Наночестице, нанотехнологија и утицај на здравље људи и животну средину

Р. Феликс¹

Nanoparticales, Nanotechnology and the Influences on Human Health and the Environment

Radmilo Feliks

Сажетак: На почетку смо нове научно-техничке револуције. Реч је о наночестицама, наноматеријалима и нанотехнологији. Процене њиховог значаја су веома контрадикторне: од очекивања да би људи могли постати бесмртни, захваљујући усавршавању нанотехнологије у наредних двадесет година, до веома озбиљних последица по здравље људи и биосферу (ако се она неразумно користи). Због тога морамо бити веома пажљиви при доношењу закључака о употреби наночестица, наноматеријала и нанотехнологије.

Кључне речи:

Summary: We are at the beginning of the new scientific and tehnical revolution. It is said about nanoparticals, nanomaterials and nanotechnology. Evaluations of the impotances of nanotechnology are contradictory: from expertancy of the inmortality in next twenty years, to serious concernant about the influences on the human life, biosphere and the environment. Consequently, we must be very carefully in making the conclusions about to be use of nanoparticles, nanomaterials and nanoteshnology.

Keywords:

Увод

Нанотехнологија је технологија будућности о чему сведоче све већа улагања у њу, како најразвијенијих земаља света, тако и земаља у развоју какве су Индија и Кина (табела 1).

Улагања у Сједињеним Америчким Државама (САД) у нанотехнологију од 2001. до 2009. године су се више него утростручила, са 464 милиона долара у 2001. години, на 1.527 милиона долара у 2009. години (табела 2).

САД су у 2009. години, од својих 1.527 милиона долара, највише уложиле у фундаментална истраживања (36,0%) и у опрему (21,21%). На жалост, нема података о другим земљама. Тврди се да Кина има више научних институција и научника који се баве истраживањима у области нанонауке и нанотехнологије него цела Западна Европа заједно! На жалост, нема егзактних података.

У САД је од 1995. до 2006. године основано 230 нових нано фирми, највише у Калифорнији (42), Масачусетсу (25) и Тексасу (17),

Табела 1: Улагање влада у истраживање и развој нанологије 1997. и 2005. године (у милионима долара)

Година/Земља	ЕУ	Јапан	САД	Остали	Укупно	Удео САД %
1997	120	120	116	70	432	26,4 %
2005	1.050	950	1.081	1.000	4.081	26,4 %
пораст у %	9,1	7,31	9,31	14,3	9,45	-

1 Прим. др Радмило Феликс, специјалиста медицине рада, емеритус, Београд

Табела 2. Улагање влада у истраживање и развој нанологије 1997. и 2005. године (у милионима долара)

Година	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Улагања	464	697	774	989	1.200	1.350	1.390	1.491	1.527
Индекс	100	150	167	231	258	291	299	321	329

а уложено је 1.324 милиона долара, или просечно 22 милиона по фирми.

Шта су нано наука и нанотехнологија

Нано наука је наука која истражује својства, понашање и могућност управљања честицама на нанонивоу (наноскали). Наночестице су честице на нивоу атома и молекула, димензија мањих од 0,1 до 100nm (1nm = 10^{-9} m).

Наука на нанонивоу нуди могућности за различите технологије, укључујући и биотехнологију, когнитивне науке, информатику и роботiku. Логика је да је свеукупна, сва материја основа за СВЕ НАУКЕ и да потиче са нивоа наносвета где срећемо јединство материје. Разлике у микросвету престају да постоје на нивоу атома и молекула. Тврди се да у наносвету *нема разлике између живе и неживе материје*.

Нанотехнологија је руковање материјом на наноскали блиској атомима да би се произвеле нове структуре, нова средства и уређаји.

Колики се значај придаје овој области сведочи податак о цитираном односу Кине према овој области.

Нанотехнологија је низ техника које се користе за обраду материје у области где се величине мере милијардитим деловима метра (10^{-9} m). Тако је, на пример, потребно да се 10 атома H_2 нанижу један уз други да би се добио 1nm (нанометар). Молекул дезоксирибонуклеинске киселине (ДНК) је широк 2,5nm, хелија крвног зрнца (еритроцита) има пречник 5.000nm, а пречник власи људске косе око 80.000nm. Танак папир је дебео 100.000nm итд.

Нобеловац R. Feynman тврди да ће у блиској будућности цела Енциклопедија Британика (која има 24 тома) моћи да се одштампа на глави чиоде, а све што је до сада написано на свету моћи да стане у коцкицу чије су странице мање од 0,1nm!

На **графикону 1.** (технологија као наука) и **графикону 2.** (сектори нанотехнологије) дате су неке битне карактеристике технологије (детаљније у “Заштита у пракси“, број 156/2007, страна 36).

Графикон 1. Класификација технологије као науке

Графикон 2. Сектори нанотехнологије

И владе и привреда, пре свега индустрија, улажу све већа средства, како у фундаментална, тако и у развојна истраживања у овој области, али и за практичну примену наноматеријала, од козметике до војне индустрије.

Поред Србије, мануфактуринг подржавају: Аргентина, Ирска, Индија, Мексико и Нови Зеланд, а две области подржавају владе Ј. Кореје, Румуније и Француске.

Све 24 земље за које су дати подаци подржавају област наноматеријала и мануфактуринга. Биотехнологију и медицину подржавају владе 17 земаља, а област опреме са електроником и оптиком 14 земаља.

Наноматеријали служе као:

- сензори за откривање патолошких промена у организму на основу анализе издахнутог ваздуха,
- биомедицинске и биоелектричне везе (интерфејси) између електронике и живог ткива,
- наноцеви у виду влакана за замену крвних судова у васкуларној хирургији и за премошћавање (by pass) у васкуларној и кардиохирургији,
- и за побољшање контраста у радиологији, за:
- проучавање физиолошких путева у организму и функција ткива и појединих ћелија,
- за поправку или замену оштећених ткива или органа и, по Р. Керзвејлу, замену поједи-

Табела 3. Области нанотехнологије које подржавају владе

	Биотехнологија Медицина	Наноматеријали мануфактуринг	Развој инст.	Електроника Оптика	Енерг. животна средина	Образовање
Аустралија	X	X		X	X	
Белгија	X	X		X		
Бразил	X	X		X		
ЕУ 25	X	X	X	X	X	X
Италија	X	X	X	X	X	
Јапан	X	X	X	X	X	X
Немачка	X	X	X	X		
САД	X	X	X	X	X	X
Холандија	X	X	X	X		
Чешка Р.	X		X	X		
Швајцарска	X	X	X	X		
Србија		X				

них органа и нервних импланата, што би водило бесмртности, и за апсорпцију штетних компонената из организма (у “Политика“, 20.10.2009),

- денална пуњења (наночестице силицијум (Si) хидрокси апатита) и заштиту од каријеса,
- заштиту од сунчевог (TiO_2) и блокаду УВ зрачења (кристалне липидне наночестице) и детекцију разних знакова оштећења или инфекције космонаута у свемиру (“Star Trek“ технологија).

Наравно, овим се не исцрпљује примена наночестица, наноматеријала и нанотехнологије у медицини, поготову ако се имају у виду медицинска опрема, уређаји, завојни материјал, газе и завоји за збрињавање рана обложени нанокристалима сребра (Ag) који спречавају инфекцију итд.

„Бесмртни људи“

Колике се наде везују за наночестице и нанотехнологију може се наслутити из чланка „Бесмртни људи“ за две деценије (у „Политика“, 20.10.2009). У њему се тврди да „повећањем брзине наших спознаја научници ће бити у стању да нанотехнолошким додацима замене многе органе човечијег тела за двадесетак година. Наводе се ставови америчког футуролога и изумитеља Рејмонда Керзвејла (61) који сматра да би људи могли постати бесмртни за мање од 20 година „захваљујући усавршавању нанотехнологије и дубљем познавању функционисања људског тела“. И даље: „нанотехнологија ће проширити човекове менталне способности толико да ће бити у стању да за неколико минута напише књигу“.

Наравно да су овакве тврдње само у домаћу научну фантастику и пројекцију лепих жеља. Ми смо тек на почетку научно техничке револуције коју носи руковање материјом на нанонивоу. Много тога још не знамо, о чему сведочи John A. Howard, M.D., директор National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), САД – цитат у прилогу.

Могући ризици

Све је већи број научних студија и извештаја влада, који упозоравају да би наночестице могле да представљају и својеврсну опасност по здравље људи, нарочито радника који са њима долазе у додир, као и за радну и животну средину, али ниједна влада није увела систем контроле наночестица иако их на тржишту има у многим козметичким производима, у пестицидима, адитивима за храну итд.

Нанотехнологија нуди могућност развоја јачих, лакших материјала, јефтиних соларних ћелија и сензора, супербрзих компјутера са далеко већим капацитетима меморисања, молекуле који убијају рак, скрининг сензоре за откривање болести, ефикасније филтере за очишћавање ваздуха и воде итд.

Наговештавају се и многе друге користи, али се ништа не говори о евентуалним негативним и штетним својствима како у односу на здравље људи, радну и животну средину тако и на понашање и здравље запослених у разним производним и другим процесима где људи долазе у додир са њима.

Ефекти наночестица на људско здравље и околину још увек су недовољно познати и непредвидиви, мада се претпоставља да су честице нанодимензија продорније и токсичније од честица већих димензија исте материје.

Нанотехнички материјали би могли да поремете тржишта робом широке потрошње и да доведу до укидања радних места, што би, пре свега, погодило произвођаче застареле робе, нарочито у земљама у развоју и неразвијеним земљама. Ти поремећаји, по свему судећи, неће бити мали ни лако решиви, а могу изазвати и одређене етичке проблеме.

Постављају се нека кључна питања: ко ће контролисати нанотехнологију, ко ће од ње имати користи, а ко ће губити, *да ли ће бити и каквих опасности по здравље људи?* Безбедност, животну средину и биосферу? Како ће се њен развој одразити на односе у друштву богатог Севера и сиромашног Југа, развијених и неразвијених земаља?

Неке невладине организације тражиле су 2002. године увођење мораторијума на ста-

вљање наночестица у промет док се не утврди да ли су оне, и колико, опасне за раднике, потрошаче и животну средину и док се над њима не установи мониторинг и систематска лабораторијска контрола.

Најновије токсиколошке студије о опасностима од наночестица за здравље људи и биосферу показују да постоје разлози за бригу и опрезност:

- бакиболус узрокује нагло оштећење мозга риба (студија из 2004. године),
- угљеникове нанотубе, доступне на тржишту, изазвале су значајна оштећења плућа пацова када су биле убризгаване у њих, доза је била отприлике једнака оној којој се радник излаже током 17 дана (студија из 2005. године),
- наступило је значајно оштећење ДНК срца и аорте мишева који су били изложени угљениковим нанотубама /студија из 2005. године/,
- зечеви који су удисали бакиболс показују повећано згрушавање крви (студија из 2001. године),
- бакиболс се згрудњава у води стварајући растворљиве наночестице, чак и у веома малим концентрацијама могу да нашkode бактеријама у земљи. То брине јер се намеће питање како ће ови молекули угљеника и природни екосистеми утицати једни на друге.

Стога стручњаци упозоравају да се испуштање наночестица у околину *сведе на минимум или забрани*.

Тврди се да нанотехнологија не ствара уопште, или ствара врло мало отпада, но стручњаци упозоравају да нано отпад може да претвори земљиште у муљ, кашу ако се он директно изручи на тле.

Нанотехнологија изазива велику забринутост! Неће ли живи, самоумножавајући облици живог отворити могућност непредвидивих и неконтролисаних (штетних и опасних) последица?

Зато није чудо што Европска унија (ЕУ) посвећује све већу пажњу наночестицама и наноотехнологији и наноистраживањима уопште. ЕУ је прихватила да су оне основа научно-техничке револуције која се брзо развија и шири у XXI веку и настоји да буде у току и саучесник и корисник њеног развоја.

Наночестице и здравље људи

О наночестицама има релативно мали број одговарајућих токсиколошких студија. Претпоставља се да су оне у принципу много токсичније од „класичних“ честица, пре свега због веће специфичне површине у односу на укупну масу. Како се величина честица смањује реактивност се повећава па супстанца која је на макро или микро скали инертна може да буде врло опасна у нановеличини, можда зато што би оне довеле до повећања „слободних радикала“ који могу да доведу до запаљења и оштећења ткива или раста тумора.

Примена наноматеријала и нанотехнологије може да изазове велике социјалне, етичке, еколошке, али и **ЗДРАВСТВЕНЕ ПРОБЛЕМЕ**. О њиховом деловању на експоноване раднике, становништво и животну средину још увек се недовољно зна, о чему сведочи и цитирани апел директора NIOSH, J.A. Howard-a, САД.

Чак J. Л. Абрахам, са SUNY U.S. Medical University, Syracuse, N.Y., USA (према NIOSH-у) каже: „Морамо бити свесни да су наночестице из таквих извора, какви су дизел машине... могле бити узрок смрти хиљада људи у лондонском смогу 1952. године, што захтева преиспитивање те а и каснијих загађивања ваздуха са смртним исходима“.

Катастрофална тровања загађеним ваздухом која су се десила у долини реке Мезе; у Донори, Лос Анђелесу и Њу Орлеансу (1958) у САД; Паса Ричи у Мексику; више пута у Лондону (1952. године умрло око 4.000 људи, 1965. године око 700 људи); у Јокохами и Токију, на острву Хондо и Кију-Шију у Јапану; у Валсуми близу Диселдорфа у Немачкој; и другим крајевима света, скренули су пажњу човечанства на погибелну опасност од аеро-загађења. Можда ову сугестију др Абрахама треба применити и на друге сличне случајеве у свету.

Наночестице и нанотехнологија због својих специфичних својстава која су опасна по здравље радника, стварају многе неизвесности које настају зато што знања о факторима који су битни за предвиђање здравствених ризика, као што су: начин излагања/путеви уношења у организам, кретање кроз организам, реакције

организма као биолошког система, нису довољно испитани ни познати.

Као што је познато, реакције организма на спољне надражаје не зависе само од токсичности и других својстава неке супстанце, већ и од здравственог стања изложених особа, од начина и места уласка у организм, дужине експозиције, дужине и тежине рада, микроклиме радних просторија итд. Подаци о свим тим и другим важним чињеницама, у овом случају, нису довољно познате.

Резултати досадашњих студија о утицају наночестица на људе и резултати огледа на животињама имају за сада само прелиминарни значај. Утицај неке материје са одређеним својствима зависи од површине додира и трајања деловања те супстанце на појединим ћелијама, ткивима и органима и системима организма, што још није разјашњено у потпуности: наночестице у односу на своју масу имају огромну површину!

Наночестице се шире у организму путем крви. На удару су најчешће кардиоваскуларни, имуни и централни нервни систем. Оне могу да се кумулирају у појединим органима и ткивима и да оштете биолошке процесе и ослабе имунитет.

Епидемиолошке студије радника експонованих аеросолима, укључујући fine и ултраfine честице, упозоравају на оштећења плућа експонованих радника, као што су: симптоми оштећења респираторне функције, хронична опструктивна болест плућа и фиброзе плућа (Kreiss et al., 1977; Gardner et al., 2001; Antonini, 2003). Неки аутори су утврдили и канцер плућа код радника експонованих извесним ултрафиним честицама из димова дизел машина, што није потврђено другим студијама (Steenland et al., 1998; Garshick et al., 2004) и димова насталих при топљењу (Antonini, 2003).

Епидемиолошке студије становништва показале су везу између честица аерозагађења и пораста морбидитета од респираторних и кардиоваскуларних болести (Dockery et al., 1993; HeI, 2000; Pope et al., 2002; Pope et al., 2004).

Међутим неке епидемиолошке студије утврдиле су штетне ефекте на здравље, везане за

излагање ултрафиним фракцијама аерозагађења (Peters et al., 1997; Penttinen et al., 2001; Ibal-Milli et al., 2002.). Неизвесна је улога ултрафиних честица у односу на остала аерозагађења која проузрокују утврђене негативне здравствене ефекте.

Многи стручњаци, који су проучавали потенцијалну опасност од наночестица, наглашавају да је за индустријски безбедно коришћење безбројних опасних супстанци битна ствар доза и да оне буду што ниже, каже Seaton, A., Абердин, Шкотска, Велика Британија (ВБ).

Упркос негативним студијама, бројни стручњаци верују да опасност од наночестица, иако није неважна, ипак може бити спречена превентивним мерама.

Постоје докази да су наночестице способне да разарају живе ћелије. Упркос томе, научници желе да контролишу наночестице и да оне преносе лекове у ћелију. Али други научници мисле да то неће бити могуће, пошто у неким случајевима наночестице саме по себи разарају ћелије. Али многи стручњаци и компаније сматрају да ће се за то наћи решење.

Експозиција наночестицама

Наночестице (наноматеријали) могу доспети у организм путем удисаја, гутањем, преко коже и слузокожа, од чега зависи и ефекат на здравље експониране особе.

Удисање је најчешћи пут уношења у организм. Где ће се оне зауставити у плућима, зависи од својства удахнутих честица. Оне могу прећи у крвоток, а преко њега у сваки орган и ткиво.

Важно је (истаћи) да поједине наночестице које се депонују у некој регији могу транслокацијом дуж олфакторног нерва да доспеју у мозак, што је наводно откривено у огледима на пацовима. То значи да би и само мирисање таквих материја могло бити опасно по здравље. Овај пут уношења није испитан на људима.

Ингестија – може да се догоди на класичан начин, тј. преко прљавих руку, путем хране и пића или додиром усана. Она може да прати удисање, било да се наночестице задр-

же у устима а затим прогутају, било да се оне путем мукоцилија избаце из респираторног тракта у фарингс а затим прогутају.

Кожа. Наночестице се могу унети у организам и преко коже, пре свега, при професионалној експозицији и путем козметике и сличних препарата који садрже наночестице. Неки аутори оспоравају овај пут, нарочито ако се ради о TiO_2 у препаратима за сунчање.

Лабораторијска истраживања на животињама, међутим, показују да угљеникове наночестице (цевчице, тубе) могу да се депонују у кожи и да доведу до тровања ћелија, па и некрозе ткива.

Хипотезе о опасности по здравље људи на основу истраживања на животињама и епидемиолошких студија

Истраживања на лабораторијским животињама и епидемиолошке студије на људима упућују на неколико хипотеза које се односе на могуће ефекте вештачки добијених наночестица на људско здравље које треба оповргнути или потврдити:

1. Вештачки добијене наночестице вероватно имају здравствене ефекте сличне добро познатим ултрафиним честицама са сличним физичким и хемијским карактеристикама. Студије на животињама и људима подржавају хипотезу да ултрафине честице и наночестице могу да буду већа опасност по респираторни тракт, него велике честице, а са сличним физичким и хемијским саставом. Ако вештачке наночестице имају иста својства као ултрафине честице, онда оне могу деловати на исти начин.
2. Површина, активност, број честица и растворљивост могу бити бољи индикатор (предиктор) могуће опасности него маса. Већу опасност представљају наночестице него веће честице јер имају већу специфичну активну површину, у односу на веће честице исте масе. Честице са мање реактивном површином су мање токсичне. То је потврђено низом изведених експеримената.

Потребна су још многа свестрана истраживања специјалних својства наночестица и наноматеријала и фактора који утичу на њихову токсичност и штетност, не само са гледишта здравствене заштите, већ и са аспекта социјалних и етичких проблема које са собом носи примена нанотехнологије.

Када је о здравственој заштити реч, у сваком случају се мора имати у виду да се резултати, добијени на лабораторијским и другим животињама, не могу, из многих разлога, једноставно интерполирати на људе (што се често заборавља).

Путеви и дистрибуција у организму

Наночестице се шире у организму крвотоком. Секундарни циљни органи су кардиоваскуларни (срчано-судовни), имуни систем и централни нервни систем. Доказано је код примата да наночестице могу да путују путем нерава од носа до мозга.

Наночестице у организму могу да се акумулирају у појединим органима и ткивима, да оштете биолошке, структуралне и метаболичке процесе и да ослабе имунски сисием.

Начин дејства

За сада нису довољно познати могући штетни ефекти наночестица на здравље експонираних лица. Из ових разлога у току су истраживања или се планирају пројекти већег броја истраживања у свету који се односе на експозицију, путеве уноса наночестица, транспорт токсичност, трансформацију, биолошки циклус, судбину и биолошке ефекте мешавине честица. Један број истраживања се односи на дистрибуцију и начин уласка честица титанијум оксида, пуниоца и квантних тачака преко коже, плућну токсичност наноцеви од угљеника, могуће токсичне ефекте ултраситног и аеросола дизел машина, површинску активност честица, токсичност ултраситног аеросола берилијума и др.

Потенцијални штетни ефекти нанотехнологије могу бити резултат природе самих чести-

ца, особине производа који садрже ове честице или процеса производње. Наночестице карактерише велика површина, а поједине кристална структура и велика реактивност, што може да олакшава дејство на живи организам, а због мале количине интеракцију са ћелијским материјалом и транспорт у радној и животној средини. Ултраситне честице, које имају малу растворљивост, далеко су више токсичне, него веће честице по укупној маси. Резултати истраживања америчких научника показали су да постоји блиска веза између сензибилизације на берилијум и концентрације наночестица берилијума. Није познато дејство биоаккумуляције наночестица, али се претпоставља да доводи до повећаног ризика на људско здравље. Такође се не зна какав ће ефекат имати појава наночестица у животној средини.

Према једној хипотези ултраситне честице, које су сличне величине као велики протеини, могу да створе комплексе са протеинима и да тако мењају њихову биокинетску судбину.

Истраживања су показала да се наночестице акумулирају у већој мери у носним шупљинама, плућима и мозгу пацова. Неколико студија на животињама је показало да наноцеви од угљеника могу да изазову веома значајну реакцију плућног ткива и појаву смрти због кардиоваскуларних поремећаја. Поједини истраживачи сматрају да ова депозиција наночестица може да доведе до локалног запаљења и повећаног ризика од оштећења мозга и болести централног нервног система. Унете у плућне алвеоле, наночестице бивају апсорбоване од стране алвеоларних макрофага (ћелија које гутају и уклањају страна тела). На овај начин наночестице доспевају у плућно ткиво или у крвоток. Нађено је да наночестице од угљеника са једним зидом изазивају оштећење плућа код мишева, које зависи од дозе, која се карактерише грануломом. Ове наночестице су се показале као више токсичне, у односу на честице кварца у истој количини. Сада су наноцевчице са једним зидом класификоване као нова форма графита на листи максимално дозвољених концентрација у радној средини, али директна екстраполација са листе неће моћи да обезбеди заштиту од експозиције, јер наведене наночестице показују специфичне

функционалне особине и токсичност. Изгледа да је појава плућних гранулома резултат плућног одбрамбеног одговора на уклањање страних супстанци које не могу лако да се деградирају. Плућни грануломи се иначе налазе код хроничне берилијумове болести, саркоидозе и хипералергијског пнеумонитиса. Појава гранулома у плућима код удисања ових честица говори о новом потенцијалном механизму токсичности за плућно ткиво и изазивање оштећења на плућима, јер настали плућни грануломи имају посебне карактеристике. Ово постојање биоперзистенције наноцевчица угљеника са једним зидом и особина стварања гранулома значи да ниске концентрације честица могу да изазивају штетне ефекте код хроничне експозиције.

У неколико радова је доказан пут ширења наночестица преко мирисног нерва од носа до мозга. Тако су код верице код уноса преко носа честица колоидалног злата дијаметра од 50nm, после 30–60 минута честице доспеле до језгра за мирис у мозгу (брзина кретања око 2,5mm/h). Такође је потврђен и нервни транспорт микросферних честица (промера 20–200nm) обележених родамидом у мозгу пацова и мачака. Удахнуте веома ситне честице ^{13}C (дијаметра од 25nm) су из носа преко пута мирисног нерва доспеле до мирисног језгра у мозгу и малог мозга пацова у току наредне недеље. Нађена су и оштећења мождано-крвне баријере и дегенеративне промене на нервима. Поједина истраживања на псима показују да велика изложеност ваздушним полутантима у облику веома ситног аеросола, који се може наћи у великим градовима, може да изазове неуродегенеративне промене које су сличне онима код Alzheimer-ове и Паркинсонове болести. Могуће је да поједине неуродегенеративне болести, као што је Alzheimer-ова болест, могу да почну раније у животу ако је особа изложена повећаном загађењу ваздуха у својој средини.

Претпоставља се да се ефекти на срчано-судовном систему са смртним исходом, који су нађени у појединим експериментима на животињама, одвијају тако што наночестице, доспеле из плућа, имају ефекат на електричну активност срца (директно дејство наночестица, дејство на аутономну контролу срчане актив-

ности или на проводљивост сигнала) што доводи до фаталног поремећаја ритма срца. Други могући механизам био би преко дејства на снабдевање срца крвљу, што доводи до недостатка кисеоника у ткиву срца.

Студије на радницима који су изложени аеросолу на производњи ситних (микроскопских) и веома ситних честица (наночестица) говори да код њих долази до погоршања плућних функција и појаве респираторних симптома, али није довољно јасан значај улоге тих веома ситних честица у односу на друге контаминанте у тој радној средини који изазивају штетне здравствене ефекте. За сада нема довољно поузданих доказа да је дошло до појаве обољења код људи изазваних наночестицама, али је веома извесно да до тога може да дође.

У марту 2006. године најмање 77 особа у Немачкој жалило се на јаке респираторне симптоме, укључујући шест особа које су примљене у болницу због едема (отока) плућа пошто су употребљавале „Magic Nano“ средство за чишћење купатила.

Експерименти на животињама

Нове студије на животињама показују да наночестице и удисање честица микросфере и нанотуба могу да изазову велике тешкоће код радника који рукују њима. Поруче са скупа у Њу Орлеансу (САД) упозоравају да су наночестице за плућно ткиво опасније него веће честице (J. Raloff, 2005).

Наночестице угљеника нису шкодиле, али је једнака маса комерцијално доступних угљеникових нанотуба изазивала значајна оштећења плућа, чак је убила неколико животиња. Специјални ефекат графита био је да су ћелије имуносистема – макрофази „португале“ нанотубе, али су после тога угинуле. Уследило је запаљење плућног ткива и стварање гранулома. (James J.T. и Lam C., 2005).

Simeonova P.P. и Li Z., утврдиле су штетно деловање наночестица (туба) угљеника на плућа мишева (гранулома), оштећења митохондрија ДНК у срцу и аорти, знаке артериосклерозе срца и плућа на животињама.

Shimada J. (Јапан) је први описао сликама кретање наночестица из плућа у крвоток. У оквиру неколико минута додиром најтањих ваздушних путева мишијих плућа, угљене честице су почеле да пролазе кроз отворе најмањих честица између површине ћелије и капилара крвотока. Описано је и да негативне наночестице продиру у еритроците.

Истраживања Rochester Универзитета, N.Y., USA, извештавају о повећаној осетљивости кунџа који су удисали угљене наночестице.

Симулирајући аерозагађења градова, истраживачи су давали кунџима ваздух који је садржавао 70 микрограма нанолоптица на кубни метар у току три часа. Овај режим је трајао извесно време, а затим су кунџи поново удисали чисти ваздух. Ефекти су се испољавали брзо после експозиције, известила је Elder A., сугеришући да наночестице пролазе из плућа у крвоток радије него да се задржавају у плућима.

„Мање честице су токсичније него веће (велике)“ објашњава Vyvyan Howard, патолог Универзитета у Ливерпулу (ВБ). Прва од ове две студије сагледавале су ову дилему чије је испитивање спонзорисала Америчка свемирска агенција (NASA) која жели да добије савршеније материјале наноскале. У овим студијама научници и њихови сарадници користили су три врсте наноцевчица које су уносили у мишеве. Наноцевчице су пролазиле кроз плућа глодара. Све наноцевчице су изазвале инфекцију плућа и изазвале на крају обољење плућа, које је познато као грануломатоза. Сваки миш је имао контакт са наноцевчицама, али неке ране су водиле ка грозној смрти ткива. Делићи кварца, које токсиколози третирају као ниво „озбиљне опасности“, дале су мање опасне реакције него наночестице, у просеку. Као тим, сматрају да наночестице могу бити опасније него делићи кварца, имајући у виду да се ради контактирања удисањем.

Друга студија, коју је водио Warhet D. која није била завршена, показују да се наночестице не задржавају само у плућима, оне могу да путују до мозга и да изазову оштећења.

Ефекти на животну средину

Многе наночестице које се појављују у природи су растворљиве у води и тако се разnose у животној средини. Наночестице теже да се агрегирају и да се мењају у веће микрочестице. Оне су мање реактивне, мање покретне и у мањој мери се дистрибуирају. Да би спречили агрегацију, произвођачи веома често облажу наночестице, што их чини више реактивним и више мобилним. Када наночестице доспеју у воду или ваздух, оне контаминирају земљиште и подземне воде. Глобална контаминација се дешава када честице уђу у водени циклус. Ако биљке апсорбују наночестице, ланац исхране бива контаминиран преко узимања житарица. Ако се наночестице не рециклирају или прописно не уклањају као отпад, онда ће оне контаминирати животну средину.

Бакилопте изазивају екстензивно оштећење мозга код риба. Истраживања на пацовима су утврдила да се ове нанопиле таложе у бубрезима и јетри и избацују урином из организма.

Утврђено је да високи нивои наночестица алуминијум оксида сузбијају раст више врста јестивих биљака. Наночестице које се користе за производњу стакла које је отпорно на огреботине и лосионе за сунчање или се употребљавају за неутрализацију загађене воде, могу да се директно отпуштају у водотокове и контаминирају их.

Поједини аутори наводе неколико општих претпоставки о могућим опасностима нанопроизвода по животну средину и здравље:

- Сви облици нанопроизвода су потенцијално опасни;
- Нанопроизводи од конвенционалних материјала представљају јединствен, али углавном познат ризик или се тај ризик може наслутити;
- Нанопроизводи од нових материјала представљају нови још недефинисан ризик;
- Нанопроизводи код којих може да дође до самоумножавања представљају ризик који је изван садашњих сазнања. Наиме, теоријски је могуће да је код неких готових нанопроизвода од нових материјала у будућности, који су веома ситни јер су састављени од малог броја

молекула, да дође до промена, међусобне рекомбинације молекула или група молекула и до стварања нових формација које имају нове карактеристике. Ова појава би представљала нови ризик у животној средини. Неки говоре и апокалиптичној опасности од састављача или самоумножавања наномашина, односно, наносистема, који почињу да се сами неконтролисано састављају и тако умножавају у огромном броју;

- Могуће је да се, кад се једном појаве у животној средини, неки нанопроизводи даље шире, акумулирају и остану тамо трајно присутни јер се не могу уништити или уклонити.

Нанобиотехнологија

Реч нанотехнологија изазива асоцијације на самоумножавајуће нанороботе који неконтролисано уништавају Земљу.

Термин нанобиотехнологија односи се на интеграцију биолошких материјала са синтетичким материјалима ради изградње нових молекуларних структура, чиме се бави синтетичка биологија. Они могу да се програмирају да обављају посебне задатке. Интеграција живих и неживих делова нановеличине су синоним за нанобиотехнологију.

Нанобиотехнологије желе да самоумножавајуће процесе природе користе у индустријске сврхе. Праве се хибридни организми који користе биолошку и неболошку материју по поруцини, на пример:

- направљено је средство, дужине мање од 1mm, од ћелија срца пацова и силицијума. Мишићно ткиво које расте омогућава да се креће и верује се да би могло да напаја компјутерске чипове (једног дана);
- праве се и аутономни роботи осмишљени за посебне намене који су величине вируса или ћелије од биолошких и вештачких делова;
- користе се протеини из хлоропласта спанаћа да би се направила електроенергетска кола, што у свету представља прву фотосинтетичку соларну ћелију у чврстом стању;
- генетски је створен ДНК вируса, који се подстиче да ствара сићушне неорганске жице с магнетним особинама и особинама полупро-

водљивости који једног дана могу да повезују електронске компоненте велике брзине;

- прави се нови тип бактерије, уз коришћење ДНК произведен у лабораторији, који може да се програмира да производи водоник или да се користи у околини за издвајање угљен-диоксида.

Напредак у области синтетичке биологије је запањујући, али ствара и огромне могућности за злоупотребу или нехотичну катастрофу. У 2005. години откривена је нова, аутоматизована техника, којом се брже и лакше синтетише дугачки молекули ДНК. Међутим, истиче се да ће то такође омогућити брзу синтезу било ког малог генома, укључујући вирус великих богиња (*Variolae verae*) и других опасних патогена који би могли да се користе у биотероризму.

Нанотехнологија изазива велику забринутост. Неће ли нови, самоумножавајући облици живота отворити могућност непредвидивих и неконтролисаних (штетних и опасних) последица? Научници већ упозоравају на потенцијалне опасности и етичке импликације свога рада и тражи се да се консултују и размишљају обазриво о ризицима како о претпостављеним, тако и о стварним.

Ради се и на заједничком пројекту ради испитивања друштвених импликација синтетичке геномике и потреба контроле. Међутим, проблем је у томе што су они који се баве друштвеним импликацијама синтетичке биологије уско повезани са онима који желе да их комерцијализују.

Иако нанобиотехнологија брзо напредује, о њој не постоји ни јавна стручна дебата, нити је под било чијом контролом.

Јавна дискусија и надзор

Нанотехнологија би могла да донесе користи: чистију воду, јефтинију енергију, боље здравље и дужи живот. Било би и значајнијих еколошких добити од замене неких конвенционалних материјала новим наноматеријалима, тим пре што би њена примена елиминисала отпад или би он био сведен на минимум. Но,

да ли ће приватизација науке, незапамћена концентрација корпорација, технолошки императив и тежња за профитом дозволити да и сиромашније заједнице имају приступ (производима) нанотехнологијама, тим пре што се она добрим делом развија за потребе војске?

Нанотехнологија је власништво и предност најразвијенијих држава и великих држава света који су власници ових, пре свега, основних патената у овој области. Технологије нановеличина и даље ће концентрисати еколошку моћ у рукама мултинационалних компанија, повећавати војну моћ најразвијенијих држава и даље ће продубљивати јаз између богатих и сиромашних.

Већини влада су се до сада понашале као навјиди, а не регулатори, када би се повела реч о нанотехнолошкој и нанобиотехнолошкој револуцији. Водеће нанонације сасвим су се оријентисале на обезбеђивање економске и војне предности које доноси нова нанотехнологија. Сиромаштво, здравље, еколошка питања и квалитет живљења су у другом плану; регулативи, закони и подзакони и стандарди, етика итд., мораће да чекају; прописи, ако не могу да се избегну, морају се постићи консензусом како се не би угрозили комерцијални развој истраживања и развој нанотехнологије.

Недавно објављени извештаји влада позивају на рестрикцију или забрану испуштања наночестица у животну средину. Европском парламенту се препоручује да ослобађање наночестица треба да буде ограничено због потенцијалних негативних ефеката на околину и здравље људи.

Неке невладине и друге организације позивају на мораторијум за нанотехничка истраживања и нове комерцијалне производе на тој основи док се не установи контрола која ће да штити раднике и потрошаче и док се не покаже да су ти материјали и производи безбедни. Имајући у виду недостатак прописа и став водећих нанонација, позив на мораторијум заслужује јавну расправу.

Шира јавност и друштво морају се укључити у општу дебату о нанотехнологији и вишеструким здравственим, еколошким, етичким и економско-социјалним последицама које су

од важности за цело човечанство, за земље у развоју и сваку земљу појединачно. Покушаји влада и индустрије да се дискусије усмере само на састанке стручњака или на здравствене и безбедносне проблеме нанотехнологије су погрешни и неприхватљиви.

Мора се поклонити потребна пажња и ширим социјално-економским и етичким проблемима, као и интелектуалној својини, тј. праву да и земље у развоју могу да користе достигнућа нанотехнологије и да то не буде само монопол развијених.

Каква ће бити улога УН и на ком нивоу ће се доносити обавезујући документи међународног права и ко ће одлучивати о томе и како ће нанотехнологија утицати на нашу будућност? Да се не би дошло у ситуацију као са коришћењем нуклеарне енергије.

Истраживања

NIOSH је разрадио стратегијски план за истраживање неких аспеката безбедности и здравља које угрожава нанотехнологија, односно, наноматеријали и наночестице. Тај план је доступан на: www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/strat_plan.html.

NIOSH и нанотехнологија

Из претходног текста види се какве све контраверзе и недоумице изазивају нанотехнологија и наноматерија. У своме документу: „Nanotechnology and Occupational Safety and Health Research – Frequently Asked Questions“ – NIOSH је путем низа питања и потпитања најбоље изразио те недоумице. Основна питања из тог чланка су:

1. Шта је нанотехнологија? Одакле је дошла и колико дуго ће је бити?
2. Која врста нанотехнологија (нанопродукта) се производи или користи у САД?
3. Зашто је NIOSH водећи истраживач нанотехнологије и здравља радника (професионалног здравља)?
4. Каква знања и експертизе NIOSH доноси кроз та истраживања?

5. На који начин је NIOSH – истраживачки програм, који се односи на остале напоре Владе, везан за истраживања и развој у нанотехнологији?
6. Колико је радника тренутно изложено наночестицама?
7. Колико ће радника потенцијално бити изложено наночестицама?
8. Какви су ефекти наноматеријала на здравље радника?
9. На који начин ће радна места, изложена наноматеријалима, бити праћена (мерена)?
10. Да ли ће радна места, изложена наноматеријалима, бити под надзором (контролисана), и ако ће бити, како?
11. Какве су могуће промене нанотехнологије у професионалној безбедности и здрављу?
12. Где се могу наћи информација о NIOSH – истраживањима која се односе на професионално здравље (здравље радника) и нанотехнологију? Где се могу наћи додатне информације о иницијативи за националну нанотехнологију (The National Nanotechnology Initiative – NNI)?

У својим одговорима на ова основна питања, NIOSH је наведена питања допунио низом потпитања која треба да разјасне основне дилеме.

Иако се ова питања специфично односе на САД, она имају и шири значај, јер је САД за сада највећи корисник нанотехнологије и нанопроизвода и највише истражују ову област науке и технологије (види у „Заштита у пракси“ бр. 144).

Оно што је са гледишта овог текста најважније то су одговори на питања 7–11. али и на здравље становника, биосферу и животну околину јер за сада нема конкретног и децидираног одговора. Препоручује се опрезност при давању дозвола за коришћење нанотехнологије и нанопроизвода, као и процени њиховог утицаја на здравље професионално угрожених особа, становништва и биосфере и с правом се траже нова свеобухватнија и прецизнија истраживања о утицају нанотехнологије и наноматеријала (честца и др.) на људе и биосферу.

Овај чланак је само подстицај да се пре свега наши читаоци обавесте о користима и

добробити које доноси нанотехнологија, али и о последицама њене примене, пре свега на здравље радника и грађана, имајући у виду и социјалне, етичке, еколошке, организационе и друге последице које она неминовно са собом носи. Истовремено, ови чланци треба да подстакну наше сараднике да се позабаве овом тематиком која наговештава нову научно-техничку револуцију, чије су последице за сада у сваком погледу неизвесне и недовољно проучене.

Истраживања у Србији

Наши стручњаци, пре свега физичари, али и други стручњаци из техничких наука, баве се, сваки са свога аспекта, наночестицама, наноматеријалима и нанотехнологијом. Међутим, мало је радова из области медицине и биотехнологије у овој области.

У Херцег Новом је и 2009. године одржана конференција „YUCOMAT 2009“. Саопштено је 264 радова (реферата). Од тога је 65 (62,5%) било посвећено наночестицама, наноматеријалима и нанотехнологији. Нажалост, само се четири (1,5%) од њих односило на неки од здравствених проблема везаних за наночестице или наноматеријале (1. Хипертермија, 2. Откривање канцера, 3. Алвеоларна остеопороза, и, 4. Примене у оптици).

Према подацима „YUCOMAT-а 2009“ изгледа да је највећи број лекара који се баве овом тематиком из Ниша. Часопис „Заштита у пракси“ објавио је до сада четири прилога из ове области (бројеви: 144, 145 из 2006. године, 156 из 2007. године и 168 из 2008. године).

Наши лекари, пре свега стручњаци медицине рада, треба да се више позабаве овом тематиком јер су особе које највише долазе у додир са овим супстанцама управо радници у индустријама (производња козметике итд., корисници дизел машина и слично).

Србија (према незваничним подацима) има тридесетак научних институција који се баве овом и сличном тематиком, а само три здравствене установе: Војномедицинска академија, Стоматолошки факултет у Београду и Медицински факултет у Нишу.

У интервјуу „Политици“, Божидар Ђелић, потпредседник Владе и министар за науку Републике Србије, истиче СЕДАМ ПРИОРИТЕТА за развој српске науке, а то су у првом реду: 1. биомедицина, 2. нови материјали и нанонауке, 3. заштита животне средине и климатске промене и тд. („Политика“, бр. 34 536 CVI, 29. 12.2009).

Према речима Божидара Ђелића, јавна расправа је потврдила ове националне приоритете, а Упрвни одбор Европске инвестиционе банке одобрио је 200 милиона евра за науку и технологију, а Србија од тога добија 8,5 милиона евра, бесповратних средстава. За ову, 2010. годину, за науку се у буџету Владе Републике Србије предвиђа 11 милијарди динара или 0,5% ДП (до сада је било 0,3 ДП).

Општи значај истраживања у области нанонауке

Колики се значај истраживањима области нанонауке придаје у свету може се закључити из чињенице да Кина има више институција и стручњака који се баве истраживањима у области нанонауке него цела Западна Европа заједно, да су улагања у истраживања у овој области све већа (види табелу 1), да ЕУ придаје значај овим истраживањима (види и „Заштита у пракси“ број 156 из 2007. године), да Председник САД има President's Council of Advisors on Science and Technology, а постоји и Управа за координацију истраживања у овој области (National Nanotechnology Coordination Office - NNCO), а да директор NIOSH-а позива све научнике света на сарадњу у истраживањима нанонауке и предлаже NIOSH као центар за размену података, информација и сугестија о утицају наночестица, наноматеријала и нанотехнологије на здравље људи, животну и радну средину.

Надамо се да ће потпредседник Владе Републике Србије и министар за науку испунити своје обећање у односу на приоритете у науци и укључити и здравствене установе у ова истраживања која су од изузетног значаја за здравље људи и заштиту радне и животне средине.

ПРИЛОГ

Порука директора NIOSH-а

Област нанотехнологије брзо напредује и вероватно ће револуционисати глобалну индустрију. Као са било којом новом технологијом, суочени смо са многим непознаницама, све више расте број питања која се односе на безбедност и здравље.

Националном институту за професионалну безбедност здравља (National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH) поверено је обезбеђење радника од нанотехнологије током њеног (даљег) развоја.

NIOSH је израдио документ: „Безбедни приступи нанотехнологији“. Разменом информација са NIOSH-ем повећале би се могућности за безбедност и здравље, које се односе на експозицију наноматеријалима. Документ, такође, сматра да текућа и будућа истраживања треба да битно допринесу разумевању потенцијалних ризика које нанотехнологија може да има за раднике.

Неопходно је да заједница радника допринесе општем (заједничком) напретку нашег разумевања нанотехнологије и последица које може да изазове на радном месту. Ја Вас позивам да учествујете у овим процесима и да узајамно размењујете информације, коментаре и сугестије које се односе на документ о без-

бедним приступима нанотехнологији. Такође Вас охрабрујем да суделујете са било каквом информацијом или искуством које се односи на област нанотехнологије.

Како (пошто) ће наше знање расти, NIOSH планира да обезбеди приручник (упутство) драгоцених информација за безбедно руковање наночестицама и друге безбедне поступке нанотехнологије. То ће бити настојање да паралелно како се развија нанотехнологија и како напредује, тако ће расти и наше знање и искуство.

ХВАЛА!

*JOHN HOWARD M.D., директор,
National Institute for Occupational Safety
and Health - NIOSH,
Centers for Diseases Control and
Prevention.*

Чак Ј.Л. Абрахам, са SUNY U.S. Medical University, Syracuse, N.Y. (према NIOSH-у) каже: Морамо бити свесни да су наночестице из таквих извора, какви су дизел-машине, могле бити узрок смрти хиљада људи у лондонском смогу 1952. године, што захтева преиспитивање тих, а и каснијих загађивања ваздуха са смртним исходима.

Готово сви стручњаци, пре свега лекари, који се баве утицајем наночестица на здравље људи и биосферу, ЗАХТЕВАЈУ ОПРЕЗНОСТ при давању сагласности за производњу и коришћење наноматеријала.

Литература

1. Шенд Хоуп, Вертер Џо Кети: Наука микрочестица: Увод у нанотехнологију. The World Watche Institute: Стање Света 2006., у фокусу Кина и Индија, стр. 83-110 и 216-220, „Политика“, Београд, 2006 год.;
2. Једна таблета месечно. Политика, 2006; 33 206: 31.
3. Лепак најчвршћи на Свету. Политика, 2006; 33 206: 34.
4. Прстенасти осцилатор дуг 18 mm, а састављен од 12 транзистора. Политика, 2006; 33 213: 20.
5. Raloff Janet: Nano Hazards: – Exposure to minute particles mammals's Lung and Circulatory systems. Science News“, 2005; 12 (167): 179.
6. NIOSH: NIOSH, Nanotechnology, Occupational Safety and Health Research – Frequently Asked Questions. 2005.
7. NIOSH: Approache to Safety Nanotechnology – An information Exchange with NIOSH. NIOSH, Center's for Diseases Control and Prevention, 2005.
8. Hazards and Technology
9. Art Nanotechnology Harmful. Nano Art Gallery, 2006.
10. Stay Informed – Get Involved. 2006.
11. Феликс Р: Нанотехнологија – Изазов за здравље људи и заштиту радне и животне средине. Нанотехнологија је технологија будућности, Заштита у пракси, 2006; 144.
12. Феликс Р: Наноматеријали и здравље људи. Заштита у пракси, 2006; 145.
13. Феликс Р: Наноистрживања и нанотехнологија у европској унији. Заштита у пракси, 2007; 156.

14. Феликс Р: Покретање наноробота. У штампи у Заштита у пракси.Маринковић С.: Материјал будућности: угљеничне наноцеви - чудесна чврстина – Иако веома лаке, хиљадама пута чвршће од истоврсних влакана. Изводи у Политика, 2006; 33 272; 10.
15. Хрњак М.: Нанотехнологија – нови изазов за безбедност и здравље на раду. Заштита у пракси, 2008; 168.
16. Samasundaran P. at all: Nanotechnology and Related Safety Issues Job Delivery in Cosmetic's. MRS Bulliten, 2007; 10(22): 779–786.
17. Maira P, Brahms J: Challenges in Cosmetics Formulations: Long Wear and Comfort. Detto, 787–791.
18. Thomas E. Mallouk, Auysman Sen: Powering nanorobots. Scientific American, 2009.
19. Бесмртни људи за две деценије. Политика, 20.10.2009; 27.
20. YUCOM 2009. Programme and the Book of Abstracts, Eleventh Annual Conference, Херцег Нови, 2009.Интервију Господина Божидара Ђелића, подпредседника Владе и министра за нуку Владе Републике Србије. Политика, 2009; 34 536: 9.