

Дејана Н. Јовановић Поповић¹
Универзитет у Београду, Факултет безбедности
Београд (Србија)

005.334:[001.891:66.017/.018
711.45:544.2

Прејледни научни рад

Примљен 22/02/2023

Прихваћен 30/03/2023

doi: [10.5937/socpreg57-43017](https://doi.org/10.5937/socpreg57-43017)

НАНОТЕХНОЛОГИЈА И ИНТЕРНЕТ НАНОСТВАРИ: БЕНЕФИТИ И РИЗИЦИ

Сажетак: Нанотехнологија пружа нова решења за бројне апликације које имају значајан утицај на скоро сваки аспект наше заједнице, укључујући медицину, паметне градове, војску, пољопривреду и индустрију. Међусобно повезивање уређаја нано-размера са постојећим комуникационим мрежама преко интернета дефинише нову парадигму умрежавања под називом интернет наноствари и укључује велики број наносензора који пружају прецизније и детаљније информације у реалном времену о здравственом стању људског организма, животне средине или одређеног објекта. У раду су анализирани могућности употребе нанотехнологија и интернета наноствари, као и разне њихове апликације у паметним градовима. На крају, следи дискусија о ризицима, изазовима и безбедносним питањима које ове две револуционарне технике могу донети човечанству.

Кључне речи: нанотехнологија; интернет наноствари; интернет ствари; паметни градови; наносензори; ризици; бенефити

УВОД

Развој нанотехнологија, интернета ствари, интернета наноствари имаће несумњиво велики утицај на напредак и развој у свим сферама живота у будућности, укључујући паметне градове. Три типа покретача паметних градова – заједница, технологија, политике – повезани су са пет жељених исхода – продуктивност, одрживост, приступачност, благостање, услови доброг квалитета живота, као и управљање (Yigitcanlar *et al.*, 2018).

Услед антропопресије, повећане урбанизације или климатских промена, а у смислу постизања одрживог развоја, концепт „паметног града“ нуди решења кроз коришћење умрежених инфраструктурних система за побољшање економске и политичке ефикасности, као и друштвеног, културног и урбаног развоја (Hollands, 2008; Ahvenniemi, *et al.*, 2017; Trindade *et al.*, 2017). Свеобухватни преглед литературе

¹ dejana@fb.bg.ac.rs.

идентификовао је 43 дефиниције паметних градова и бројне укључују све три димензије одрживости – еколошку, економску и социјалну (Toli & Murtagh, 2020).

Дефиниције које нису укључивале одрживост као један од стратешких циљева паметног града, посматрале су паметан град као град који користи информационе и комуникационе технологије (Information and Communication Technology – ICT) за стварање интерактивнијих и ефикаснијих компонената и услуга критичне инфраструктуре (Azakuna, 2012). Паметни градови ће користити комуникационе и сензорске могућности уграђене у инфраструктуру града, а такве технологије обезбеђују простор за интеракцију између грађана, власти, предузећа и других актера, како би се активно укључили у процесе пројектовања и планирања (Batty *et al.*, 2012).

Сматра се да нанотехнологија као главна покретачка снага 21. века може да понуди одговоре на све изазове са којима се човечанство суочава. Нанотехнологија представља револуционарну и мултидисциплинарну научну дисциплину и омогућава разумевање феномена и материјала на наноскали. Стварање и коришћење структура, направа и система који су сачињени од наноматеријала имају нове особине и функције услед њихове величине и могу да се користе у свим научним дисциплинама као што су биологија, хемија, физика или инжењерство. Сходно томе, а захваљујући јединственим карактеристикама, нанотехнологије доводе до значајних промена у индустрији, енергетици, пољопривреди, медицини, квалитету живота и заштити животне средине. Ова хетерогена технологија дефинисана је по скали – префикс „нано“ означава милијардити део метра (0,000000001) и, сходно томе, омогућава манипулацију супстанци практично на атомском нивоу у димензијама 1–100 nm (Drexler *et al.*, 1993). Поређења ради, људска влас широка је око 80.000 nm, црвено крвно зрнце око 7.000 nm, а величина атома креће се око 0,2 nm. Европска комисија је у препоруци од 10. јуна 2022. кориговала дефиницију из 2011. године и у најновијем предлогу дефиниције наноматеријала наводи: „Наноматеријали су природни, случајно добијени или произведени материјали који се састоје од чврстих честица, које се налазе или самостално или као конститутивне честице у агрегатима или агломератима које се могу идентификовати у којој једна или више спољних димензија честице спада у опсег од 1 nm до 100 nm...“ (European Commission, 2022, pp. 4–5).

У сржи концепта паметног града налазе се информационе и комуникационе технологије (Information and Communication Technology – ICT) (Graham & Marvin, 2001). Нова технологија ICT, интернет ствари (Internet of Things – IoT), сматра се новим концептом који добија огромну популарност у свету модерних бежичних телекомуникација. IoT, уместо само сједињавања компјутера и људи, еволуира у унификацију паметних објеката или ствари у реалном свету коришћењем ICT (Ashton, 2009; Gubbi *et al.*, 2013; Bresciani *et al.*, 2018).

Најчешће спомињане групе, у зависности од употребе, у оквиру интернета ствари јесу: интернет инфраструктура (примарно коришћење у паметним градовима, као што су инфраструктурални сензори и системи менаџмента), комерцијализација (употреба у здравственој заштити, транспортној индустрији), војна употреба (роботи, дронави, лична заштита), индустрија (производни и енергетски сектор) и потрошачи (за свакодневну употребу, на пример, кућни апарати, осветљење).

Комбинацијом нанотехнологија и интернета ствари добила се нова област интернета наноствари (Internet of Nano things – IoNT). Главно градивно ткиво IoNT јесу нанотехнологије, односно наноуређаји који се крећу у опсегу 1–100 nm (Akhtar & Perweј, 2020). IoNT користи најсофистицираније и најнапредније методологије за прикупљање података, што му омогућава да прошири своју постојећу базу на шири круг нових и напредних апликација у поређењу са интернетом ствари.

ПОРЕКЛО НАНОТЕХНОЛОШКЕ ПАРАДИГМЕ

Један од најзанимљивијих примера нанотехнологије у античком свету била је Ликургова чаша (4. век), која се налази у колекцији Британског музеја и представља најстарији пример дихроичног стакла, које мења боју у одређеним условима осветљења (Dekker, 2021). Научници су 1990. године анализирали шољу помоћу трансмисионе електронске микроскопије и уочени дихроизам последица је присуства наночестица сребра и злата пречника 50–100 nm (Freestone *et al.*, 2007). Присуство наночестица забележено је на прозорима средњовековних цркава, код отоманских лустера и лампи (од 9. до 16. века), ренесансне керамике, или пак сабљи из Дамаска које су имале посебну чврстоћу (Bayda, 2019).

Реч „нанометар“ први је предложио аустријски хемичар Рихард Жигмонди (Richard Zsigmondy), добитник Нобелове награде за хемију 1925. године у области изучавања колоида и инвенције ултрамикроскопа. Ипак, заслуга за концептуално утемељење садашњег наносвета припада добитнику Нобелове награде за физику Ричарду Фејнману (Richard Feynman). На годишњем састанку Америчког друштва физичара, одржаном 29. децембра 1959. године на Калифорнијском технолошком институту, Фејнман је одржао говор „Постоји много места на дну“ (*There's plenty of room at the bottom*), постављајући, између осталог, и питање зашто не бисмо могли цела 24 тома *Енциклопедије Британике* да сместимо на површину величине главе чиоде (Feynman, 1960). У чувеном предавању он је објаснио процес у којем би научници могли да контролишу атоме и молекуле и манипулишу њима.

Термин нанотехнологија први пут је употребио професор Токијског научног универзитета (Tokyo University of Science) Норио Танигучи (Norio Taniguchi) на међународној конференцији Јапанског друштва за прецизно инжењерство (The Japan Society of Precision Engineering) у Токију 1974. године (Hulla, 2015; Sadhu, 2006). У свом раду под насловом „Основни концепт нанотехнологије“ (*On the Basic Concept of Nanotechnology*), реч нанотехнологија употребио је да опише процесе који се дешавају на нанометарској скали, а тичу се обраде, сепарације, консолидације и деформације материјала атом по атом или молекула по молекула (Taniguchi, 1974).

Златна ера нанотехнологије почела је 80-их, када су Харолд Крото (Harold Kroto), Ричард Смоли (Richard Smalley) и Роберт Керл (Robert Curl), иначе добитници Нобелове награде за хемију 1996. године, заједно са студентима Џејмсом Хитом (James Heath) и Шоном О'Брајеном (Sean O'Brien) открили фулерене (Kroto *et al.*, 1985). Фулерен је молекула који је састављен од 60 атома угљеника, подсећа на фудбалску лопту, састављен је од петоуглова и шестоуглова. Романтични хемичари могли су да виде прву илустрацију фулерена коју је нацртао Леонардо да Винчи под насловом „Усочедрон

Abscisus Vacuus“ у књизи *Божанска пропорција (De Divina Proportione)* Луке Пачолија (Luca Pacioli), која је објављена у Венецији 1509. године (Martin, 2019, стр. 736).

Истакнуто место међу пионирима наносвета несумњиво заузима и Ерик Дрекслер (Eric Drexler) са чувеног Института за технологију у Масачусетсу (Massachusetts Institute of Technology – MIT) који је објавио књигу 1986. године под називом *Покрећач стварања: Наступајућа ера нанотехнологије (Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology)* (Drexler, 1986). Дрекслерова визија нанотехнологије често се назива „молекуларна нанотехнологија“, а заснива се на концепту „bottom up“, односно производњи предмета атом по атом, или на концепту „top down“, односно изградњи по силазној линији.

У САД Фејнманов концепт манипулације материјом на атомском нивоу имао је пресудну улогу у обликовању приоритета у науци. У марту 1999. године научник Михаил Роко (Mihail Roco) обратио се саветницима председника Била Клинтона ради промовисања и финансирања нанотехнологија. Успео је – његов предлог је добио 490 милиона долара (само 10 милиона мање од траженог), а Национална иницијатива за нанотехнологију (National Nanotechnology Initiative – NNI) званично је почела да ради у јануару 2001. године (Hulla *et al.*, 2015). Национална иницијатива за нанотехнологију формализована је 2003. године Законом о истраживању и развоју нанотехнологије у 21. веку (21st Century Nanotechnology Research and Development Act).

Такође, дефиниција нанотехнологија² договорена је у периоду 1998–1999, након консултација са стручњацима у више од 20 земаља, и постигла је одређени степен међународног прихватања. Након што је око 60 земаља развило нанотехнолошке активности између 2001. и 2004. године, постало је јасно да се без ове дефиниције и одговарајуће дугорочне визије нанотехнологија не би развијала на истом убрзаном, концептуално обједињујућем и трансформишућем путу (Roco, 2011, р. 428). У истом периоду велики број земаља у свету успоставио је програме на националном нивоу, делимично инспирисане или мотивисане Националном иницијативом за нанотехнологију.

Краљевско друштво (UK's Royal Society) и Краљевска академија инжењерства Велике Британије (Royal Academy of Engineering – RS/RAE) објавили су 2004. године важан извештај под насловом „Нанонаука и нанотехнологија: могућности и неизвесности“, у којем се јасно дефинише разлика између нанонауке и нанотехнологије. Према овом извештају, нанонаука се бави изучавањем феномена и манипулацијом материјала на атомској, молекулској или макромолекулској равни, при чему се особине материјала значајно разликују од оних на већој размери, а нанотехнологија представља дизајн, карактеризацију, производњу и примену одговарајућих структура, система и уређаја, која се постиже контролисањем облика и величина у нанометарској размери (RS/RAE, 2004).

Михаил Роко, лидер у области нанотехнологије, препознао је четири фазе у развоју нанотехнолошких производа, 1) пасивне наноструктуре (2000–2005) – у првом периоду пасивна својства наноматеријала дају више могућности за обнову производа

² Нанотехнологија је способност да се контролише и реструктурише материја на атомском и молекуларном нивоу у опсегу од приближно 1–100 nm, и искористе различита својстава и феномени на тој скали у поређењу са онима у вези са појединачним атомима или молекулима или понашањем у већој форми. Циљ је креирање материјала, уређаја и система са фундаментално новим својствима и функцијама стварањем њихове мале структуре (Roco, 2011, р. 428).

за свакодневни живот; пасивне наноструктуре дизајниране су за обављање једног задатка; 2) активне наноструктуре (2005–2010) – постају активне у овој фази и мењају своје стање током употребе на начин који се може предвидети; обухвата активне наноструктуре за вишенаменско деловање, што подразумева развој високоефикасних сензора, актуатора и уређаја за испоруку лекова; 3. системи наносистема (2010–2015) – у тих пет година скупови нанооруђа су функционисали заједно да би постигли коначан циљ; то значи велики напредак у роботизици, биотехнологији и информационим технологијама нове генерације; 4) молекуларни наносистема (2015–2020) – ова фаза укључује интелигентни дизајн молекуларних и атомских уређаја, што доводи до „разумевања без преседана и контроле над основним градивним елементима свих природних и ствари које је направио човек“ (Roco *et al.*, 2011; Nayyar *et al.*, 2017).

БУДУЋНОСТ НАНОТЕХНОЛОГИЈА

За нанонауку и нанотехнологију сматра се да поседују огроман потенцијал да донесу добробит потрошачима и поправе квалитет постојећих индустријских производа. Развој нових достигнућа креће се од дијагнозе болести и козметике, па све до еколошког оздрављења или хелијског горива (Colvin, 2003).

Нарочито од лансирања Националне иницијативе за нанотехнологију у САД развијени су нови алати и могућности за моделирање, израду, карактеризацију и интеграцију наноматеријала у уређаје и системе. Покренута је лавина у истраживању, часови нанотехнологија, курсеви, одељења, па чак и факултети и школе. Импликације наноматеријала на животну средину, здравље и безбедност боље су схваћене, а доступан је и широк спектар ресурса када је реч о нанобезбедности. Такође, међународни стандарди су успостављени да би се убрзала комерцијализација.

Поставља се оправдано питање зашто влада толико интересовање за нанотехнологије. Михаил Роко наводи три основна разлога: 1) истраживање нанотехнологије помаже да се попуни велика празнина у фундаменталном знању о материји, јер су конвенционална хемија, биологија и инжењеринг понудили знање о макроматеријалима и системима; 2) други разлог јесте тај што феномени наноразмера обећавају фундаментално нове примене; могући примери укључују хемијску производњу, коришћење дизајнираних молекуларних склопова за детекцију хемикалија или биоагенаса коришћењем само неколико молекула, откривање и лечење хроничних болести супхелијским интервенцијама, регенерацију ткива и нерва, побољшање учења и друге когнитивне процесе разумевањем „друштва“ неурона и/или пак чишћење контаминираног земљишта дизајнираним наночестицама; и 3) почетак индустријске израде прототипова и комерцијализације и то што владе широм света настоје да развију нанотехнологију што је брже могуће (Roco, 2007, str. 3–4).

Судећи по инвентару потрошача нанопроизвода (Nanotechnology Consumer Products Inventory – CPI) који води „Пројект о надолазећим нанотехнологијама“ (The Project of Emerging Nanotechnologies – PEN), при Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2006. године забележено је 212 различитих производа, а 2008. године 803 производа. До 20. јуна 2010. године забележено је око 1.015 нанотехнолошких производа из 24 земље из око 485 компанија (Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2010).

Vance *et al.* (2015) наводе да се на листи налази 1.814 производа широке потрошње из 622 компаније из 32 земље. Категорија „здравље и фитнес“ садржи највише производа (762 или 42% од укупног броја). Сребро је најчешће коришћени наноматеријал (435 производа, или 24%). Међутим, 49% производа (889) укључених у Инвентар CPI не даје састав наноматеријала који се користи у њима. Око 29% CPI (528 производа) садржи наноматеријале суспендоване у различитим течним медијима и сходно томе дермални контакт је највероватнији сценарио изложености као последица њихове употребе. Већина (1.288 производа, или 71%) производа не нуди довољно пратећих информација које би потврдиле тврдњу да се користе наноматеријали. Треба имати на уму да ово није комплетна база података наноматеријала с обзиром на то да се на тржишту налазе производи са префиксом „нано-“ који не садрже наноматеријале (Dekkers *et al.*, 2007). PEN је проценио да ће бити произведено 58.000 метричких тона наноматеријала у свету од 2011. до 2020. године.

Комерцијално доступни нанопроизводи обухватају храну, пестициде, козметику, одећу отпорну на мрље, боје за аутомобиле, спортске производе и дигиталне камере. Насупрот овим једноставним нанопроизводима, будућа примена нанотехнологије доноси значајне друштвене користи, укључујући медицинску дијагностику и здравствене третмане, велику улогу у смањењу потрошње енергије, на пример, кроз ефикасност производње и побољшање складиштења, производње и чувања енергије, као и брже, лакше и јефтиније материјале и електронске производе (Perkel, 2002; Roco, 2003; Royal Society and Royal Academy of Engineering [RS/RAE], 2004; Mehta, 2008). Занимљив пример комерцијалне примене нанотехнологије, у смислу побољшања енергетске ефикасности зграда, јесу паметни прозори, који су уграђени на многим аеродромима у САД. Истраживачи које је подржала Национална лабораторија за обновљиву енергију развили су нанофилм, који може да се инкорпорише у прозоре и апсорбује или рефлектује сунчеву светлост (National Science and Technology Council, 2021). Пропуштањем сунчевих зрака у просторију у хладнијем периоду и рефлексијом током топлијих месеци, динамични прозори пружају енергетски ефикасно решење у смислу регулисања температуре у згради и редукују потрошњу енергије до 20%. Такође, нанотехнологија има потенцијал да побољша животну средину у смислу ремедијације, мониторинга и филтрирања воде, процеса десалинизације воде, као и умањења пољопривредних загађења.

Процена консултантске фирме Lux Research гласи да ће до 2015. године добара која обухватају нанопроизводе бити произведено у вредности од 2,6 трилиона америчких долара, што би износило 15 процената укупне глобалне производње (Lux, 2006). Буџет NNI за 2018. годину износио је 1,2 милијарде долара за подршку нанонауци, инжењерингу и технологији (Bayeda, 2019).

ИНТЕРНЕТ НАНОСТВАРИ

Концепт IoNT предложили су Ијан Акјилдиз (Ian Akyildiz) и Џозеп Хорнет (Josep Jornet) са Техничког института из Џорџије (Georgia Institute of Technology) у раду „Интернет наноствари“. Они су навели нову мрежну парадигму и најсавременију

електромагнетну комуникацију између уређаја на наноскали и предложили термин интернет наноствари (Akyildiz & Jornet, 2010).

Примена IoNT у паметном граду пружа интеракцију и комуникацију са кућним апаратима, сензорима за мониторинг полутаната, надзорним сензорима или камерама, актуаторима, аутобусима или аутомобилима. Штавише, IoNT може да пружи много детаљније, јефтиније и ажурније слике градова, домова и фабрика. Изванредно велика количина информација може се прикупити у реалном времену помоћу великог броја наносензора ради унапређења квалитета живота, здравља, инфраструктуре, као и јавних комуналних услуга (Jarmakiewicz & Parobczak, 2016).

Ови минијатурни сензори, међусобно повезани преко наномрежа, могу да прикупе податке унутар објеката и из тешко доступних области, што доводи до нових открића и примена. Односно, сврха IoNT састоји се од капацитета за међусобно повезивање различитих типова уређаја развијених на наноразмерама у комуникациону мрежу, што омогућава прикупљање података на местима која су тешко доступна.

Прва и водећа примена IoNT у смислу *мониторинга здравља* у садашње време у свету је мрежа сензора у људском организму (Body Sensor Network – BSN) која обухвата наносензоре уграђене у људски организам који имају кључну улогу у прикупљању и мониторингу биолошких активности и других детаља у вези са здравственим стањем пацијента. Наносензори који се користе у мрежи сензора у људском организму пружају податке у реалном времену те помажу лекарима да добију благовремене информације о здрављу пацијента. IoNT није просто проширење и наставак традиционалних мрежа комуникација на нанонивоу, него потпуно нови ниво и модел комуникације у којем су процеси комуникације базирани на природним биолошким процесима (Akhtar & Perwej, 2020). Пример међусобне везе која се успоставља између различитих уређаја, као и наносензора кроз наномреже, са циљем да се обезбеде битне информације у областима које су сложене за приступ, јесу наносензори на телу особе који могу да обезбеде електрокардиографске и друге сигнале рада унутрашњих органа (Balasubramaniam & Kangasharju, 2013). Такође, могу се посматрати параметри као што су холестерол, глукоза и натријум, или помоћу наносензора могу се открити тумори који изазивају рак и други штетни агенси (Atlam *et al.*, 2018).

Коришћење IoNT у пројектима паметних градова може пратити различите параметре као што су квалитет ваздуха и воде у читавом граду. Наносензори у домену *живојне средине* могу да обезбеде информације о патогеним супстанцама и алергенима на отвореним или у затвореним просторима (Balasubramaniam & Kangasharju, 2013). Наносензори могу се поставити на јавна места као, на пример, на железничку или аутобуску станицу, у хотел, ресторан или канцеларије и да обављају мониторинг у реалном времену. Са IoNT наносензори се могу користити за праћење и идентификацију локација загађења откритих у ваздуху у високој концентрацији и покретање наносензора за чишћење те специфичне локације (Kamel Boulos & Al-Shorbaji, 2014).

Очекује се да ће IoNT тржиште порасти са око пет милијарди америчких долара у 2016. на 10 милијарди до 2020. године, као и по стопи од више од 24,12% за тренутни прогнозирани период од 2016. до 2025. године (Akhtar & Perwej, 2020, p. 142).

РИЗИЦИ УПОТРЕБЕ НАНОТЕХНОЛОГИЈА

Иако нанотехнологија има могућност да побољша живот, неопходно је нагласити и њене ризике и инвестирати више финансијских средстава да би се боље разумело како да се контролишу и спрече могуће последице нанотехнологије на здравље, животну средину, као и на безбедност и здравље на раду (Dimitrijević, 2011).

Многи научници постављају оправдана питања у вези са производњом наноматеријала и њеним ефектима на потрошаче, радну снагу и истраживаче. Истраживања показују да се особине произведених наночестица знатно више разликују од особина њихових већих форми, што се објашњава већом способношћу наночестица да прођу кроз природне баријере као што су ткива и ћелије. Сходно томе, произвођачи морају узети у обзир разлике у токсичности између већих честица и наночестица истог хемијског састава. Многи научници сматрају да потенцијални утицаји наночестица или наноцеви директно зависе пре од тога да ли се налазе у слободном облику него од тога да ли су фиксирани или инкорпорирани у сами материјал (RS/RAE, 2004). Добро је познат податак да честице мање од 100 nm могу да продру кроз мембрану ћелије, оне које су мање од 40 nm продиру у ћелијско једро и, на крају, честице мање од 35 nm могу проћи кроз мождану баријеру.

Што се више нанопроизвода појављује на тржишту, заостреније се поставља питање њиховог утицаја на животну средину. У 2006. години PEN је проценио да ће бити произведено 58.000 метричких тона наноматеријала у свету од 2011. до 2020. године. Ендру Мејnard (Andrew Maynard), водећи научник који стоји иза PEN-овог пројекта, изразио је у својој студији забринутост да би то могло имати утицај на животну средину еквивалентан износу од пет милиона метричких тона или можда чак 50 милијарди тона конвенционалног материјала (Maynard, 2006).

Бела књига америчке Агенције за заштиту животне средине (The U. S. Environmental Protection Agency – EPA) из 2007. године указује на могућу судбину наноматеријала у ваздуху, води и земљишту, и то на: 1) биодеградацију, биодоступност и биоакмулацију наноматеријала; 2) потенцијалну трансформацију наноматеријала у токсичније метаболите; и 3) могућу интеракцију наноматеријала и других еколошких контамината (EPA, 2007, p. 33).

Потенцијално испуштање наноматерија у животну средину обухвата директно и/или индиректно испуштање са места производње и обраде наноматеријала, хемијских и фармацеутских производних процеса, ђубрива укључујући процесе санације контаминираних места, као и коришћења и одлагања потрошачких производа који садрже наноматеријале (NIOSH, 2007; Rui *et al.*, 2016; Verma *et al.*, 2018; Bahroum, 2022).

Друге студије указују на то да сребро, које се сматра нетоксичним металом и које се користи у медицини и домаћинствима као стерилизујући агенс, када се нађе у нанооблику може да убије штетне бактерије у машинама за прање веша. Такође, постоји бојазан да јони сребра, једном када се нађу у системима за прераду отпадних вода, могу убити и добре бактерије које се користе у биолошком третману отпадних вода (Choi *et al.*, 2008; Luoma, 2008).

Један од начина за придобијање поверења јавности лежи у стриктној регулативи нанотехнолошких производа који би обезбедили безбедност и ефикасност нове

технологије (REACH, 2008). Европска унија и САД имају установљене регулаторне системе за процену ризика и хазарда од нанотехнологија. Европска комисија је установила и Правила понашања (Code of Conduct), која прописују одговорно понашање на пољу нанотехнологија. У свим случајевима у којима је пун опсег ризика непознат, али је забринутост врло велика, захтева се спровођење мера менаџмента ризика, као што је случај са наноматеријалима. Те мере су углавном базиране на мерама предострожности (Dimitrijević, 2011).

РИЗИЦИ УПОТРЕБЕ ИНТЕРНЕТА НАНОСТВАРИ

Сматра се да интернет наноствари који даје неограничене бенефите, трпи и одређене изазове које треба решити да би се омогућило да IoNT буде есенцијални сегмент за људе у блиској будућности без икаквих ограничења. Ризик од IoNT постоји у свакодневном животу, у предметима као што су телефон, кућни апарати, сензори, возила, инфраструктурни системи, и има дигитализоване процедуре контроле и надзора повезане са интернетом, што отвара бројна питања у вези са безбедношћу и приватношћу.

Очекује се да ће IoNT уређаји прожимати читаво ткиво друштвено-техничког система, укључујући паметне градове, али и деловати потенцијално инвазивно на људска тела када је реч о здравственој заштити. Ово природно отвара многа безбедносна и етичка питања, као и питања приватности која треба решити да би се ублажила забринутост јавности и заштитили осетљиви подаци прикупљени преко наносензора (Miraz, 2018).

Један од највећих изазова развоја IoNT јесте сигурност података који се преносе интернетом, као што су, на пример, здравствени подаци. Стога, безбедносне методе морају бити примењене на мрежама 4G и 5G, посебно у IoNT, који је осетљив на све врсте напада с обзиром на то да уређаји немају константан надзор (Akhtar & Perweј, 2020). Напад може бити извршен крађом сензора, ометањем коришћења компјутера или променом комуникацијских веза наномрежа, јер стандардне безбедносне технике не могу бити примењене на наномреже које раде на тетрагерцијским таласима.

Примена IoNT у наномедицини представља веома значајно побољшање – унапређивање здравља људи на нове начине, посебно у превенцији, проактивном праћењу, управљању хроничним болестима. Нано и микро мреже сензора омогућавају континуирано праћење здравља и евидентирање виталних параметара пацијената и преносе осетљиве податке на централизовану локацију где може да их прати и обрађује обучено особље. Имајући у виду да системи е-здравства чувају и обрађују веома осетљиве податке, такви системи треба да имају одговарајући оквир и механизме безбедности и приватности (Omanović-Miklićanin *et al.*, 2015). Здравствени подаци морају бити заштићени против неовлашћеног приступа који може имати озбиљне последице по људе. Стога, изазови који се односе на приватност морају бити решени да би се обезбедила одговарајућа употреба осетљивих података прикупљених преко уређаја за лични здравствени мониторинг.

Водни ресурси су осетљиви на биотерористичке нападе. Када је реч о одржавању квалитета воде, наносензори могу послужити за мониторинг и проналажење опасних биолошких агенаса. Међутим, нападач би могао да пусти сопствене наносензоре уз, на пример, антракс споре да изазове максималну штету (Atlam, 2018).

Коришћење мрежа за прикупљање приватних и личних података чини ове мреже интересантним за напад. Стога, потребне су нове безбедносне технике за заштиту осетљивих података прикупљених помоћу наносензора.

ЗАКЉУЧАК

Свеprisутност нанотехнологија у истраживачком и развојном окружењу обећава лакше, чвршће и функционалније материјале, довољно хране, чисту воду, борбу са климатским променама, решавање отпада, нове начине складиштења и манипулације информацијама, као и развој нових терапија у медицини. Због убрзане урбанизације и ограничене доступности обновљивих и неоновљивих ресурса, неопходно је да градови буду одрживи и паметни. Нанотехнологија има потенцијал да градове учини паметним коришћењем различитих наноматеријала за складиштење енергије, изградњу паметних зграда, инфраструктуре, за паметну медицинску терапију или ремедијацију животне средине.

Убрзана комерцијализација производа који садрже наноматеријале није адекватно праћена студијама о ризицима и токсичности. Ови проблеми могу бити превазиђени кроз међународну сарадњу и истраживачку стратегију у постизању поузданих процена ризика, мерама предострожности и, наравно, поштовањем регулативе.

Нанотехнологија може да унапреди перформансе и могућности уређаја интернета ствари креирањем интернета наноствари. То омогућава стварање мањих, ефикаснијих и разноврснијих сензора, антена и процесора. Ова унапређења воде до веће прецизности, енергетске ефикасности и разноврсности апликација, укључујући употребу наносензора за праћење здравственог стања организма, индустријски мониторинг, као и мониторинг полутаната у затвореној или амбијенталној средини.

Међутим, постоје изазови и ограничења употребе интернета наноствари, укључујући етичка питања, питања заштите приватности и безбедности. За превазилажење ових изазова неопходно је да се наставе истраживања и развој стратегија. Конвергенција нанотехнологије и интернета ствари носи велика очекивања од будућности. Реално је очекивати да ове две технологије и њихове апликације наставе да се развијају и у наредним годинама.

Dejana N. Jovanović Popović
University of Belgrade, Faculty of Security Studies
Belgrade (Serbia)

NANOTECHNOLOGY AND THE INTERNET OF NANOTHINGS BENEFITS AND RISKS

(Translation *In Extenso*)

Abstract: Nanotechnology provides state-of-the-art solutions to a number of applications that have a significant impact on almost every aspect of our community, including medicine, smart cities, army, agriculture, and industry. The intertwining of nanoscale devices with the existing communication networks through the Internet defines a new networking paradigm referred to as the Internet of nanothings, which includes a large number of nanosensors providing more precise and more detailed information on a person's health, the environment or a particular structure in real time.

This paper analyses possibilities for the use of nanotechnologies and the Internet of nanothings, as well as their different applications in smart cities. Finally, this paper presents a discussion on the risks, challenges, and security issues that these two revolutionary techniques may bring to mankind.

Keywords: nanotechnology; Internet of nanothings; Internet of things; smart cities; nanosensors; risks; benefits

INTRODUCTION

The development of nanotechnologies, the Internet of things and the Internet of nanothings will undoubtedly have an enormous impact on the progress and development in all areas of life in the future, smart cities included. There are three types of smart cities – community, technology, politics – and these are connected with five desirable outcomes, namely productivity, sustainability, accessibility, wellbeing, liveability, as well as management (Yigitcanlar *et al.*, 2018).

Due to anthropopressure, increasing levels of urbanisation and climate change, these being relative to accomplishing sustainable development, the “smart city” concept offers solutions entailing networked infrastructure systems, whose aim is to improve economic

¹ dejana@fb.bg.ac.rs.

and political efficiency, as well social, cultural, and urban development (Hollands, 2008; Ahvenniemi, *et al.*, 2017; Trindade *et al.*, 2017). A comprehensive overview of extensive references has identified 43 definitions of smart cities, of which many include three dimensions of sustainability - ecological, economic, and social (Toli & Murtagh, 2020).

The definitions not including sustainability as one of the strategic goals of the smart city perceive it as a city which utilises information and communication technology (ICT) for the purpose of creating interactive and more efficient components and services related to critical infrastructure (Azakuna, 2012). Smart cities will use communication and sensor options that have been integrated in the city's infrastructure, with such technologies making room for interaction between persons, authorities, companies, and other players, in order for all of them to be actively included in the processes of designing and planning (Batty *et al.*, 2012).

It is considered that nanotechnology, as the main driver in the 21st century, may offer answers to all challenges with which mankind is faced. Nanotechnology stands for a revolutionary and multidisciplinary science and makes it possible to understand nanoscale phenomena and materials. Creating and utilising structures, devices and systems made of nanomaterials have new properties and functionalities and, due to their size, they may be used in all science disciplines, such as biology, chemistry, physics, or engineering. Accordingly, and thanks to their unique properties, nanotechnologies have prompted significant change in industry, energy systems, agriculture, medicine, liveability, and environmental protection. This heterogeneous technology is defined based on a scale - the "nano" prefix means one-billionth part of a meter (0.000000001) and consequently allows for manipulation of substances virtually on atom level in terms of dimensions 1–100 nm (Drexler *et al.*, 1993). By way of comparison, a human hair is approximately 80.00 nm wide, a red blood cell approximately 7,000 nm, while the size of an atom is around 0.2 nm. In its recommendation of 10th June 2022, the European Commission revised its definition of 2011, and in the latest draft definition of nanomaterials, the wording is as follows: "Nanomaterial means a natural, incidental or manufactured material consisting of solid particles that are present, either on their own or as identifiable constituent particles in aggregates or agglomerates, which are identifiable, in which one or more external dimensions range between 1 nm and 100 nm..." (European Commission, 2022, pp. 4–5).

The core of the smart city concept is information and communication technology (ICT) (Graham & Marvin, 2001). The new ITC technology, or the Internet of things (IoT), is considered a new concept that is gaining huge popularity in the world of modern wireless telecommunications. IoT, rather than just integrating people and computers, evolves to unification of smart structures and things in the real world, with the use of ICT (Ashton, 2009; Gubbi *et al.*, 2013; Bresciani *et al.*, 2018).

The most frequently mentioned groups within the Internet of things, depending on their use are: the Internet, infrastructure (its primary use in the smart cities, such as infrastructural sensors and management systems), commercialisation (use in healthcare and the transport industry), military applications (robots, drones, personal protection), industry (manufacturing and energy sectors) and consumers (for day-to-day use, e.g., household appliances, lighting fittings).

A combination of nanotechnologies and the Internet of things has resulted in a new field of the Internet of nanothings (IoNT). The main building blocks of the IoNT are

nanotechnologies, i.e., nanodevices, whose size ranges between 1–100 nm (Akhtar & Perwej, 2020). The IoNT uses the most sophisticated and the most advanced methodologies for data collecting purposes, which allows it to expand existing database to a wider range of new and more advanced applications, as compared to the Internet of things.

ORIGINS OF THE NANOTECHNOLOGY PARADIGM

One of the most striking examples of nanotechnologies in the ancient history was the Lucurgus Cup (4th century), which is kept in the British Museum collection. It represents the oldest example of dichroic glass, which changes colour depending on whether light is passing through it or not (Dekker, 2021). In 1990, scientists analysed the cup with the use of transmission electronic microscopy and found that it being dichroic is a result of the presence of nanoparticles of silver and gold. The diameter of these particles is 50–100 nm (Freestone *et al.*, 2007). The presence of nanoparticles was found on the windows of medieval churches, as well as in the Ottoman chandeliers and lamps (9th to 16th century), Renaissance ceramics and even sabres from Damascus, which were particularly resistant to shattering (Bayda, 2019).

The word “nanometer” was coined by the Austrian chemist Richard Zsigmondy, the Nobel Prize winner in chemistry in 1925 for his research of colloids and invention of the slit-ultramicroscope. However, credit for laying foundations of today’s nanoworld goes to the physics Nobel Prize winner Richard Feynman. At the annual meeting of the American Physical Society, held on 29th December 1959 at the California Institute of Technology, Feynman delivered the speech entitled “There’s plenty of room at the bottom”. In it, among other things, he also raised the issue of why we would not fit all 24 volumes of the Encyclopaedia Britannica on the head of a pin (Feynman, 1960). In his famous lecture, he explained the process whereby scientists could control atoms and molecules and manipulate them.

The term “nanotechnology” was first used by Professor Norio Taniguchi of the Tokyo University of Science at the conference of The Japan Society of Precision Engineering in Tokyo in 1974 (Hulla, 2015; Sadhu, 2006). In his paper entitled “On the Basic Concept of Nanotechnology”, he used the word *nanotechnology* to describe processes that occurred on a nanoscale and were relative to the processing, separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule (Taniguchi, 1974).

The golden era of nanotechnology started during the 1980s, when Harold Kroto, Richard Smalley and Rober Curl (who in 1996, together with the students James Heath and Sean O’Brien, won the Nobel Prize in chemistry), discovered fullerenes (Kroto *et al.*, 1985). The fullerene is a molecule that consists of 60 atoms of carbon, its shape is similar to that of a football ball, and it is made up of pentagons and hexagons. Chemists from the era of Renaissance could see the first illustration of the fullerene, which was drawn by Leonardo da Vinci and is called *Ycocedron Abscisus Vacuus*. The drawing was first seen in a book by Luca Pacioli *De Divina Propotione*, which was published in Venice in 1509 (Martin, 2019, p. 736).

In addition, a prominent figure among the pioneers of nanoworld is certainly Eric Drexler, of the famous university MIT (Massachusetts Institute of Technology), who in 1986 published a book entitled *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (Drexler, 1986). Drexler’s vision of nanotechnology is frequently called “molecular nanotechnology”,

which is based on the bottom-up approach, i.e., the production of atoms atom-by-atom, but also on the top-down approach, which refers to the build-down from the top.

In the U.S.A., Feynman's concept of manipulating matter at the atomic level played a decisive role in the shaping of priorities in science. In March 1999, scientist Mihail Roco went to the advisors to President Bill Clinton and pitched nanotechnology, at the same time requesting that it be promoted and financed. He succeeded in this - he got 490 million dollars for his proposal (which was only 10 million less than he requested), and as a consequence, the National Nanotechnology Initiative (NNI) was officially launched in January 2001 (Hulla *et al.*, 2015). The National Nanotechnology Initiative became formal in 2003 when the 21st Century Nanotechnology Research and Development Act was passed.

Moreover, the definition of nanotechnology² was agreed upon during the period 1998-1999, after consultation with experts from more than 20 countries, when a certain level of international reception was reached. When approximately 60 countries developed nanotechnology activities between 2001 and 2004, it became clear that without this definition and the appropriate long-term vision, nanotechnology would not be developing on the same accelerated, conceptually unifying and transforming lane (Roco, 2011, p. 428). At the same time, a large number of countries worldwide set up national-level programmes, which were in part inspired or motivated by the National Nanotechnology Initiative.

In 2004, the UK's Royal Society and Royal Academy of Engineering – RS/RAE published an important report entitled “Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”, in which the difference was defined between nanoscience and nanotechnology. According to this report, nanoscience is the study of phenomena and manipulation of materials on atomic, molecular, and macromolecular scales, where properties of materials differ significantly from those on a larger scale; nanotechnologies are the design, characterisation, production and application of structures, devices, and systems by controlling shape and size on a nanometre scale (RS/RAE, 2004).

Mihail Roco, leader in the field of nanotechnology, recognised four phases in the development of nanotechnological products: 1) passive nanostructures (2000-2005) - in the first period, passive properties of nanomaterials offered more possibilities for the renewal of products necessary for everyday life; passive infrastructures were designed in order to perform one task; 2) active nanostructures (2005-2010) - in this phase they became active and adaptive during their use, in a manner that could not be predicted; it includes active nanostructure for multiple action, which means the development of highly efficient sensors, actuators, and drug delivery devices; 3) nanosystems (2010-2015) - during the five years, sets of nanotools worked together so as to accomplish the ultimate goal; this means major advancement in robotics, biotechnology and new generation information technologies; 4) molecular nanosystems (2015-2020) - this phase involves intelligent design of molecular and atomic devices, which leads to “unprecedented understanding and control over the basic building blocks of all natural things manufactured by man (Roco *et al.*, 2011; Nayyar *et al.*, 2017).

2 Nanotechnology is the ability to control and restructure matter at the atomic and molecular levels, within a range of approximately 1–100 nm, and utilise the same properties and phenomena on this scale, compared to those which are connected with individual atoms or molecules or behaviour on a larger scale than the mentioned one. The objective is to create materials, devices and systems with fundamentally new properties and functionalities by creating their small structures (Roco, 2011, p. 428).

FUTURE OF NANOTECHNOLOGIES

Nanoscience and nanotechnology are considered to have an enormous potential to bring wellbeing to consumers and improve the quality of existing industrial products. The development of new solutions ranges from disease diagnostics and cosmetics to environmental remediation or fuel cell (Colvin, 2003).

Especially after the launching of the National Nanotechnology Initiative in the U.S.A, new tools have been developed for modelling, production, characterisation, and integration of nanomaterials in devices and systems. This started an avalanche of research, nanotechnology classes, courses, departments, even faculties and schools. Implication of nanomaterials on the environment, health and safety are understood better, while a wide variety of resources are available as regards nanosecurity. Additionally, international standards have been established so as to accelerate commercialisation.

The question rightfully arises as to why interest in nanotechnologies is so strong. Mihail Roco mentions three fundamental reasons: 1) nanotechnology research helps fill major void in the fundamental knowledge of matter since conventional chemistry, biology and engineering provided knowledge of macro materials and systems; 2) nanoscale phenomena hold promise of fundamentally new applications; possible examples include chemical manufacturing, utilisation of molecular detection of chemicals or bioagents with the use of just a few molecules, discovery and treatment of chronic diseases with subcellular intervention, tissue and nerve regeneration, improvement of learning and other cognitive processes through understanding “society” of neurons and/or remediation of contaminated soil with specially designed nanoparticles; and 3) the beginning of industrial prototyping and commercialisation and the fact that governments worldwide are trying to develop nanotechnologies as quickly as possible (Roco, 2007, pp. 3-4).

According to the Nanotechnology Consumer Products Inventory (CPI), which runs the Project of Emerging Nanotechnologies (PEN) at the Woodrow Wilson International Center for Scholars, in 2006 there were more than 212 different products, whereas in 2008 there were 803. Until 20th June 2010, as many as 1,015 nanotechnology products were registered in 24 countries, manufactured by 485 companies (source: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2010).

Vance *et al.* (2015) state that the list contains 1,814 consumer goods products, manufactured by 622 companies in 32 countries. The health and fitness category contains the largest number of products (762, which accounts for 42% of the total number). Silver is the most commonly used nanomaterial (in 435 products, i.e., 24%). However, 49% of products (889) included in the CPI Inventory do not disclose the composition of nanomaterials used for their manufacturing. Approximately 29% of CPI (528 products) contain nanomaterials that were suspended in various liquid media and accordingly, dermal contact is the most likely scenario for exposure as a result of such products' use. The majority (1,288 products, i.e., 71%) do not provide sufficient accompanying information that would corroborate the manufacturers' claims regarding the use of nanomaterials. We should keep in mind that this is not a full nanomaterial database since in the market one may find products with the prefix “nano”, without such products actually containing any nanomaterials (Dekkers *et al.*, 2007). According to an assessment by the Project on Emerging Nanotechnologies

(PEN), 58,000 metric tons of nanomaterials would be manufactured in the world between 2011 and 2020.

Commercially available nanoproducts include food, pesticides, cosmetic products, stain resistant clothing, car paint, sporting goods, and digital cameras. Unlike these simple products, future applications of nanotechnologies bring substantial societal benefits, including medical diagnostics and treatments, a major role in the consumption of energy, e.g., through efficiency of production processes and streamlined warehousing, energy production and savings as well as faster, lighter and cheaper materials in electronics products (Perkel, 2002; Roco, 2003; Royal Society and Royal Academy of Engineering [RS/RAE], 2004; Mehta, 2008). An interesting example of commercial application of nanotechnology, in terms of improving energy-efficiency of buildings, are smart windows, which are installed at many airports in the U.S. Researchers supported by the National Renewable Energy Laboratory developed a smart nano film which can be incorporated into windows to absorb or reflect sunlight (National Science and Technology Council, 2021). On cold days, they let heat in the rooms and reflect it during the warmer months, in which way these dynamic windows offer an energy-efficient solution in terms of regulated temperature in buildings whilst saving energy consumption by as much as 20%. Furthermore, nanotechnology has a strong potential for improving the environment regarding water remediation, monitoring and filtering, desalination processes, as well as diminishing agricultural pollution.

Lux Research consultants made an estimate that by the year 2015, goods that incorporate nanoproducts would amount to EUR 2,600 billion (Lux, 2006), which would account for 15 percent of global manufactured goods. The National Nanotechnology Initiative budget for the year 2018 was 1.2 billion dollars, which amount was allocated for support to nanoscience, engineering, and technology (Bayeda, 2019).

INTERNET OF NANOTHINGS (IONT)

The IoNT concept was first used by Ian Akyildiz and Josep Jornet of the Georgia Institute of Technology in their paper *The Internet of Nanthings*. They coined this new networking paradigm and the state-of-the-art in electromagnetic communication among nanoscale devices and suggested the term “Internet of nanthings” (Akyildiz & Jornet, 2010).

Application of the IoNT in smart cities provides interaction and communication with household appliances, pollutant sensors, with monitoring sensors or cameras, actuators, buses, or cars. In addition to this, the IoNT provides a much more detailed, cheaper, and updated picture of the cities, homes, and factories. An extraordinarily huge amount of information may be collected in real time with the use of a large number of nanosensors in order to improve liveability, health, infrastructure as well as the public utility services (Jarmakiewicz & Parobczak, 2016).

These miniature-sized sensors, which are interconnected via nanonetworks, can collect data within various structures and poorly accessible areas, which leads to new discoveries and applications. As a matter of fact, the purpose of the IoNT consists of its capacity to interconnect resources of various types of devices, developed on nanoscale into a communication network, which enables data collection at poorly accessible locations.

The first and leading present-day application of the IoNT in the world is related to *health monitoring*, for which a network of sensors in the human body is used (Body Sensor Network - BSN). This entails multiple nanosensors within the human body, whose crucial role is to collect information and monitor biological activity and other details that are connected with the patient's health. Nanosensors used in the sensor network in the human body provide real-time information thus helping doctors to obtain information on the patient's health in a timely manner. The IoNT is not merely an expansion or extension of traditional communication networks on the nanoscale, it is a completely new level and communication model in which communication processes are based on natural biological processes (Akhtar & Perwej, 2020). An example of connection which is established between various devices, as well as nanosensors, through nanonetworks in order to ensure important information in the areas difficult to access, are nanosensors on the body of a person. These nanosensors can provide electrocardiographic and other signals of organs in the human body (Balasubramaniam & Kangasharju, 2013). Furthermore, the levels of parameters such as cholesterol, glucose, sodium can be monitored, or nanosensors can be used to discover cancer-causing tumours as well as to detect other harmful agents (Atlam *et al.*, 2018).

The use of the IoNT in smart city projects can monitor various parameters, such as quality of the air and water in the entire city. Nanosensors in the field of *the environment* can provide information on pathogens and allergens, both outdoors and indoors (Balasubramaniam & Kangasharju, 2013). Nanosensors can be installed in public areas, such as, railway stations or bus stations, hotels, restaurants, or offices, where they can perform real-time monitoring. With the IoNT, nanosensors can be used to monitor and detect locations of air pollutants in high concentrations and trigger nanosensors used to clean the contaminated air in a particular location (Kamel Boulos & Al-Shorbaji, 2014).

It is expected that the IoNT market would grow from USD five billion in 2016 to USD ten billion in 2020, at the rate of more than 24.12% for the current forecast period, i.e., between 2016 and 2025 (Akhtar & Perwej, 2020, p. 142).

RISKS OF THE APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES

Although nanotechnologies have a potential to improve lives, it is necessary to acknowledge their risks and invest more funds so as to better understand how to control and prevent potential consequences of nanotechnologies on health, the environment, as well as workplace safety and security (Dimitrijević, 2011).

Many scientists have rightfully asked questions regarding the manufacturing of nanomaterials and its effects on consumers, labour force and researchers. Research has shown that the properties of manufactured nanoparticles are far more different from their bigger counterparts, which is explained with nanoparticles being able to penetrate natural barriers such as tissues and cells. Accordingly, the manufacturers must keep in mind difference in toxicity between bigger particles and nanoparticles of the same chemical composition. Many scientists argue that potential effects of nanoparticles and nanotubes are directly dependent upon being found in the free form or rather than on being attached to

or incorporated in the material itself (RS/RAE, 2004). It is a well-known fact that particles smaller than 100 nm can penetrate the cellular membrane, while those that are smaller than 40 nm can penetrate the cellular nucleus, and finally, particles which are smaller than 35 nm can penetrate the brain barrier.

The more nanoproducts there are in the market, the more serious the issue becomes of their impact on the environment. In 2006, the PEN made an assessment that 58,000 metric tons of nanomaterials would be manufactured in the world between 2011 and 2020. In his study, Andrew Maynard, the leading scientist behind the PEN project, expressed concerns about this potentially having an impact on the environment, this impact being the equivalent of 5 million metric tons, or perhaps even 50 billion tons of conventional materials (Maynard, 2006).

In the U.S. Environmental Protection Agency's (EPA) Nanotechnology White Paper of 2007, potential future of nanomaterials in the air, water and soil were described, these having an impact on: 1) biodegradation, bioavailability, and bioaccumulation of nanomaterials; 2) potential transformation of nanomaterials into more toxic metabolites; and 3) possible interaction between nanomaterials and other environmental contaminants (EPA, 2007, p. 33).

A potential release of nanomaterials in the environment entails direct and/or indirect release from the sites where nanomaterials are manufactured and processes, chemical and pharmaceutical manufacturing processes, fertilisers, including remediation of contaminated sites, as well as the use and disposal of consumer goods products which contain nanomaterials (NIOSH, 2007; Rui *et al.*, 2016; Verma *et al.*, 2018; Bahroum, 2022).

Other studies show that silver, which is considered a non-toxic metal, and which is used in medicine and households as a disinfectant agent, when found in the nanoform may kill harmful bacteria in washing machines. Besides this, there are concerns that silver ions, once they are found in wastewater processing systems, can also kill the good bacteria used in the biological treatment of wastewater (Choi *et al.*, 2008; Luoma, 2008).

One of the ways for the public to gain trust is the introduction of strict legislation applicable to nanotechnology products, which would ensure safety and efficiency of the new technology (REACH, 2008). The European Union and the U.S. have in place regulatory systems that are applicable to nanotechnology risk and hazard assessment. The European Commission has established the Code of Conduct, which stipulates responsible behaviour in the field of nanotechnologies. In all cases in which the full scope of risks is unknown, but there is reason for major concern, it is required to implement risk management measures, which is the case with nanomaterials too. These measures are mainly based on precautions (Dimitrijević, 2011).

RISKS OF THE USE OF THE INTERNET NANOTHINGS

It is believed that the Internet of nanothings (IoNT) offers unlimited benefits but that it is faced with certain challenges that need to be resolved so as to ensure that in the near future the IoNT is the essential segment for people, without any limitations. In everyday life, there are risks of the IoNT, in objects such as the telephone, household appliances, sensors, vehicles, infrastructure systems, and there are digitised control and monitoring

procedures that are connected onto the Internet, which raises a number of issues regarding security and privacy.

It is expected that IoNT devices will permeate all building blocks of the social-technical system, including smart cities, but that they will also potentially have an invasive impact on the human body in terms of healthcare. Naturally, this raises multiple security and ethical issues, as well as privacy issues that need to be resolved so as to diminish public concerns and protect sensitive data collected through nanosensors (Miraz, 2018).

One of the biggest challenges of IoNT development is data security, referring to data that are transmitted via the Internet, such as health-related data. Therefore, data security measures must be applied in 4G and 5G networks, in particular in the IoNT, which is vulnerable to all types of attacks given the fact that devices are not continuously monitored (Akhtar & Perwej, 2020). Attacks may take the form of a theft of sensors, interference with the use of computers or change in nanonetwork communication connections since standard security techniques cannot be applied to nanonetworks, since they are based on terahertz waves.

Applications of the IoNT in medicine stands for a very significant enhancement - improvement of human health in new ways, especially in terms of prevention, proactive monitoring, management of chronic diseases, etc. Sensor nano and micro networks allow continuous monitoring of health and registering the patients' vital parameters, and also transmit sensitive data to a centralised location, where properly trained staff can monitor and process them. Since e-Health systems store and process very sensitive data, such systems should have the suitable framework and security and privacy mechanisms in place (Omanović-Miklićanin *et al.*, 2015). Health-related data must be protected against unauthorised access, which may have serious consequences on people. Therefore, challenges related to privacy must be resolved in order to resolve appropriate handling of sensitive data collected through devices that are used for personal health monitoring.

Water resources are vulnerable to bioterrorist attacks. As regards the quality of water, nanosensors may serve the purpose of monitoring and detecting hazardous biological agents. However, an attacker could release his/her own nanosensors that contain, e.g., anthrax spores and cause maximum damage (Atlam, 2018).

The use of networks for the purpose of collecting private and personal data makes these networks appealing to potential attackers. Hence, it is necessary to introduce new security techniques so as to ensure the protection of sensitive data collected through nanosensors.

CONCLUSION

Extensive presence of nanotechnologies in the R&D environment holds promise of lighter and more solid materials with more functionalities, sufficient quantities of food, clean water, combatting climate change, resolving waste management issues, new ways of data storing and handling, as well as the development of new therapies in medicine. Due to accelerated urbanisation and limited availability of renewable and non-renewable resources, it is necessary for cities to be sustainable and smart. Nanotechnology has a potential to make cities smart by using various nanomaterials for storing energy, construction of smart buildings, infrastructure, for smart medical therapy and environmental remediation.

Accelerated commercialisation of products containing nanotechnology is not accompanied by adequate studies of underlying risks and toxicity. These issues may be overcome through international cooperation and research strategy for achieving reliable risk assessments, precautions, and certainly compliance with relative legislation.

Nanotechnology can enhance performance and functionalities of the Internet of things devices by creating the Internet of nanothings. This allows the design of smaller, more efficient, and diverse sensors, antennae, and processors. These enhancements result in higher precision, energy efficiency, and diversity of applications, including the use of nanosensors for monitoring human health, industrial monitoring, as well as pollutant monitoring, both indoors and outdoors.

Nevertheless, there are challenges and limitations regarding the use of the Internet of nanothings, including ethical issues, the issues of privacy and security protection, etc. In order to overcome these challenges, it is necessary to continue research and strategy development. Convergence of nanotechnology and the Internet of things holds high expectations for the future. It is realistic to expect that the two technologies and their applications will continue to develop in the years to come.

REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I. & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245.
- Akhtar, N. & Perwej, Y. (2020). The Internet of nano things (IoNT) existing state and future Prospects. *GSC Advanced Research and Reviews*, 2020, 05(02), 131–150. doi: [10.30574/gscarr.2020.5.2.0110](https://doi.org/10.30574/gscarr.2020.5.2.0110)
- Akyildiz, I. F., Jornet, J. M. (2010). The Internet of nano-things. *IEEE Wireless Communications*, 17(6), 58–63.
- Ashton, K. (2009). That ‘Internet of Things’ thing. *RFID Journal*, 22, 97–114.
- Atlam, H., Walters, R. & Wills, G. (2018). Internet of Nano Things: Security Issues and Applications. Conference: 2nd International Conference on Cloud and Big Data Computing (ICCBDC 2018) At: Barcelona, Spain. [10.1145/3264560.3264570](https://doi.org/10.1145/3264560.3264570).
- Azkuna, I. (2012). *Smart Cities Study: International Study on the Situation of ICT, Innovation and Knowledge in Cities*. Bilbao: The Committee of Digital and Knowledge-Based Cities of UCLG.
- Balasubramaniam, S., & Kangasharju, J. (2013). Realizing the Internet of nano things: challenges, solutions, and applications. *Internet of Nano Things: Computer*, 46(2), 62–68.
- Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Jeevanandam, J., Hussien, E. A., Mekki, S. A., Mostafa, M., Omran, M. M., Abdalla, M. S., Bechelany, M. (2022). Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. *Nanomaterials*, 12(2), 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., et al. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214, 481–518. doi: [10.1140/epjst/e2012-01703-3](https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3)

- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., Rizzolio F. (2019). The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112. doi: [10.3390/molecules25010112](https://doi.org/10.3390/molecules25010112).
- Bresciani, S., Ferraris, A., Del Giudice, M. (2018). The management of organizational ambidexterity through alliances in a new context of analysis: Internet of Things (IoT) smart cities projects. *Technological Forecasting & Social Change*, 136, 331–338.
- Choi, O. K., Deng, K., Kim, N. J., Ross, L., Surampalli, Y. R., Hu, Z. Q. (2008). The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth. *Water Research*, 42, 3066–3074.
- Colvin, V. L. (2003). The potential environmental impact of engineered nanomaterials, *Nature Biotechnology*, 21, (10), 1166–1170.
- Dekkers, S., Prud'homme De Lodder, L. C. H., De Winter, R., Sips, A. J. A. M., De Jong, W. H. (2007). *Inventory of Consumer Products Containing Nanomaterials*, RIVM/SIR Advisory Report 11124, Version July 27.
- Dekker, F., Kool, L., Bunschoten, A., Velders, A.H., & Saggiomo, V. (2021). Syntheses of gold and silver dichroic nanoparticles; looking at the Lycurgus cup colors. *Chemistry Teacher International*, 3(1), 20190011. doi: [10.1515/cti-2019-0011](https://doi.org/10.1515/cti-2019-0011)
- Dimitrijević, D. (2010). *Trends in Environmental Safety in the 21st Century*. Beograd. Fakultet bezbednosti. [In Serbian]
- Dimitrijević, D. (2011). Nanotechnology: The Need for the Implementation of the Precautionary Approach beyond the EU. In: M. Gorazd, D. Dimitrijević, C. B. Fields (eds). *Understanding and Managing Threats to the Environment in South Eastern Europe (NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security)* (205–224). Dordrecht: Springer.
- Drexler, K. E. (1986). *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York: Anchor-Doubleday.
- Drexler, K. E., Peterson, C., Pergamit, G. (1993). *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution*. New York: William Morrow and Company, Inc. <https://www.hailienene.com/resources/The%20Nanotechnology%20Revolution.pdf>
- Environmental Protection Agency (2007). U. S. Environmental Protection Agency: *Nanotechnology White Paper*. Washington: EPA.
- European Commission. (2022). *Commission Recommendation of 10. 06. 2022 on the definition of nanomaterial*. Retrieved on 12 July 2022 from https://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/pdf/C_2022_3689_1_EN_ACT_part1_v6.pdf
- Feynman R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, 23 (5), 22–36. <https://calteches.library.caltech.edu/1976/1/1960Bottom.pdf>
- Freestone, I., Meeks, N., Sax, M., Higgitt, C. (2007). The Lycurgus Cup – A Roman nanotechnology. *Gold Bulletin*, 40, 270–277. <https://doi.org/10.1007/BF03215599>
- Graham, S., Marvin, S. (2001). *Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition*. London: Routledge.
- Hollands, R. (2008). Will the Real Smart City Please Stand Up? *City*, 12(3), 303–320. doi: [10.1080/13604810802479126](https://doi.org/10.1080/13604810802479126).
- Hulla, J., Sahu, S., Hayes A. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human & Experimental Toxicology*, 34(12), 1318–1321. doi: [10.1177/0960327115603588](https://doi.org/10.1177/0960327115603588)

- Jarmakiewicz, J., Parobczak, K. (2016). On the Internet of Nano Things in healthcare network. 2016 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). IEEE, 2016, 1–6.
- Kamel Boulos, M. N., Al-Shorbaji, N.M. (2014). On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities. *International Journal of Health Geographics*, 13(1), 1–6.
- Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., Smalley, R. E. (1985). C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature*, 318, 162–163. <https://doi.org/10.1038/318162a0>
- Lux Research (2006). *The Nanotech Report*, 4th edition. New York: Lux Research Inc.
- Martin, N. (2019). The Legacy of Sir Harold W. Kroto: Fullerenes and Beyond. *Chem*, 5, 733–738. [https://www.cell.com/chem/pdf/S2451-9294\(19\)30119-6.pdf](https://www.cell.com/chem/pdf/S2451-9294(19)30119-6.pdf)
- Maynard, A. (2006). *Nanotechnology: A research strategy for addressing risk*. Woodrow Wilson International Center for Scholars Project on Emerging Nanotechnologies. http://www.nanotechproject.org/file_download/files/PEN3_Risk.pdf.
- Mehta, M. (2008). Nanotechnology and the Developing World: Lab-on-Chip Technology for Health and Environmental Applications. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 28, 400–407.
- Miraz, M. H., Ali, M., Excell, P. S., Picking, R. (2018). Internet of Nano-Things, Things and Everything: Future Growth Trends. *Future Internet*, 10(8), 68. <https://doi.org/10.3390/fi10080068>
- National Science and Technology Council (2021). *National Nanotechnology Initiative Strategic Plan*. https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/NNI-2021-Strategic-Plan.pdf
- Nayyar, A., Puri, V., Le, D.-H. (2017). Internet of Nano Things (IoNT): Next Evolutionary Step in Nanotechnology. *Nanoscience and Nanotechnology*, 7(1), 4–8. doi: [10.5923/j.nn.20170701.02](https://doi.org/10.5923/j.nn.20170701.02)
- (2007). Progress toward Safe Nanotechnology in the Workplace: A Report from NIOSH Nanotechnology Research Center. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/>, DHHS (NIOSH) Publication, No. 2007–123.
- Omanović-Miklićanin, E., Maksimović, M., Vujović, V. (2015). The Future of Healthcare: Nanomedicine and Internet Nano Things. *Folia Medica*, 50(1), 23–28.
- Perkel, J. (2002). Nanotech dreams. 16(5), 34–36.
- REACH (2008) Follow-up to the 6th Meeting of the REACH Competent Authorities for the implementation of Regulation (EC) 1907/2006. http://ec.europa.eu/enterprise/reach/reach/more_info/nanomaterials/index_en.htm.
- Roco, M. C. (2003). Nanotechnology: Convergence with modern biology and medicine. *Current Opinion in Biotechnology*, 14, 337–346.
- Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 427–445. doi: [10.1007/s11051-010-0192-z](https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z)
- Roco, M. C., Mirkin, C. A., Hersam, M. C. (2011). *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. London: The Royal Society.

- Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., Hou, T. *et al.* (2016). Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in Plant Science*, 7, 815.
- Sandhu, A. (2006). Who invented nano? *Nature Nanotechnology*, 1, 87. doi.org/10.1038/nnano.2006.115
- Taniguchi, N., Arakawa, C., Kobayashi, T. (1974). On the basic concept of nano-technology; *Proceedings of the International Conference on Production Engineering*; Tokyo, Japan. 26–29 August 1974.
- Trindade, E. P., Hinnig, M. P. F., Da Costa, E. M., Marques, J. S., Bastos, R. C., Yigitcanlar, T. (2017). Sustainable development of smart cities: a systematic review of the literature. *Journal Open Innovation*. 3(3), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40852-017-0063-2>
- Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella Jr., M. F., Rejeski, D., Hull, M. S. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6, 1769–1780. [doi:10.3762/bjnano.6.181](https://doi.org/10.3762/bjnano.6.181)
- Verma, S. K., Das, A. K., Patel, M. K., Shah, A., Kumar, V., Gantait, S. (2018). Engineered nanomaterials for plant growth and development: A perspective analysis. *Science of the Total Environment*, 630, 1413–1435.
- Woodrow Wilson Project on Emerging Nanotechnologies (2010) *Nanotechnology Consumer Products Inventory*. <http://www.nanotechproject.org/consumerproducts>.
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, Md., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., Moreirada Costa, E., Yun, J. J. (2018). Understanding 'smart cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81, 145–160.