

NANOTEHNOLOGIJA – PERSPEKTIVE I MOGUĆE OPASNOSTI PRIMENE U VOJNOJ INDUSTRIJI

Gavrilo Ostojić*
Vojska Srbije, VZ „Moma Stanojlović“

Od kraja 70-ih godina prošlog veka, razvila se jedna nova vrsta tehnologije na globalnom nivou – nanotehnologije, koja je omogućila manipulaciju materijom na atomskom nivou. U kombinaciji sa biotehnologijom i informacionom tehnologijom predstavlja ključnu tehnologiju XXI veka koja ima dalekosežne implikacije za nauku, industrijski razvoj i stvaranje novih proizvoda.

Nanotehnologija ima izuzetno veliku perspektivu primene u svim granama industrije, a pogotovo u vojnoj industriji, što će prevashodno promeniti iz srži način ratovanja i vođenje borbe na bojnopolju XXI veka. Primena mini robova, nano senzora, detektora, vlakana, optičkih uređaja, sredstava telekomunikacije i dr. nano uređaja i proizvoda, predstavljaju odlučujući faktor, jer superiornija tehnologija je uvek bila ta koja je jednoj od suparničkih strana u konfliktu omogućivala prevlast na bojnopolju. Drugim rečima i male razlike u razvoju i primeni tehnologije, a u ovom slučaju nanotehnologije, mogu dovesti do značajnih razlika u ishodu oružanog sukoba.

Sa druge strane rizik od primene nanotehnologije obuhvata širok opseg pretnji i opasnosti koje u kombinaciji sa brzim razvojem veštačke inteligencije, genetičkog inženjeringa i biotehnologije, mogu izazvati ozbiljnu opasnost za međunarodnu sigurnost. Nanotehnologija kao „tehnologija budućnosti“ dovešće do revolucionarnih promena, a sa druge strane stvorice se niz novih rizika koji se sa ratne pozornice XXI veka mogu veoma lako preliti na civilni sektor što može imati nesagledive posledice ne samo na čoveka već i za čitav živi svet na Zemlji.

U radu je iznesen istorijski razvoj i komercijalizacija nanotehnologije, pri čemu je poseban naglasak dat na primeni nanotehnologije u vojnoj industriji, sa osvrtom na njenu perspektivu i moguću opasnost, kao i njenu kontrolu od primene u vojnoj sferi.

Ključne reči: *nanotehnologija, konflikt, savremeni rat, oružani sukobi*

Uvod

Od kraja 70-ih godina prošlog veka, razvila se jedna nova vrsta tehnologije na globalnom nivou – nanotehnologija, koja je omogućila manipulaciju materijom na atom-

* Dr Gavrilo Ostojić, gavrilo.ostojic@vzms.vipvo.rs

skom nivou.¹ Nanotehnologija je sa biotehnologijom i informacionom tehnologijom ključna tehnologija XXI veka koja ima dalekosežne implikacije za nauku, industrijski razvoj i stvaranje novih proizvoda. Drugim rečima, nanotehnologija predstavlja sposobnost da se vrši kontrola i korišćenje supstanci i materijala na atomskom nivou u razmerama od 1-100 nm (nm – nanometar, milijarditi deo metra ili $1 \cdot 10^{-9}$ m). Poređenja radi, ljudska vlas široka je oko 80.000 nm, crveno krvno zrnce 7.000, virusi 25, a DNK oko 2 nm, dok je dimenzija atoma vodonika 0,1 nm, odnosno deset atoma vodonika jedan do drugoga imaju veličinu od 1 nm.²

Zbog svojih specifičnih osobina i neograničenih mogućnosti, nanotehnologija je veoma brzo našla svoje mesto i u vojnoj industriji. Ulaganjem velikih finansijskih sredstava u ovu tehnologiju, uticaće da dođe do promene u načinu upotrebe oružane sile na bojnopolju XXI veka. Upotreba nano senzora, kamera, skenera i sl. uređaja i inovacija, omogućiće stvaranje znatno efikasnijih oruđa i oružja, uz smanjenje dimenzija i povećanja manevarskih i ubojnih sposobnosti, od postojećeg konvencionalnog naoružanja koje je danas u upotrebi, što će uticati na korenite promene u vođenju taktike i upotrebe oružanih snaga u vođenju rata. Takođe, zbog neograničenih mogućnosti, širenja u svim sferama ljudskog života uticaće nesumnjivo i na dosadašnji koncept globalizacije.

Sa druge strane, nanotehnologija će dovesti do nove trke u naoružanju i nastavku „hladnog rata“. Ovo će doprineti da njenim razvojem raste i opasnost po čoveka i životnu sredinu, posebno ako se ova „tehnologija budućnosti“ nađe u pogrešnim rukama.

Istorijski razvoj i komercijalizacija nanotehnologije

Prvi pomen nano koncepta, vezuje se za 1867. godinu i istraživanja koja je vodio Džejms Maksvel.³ Nakon njega, prvo zapažanje i merenje veličine, nano čestica pomoću ultramikroskopa, izvršio je Zsigmondy 1914. godine, opisujući ih u Studiji o Koloidnom zlatu i drugim nanomaterijalima veličine 10 nm i manje (Studies of gold sols and other nanomaterials with sizes down to 10 nm and less).⁴ On je bio prvi koji je upotrebio termin i opisao karakteristike čestice veličine nanometra. Takođe, dao je prvu klasifikaciju ovih čestica zasnovanom na veličini čestica u nanometarskom opsegu. Posle njega javilo se više naučnika koji su doprineli začetku razvoju ove naučne oblasti. Posebno se ističu Langmuir i Blodget (1920), Derjaguin i Abrikosova (1950) i Feurman (1959).⁵ Termin na-

¹ Drexler K. Peterson C. & Pergamit G. „*Unbounding The Future: The Nanotechnology Revolution*“. (e-book) Quill books, New York, 1993. <http://erg.ucd.ie/arupa/references/unbounding.html> (preuzeto 06.09.2014).

² Sierra P. Dannelle, Weir A. Nathan and James F. Jones „*A Review of Research in the Field of Nanorobotics*“. Office of Scientific and Technical Information, 2005. <https://www.osti.gov/biblio/875622-review-research-field-nanorobotics> (preuzeto 12.06.2018).

³ Džejms Klerk Maksvel – škotski fizičar i matematičar, poznat po dinamičkoj teoriji električnog polja kojom je dao matematičko objašnjenje elektromagnetizma, danas poznate kao Maksvelova jednačina. U toku svojih istraživanja dotakao se pitanja vezanih za nano čestice (Encyclopedia Britannica on-line).

⁴ Zsigmondy R. „*Colloids and the Ultramicroscope: A Manual of Colloid Chemistry and Ultramicroscopy*“. J.Wiley and Sons, New York, 1914. <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015065704119;seq=1;view=1up> (preuzeto 18.05.2012).

⁵ El Salibu I. J., Shon K. H., Kandasamy J. & Vigneswaran S. „*Nanotechnology for wastewater treatment: in brief*“. UNESCO-EOLSS, 2012. <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C07/E6-144-23.pdf> (preuzeto 21.06.2014).

notehnologija, prvi put je „skovao“ Norio Taniguči (Norio Taniguchi) tokom 1974. godine. On ukazuje da se nanotehnologija uglavnom sastoji od procesa razdvajanja, ujedinjavanja i deformacije materijala do nivoa atoma ili molekula”.⁶ Ovu nastalu kovanicu je kasnije popularizovao Kim Erik Drexler (Kim Erik Drexler), kroz koncept nanotehnologije (osnovao polje molekularne nanotehnologije) u knjizi „Motori stvaranja: dolazi era nanotehnologije“ (Engines of creation: coming era of nanotechnology“) iz 1986. godine.

Nagli razvoj ove oblasti počinje tek 1980. godine, pronalaskom skenirajućeg tunelskog mikroskopa⁷ i otkrića fulelena 1985. godine. Ovo je doprinelo razvoju modifikacije i oblikovanju nanostrukture, odnosno stvaranje novih materijala i komponenti sa dimenzijom od 1 do 100 nm, koji putem sinteze stvaraju nove nanostrukture. One su od velikog naučnog interesa, jer efikasno predstavljaju most između makro materijala i atomske ili molekularne strukture. Zbog specifičnosti koje se ogledaju pre svega u različitim fizičkim, hemijskim i biološkim osobinama koje se razlikuju od osobina njihovih makroskopskih čestica, nanomaterijali su našli široku primenu od medicine, održivog razvoja, tretmanu otpada, konzervaciji energije, informatike, kozmetike pa do primene u kosmonautici a pogotovo u vojnoj industriji.^{8,9,10}

Jedinstvene karakteristike čestica na nano nivou, potiču od porasta površine čestice sa smanjenjem njene veličine (1 kg čestica od 1 mm² ima istu površinu kao i 1 mg čestica od 1 nm²) i to je razlog što se osobine proizvedenih nanočestica istog hemijskog sastava mogu razlikovati znatno više nego njihove veće formule odnosno makromolekule (čime se ispoljavaju na različite načine njihove optičke, električne, termičke, katalitičke i magnetne osobine).¹¹ Tako na primer, stabilne materije na makro nivou postaju zapaljive - jako nestabilne (aluminijum), inertne materije kao zlato, na nano nivou postaje potencijalni katalizatori. Tačka topljenja nanočestica je znatno niža od makro oblika - zlato od 2,5 nm se topi na 300°S dok se njegova makro čestica topi na 1064°S.¹² Na primer, jedan od najkomercijalnijih proizvoda – ugljene nanocevi (CNTs), poseduju sto puta veću čvrstoću od čelika iako su daleko lakše i njihova toplotna provodljivost prevazilazi provodljivost dijamanta, pa se koriste u industriji plastike, katalizatora, baterija, sistema za pre-

⁶ Kazlev, M. A. „History of Nanotechnology“. 2003. www.kheper.net/topics/nanotech/nanotech-history.htm (preuzeto 17.08.2014).

⁷ Roco M. C. „Nanotechnology, shaping the world atom by atom. National Science and Technologi Council“. Committee on technology, The Interagency working group on Nanoscience, engineering and technology, Washington, USA, 1999. www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/IWGN.Nanotechnology.Brochure.pdf (pristupljeno 11.04.2014).

⁸ Colvin V. L. „The potential environmental impact of engineered nanomaterials“. Nature Biotechnology, 21 (10): 1166-1170, 2003. http://virlab.virginia.edu/Nanoscience_class/lecture_notes/Lecture_14_Materials/Nano%20Hazards/Colvin%20-%20Environmental%20Impact%20of%20Nano%20-%20Nature.pdf (preuzeto 16.06.2012).

⁹ Davies J. C. „Managing the effects of Nanotechnology“. Woodrow Wilson International Center for Sholaris, National Institutes of Health, USA, 2006. http://www.nanotechproject.org/file_download/files/PEN2_MngEffects.pdf (preuzeto 12.01.2015).

¹⁰ Roco M. C. Hersam M. C. & Mirkin C. A. (Eds.) „Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook“. Berlin: Springer, 2011.

¹¹ Stander L. & Theodore L. „Environmental Implications of Nanotechnology—An Update“. International Journal of Environmental research and public health, 2: 470-479, 2011. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3084472/ (preuzeto 19.06.2014).

¹² Lubick N. & Betts K. „Silver socks have cloudy lining“. Environ Scince Technology, 42 (11): 3910-3910, 2008.

čišćavanje voda, ortopedskih implantata, lepila, senzora, kao i komponenti u elektronici, vazduhoplovstvu i automobilske industriji.

Zbog specifičnih osobina i mogućnosti, čestice na nano nivou se mogu lako međusobno kombinovati i modifikovati, tako da se u bliskoj budućnosti očekuje da nanotehnologija svoj spektar delovanja proširi na sve grane industrije, pri čemu će igrati važnu ulogu u smanjenju finansijskih troškova proizvodnje, zagađenja životne sredine i povećanju efikasnosti same upotrebe. To se naročito odnosi na razvijene države koje imaju pristup ovoj tehnologiji. Nanotehnologija može da bude efikasno sredstvo u rešavanju različitih socijalnih i ekonomskih problema u zemljama u razvoju i to: u prečišćavanju otpadnih voda i njihovu ponovnu upotrebu u aridnim i subaridnim regionima, lečenju i suzbijanju pojava epidemija i zaraza.¹³

Nanomaterijali nisu homogena grupa materijala, već uključuju različite tipove i forme, tako da još uvek ne postoji konsenzus oko njihove klasifikacije. Drugi problem je što i dalje nema dovoljno informacija na osnovu kojih bi mogle da se sačine preciznije procene o njihovom uticaju na životnu sredinu i ljudsko zdravlje.¹⁴ Taj problem je još izraženiji ako se ima u vidu da zbog potencijala nanotehnologije da uz značajno niže troškove, proizvede kvalitetnije proizvode, njihova komercijalizacija je jedan od najbržerastućih trendova na tržištu.

Prema proceni konsultanske firme „Lux Research“ iz 2015. godine vrednost nanoproizvoda će dostići 3,1 triliona dolara, dok je 2011. godine vrednost ovog tržišta iznosila oko 147 milijardi dolara.¹⁵ Globalna ulaganja u nanotehnološka istraživanja u periodu od 2007. do 2008. dostigla su 24,6 milijarde evra, pri čemu je Japan na prvom mestu sa 28,8%, slede USA sa 27,2% i EU sa 25,6%. Kina, Rusija i Indija ubrzano postaju ravnopravni partneri vodećim zemljama na ovom polju, o čemu svedoči i podatak da je u Soz-hou u Kini sagrađen nanograd po ugledu na kalifornijsku Silikonsku dolinu.

Na osnovu evidencije „Projekat o novim nanotehnologijama“ (Project on Emerging Nanotechnologies – PEN), pri Woodrow Wilson International Center-u for Scholars, 2006. godine evidentirano je 212 različita proizvoda, a 2008. godine 803 proizvoda.¹⁶ Do maja 2011. godine evidentirano je oko 1.317 nanotehnoloških proizvoda u 587 kompanija iz 30 zemalja. Prema podacima PEN-a, u Evropi je registrovano više od 367 kompanija koje se bave tom vrstom proizvodnje, najviše u Ujedinjenom Kraljevstvu, Francuskoj, Nemačkoj, Finskoj, Švajcarskoj, Italiji, Švedskoj, Danskoj i Holandiji, ali nijedna u jugoistočnoj Evropi. Komercijalno dostupni nanoproizvodi obuhvataju hranu, pesticide, kozmetiku, odeću otpornu na mrlje ili vodu, boje za automobile, sportske proizvode i digital-

¹³ Fleischer T. & Grunwald A. „Making nanotechnology development sustainable. A role for technology assessment“. Journal of cleaner production, 16 (8-9): 889-898, 2008. http://ac.els-cdn.com/S0959652607001102/1-s2.0-S0959652607001102-main.pdf?_tid=d7d17e8a-f2a4-11e1-a1db-00000aab0f6b&acdnat=1346332740_7c96cd1fc8197bfc084655cf6b6151ed (preuzeto 28.07.2012).

¹⁴ Dimitrijević D. „Nanotechnology: The Need for the Implementation of the Precautionary Approach beyond the EU“. In Meško G. Dimitrijević D. & Fields C. B. (Eds.) „Understanding and Managing Threats to the Environment in South Eastern Europe“. Dordrecht: Springer, pp. 205-224, 2011.

¹⁵ Lux Research „Nanomaterials State of the Market Q3 2008: Stealth Success, Broad Impact“. State of the Market Report Lux Research Inc, New York, 2008.

¹⁶ PEN „A Nanotechnology consumer Product Inventory“. Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington DC, 2012. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>. (preuzeto 10.03.2012).

ne kamere, a više od 60% je namenjeno zdravlju i fitnessu. Treba imati na umu da ovo nije kompletna baza podataka nanomaterijala, s obzirom da se na tržištu plasiraju proizvodi sa prefiksom „nano“ iako ne sadrže nanomaterijale, kao i da proizvođači i dalje nemaju obavezu da informišu potrošače ili da obeleže proizvod koji sadrže nanomaterijale. Ovde posebno treba istaći da veliki broj proizvoda iz svere vojne industrije takođe, nije evidentiran jer podaci o njima predstavljaju vojnu tajnu najvećeg stepena.

Nanotehnologija, kao jedna od vodećih tehnologija XXI veka, koja se svakodnevno unapređuje i brzo razvija, postala je neraskidivi deo vojne industrije pogotovo od kraja HH veka. Široka lepeza mogućnosti, ima nesagledivi potencijal, da manipulacijom na atomskom i molekularnom nivou omogući razvoj kako napadnih tako i odbrambenih sistema vojske kao osnovnog oslonca nacionalne bezbednosti same države. Odnosno, nanotehnologija kao „tehnologija budućnosti“ dovešće do revolucionarnih promena u načinu savremenog i budućeg ratovanja uz razvoj različitih sredstava, opreme i uređaja, kao što su: nanosenzori, nanoroboti i drugo. Takođe, dovešće do pojave novih rizika koji se sa ratne pozornice XXI veka mogu veoma lako preliti na civilni sektor što može imati nesagledive posledice ne samo na čoveka već i na čitavu populaciju na Zemlji.

Primena nanotehnologije u vojnoj industriji

Od prvobitne upotrebe luka i strele, preko borbenih dvokolica, katapulta, samostrela, preko upotrebe oružja koje je koristilo barut, zatim tenkova i aviona, do upotrebe atomskog oružja, borbena dejstva, su tokom razvoja ljudskog društva, znatno napredovala. Odnosno, uporedo sa razvojem i napretkom čoveka tokom istorije, razvijala se i napredovala ratna tehnika. Superiorna i napredna ratna tehnika je bila odlučujući faktor u ratnim dejstvima. Uključivanje nauke u razvoj tehnike bio je bitan faktor, koji je odlučivao o pobedniku na bojnopolju. Naročito posle Drugog svetskog rata, bogate (velike) nacije su oformile velike centre za vojna istraživanja i razvoj, koji su bili okosnica brzog razvoja i novih oruđa i oružja a koji su praktično diktirali ishod ratnih sukoba. Bolja ratna tehnika je pružala veće prednosti u borbi. Zato i ne čudi što je došlo do neraskidive integracije nauke i tehnologije sa sistemom priprema i vođenja ratova.

Iako je Hladni rat završen raspadom SSSR, vojne pretnje su još uvek ostale instrument geopolitičke volje i osnovni mehanizam nacionalne i međunarodne bezbednosti. Inovacije u vojnoj tehnologiji pružaju važnu prednost na bojnopolju u oružanom sukobu, što i diktira svakodnevnu želju za usavršavanjem vojnog naoružanja. Međutim, ekonomski kapaciteti države ograničavaju ulaganje ogromnih finansijskih sredstava u vojna istraživanja, pa samo najbogatiji (najveći) imaju mogućnosti brzog vojnog razvoja i napretka.

Pronalazak i razvoj nanotehnologije, u XX veku, je u velikoj meri uticao da se vojna istraživanja preusmere u pravcu manipulacije supstancom na atomskom i molekularnom nivou, a osnovni razlog je bio sasvim različito ponašanje materije na atomskom nivou od njihovih makro oblika, što daje novo svetlo na primenu oružja sa nano osobinama u oružanom sukobu. Smanjenje gabarita oružja i oruđa, uz znatno povećanje manevarskih, ubojnih i drugih sposobnosti, uticaće da se protivniku mogu naneti daleko veći gubici od

primene klasičnog konvencionalnog naoružanja u jedinici vremena. Takođe, zaštita vojnika i povećanje njegovih manevarskih sposobnosti je jedan od težišnih zadataka savremene vojne industrije. Nanotehnologija, kao jedna od vodećih tehnologija XXI veka, daje nesagledive mogućnosti za stvaranje „super vojnika” već danas.¹⁷

Perspektive primene nanotehnologije u vojnoj industriji

Generalno gledano, nanotehnologija će dovesti do velikih promena u dosadašnjem načinu ratovanja. Veoma mali, ali daleko poboljšani računari će se koristiti u oružju, oruđu, uniformama, komunikacionim i drugim sistemima. Različite vrste senzora, imaće minijaturne dimenzije, pri čemu će biti daleko jeftini, da se mogu masovno koristiti u ratnom sukobu a u cilju prikupljanja relevantnih podataka sa bojišta. Oružje će imati veći domet, veću ubitačnu moć i mnogo veću preciznost. Projektili sa minijaturnim i jeftinim sistemom vođenja, će postati daleko manjih dimenzija. Bobena vozila će imati jači i lakši oklop, što će im omogućiti da imaju daleko veće manevarske sposobnosti. Roboti će zameniti čoveka u izviđanju, komunikaciji i borbi. Doći će do proizvodnje novih vrsta hemijskog i biološkog oružja, koje će napadati ciljano pojedine organe ili se selektivno ponašati prema određenom genetičkom ili proteinskom materijalu u organizmu. Takođe, će doći do razvoja jeftinih senzora za detekciju hemijskih i bioloških agenasa i jeftinih nano materijala za dekontaminaciju. Ono što je najveći doprinos vojnoj industriji, je višestruko smanjenje troškova proizvodnje uz povećanje svih parametara borbenih i manevarskih sposobnosti. Pored ovoga, novi agensi hemijskog ili biološkog porekla, mogu biti mnogo efikasniji i delovati samo na planirane ciljeve u malom rejonu. Takođe, doći će do razvoja robotizovanih veštačkih bakterija, koje mogu postati alat za atentate, kao i njihova primena u medicinskoj zaštiti i prvoj pomoći na bojištu, gdje klasična medicinska pomoć zbog samog okruženja i karaktera bojišta nije mnogo efikasna.¹⁸

Primena nanotehnologije, kao što je već navedeno, omogućiće da dođe do značajnih promena na vojnoj opremi i naoružanju a koje se pre svega ogleda u sledećem:¹⁹

- smanjenje težine

primena nano kompozitnih materijala i nano legura (plasite, polimera, karbona ..) zamenice metal, čime će se ne samo smanjiti težina oruđa i oružja, već će se i smanjiti radarski odraz sredstva usled smanjenja dimenzija, povećati manevarske sposobnosti.

- adaptivne strukture

adaptivna struktura (poznata kao *pametna* ili *adaptivna struktura*) je struktura sa sposobnošću da menjaju svoj konfiguracioni, oblik ili osobine kao odgovor na promene u okruženju u kom se nalazi. Sam termin aktivne strukture odnosi se i na koje, za razliku

¹⁷ Altmann Jürgen „*Nanotechnology and Preventive Arms Control*”. Deutsche Stiftung Friedensforschung, 2005. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/26027/ssoar-2005-altmann-nanotechnology_and_preventive_arms_control.pdf?sequence=1 (preuzeto 12.07.2018.).

¹⁸ Altmann Jürgen and Gubrud A. Mark „*Military, Arms Control, and Security Aspects of Nanotechnology*”. *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam, IOS Press, pp 269-277, 2004. <https://pdfs.semanticscholar.org/19b9/3433042f0dfd5714ebc67d1ccbbad7f9bf15.pdf> (preuzeto 14.07.2018).

¹⁹ Tiwari Anupam „*Military nanotechnology*”. *International journal of engineering science&advanced technology*, Vol. 2, Issue 4, page 825-830, 2012. http://ijesat.org/Volumes/2012_Vol_02_Iss_04/IJESAT_2012_02_04_09.pdf (preuzeto 12.07.2018).

od tradicionalnih struktura (npr. mostova, zgrada i sl.), zahtevaju konstantno kretanje, čime imaju veću snagu da ostanu stabilne.²⁰

– smanjenje vibracija

primena nano kompozitnih materijala dovešće do smanjenja štetnih vibracija pogotovo kod aviona, čime se povećavaju manevarske sposobnosti istih, što nesumnjivo dovodi do prevlasti u vazдушnom prostoru.²¹

– stel nanotehnologija

Tehnološka eksplozija u drugoj polovini XX i početkom XXI veka, dovela je do nezamislivog napretka vojne tehnologije, koja se ogleda i u primeni stel tehnologije (stel tehnologija – podrazumeva minimalizaciju akustičnih, optičkih, infra-crvenih i elektromagnetnih odraza). Novi nanomaterijali omogućili su znatno bolju kamuflažu a posebno multispektralno maskiranje. Za razliku od većine konvencionalnih materijala koji se danas koriste u postojećim tehnologijama prikrivanja i koji su samo efikasni u smanjenju detekcije objekta u specifičnom (nebitnom ili infracrvenom odnosno mikrotalasnom) opsegu elektromagnetnog zračenja, novi nanomaterijali su omogućili multispektralno maskiranje. Odnosno novi specijalni nano premazi omogućiće da borbena sredstvu praktično budu nevidljiva, što će im obezbediti da obave dobijene zadatke u dubini protivnikove teritorije a da ne budu primećeni.^{22, 23}

– nano filtri

primenom posebnih nano materijala, proizvešće se filteri koji će veoma lako moći da vrše prečišćavanje od toksičnih, bioloških ili hemijskih otrova, uz smanjenje cene proizvodnje. Na ovaj način povećaće se njihova dostupnost, pogotovo u ratnim uslovima kada je i opasnost od kontaminacije najveća.²⁴ Takođe, danas se već koriste nanofilteri koji se koriste za prečišćavanje pijaće vode.

– jači oklop vozila

primenom nano polimera povećaće se izdržljivost oklopa (za vozila, ljude objekte). Upredeni i slojeviti oklopi od polimera imaće veću žilavost i krutost (nakon udara metka materijal apsorbuje energiju tako što se opterećenje rasprši po velikoj površini) a manju težinu, što će ne samo povećati otpornost na udar, već će usled manje težine povećati manevarske sposobnosti ne samo prevoznih sredstava, već će omogućiti veću pokretljivost vojnika koji koristi zaštitu manje težine a veće efikasnosti.²⁵

²⁰ Wisniewski Adam „*Nanotechnology for body protection*”. Military Institute of Armament Technology, 2007. file:///C:/Users/ostojaj/Downloads/httpwww_witu_mil_plwwwbiuletynzeszyty20070102p7%20(3).pdf (preuzeto 11.07.2018).

²¹ *Defence Nanotechnology Research and Development Program*. Department of Defense Director, Defense Research & Engineering, 2009. https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/dod-report_to_congress_final_1mar10.pdf (preuzeto: 25.07.2018)

²² Diao Z., Kraus M., Brunner R., Dirks J. H. and Spatz J. P. „*Nanostructured Stealth Surfaces for Visible and Near-Infrared Light*”. *Nano Letters*, 16 (10), pp 6610–6616, 2016. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.nanolett.6b03308> (preuzeto 05.07.2018).

²³ „*Nanotechnology and nanomaterials for camouflage and stealth applications*”, Nanowerk, 2015. <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=38899.php> (preuzeto 11.07.2018).

²⁴ Edzwald, K. J. „*Water Quality & Treatment, A Handbook on Drinking Water*”. American Water Works Association, 2011. <http://www.amazon.com/Water-Quality-Treatment-Environmental-Engineering/dp/0071630112> (preuzeto 14.04.2012)

²⁵ Mathew Jimi, Joy Jonson and George C. Soney „*Potential applications of nanotechnology in transportation: A review*”. Journal of King Saud University / Science, 2018. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/45E2CFA798D736F51CD2437310F2796A47AD3AF84D0503EFC0026EB206DD2067DC55A8A3FBAE97940E0599A3948C203B> (preuzeto 27.07.2018)

– nano vlakna

primenom nanotehnologije dobijaju se tkanine koje su 25% lakše i jače od standardnih. One imaju tri puta veću prozračnost, veću otpornost na abraziju, vatru, hemijske i biološke agense, veću vodootpornost, a primenom nano srebra i veću otpornost na sakupljanje virusa i bakterija, pogotovo u ratnim uslovima kada nema toliko mogućnosti da se održava redovno higijena. Centar za istraživanje vojske SAD u Masačusetu, je razvio novu nano tkaninu srebra sa česticama hidrogela, koja se koristi u proizvodnji termičke zaštitne odeće, koja se veoma brzo prilagođava specifičnom okruženju. Hidrogelne čestice od polietilena glikola ugrađene u odeću mogu da upijaju znoj, čime se sprečava da unutrašnji slojevi ostanu suvi. Ova tehnologija izolacije na bazi nanovlakana može se uspešno primeniti i na drugu vojnu opremu, kao što su: vreće za spavanje, šatorska platna, rukavice i drugo. Slično njima, piezoelektrična nano vlakna mogu pretvoriti pokreta tela u električnu struju za grejanje tela, kao i za punjenja drugih uređaja koje vojnik može da ima na bojištu. Na ovaj način vojnici na bojištu će moći da duže održe toplotu tela, a zbog primene lakih i tanjih uniformi imaće i veću pokretljivost.²⁶

– nano hrana

nano tehnologija će omogućiti trajnost same hrane mnogo dužom bez gubitaka hranjivih vrednosti. Ova pogodnost naročito dolazi do izražaja u ratnim operacijama kada je snabdevanje otežano i kada nema uslova za dugotrajno čuvanje iste.²⁷

– nano mašine – nano roboti

Nanoroboti su roboti veličine mikrometra, sastavljeni od sklopivih komponenti nano dimenzija reda 1 do 100 nm.²⁸ Prema Mavroidsu,²⁹ nanoroboti bi trebalo da ispune sledeće tri osobine i to:

- da imaju inteligenciju,
- da imaju sposobnost samoopravke i replikacija i
- da imaju sposobnost kontrole iz jednog centra.

Ovi nanoroboti će imati mogućnost da se kreću u svim medijima (kopno, voda, vazduh).³⁰ Biće dizajnirani za specifične vojne zadatke kao što su izviđanje, komunikacija, skeniranje i slično, odnosno da budu na svim onim pozicijama i mestima koji su previše opasni za život vojnika pri čemu će se moći teško detektovati, faktički će biti neprimetni, zbog minijaturnih dimenzija.

²⁶ Gibson, W. Philip, Lee Calvin, Ko Frank & Reneker Darrell „*Application of Nanofiber Technology to Nonwoven Thermal Insulation*”. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol 2. Issue 2, 2017. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a481751.pdf> (preuzeto 11.07.2018).

²⁷ Xiaojia He and Huey-Min Hwang „*Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment*”. Journal of Food and Drug Analysis, Volume 24, Issue 4, Pages 671-681, 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S10219498163007> (preuzeto 11.07.2018).

²⁸ Nathan A. Weir, Sierra P. Dannelle & Jones F. Jones „A Review of Research in the Field of Nanorobotics”. Albuquerque: Sandia National Laboratories, 2005. <https://prod.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2005/056808.pdf> (preuzeto 21.06.2018).

²⁹ Mavroidis C. and Ferreira A. „Nanorobotics: the past, the present and the future”. New York: Springer, To: Constantinos Mavroidis and Antoine Ferreira „*Nanorobotics*”. Current Approaches and Techniques, pp 3-27, 2013.

³⁰ Altmann Jurgen & Gubrud A. „*Risk of military use of nanotechnology - Need for technology assessment and preventive control*”. From: Roco M. and Tomellini R. „*Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications*”. 3rd JOINT EC-NSF Workshop on Nanotechnology, Lecce (Italy), 2002. https://www.researchgate.net/publication/238746618_RISKS_FROM_MILITARY_USES_OF_NANOTECHNOLOGY_THE_NEED_FOR_TECHNOLOGY_ASSESSMENT_AND_PREVENTIVE_CONTROL (preuzeto 11.07.2018).

Pored njih, nanoskopske mašine zvani *asembleri* (to su u suštini mašine programirane sa funkcijom da izrađuju druge mašine ili potrebne nano strukture u odnosu šta im je dato za primarni cilj) i *replikatori* (sami izrađuju kopiju sebe od nađenog materijala u okolini) će zameniti tradicionalne mašine, jer će milijarde ovih mašina raditi posao jedne velike, čime će se smanjiti troškovi proizvodnje, a roba će biti bolja, jača i jeftinija.³¹

– nano energetski materijali

ovi materijali imaju znatno bolje energetske osobine od standardnih (veću gustinu, stabilnost rada, sigurnost). Pa baterije koje se od njih izrađuju biće mnogo lakše (20-30%), imaće veću snagu i izdrživost, što će omogućiti smanjenje gabarita i težine uređaja uz povećanje performansi istih. Ovo će pogodovati vojnicima na bojnopolju, koji će koristiti kompaktnije uređaje daleko manje težine i dimenzija.³²

U bliskoj budućnosti, glavni smer razvoja nanotehnologije u vojne svrhe, biće dat na većoj zaštiti, većoj izdržljivosti i većoj efikasnosti „vojnika budućnosti”.³³ Nanotehnologija će omogućiti običnom vojniku, mnoge one sposobnosti koje danas uglavnom možemo da vidimo u filmovima naučne fantastike. Neki od njih su:

– elektro hromna kamuflaža (Electro Chromic Camouflage)

omogućiće bolju kamuflažu vojnika na bojištu jer će se prilagođavati boji okoline (apsorbovanje radio i radarskih talasa) odnosno vojnik će se stapati sa okolinom tako da će bit skoro neprimetan u toku izvođenja operacija. Takođe, primena ove kamuflaže na avionima, dronovima i raketama omogućiće da jednostavno nestanu u prostoru, pri čemu ih je jako teško uočiti (apsorbuju radarsko zračenje) što će omogućiti da nesmetano prođu u dubinu protivnikove teritorije i izvrše zadatak praktično neprimećeni.³⁴

– nano senzori

nano senzori, koji će biti protkani u uniformu vojnika, sa lakoćom će na bojištu otkrivati toksične gasove, patogene i druge agense. Takođe, posebni senzori će nadgledati zdravlje vojnika. Na ovaj način u svakom trenutku će se znati zdravstveno stanje vojnika na bojištu (imaćemo informacije o mnogim zdravstvenim parametrima vojnika).³⁵

– veštački mišići

poboljšanjem sposobnosti vojnika putem povećane snage mišića, omogućiće da vojnik budućnosti ne gubi snagu već i da je poveća u slučaju potrebe. Na primer da iskopa rov ili pređe velika rastojanja u situacijama kada je ranjen, kada je iscrpljen usled nedostatka hra-

³¹ Peter H. Diamandis „*Nanorobots: Where We Are Today and Why Their Future Has Amazing Potential*”. SingularityHub, 2016. <https://singularityhub.com/2016/05/16/nanorobots-where-we-are-today-and-why-their-future-has-amazing-potential/#sm.0000jp4p425rzes5ueh1iohbt523> (preuzeto 04.07.2018).

³² Sang Beom Kim, Kyung Ju Kim, Myung Hoon Cho, Ji Hoon Kim, Kyung Tae Kim and Soo Hyung Kim „*Micro- and Nanoscale Energetic Materials as Effective Heat Energy Sources for Enhanced Gas Generators*”. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (14), pp 9405–9412, 2016. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.6b00070> (preuzeto 12.07.2018).

³³ Li Jing, Powell Dan, Getty Stephanie and Lu Yijiang „*Nano Sensors and Devices for Space and Terrestrial Applications*”. NASA Ames Research, Centre NASA Goddard Space Flight Centre Elore Corporation Dan Powell, NASA Goddard Space Flight Centre, 2005. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.4604&rep=rep1&type=pdf> (preuzeto 08.07.2018).

³⁴ Brooke Robert „*Organic Electrochromic Devices for Aaptive Military Camouflage*”. Mawson Institute, Division of Information Technology, Engineering and the Environment, University of South Australia, 2015. <http://search.ror.unisa.edu.au/media/researcharchive/open/9916106904401831/53140201980001831> (preuzeto 07.07.2018).

³⁵ Isto kao 26.

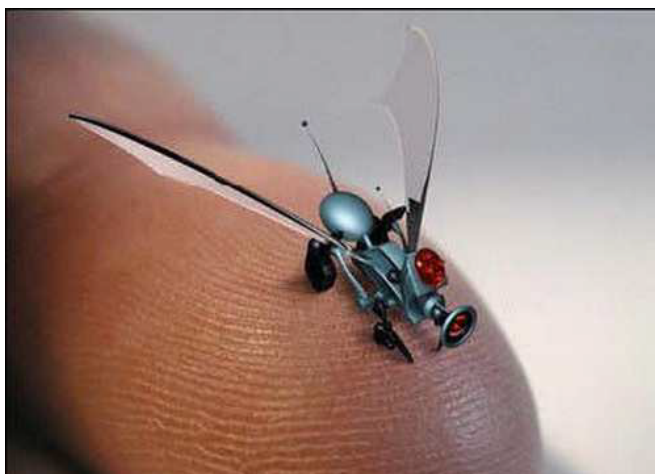
ne i/ili vode i slično. Najnovija istraživanja ukazuju da nano mišići mogu obezbediti daleko veći snagu od istih takvih prirodnih mišića za čak više desetina puta, što bi omogućilo daleko veću superiornost ovakvog vojnika od „običnog” – standardnog vojnika današnjice.³⁶

– nano medicinska pomoć

primenom nanotehnologije, odela za vojnika budućnosti imaće mogućnost da izvrše dijagnostiku, prevenciju i ukažu medicinsku pomoć unesrećenom. U slučaju ranjavanja, automatski će se aktivirati nano vlakna koja će zaustaviti krvarenje (na bojnopolju više od polovine vojnika nastrada zbog nemogućnosti pravovremene ukazivanja prve pomoći a usled preobimnog krvarenja). Odnosno pomoć u zdravstvenom zbrinjavanju vojnika na bojnopolju biće gotovo trenutna. Primena novog dizajna zaštitnog materijala kojim će biti protkano zaštitno odelo, smanjiće rizik vojnika od trauma, nesreća i povreda.³⁷

Što se tiče oblasti istraživanja, primene nanotehnologije je praktično nemerljivo velika, pogotovo u vojsci, gde se već danas oblasti istraživanja svakodnevno uvećavaju. Od velikog broja oblasti navešće se samo pojedina i to:

– nano vazдушna sredstva



Slika 1 – primer nano vazдушnih sredstva³⁸

Nano vazдушna sredstva predstavljaju minijaturene i ultra laka vazдушna „vozila” (Slika 1), određene autonomije kretanja, namenjena za različite potrebe oružanih snaga.³⁹ U zavisnosti od namene mogu se koristiti za prikupljanje informacija, nadgledanja, lociranje, kao i

³⁶ Levis Jim „Two types of artificial muscle from nanotechnology”. Foresight institute, 2012. <https://foresight.org/two-types-of-artificial-muscle-from-nanotechnology/> (preuzeto 08.07.2018).

³⁷ Tate S. Jitendra, Espinoza Sergio, Habbit Davontae, Hanks Craig, Tribula Valk and Fazarro Dominick „Military And National Security Implications Of Nanotechnology”. Journal Of Technology Studies Spring Vol. 41 Issue 1, p20-28, 2015. <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JOTS/v41/v41n1/tate.html> (preuzeto 11.07.2018).

³⁸ Isto kao 20.

³⁹ William A. Davis „Nano air vehicles a technology forecast”. Center for Strategy and Technology, Air War College, 2007. http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/bh_davis.pdf (preuzeto 05.07.2018).

mnogih drugih relevantnih misija. Snaždeveni su minijaturnim senzorima, detektorima, kamerama, navigacionim, komunikacionim sredstvima i drugom opremom, koja im omogućava izvršenje namenskog zadatka odnosno misije. Zbog malih dimenzija, uglavnom su namenjene za upotrebu u urbanim sredinama u kojima postoji mogućnost za izlaganje vojnika prevelikim opasnostima-rizicima. Mala veličina ovih „vazdušnih vozila” obezbediće prirodno njihovo prikrivanje. Takođe, mala cena koštanja obezbediće mogućnost da se angažuje znatno veći broj ovih vozila, čime će se obezbediti veća pokrivenosti određenog reona-terena.

Moguće opasnost od primene nanotehnologija u vojnoj industriji

Kao što je već navedeno, nanotehnologija je tehnologija XXI veka, koja će u skorije vreme omogućiti treću industrijsku revoluciju u svetu, jer mogućnosti njene primene su praktično neograničene.

U svetu se danas javlja bojazan, da ukoliko se ne ustroje zakoni i ograničenja koja će striktno propisati i urediti ovu oblast, kako na nacionalnom tako i na međunarodnom nivou, postoji mogućnost da se veoma brzo jave neženjeni efekti koji će dovesti u opasnost ne samo ljude već i živi svet tj. celu životnu sredinu na Planeti. Drugim rečima, novo naoružanje, bi vršilo pritisak na vojske drugih država, koje bi težile da pronađu način da spreče napade ovim novim oružjem, što bi opet moglo dovesti do nove trke u naoružanju.

Danas je malo poznato, na koji će način novonastali nano materijali uticati na zdravlje čoveka i životnu sredinu, a pre svega što se nano materijali na sasvim drugi način ponašaju u sredini od svojih makro molekula.⁴⁰ Tako nanomaterijali koji se koriste u izradi uniformi mogu lako da dođu u životnu sredinu izazivajući ozbiljne probleme a pre svega u uništavanju biljnih i životinjskih vrsta. Povećano otpuštanje nanočestica u životnu sredinu može negativno delovati na biome i ekosisteme. Tako napredno nuklearno naoružanje može delovati na ogromne površine kontaminirajući ga radioaktivnim materijalom, a pogotovo to što minijaturne čestice imaju mnogo veću površinu od klasičnih-standardnih čestica. Kako Bennet-Boos⁴¹ ističe postoji velika neizvesnost na koji će način nanomaterijali degradirati životnu sredinu i reagovati sa lokalnim organizmima u okruženju.

Opasnost po ljudsko društvo bilo bi i od mutiranih nano organizama, bolesti i virusa, koji bi zbog malih dimenzija veoma lako mogli da napuste vojne laboratorije i napadnu fizički svet. Razvoj nano senzora i nano robota, povećava zabrinutost za ličnu privatnost, jer jedan od nekoliko najvećih rizika nanotehnologije je taj da društvo veoma lako može da izubi svoju privatnost.⁴² Kako navodi Flaggat,⁴³ nano senzori koji su razvijeni za prikupljanje informacija na bojnopolju, veoma lako mogu da se koriste za prisluškivanje i praćenje građana od strane državnih agencija i institucija.

⁴⁰ Bennett-Woods Deb „*Nanotechnology: Ethics and Society, Perspectives in Nanotechnology*”. CRC Press, 2008.

⁴¹ isto kao 36

⁴² Flagg N. Barbara „*Nanotechnology and the public*”. Multimedia Research Research Report No. 05-018, 2005. http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/eval/uploads/2009/05/444/nanotechnology_and_the_public_year_1_front_end_evaluation_appendix.pdf (preuzeto 11.07.2018).

⁴³ Isto kao 43.

U narednim godinama, očekuje se integracija nanotehnologije i odbrane u takozvanu nano-odbranu, koja će odigrati ključnu ulogu u očuvanju nacionalne bezbednosti. Veća javna potrošnja i investicije u nano-odbranu dovešće do stvaranja niza novih odbrambenih ustanova koje će nanotehnologiju transformisati i oblikovati potrebama odbrane. Ovde se već danas postavlja pitanje da li su tradicionalne vojske spremne da se suoče sa promena pod uticajem nanotehnologije. Da bi odgovorili na ovo pitanje, treba da utvrdimo šta država zna o nanotehnologiji i koje potencijalne opasnosti proizilaze iz novih mogućnosti nano odbrane, pri čemu masovno korišćenje nano vojnih proizvoda može izazvati potencijalne ekološke probleme. Takođe, potencijalno vojno oružje zasnovano na nanotehnologiji nosi veliki rizik od nezakonitog pribavljanja i korišćenja pogotovo od strane terorista, ekstremista, verskih fanatika i drugih ekstrema, donoseći veoma ozbiljne pretnje ne samo pojedinim državama već i globalnom miru. Odnosno, nanotehnologija u kombinaciji sa biotehnologijom i medicinom izaziva zabrinutost u pogledu bezbednosti ljudi. Zbog svojih malih dimenzija, lako ih je prokrijumčariti iz laboratorija i dati u „pogrešne” ruke, što bi dovelo do destabilizacije ljudskog društva i porodice.⁴⁴ Razvojem nanotehnologije, raste i opasnost od štete koje civilni sektor može da pretrpi.⁴⁵

Pored navedenog, postavlja se jedno veoma značajno pitanje – „Da li nanotehnologija može da utiče i da promeni globalizaciju?” Mogućnost brzih i iznenadnih promena u tradicionalnim industrijama, nacionalnim i međunarodnim granicama i globalnim trendovima, nastalih kao posledica brzog razvoja i primene nanotehnologije pogotovo u vojnoj industriji, lančano može veoma lako izazvati socio-ekonomske poremećaje i opadanje moći države, odnosno može da uzdrma temelje same globalizacije.⁴⁶

Kontrola primene nanotehnologije u vojnoj industriji

Mnogi autori, već danas upozoravaju na moguću opasnost od primene nanotehnologije, kao brzo rastuće tehnologije XXI veka^{47,48,49} i predlažu niz mera kojima bi se ograničila i pravno uredila upotreba nanotehnologije kako na nacionalnom tako i na međunarodnom nivou, pogotovo u sveri vojne primene za potrebe vođenja oružanih sukoba. Koristeći kriterijume preventivne kontrole naoružanja, ograničio bi se razvoj i upotreba nano proizvoda u vojne svrhe, jer novo nano konvencionalno, hemijsko i biološko naoružanje ne evidentiraju i ne prepoznaju već potpisani međunarodni ugovori i protokoli o kontroli naoružanja. Kako navodi Altman⁵⁰ novi autonomni sistemi ugrozili bi savremene zakone ratovanja. Vojna stabilnost bi se narušila, pri čemu bi došlo do nove trke u naoružanju i

⁴⁴ Mullenson V. „*Nanotechnology, the Brain, and the Future: Ethical Considerations Future*”. Yearbook of Nanotechnology in Society to Hays S. A., Robert J. S., Miller C. A. and Bennett I. „*Nanotechnology*”. Springer, 2013.

⁴⁵ Isto kao 32.

⁴⁶ Isto kao 38.

⁴⁷ Isto kao 18.

⁴⁸ Kosal E. Margaret „*Military Applications of Nanotechnology: Implications for Strategic Security*”. Naval Postgraduate School, Dumbley Knox Library, 2014.
https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/45129/KOSAL_PASCC%20Rev%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y (preuzeto 12.07.2018).

⁴⁹ Isto kao 38.

⁵⁰ isto kao 18.

širenja nano oružja i oruđa. Kako dalje ističe Altman, preporučuje se prevencija širenja ovog naoružanja u sledećim oblastima:

- zabraniti proizvodnju senzora veličine manje od nekoliko centimetara,
- minijaturno naoružanje i municiju koja nije od metala zabraniti. Ugovor o konvencionalnim oružanim snagama treba doraditi novim sistemima naoružanja,
- dogovoriti moratorijum od 10 godina na bilo kakve nano manipulacije osim za potrebe medicine,
- oružane autonomne (robotske) sisteme treba zabraniti,
- mobilne uređaje veličine 0,2-0,5 m treba zabraniti za upotrebu,
- zaključiti opštu zabranu svemirskog naoružanja i
- konvencije o hemijskom i biološkom naoružanju treba ojačati i doraditi.

Na dugoročnom planu, da bi se sprečile zloupotrebe nanotehnologije, potrebno je povećati inspeksijsku aktivnost i zakonski unaprediti njihov rad i ovlašćenja, unaprediti međunarodno krivično pravo kao i jačanje svih elemenata u međunarodnom sistemu koji se kreću u tom pravcu.

Ovome ide u prilog sve veći broj poziva na strožu regulaciju nanotehnologije, koji su nastali kao posledica rastuće rasprave koja se tiče rizika po ljudsko zdravlje i sigurnost same nanotehnologije na životnu sredinu.⁵¹ Već danas postoji značajna debata i rasprava o tome ko je odgovoran za regulaciju nanotehnologije. Pojedine regulatorne agencije trenutno pokrivaju samo pojedine proizvode i procese nanotehnologije (u različitom stepenu) - tako da postoje velike praznine u pravnoj regulativi.⁵²

Zaključak

Od kraja 70-ih godina prošlog veka, razvila se nova vrsta tehnologije na globalnom nivou – nanotehnologija, koja je omogućila manipulaciju materijom na atomskom nivou, veoma brzo je postala glavni naučni i tehnološki fenomen u XXI veku. Dovela je do revolucionarnog razvoja novih materijala koji su/će svoju primenu našli/naći u mnogim granama industrije a pogotovo u vojnoj industriji.

Već danas mnogi vojni analitičari ističu da će primena nanotehnologije u vojne svrhe imati znatno veći potencijal od nuklearnog naoružanja, što će uticati do dođe do radikalnih promena ravnoteže vojnih snaga na međunarodnom planu. Odnosno, dovešće do revolucionarnih promena u savremenom načinu ratovanja, usled čega će se javiti niz novih rizika koji će sa ratne pozornice XXI veka može veoma lako da se preliju u civilni sektor što bi imala nesagledive posledice ne samo po čoveka već i po čitav živi svet na Planeti.

U cilju prevencije od mogućih posledica primene nanotehnologije u oružanim snagama, na dugoročnom planu, potrebno je već danas redefinisati, doraditi i/ili propisati pravnu regulativu, kako na nacionalnom tako i na međunarodnom planu, kako bi se izbegle njene negativne posledice ne samo po čoveka nego i po životnu sredinu.

⁵¹ Kevin Rollins, "Nanobiotechnology Regulation: A Proposal for Self-Regulation with Limited Oversight". Nanotechnology Law & Business Volume 6 – Issue 2, 2009.

⁵² Bowman D. and Hodge G. "Nanotechnology: Mapping the Wild Regulatory Frontier". Futures, 38 (9): 1060–1073, 2006.

https://www.sciencedirect.com/science?_ob=ShoppingCartURL&_method=add&_eid=1-s2.0-S0016328706000565&originContentFamily=serial&_origin=article&_ts=1532534416&md5=5e74c788b5da2112a1c16c72e7f45d89 (preuzeto 13.07.2018).

Literatura

- [1] Drexler K. Peterson C. & Pergamit G. „*Unbounding The Future: The Nanotechnology Revolution*”. (e-book) Quill books, New York, 1993.
<http://erg.ucd.ie/arupa/references/unbounding.html> (preuzeto 06.09.2014).
- [2] Sierra P. Dannelle, Weir A. Nathan and James F. Jones „*A Review of Research in the Field of Nanorobotics*”. Office of Scientific and Technical Information, 2005.
<https://www.osti.gov/biblio/875622-review-research-field-nanorobotics> (preuzeto 12.06.2018).
- [3] Zsigmondy R. „*Colloids and the Ultramicroscope: A Manual of Colloid Chemistry and Ultramicroscopy*”. J. Wiley and Sons, New York, 1914.
<http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015065704119;seq=1;view=1up> (preuzeto 18.05.2012).
- [4] El Salibu I. J., Shon K. H., Kandasamy J. & Vigneswaran S. „*Nanotechnology for wastewater treatment: in brief*.” UNESCO-EOLSS, 2012. <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C07/E6-144-23.pdf> (preuzeto 21.06.2014).
- [5] Kazlev, M. A. „*History of Nanotechnology*”. 2003.
www.kheper.net/topics/nanotech/nanotech-history.htm (preuzeto 17.08.2014).
- [6] Roco M. C. „*Nanotechnology, shaping the world atom by atom. National Science and Technologi Council*”. Committee on technology, The Interagency working group on Nanoscience, engineering and technology, Washington, USA, 1999.
www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/IWGN.Nanotechnology.Brochure.pdf (pristupljeno 11.04.2014).
- [7] Colvin V. L. „*The potential environmental impact of engineered nanomaterials*”. Nature Biotechnology, 21 (10): 1166-1170, 2003.
http://virlab.virginia.edu/Nanoscience_class/lecture_notes/Lecture_14_Materials/Nano%20Hazards/Colvin%20-%20Environmental%20Impact%20of%20Nano%20-%20Nature.pdf (preuzeto 16.06.2012).
- [8] Davies J. C. „*Managing the effects of Nanotechnology*”. Woodrow Wilson International Center for Scholaris, National Institutes of Health, USA, 2006.
http://www.nanotechproject.org/file_download/files/PEN2_MngEffects.pdf (preuzeto 12.01.2015).
- [9] Roco M. C., Hersam M. C. & Mirkin C. A. (Eds.) „*Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook*”. Berlin: Springer, 2011.
- [10] Stander L. & Theodore L. „*Environmental Implications of Nanotechnology—An Update*”. International Journal of Environmental research and public health, 2: 470-479, 2011.
www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3084472/ (preuzeto 19.06.2014).
- [11] Lubick N. & Betts K. „*Silver socks have cloudy lining*”. Environ Scince Technology, 42 (11): 3910-3910, 2008.
- [12] Fleischer T. & Grunwald A. „*Making nanotechnology developmentssustainable. A role for technology assessment*”. Journal of cleaner production, 16 (8-9): 889-898, 2008.
http://ac.els-cdn.com/S0959652607001102/1-s2.0-S0959652607001102-main.pdf?_tid=d7d17e8af2a4-11e1-a1db-00000aab0f6b&acdnat=1346332740_7c96cd1fc8197bfc084655cf6b6151ed (preuzeto 28.07.2012).
- [13] Dimitrijević, D. „*Nanotechnology: The Need for the Implementation of the Precautionary Approach beyond the EU*”. In Meško G. Dimitrijević D. & Fields C. B. (Eds.) „*Understanding and Managing Threats to the Environment in South Eastern Europe*”. Dordrecht: Springer, pp. 205-224, 2011.
- [14] Lux Research „*Nanomaterials State of the Market Q3 2008: Stealth Success, Broad Impact*”. State of the Market Report Lux Research Inc, New York, 2008.

- [15] PEN „*A Nanotechnology consumer Product Inventory*”. Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington DC, 2012. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>. (preuzeto 10.03.2012).
- [16] Altmann Jürgen „*Nanotechnology and Preventive Arms Control*”. Deutsche Stiftung Friedensforschung, 2005. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/26027/ssoar-2005-altmann-nanotechnology_and_preventive_arms_control.pdf?sequence=1 (preuzeto 12.07.2018).
- [17] Altmann Jürgen and Gubrud A. Mark „*Military, Arms Control, and Security Aspects of Nanotechnology*”. Discovering the Nanoscale, Amsterdam, IOS Press, pp 269-277, 2004. <https://pdfs.semanticscholar.org/19b9/3433042f0dfd5714ebc67d1ccbada7f9bf15.pdf> (preuzeto 14. 07. 2018).
- [18] Tiwari Anupam „*Military nanotechnology*”. International journal of engineering science&advanced technology, Vol. 2, Issue 4, page 825-830, 2012. http://ijesat.org/Volumes/2012_Vol_02_Iss_04/IJESAT_2012_02_04_09.pdf (preuzeto 12.07.2018).
- [19] Wisniewski Adam „*Nanotechnology for body protection*”. Military Institute of Armament Technology, 2007. [file:///C:/Users/ostoja/Downloads/httpwww_witu_mil_plwwwbiuletynzeszyty20070102p7%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/ostoja/Downloads/httpwww_witu_mil_plwwwbiuletynzeszyty20070102p7%20(3).pdf) (preuzeto 11.07.2018).
- [20] Defence Nanotechnology Research and Development Program. Department of Defense Director, Defense Research & Engineering, 2009. https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/dod-report_to_congress_final_1mar10.pdf (preuzeto: 25.07.2018)
- [21] Diao Z., Kraus M., Brunner R., Dirks J. H. and Spatz J. P. „*Nanostructured Stealth Surfaces for Visible and Near-Infrared Light*”. Nano Letters, 16 (10), pp 6610–6616, 2016. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.nanolett.6b03308> (preuzeto 05.07.2018).
- [22] „*Nanotechnology and nanomaterials for camouflage and stealth applications*”, Nanowerk, 2015. <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=38899.php> (preuzeto 11.07.2018).
- [23] Edzwald, K. J. „*Water Quality & Treatment, A Handbook on Drinking Water*”. American Water Works Association, 2011. <http://www.amazon.com/Water-Quality-Treatment-Environmental-Engineering/dp/0071630112> (preuzeto 14.04.2012)
- [24] Mathew Jimi, Joy Jonson and George C. Soney „*Potential applications of nanotechnology in transportation: A review*”. Journal of King Saud University / Science, 2018. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/45E2CFA798D736F51CD2437310F2796A47AD3AF84D0503EFC0026EB206DD2067DC55A8A3FBAE97940E0599A3948C203B> (preuzeto 27.07.2018)
- [25] Gibson, W. Philip, Lee Calvin, Ko Frank & Reneker Darrell „*Application of Nanofiber Technology to Nonwoven Thermal Insulation*”. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol 2. Issue 2, 2017. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a481751.pdf> (preuzeto 11.07.2018).
- [26] Xiaojia He and Huey-Min Hwang „*Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessmen*”. Journal of Food and Drug Analysis, Volume 24, Issue 4, Pages 671-681, 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S10219498163007> (preuzeto 11.07.2018).
- [27] Nathan A. Weir, Sierra P. Dannelle & Jones F. Jones „*A Review of Research in the Field of Nanorobotics*”. Albuquerque: Sandia National Laboratories, 2005. <https://prod.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2005/056808.pdf> (preuzeto 21.06.2018).
- [28] Mavroidis C. and Ferreira A. „*Nanorobotics: the past, the present and the future*”. New York: Springer, to: Constantinos Mavroidis and Antoine Ferreira „Nanorobotics”. Current Approaches and Techniques, pp 3-27, 2013.

[29] Altmann Jurgen & Gubrud A. „*Risk of military use of nanotechnology - Need for technology assessment and preventive control*”. From: Roco M. and Tomellini R. „*Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications*”. 3rd JOINT EC-NSF Workshop on Nanotechnology, Lecce (Italy), 2002.

https://www.researchgate.net/publication/238746618_RISKS_FROM_MILITARY_USES_OF_NANOTECHNOLOGY__THE_NEED_FOR_TECHNOLOGY_ASSESSMENT_AND_PREVENTIVE_CONTROL (preuzeto 11.07.2018).

[30] Peter H. Diamandis „*Nanorobots: Where We Are Today and Why Their Future Has Amazing Potential*”. SingularityHub, 2016. <https://singularityhub.com/2016/05/16/nanorobots-where-we-are-today-and-why-their-future-has-amazing-potential/#sm.0000jp4p425rzes5ueh1iohbt523> (preuzeto 04.07.2018).

[31] Sang Beom Kim, Kyung Ju Kim, Myung Hoon Cho, Ji Hoon Kim, Kyung Tae Kim and Soo Hyung Kim „*Micro- and Nanoscale Energetic Materials as Effective Heat Energy Sources for Enhanced Gas Generators*”. ACS Applied Materials & Interfaces, 8 (14), pp 9405–9412, 2016. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.6b00070> (preuzeto 12.07.2018).

[32] Li Jing, Powell Dan, Getty Stephanie and Lu Yijiang „*Nano Sensors and Devices for Space and Terrestrial Applications*”. NASA Ames Research, Centre NASA Goddard Space Flight Centre Eloret Corporation Dan Powell, NASA Goddard Space Flight Centre, 2005. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.4604&rep=rep1&type=pdf> (preuzeto 08.07.2018).

[33] Brooke Robert „*Organic Electrochromic Devices for Aaptive Military Camouflage*”. Mawson Institute, Division of Information Technology, Engineering and the Enviroment, University of South Australia, 2015. <http://search.ror.unisa.edu.au/media/researcharchive/open/9916106904401831/53140201980001831> (preuzeto 07.07.2018).

[34] Levis, Jim „*Two types of artificial muscle from nanotechnology*”. Foresight instityte, 2012. <https://foresight.org/two-types-of-artificial-muscle-from-nanotechnology/> (preuzeto 08.07.2018).

[35] Tate S. Jitendra, Espinoza Sergio, Habbit Davontae, Hanks Craig, Tribula Valk and Fazarro Dominick „*Military And National Security Implications Of Nanotechnology*”. Journal Of Technology Studies Spring Vol. 41 Issue 1, p20-28, 2015. <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JOTS/v41/v41n1/tate.html> (preuzeto 11.07.2018).

[36] William A. Davis „*Nano air vehicles a technology forecast*”. Center for Strategy and Technology, Air War College, 2007. http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/bh_davis.pdf (preuzeto 05.07.2018).

[37] Flagg N. Barbara „*Nanotechnology and the public*”. Multimedia Research Research Report No. 05-018, 2005. http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/eval/uploads/2009/05/444/nanotechnology_and_the_public_year_1_front_end_evaluation_appendix.pdf (preuzeto 11.07.2018).

[38] Mullenson V. „*Nanotechnology, the Brain, and the Future: Ethical Considerations Future*”. Yearbook of Nanotechnology in Society to Hays S. A., Robert J. S., Miller C. A. and Bennett I. „*Nanotechnology*”. Springer, 2013.

[39] Kosal E. Margaret „*Military Applications of Nanotechnology: Implications for Strategic Security*”. Naval Postgraduate School, Dubley Knox Library, 2014.

[40] Bennett-Woods Deb „*Nanotechnology: Ethics and Society, Perspectives in Nanotechnology*”. CRC Press, 2008.

[41] Flagg N. Barbara „*Nanotechnology and the public*”. Multimedia Research Research Report No. 05-018, 2005.

http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/eval/uploads/2009/05/444/nanotechnology_and_the_public_year_1_front_end_evaluation_appendix.pdf (preuzeto 11.07.2018).

[42] Mullenson V. „*Nanotechnology, the Brain, and the Future: Ethical Considerations Future*”. Yearbook of Nanotechnology in Society to Hays S. A., Robert J. S., Miller C. A. and Bennett I. „Nanotechnology”. Springer, 2013.

[43] Kosal E. Margaret „*Military Applications of Nanotechnology: Implications for Strategic Security*”. Naval Postgraduate School, Duple Knox Library, 2014.

https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/45129/KOSAL_PASCC%20Rev%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y (preuzeto 12.07.2018).

[44] Kevin Rollins „*Nanobiotechnology Regulation: A Proposal for Self-Regulation with Limited Oversight*”. Nanotechnology Law & Business Volume 6 – Issue 2, 2009.

[45] Bowman D. and Hodge G. „*Nanotechnology: Mapping the Wild Regulatory Frontier*”. Futures, 38 (9): 1060–1073, 2006.

https://www.sciencedirect.com/science?_ob=ShoppingCartURL&_method=add&_eid=1-s2.0-S0016328706000565&originContentFamily=serial&_origin=article&_ts=1532534416&md5=5e74c788b5da2112a1c16c72e7f45d89