja, čije načelo je poznato još prije 400 godina. Elektropredenje je inovativni proces proizvodnje sintetičkih vlakana, veoma malih dimenzija promjera i ciljanih fizikalno-kemijskih svojstava. Sam proces elektropredenja izvodi se uvođenjem tijeka polimerne otopine (ili taline) u elektrostatičko polje visokog napona (*Taylor, 1969.*). Jedna visokonaponska elektroda priključuje se na kapilarni uređaj za elektropredenje, dok se druga elektroda priključuje na kolektor vlakana (slika 2). Djelovanjem električnoga polja nabijeni se mlaz ubrzava i stanjuje. Pod utjecajem elektrostatičkih sila, a pri visokoj brzini deformacija, stvaraju se snopovi iz nastalih vlakana.



Slika 2. Shematski prikaz uređaja za elektropredenje  
Figure 2. Electrospinning process scheme

Proizvode se vlakna od mikronskih do nano promjera sa specifičnom mikrostrukturom (*Linkov i sur., 2009., Teo i sur., 2006.*).

Osnovni dijelovi uređaja za elektropredenje su:

1. Sapnica koja uz pomoć pumpe istiskuje polimernu otopinu pod utjecajem električnog polja. Brzina izbacivanja otopine se prilagođava po potrebi i njezin iznos je od 0,1 do 120 ml/h. Osim brzine, volumen istisnute otopine se također može prilagoditi.
2. Kolektor vlakana je rotacijski bubanj s mogućnošću reguliranja brzine vrtnje i brzine translacije, obložen aluminijskom folijom.
3. Sustav za kontrolu procesa je neovisan o pumpi, a čine ga jedinica za kontrolu visokog napona (uobičajeno 5-25 kV, maksimalno 60 kV), jedinica za kontrolu brzine rotacije, te translacije kolektora vlakana i jedinica vremenskog praćenja procesa.

Procesom elektropredenja mogu se proizvesti vlakna različitog kemijskog sastava, ovisno o namjeni. Najčešće se ispredaju vlakna dvaju različitih polimera, i to primjenom koaksijalne igle, pa dobivena vlakna imaju unutarnju jezgru jednog polimera i vanjski sloj drugog polimera. Istovremenim elektroispredanjem (primjenom više igala), pojedinačnih vlakana različitih polimera, dobivaju se netkane tvorevine iz mješanih polimernih nanovlakana ili pojedinačnih slojeva različitih nanovlakana. Nanovlakna iz kopolimera pokazuju bolja svojstva nego vlakna iz homopolimera. Anorganska vlakna silicijevog dioksida, titanijevog dioksida i aluminijevog oksida dobivaju se ispredanjem mješavine polimera i anorganskog spoja. Ugradnja nanočestica u nanovlakna je, također, područje velikog interesa. Ugljične nanocjevčice, nanočestice plemenitih metala poput srebra, zlata, platine i paladija, pokazale su bolja fizikalno-kemijska svojstva proizvoda dobivenih elektropredenjem (*Wang i sur., 2009.*).

## Zaštitna oprema uređaja za elektrospredenje

Zbog ispunjavanja zahtjeva za zaštitu prilikom rada u procesu elektrospredjenja, uređaj za elektrospredenje mora biti opremljen s dodacima tehničke zaštite, a i sam djelatnik u laboratoriju treba upotrebljavati sredstva osobne zaštite.

Tehnička zaštita u procesu elektrospredjenja odnosi se na zaštitu od visokog napona i isparavanja otapala kod elektrospredjenja iz polimerne otopine. Iz tog razloga, uređaj je smješten u zaštitnu komoru, te opremljen ventilacijskim sustavom (*Sellers i sur., 2008.*). Slika 3. prikazuje ventilacijski sustav uređaja za elektrospredenje. Zaštitna komora izrađena je od pleksiglasa (polimeta-metakrilat, PMMA). Ventilacijski sustav čine fleksibilni cijevni sustav, nefleksibilni (plastični) cijevni sustav, filter zrak i ventilator.

1. Pleksiglas komora omogućava zaštitu laboranta od visokog napona prilikom elektrospredjenja te zaštitu od isparavanja otapala koja mogu biti opasna za ljudsko zdravlje. Unutar komore smješteni su pumpa sa špricom, te kolektor vlakana.
2. Fleksibilna cijev izrađena je od laminiranog materijala (više slojeva materijala: aluminijski unutarnji sloj, poliester i kopolimer u vanjskom sloju). Cijev je povezana preko filtra s ventilatorom i okolinom.
3. Kutija s filtrom izrađena je od pocinčanog čelika, ima dva otvora koji je povezuju s fleksibilnom cijevi, te s plastičnom cijevi na izlazu komore. Unutar kutije nalazi se filter mrežica izrađena od sintetičkog materijala. Filter omogućava separaciju čestica do 93,8%, te ima mogućnost apsorpcije do 122 g/m<sup>2</sup>, izdržljivost pri temperaturama do 100 °C i otpornost na gorenje i samogašenje.
4. Ventilator se nalazi u pocinčanoj čeličnoj kutiji, s jedne strane je povezan s filtrom preko fleksibilne cijevi, a s druge strane s izlaznom fleksibilnom cijevi.



Slika 3. Zaštitna oprema uređaja za elektrospredenje

Figure 3. Safety equipment for the electrospinning apparatus

Zaštitne mjere za vrijeme rada s uređajem za elektrospredenje su:

- nakon uključivanja visokog napona, vrata komore se ne smiju otvarati,
- kako bi se izbjegao električni udar, aparat se ne smije dirati golim rukama ili bilo kakvim metalnim predmetom,
- igla se može pročistiti uz pomoć tankog drvenog ili PTFE štapića,
- ventilacijski sustav mora biti uključen nakon aktiviranja uređaja.

## Osobna zaštitna sredstva djelatnika u laboratoriju

Zaštita dišnih organa od krutih čestica filtracijom nije fiksno ograničena njihovom koncentracijom u zraku, već prvenstveno donjom dopuštenom koncentracijom kisika u okolišu (najmanje 17 vol.%) i višekratnikom od GVI (granična vrijednost izloženosti). Opasnosti povezane s tekućim kemikalijama uočljivije su nego opasnosti od aerosola, dimova ili plinova i uglavnom su posljedica prskanja u postupku elektrospredjenja.

Tablica 3. prikazuje opseg zaštite od kemijskih čestica ovisno o filteru koji se upotrebljava za zaštitu (*Horvat i sur., 2009.*).

Tablica 3. Opseg zaštite ovisan o filtru

Table 3. Safety scope depending on the filter

Oznaka čestičnog filtra (razred)	Opseg zaštite
P1	Čestice inertne, netoksične, neotrovne, neagresivne prašine prema listi GVI.
P2	Čvrste i tekuće čestice (aerosoli) manje otrovnih, ali za zdravlje štetnih tvari. Lebdeća prašina, insekticidi, pesticidi, pare metala i krema, dim, magle. Čestice tvari gdje je $GVI \geq 0,1 \text{ mg/m}^3$ .
P3	Čestice opasnih i vrlo otrovnih tvari. Čestice prašine gdje je $GVI \leq 0,1 \text{ mg/m}^3$ . Prah tvari koje uzrokuju kancerogene bolesti, čestice radioaktivnih tvari. Klice bakterija i virusa.

Oprema za osobnu zaštitu radnika u laboratoriju obuhvaća nekoliko sredstava:

1. Zaštitne naočale, izrađene od polikarbonata, pružaju zaštitu radnika u laboratoriju u slučaju nenamjernog prskanja kemikalija za vrijeme priprema otopine, što može prouzročiti iritaciju očiju.
2. Zaštitna komora osigurava zaštitu od udisanja štetnih para otapala, a zaštitna maska omogućava dodatnu zaštitu laboranta od udisanja kemikalija, te zaštitu prilikom rukovanja nanomaterijalima. U slučaju rada s nanočesticama, zaštitne maske za disanje su osobito pogodne za zadržavanje nanočestica kako ne bi dospjele u dišni sustav (3M, 2010.).
3. Zaštitne rukavice su najčešće izrađene od lateksa, a potrebne su za zaštitu kože od štetnog djelovanja otapala (npr. nošenje prilikom uporabe heksafluoroizopropanola - HFIP koji je otapalo za poliamid 6, PA-6). S obzirom da je utjecaj nanočestica na kožu potencijalni zdravstveni rizik prilikom rukovanja nanomaterijalima, koža šaka i dijelovi iznad ručnog zgloba koji nisu pokriveni kutom moraju biti zaštićeni rukavicama (Schliemann i sur., 2007., Horvat i sur., 2009.).

Dodatne mjere zaštite, ovisno o vrsti nanomaterijala, su nošenje zaštitnog odijela uz specijalnu kapu, minimalno vrijeme izlaganja, te

minimalan broj izloženih radnika u laboratoriju. Slika 4. prikazuje osobnu zaštitnu opremu radnika u laboratoriju za vrijeme aktivacije uređaja za elektropredenje.



Slika 4. Osobna zaštitna oprema djelatnika za vrijeme aktivacije uređaja za elektropredenje

Figure 4. Personal protective equipment during the activation of the electrospinning apparatus

## ZAKLJUČAK

Postaje jasno da, bez obzira što nanomaterijali nude nove mogućnosti u primjeni, uvijek postoje sumnje u potencijalni rizik što ga nose sa sobom. Kako su istraživanja u ovom području sve intenzivnija, znanstvenici postaju svjesni potrebe mjera zaštite prema propisanim normama i propisima. Ovi propisi bi trebali uključivati identifikaciju proizvedenih nanomaterijala i njihovu krajnju primjenu, načini rukovanja nanomaterijalima, vremensko izlaganje radnika tijekom proizvodnje nanomaterijala, standardne metode za ocjenjivanje potencijalnog štetnog utjecaja i efikasnost zaštitnih mjera. Zaštita laboranta u procesu elektropredenja je važna posebno tijekom duljeg vremenskog izlaganja radu s nanomaterijalima, pri čemu treba primijeniti tehničke mjere zaštite i primjerena osobna zaštitna sredstva.

## LITERATURA

Aitken, R.J., Creely, K.S., Tran, C.L.: Nanoparticles: An occupational hygiene review. *HSE*. 2004.

*BGIA*, dostupno na: <http://www.dguv.de/ifa/en/index.jsp>, pristupljeno: 15.10.2010.

Borm, P.A.: Nanomaterials: Potential impacts on human health and environment. *Special Session of the Joint Meeting: Potential Implications of Manufactured Nanomaterials for Human Health and Environmental Safety*, 2005. dostupno na: <http://www.oecd.org/dataoecd/1/8/35742781.pdf>, pristupljeno: 15.4.2010.

Hett, A.: *Nanotechnology, Small matter many unknowns*, Swiss Re Publications, Zurich, 2004.

Horvat, J., Regent, A.: *Osobna zaštitna oprema*, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, 2009.

Hoyt, W. V., Mason, E.: Nanotechnology Emerging Health Issues, *Journal of Chemical Health & Safety*, 2008., 10-15.

*ISO/TS 27687:2008*. Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – Nanoparticle, nanofibre and nanoplate.

Kreyling, W.G. i sur.: Translocation of ultrafine insoluble Iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low, *J. Toxic Environ. Health*, 65, 2002., 1513–1530,

Linkov, I., Steevens, J. (eds.): *Nanomaterials: Risks and Benefits*, Springer Science Business Media, B. V., 2009.

*Nanomaterials 2006.*, NICNAS – National industrial chemicals notification and assesment

schemes, dostupno na: <http://www.nicnas.gov.au>, pristupljeno: 11.11.2010.

*NIOSH – Department of health and human services*, Approaches to safe Nanotechnology, 2009.

Oberdörster, G. et al.: Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain, *Inhal. Toxicol.*, 16, 2004., 437-45.

Schliemann, S., Elsner, P. (ed.): *Skin Protection: Practical Application in the Occupational Setting*, S. Karger AG, 2007.

Scott, R. A. (ed.): *Textiles for protection*, Cambridge, GBR: Woodhead Publishing, 2005.

Sellers, K. et al.: *Nanotechnology and the environment*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.

Taylor, G.: Electrically driven jets, *Proc. Roy. Soc. London A*, 313, 1969., 453-457.

Teo, W. E., Ramakrishna, S.: A review on electrospinning design and nanofibre assemblies, *Nanotechnology*, 17, 2006., R89-R106.

*Verband der Chemischen Industrie e.V.*, dostupno na: <http://www.vci.de>, pristupljeno: 15.04.2010.

Wang, H.-S., Fu, G.-D., Li, X.-S.; Functional polymeric nanofibers from electrospinning, *Recent Patents on Nanotechnology* 3, 2009., 21-31.

Yang, W., Peters, J. I., Williams, R. O.: Inhaled nanoparticles – A current review, *International Journal of Pharmaceutics* 356, 2008., 239-247.

*3M*, dostupno na: <http://www.solutions.3M.com>, pristupljeno: 15.04.2010.

## **SAFETY AT WORK IN THE ELECTROSPINNING LABORATORY**

*SUMMARY: Electrospinning is the process of nanofiber production from a polymer solution under electrostatic force. Due to the wide range of its application possibilities, the process has become very popular since it enables the production of materials with specific physical and chemical characteristics. The study presents a short overview of the potentially harmful effects of nanoparticles on human health and gives a detailed description of the electrospinning apparatus and safety measures, as well as of the personal protective equipment for the laboratory worker.*

**Key words:** *nanoparticles, electrospinning, protective equipment, health impact, safety at work*

*Subject review  
Received: 2010-12-01  
Accepted: 2010-12-20*