

Doprinos biotehnologija zaštiti zemljišta od zagađenja

Dr Ana Batrićević,
Dr Vera Stanković

Naučni rad
UDC: 502.174

UVOD

Od kada se prvi put pojavio u Nemačkoj a potom proširio po čitavom svetu, koncept Četvrte industrijske revolucije, ili Industrije 4.0, zasnovan na povezivanju kompjuterskih i fizičkih procesa, bio je prevashodno fokusiran na redukovanje potencijalnih grešaka u industrijskoj proizvodnji, unapređenje kvaliteta proizvoda, rasterećenje ljudi od obavljanja teških ili opasnih poslova i obezbeđenje kupcima mogućnosti da proizvode dobiju kada i gde oni to žele [1]. Efikasna upotreba resursa svakako je našla svoje mesto u okviru ovog koncepta, ali se tek od skora intenzivnije vodi računa o uključivanju načela održivog razvoja i korišćenja prirodnih resursa i osmišljavanju načina za njihovu realizaciju u ovom kontekstu [2]. Osim toga, uviđa se i na koje se sve načine tekovine Četvrte industrijske revolucije mogu upotrebiti u svrhu zaštite životne sredine i otklanjanja posledice njenog zagađenja. Procenjuje se da bi na primer, tekovine Četvrte industrijske revolucije kao što su: dostupnost podataka, posebno onih koji se odnose na mogućnosti sprečavanja zagađenja, i povezanost između društava koja omogućava konstantan monitoring, između ostalog, i u oblastima značajnim za merenje zagađenja, mogle da doprinesu rešavanju ekoloških problema [2]. Pored toga, Četvrta industrijska revolucija mogla bi da doprinese očuvanju resursa i smanjenju štetnih emisija i kroz kontinuirano upravljanje energijom i resursima i to tako što bi se obezbeđivale detaljne informacije o procesima proizvodnje, korišćenju resursa i energije i emisije zagađujućih materija sa ciljem njihove optimizacije u svim delovima međusobno povezanih mreža proizvodnih sistema [1]. Osim nabrojanih dostignuća Četvrte industrijske revolucije koja svoju primenu mogu naći u zaštiti životne sredine, još jedna njena tekovina dobija sve širi značaj u oblasti ekologije. Reč je o biotehnologiji, čiji različiti procesi i postupci se, zajedno sa

ostalim tekovinama 4.0 poput 3D štampanja, nanotehnologija, skladištenja energije itd. sve češće koriste u službi zaštite životne sredine [3].

U najširem smislu, pojam biotehnologije podrazumeva primenu biologije radi dobijanja nekog proizvoda [4], odnosno bilo koju tehnološku primenu koja koristi biološke sisteme, žive organizme ili njihove derivate kako bi se napravili ili modifikovali ili neki proizvodi ili procesi za specifičnu upotrebu [5]. Evropska federacija biotehnologa definisala je biotehnologiju 1962. godine kao „integralnu primenu biohemije, mikrobiologije i inženjerskih znanja u cilju korišćenja mikroorganizama, kultura biljnih i životinjskih ćelija i tkiva ili njihovih delova u industrijskoj proizvodnji” [6], što ukazuje na njenu izrazitu multidisciplinarnost i kao nauke i kao struke (te ona tako uključuje, između ostalog, biohemiju, mikrobiologiju i embriologiju) ali i na veoma široko polje njene primene [7].

Pojam biotehnologije našao je svoje mesto i u pravnim izvorima, kako međunarodnog tako i nacionalnog polja primene, što je i razumljivo ako se imaju u vidu ne samo širina već i dalekosežne posledice iste po životnu sredinu, održivi razvoj, ali i život i zdravlje ljudi i opstanak biodiverziteta. Prema članu 2. Konvencije o biološkoj raznovrsnosti [8], pojam biotehnologije definisan je tako da obuhvati sve tehnološke primene koje koriste biološke sisteme, žive organizme ili njihove derivate, kako bi se napravili ili izmenili proizvodi ili procesi za specifične namene. Zakon o genetički modifikovanim organizmima [9] (član 4., stav 1., tačka 5.) određuje metode savremene biotehnologije kao in vitro tehnike nukleinskih kiselina, uključujući i rekombinantnu dezoksiribonukleinsku kiselinu (DNK) i direktno unošenje nukleinskih kiselina u ćelije ili organele i fuziju ćelija iznad taksonomskog nivoa familije, koje prevazilaze prirodne reproduktivne ili rekombinacione barijere i koje ne spadaju u tehnike koje se koriste u tradicionalnom oplemenjivanju i selekciji, odnosno u klasične metode.

Upotrebom biotehnologije umesto hemijskih materija i procesa čvrste, tečne i gasovite otpadne supstance mogu se modifikovati bilo recikliranjem (kada se od njih prave novi proizvodi), bilo prečiš-

Adrese autora: Institut za kriminološka i sociološka istraživanja, Gračanička 18, 11000 Beograd, e-mail: a.batricevic@yahoo.com, vera.batanjski@gmail.com.

Rad primljen: 16.11.2019.

Rad prihvaćen: 18.12.2019.

ćavanjem (kada se krajnji proizvod čini manje štetnim po životnu sredinu), što za krajnji ishod ima smanjenje zagađenja [10], čime biotehnologija značajno doprinosi održivom razvoju [11], na čemu insistira Agenda 21 [12]. Naime, Agenda 21 ističe da biotehnologija u oblasti zaštite životne sredine treba da se primenjuje sa ciljem da se spreči i sankcioniše degradacija životne sredine kroz upotrebu biotehnoških procesa na ispravan način u kombinaciji sa drugim tehnologijama, vodeći pri tome računa o bezbednosnim procedurama. Prema Agendi 21, ciljevi primene biotehnologije u sferi zaštite životne sredine podrazumevaju: 1) usvajanje procesa proizvodnje koji su zasnovani na optimalnoj upotrebi prirodnih resursa (reciklažu biomase, štednju energije i smanjenje količine proizvedenog otpada), 2) promovisanje korišćenja tehnika biotehnologije sa naglaskom na bioremedijaciji zemljišta i voda, tretmanu otpada, konzervaciji i rehabilitaciji zemljišta i pošumljavanju, 3) primenu biotehnoških procesa i njihovih proizvoda kako bi se dugoročno zaštitili integritet i bezbednost životne sredine.

U skladu s prethodno navedenim, pojedini biotehnoški procesi primenjuju se upravo u zaštiti životne sredine od zagađenja, odnosno u otklanjanju zagađujućih materija na različite načine [10]. Svoju primenu u službi zaštite životne sredine biotehnologija najčešće pronalazi u sledećim oblastima: tretmanu otpada, biodegradaciji, kontroli zagađenja upotrebom mikroorganizama, proizvodnji energije iz biomase, biosenzorima i biomonitoringu, bioremedijaciji, očuvanju biodiverziteta, i, što je posebno važno upravo za temu ovog rada, u remedijaciji degradiranog zemljišta [13].

1. ZAGAĐENJE ZEMLJIŠTA U SRBIJI - AKTUELNO STANJE I PERSPEKTIVE

Izveštaj Agencije za zaštitu životne sredine o stanju zemljišta u Republici Srbiji koji je objavljen 2018. godine ukazuje na to da na kvalitet zemljišta posebno utiče nekontrolisano i neadekvatno odlaganje otpada [14], kao i zagađenje u okviru industrijskih kompleksa [15]. Prema navodima pomenutog izveštaja, u Srbiji je identifikovano i evidentirano ukupno 709 potencijalno kontaminiranih lokacija, od kojih se najveći broj svrstava u kategoriju potencijalno kontaminiranih, te zahteva dodatna istraživanja [15]. Naime, od pomenutog broja, 557 lokacija je registrovano, a 152 su procenjene, za 478 je utvrđeno da ih treba istražiti/i dalje istraživati, dok je na 103 lokacije istraživanje u toku [16]. Ukupno 41 lokacija nalazi se u procesu sanacije, a sanacija i remedijacija (i rekultivacija) obavljene na 52 lokacije, gde se primenjuju naknadne mere [16]. Situaciju oslikavaju i podaci iz poslednjeg izveštaja

Agencije za zaštitu životne sredine u Srbiji, u kojem je navedeno da je u 2018. godini praćenje stepena ugroženosti zemljišta od hemijskog zagađenja vršeno u 18 jedinica lokalne samouprave, te da je prekoračenje graničnih vrednosti zabeleženo je za Zn, Cu, Ni, Co, Cd, PCB i DDE/DDD/DDT [17]. Dakle, evidentno je da zagađenje zemljišta u našoj zemlji postoji i to na većem broju lokacija, te da postoji konstantna potreba za otklanjanjem negativnih posledica zagađenja što je regulisano i odgovarajućim zakonskim i podzakonskim aktima koji, iako ne spominju eksplicitno primenu biotehnologija u ovom procesu, ostavljaju prostor za implementiranje njenih tehnika i postupaka.

Zakon o zaštiti zemljišta [18] definiše zagađenje zemljišta [19] kao proces odlaganja i unošenja opasnih i štetnih materija na površinu zemljišta i u zemljište uzrokovano ljudskom aktivnošću ili prirodnim procesima (član 4. tačka 8), dok degradaciju zemljišta određuje kao proces narušavanja kvaliteta i funkcija zemljišta koji nastaje prirodnim putem ili ljudskom aktivnošću ili je posledica nepreduzivanja mera za sprečavanje štetnih posledica (član 4. tačka 3). Zakon kao zagađeno tretira svako zemljište u kome su ustanovljene koncentracije opasnih i štetnih materija koje su iznad graničnih vrednosti (član 4. tačka 9).

Kada je reč o merama koje se primenjuju u cilju otklanjanja dejstva negativnih antropogenih faktora na zemljište kao eko-medijum, Zakon o zaštiti zemljišta razlikuje: rekultivaciju, remedijaciju, posredstvom kojih se realizuje sanacija zemljišta. Rekultivacija podrazumeva skup mera i aktivnosti za ponovno formiranje zemljišnog sloja i uspostavljanje biljnih zajednica na zagađenim i degradiranim površinama (član 4. tačka 23). Remedijacija obuhvata skup mera i postupaka za potrebe sanacije zemljišta sa ciljem poboljšanja kvaliteta zemljišta do nivoa koji je bezbedan za korišćenje i u skladu s namenom (član 4. tačka 24). Sanacija uključuje set mera i aktivnosti za zaustavljanje zagađenja i dalje degradacije zemljišta i životne sredine do nivoa bezbednog za korišćenje, u skladu sa namenom (član 4. tačka 27).

Prema članu 22. stav 1. Zakona o zaštiti zemljišta, remedijacija i/ili rekultivacija zemljišta predstavljaju posebne mere i aktivnosti koje se sprovode u cilju njegove sanacije, odnosno poboljšanja stanja zagađenog i degradiranog zemljišta do nivoa bezbednog za korišćenje u skladu s namenom. Remedijacija se sprovodi u slučajevima kada zagađenje zemljišta na određenoj lokaciji prevazilazi koncentracije zagađujućih, opasnih i štetnih materija propisanih remedijacionih vrednosti (član 22. stav 2), dok se rekultivacija realizuje na zagađenim i degradiranim površinama radi ponovnog formiranja

zemljišnog sloja i uspostavljanja biljnih zajednica na površinama na kojima je vršena eksploatacija mineralnih sirovina, neuspelo pošumljavanje, kao i u slučaju elementarnih nepogoda, požara i drugih antropogenih uticaja (član 22. stav 3).

2. PRIMENA BIOTEHNOLOGIJA U ZAŠTITI ZEMLJIŠTA OD ZAGAĐENJA

Razvoj biotehnologije otvorio je ogroman broj mogućnosti za oporavak degradiranih zemljišta posredstvom manipulacije biološkim sistemima, uključujući: pošumljavanje putem mikropropagacije, razvoj biljaka otpornih na štetne uticaje, upotrebu mikoriza, korišćenje mikroba za povećanje plodnosti zemljišta, ali i mnoge druge mere [13].

Brojni su in situ bioremedijacioni procesi: biostimulacija, bioaugmentacija, fitoremedijacija, koji se često koriste u vraćanju kvaliteta zemljišta. Pored ovih, koriste se i brojne druge remedijacione tehnologije: ekstrakcija gasova iz zemljišta, obrađivanje, bioventilacija, termalna desorpcija, i druge, koje se primenjuju on site na kontaminiranom zemljištu [20].

Ipak, ni jedna biotehnoška mera nije pogodna za sve vidove zagađenja zemljišta, i često se primenjuje više od jedne mere za efikasno uklanjanje polutanata iz zemljišta, što zavisi i od uslova na terenu [20].

Osnovna prednost bioremedijacije, kao biotehnoškog procesa je što je to potpuno prirodan proces, kojiim se u prirodnim uslovima, iz zemljišta mogu ukloniti ugljovodonici iz nafte i njenih derivata, pesticidi, razne organske zagađujuće supstance. Bioremedijacija je ekološki bezbedna tehnologija, bez stvaranja i skladištenja otpada. Još jedna značajna prednost je što je ekonomski isplativa [20], [21], [22], [23], [24].

Biotehnoški procesi imaju i ograničenja u svojoj primeni. Ne mogu se primeniti na zemljištima koja su zagađena onim toksičnim supstancama koje nisu biorazgradive. Takođe, postoje neki mikroorganizmi koji ne mogu da razgrade toksične metale u bezopasne metabolite, jer oni imaju inhibitorne efekte na aktivnost mikroba [22]. Drugo ograničenje je visoka koncentracija ovih supstanci, koja je toksična za mikroorganizme. Još jedno ograničenje dolazi iz činjenice da je za ceo proces potrebno dosta vremena [21].

Jedna od uspešnih primena bioremedijacije je čišćenje zemljišta zagađenog naftom i naftnim derivatima. U svim fazama eksploatacije nafte, u vađenju, rafiniranju, transportu, može doći do kontaminacije zemljišta i ekoloških katastrofa. Toksično dejstvo na živi svet imaju naftni ugljovodonici, naročito hlorovani, aromatični i policiklični. Bioremedijacijom zemljišta mikroorganizmi razlažu

i detoksikuju štetne supstance. Ugljovodonici iz nafte služe kao izvor nutrijenata i energije za rast i razvoj mikroorganizama, koji ih razgrađuju preko raznih metabolita (intermedijara koji se koriste kao primarni supstrati za ćelijski rast) do ugljovodonika i vode na kraju [21], [22].

Fitoremedijacija je posebna biotehnologija koja je bazirana na kombinovanoj aktivnosti biljaka i mikrobioloških zajednica u cilju razlaganja, uklanjanja, transformacije ili imobilizacije toksičnih jedinjenja koji se nalaze u zemljištu, sedimentima ili zagađenoj vodi [20].

Prednosti fitoremedijacije u odnosu na konvencionalne tehnike su: niži troškovi, bez negativnih uticaja na životnu sredinu, javna prihvatljivost i potencijal da se uklone različiti polutanti. Upotreba biljaka zajedno sa bakterijama (rizosfera ili endofit) nudi veliki potencijal bioremedijacije organskih komponenti, a negde i neorganskih zagađivača [20].

Blizu 450 različitih vrsta biljaka, jednogodišnjih, višegodišnjih, različitih životnih formi (na primer: duvan, suncokret, slačica, kukuruz, talijin uročnjak, paprat, ruski čičak, vrba, topola) je opisano da akumuliraju i detoksifikuju ekstremno visoke koncentracije jona metala, kao što su Ni, Co, Pb, Zn, Mn, Cd, i drugi, u svojim tkivima iznad tla [20].

Brojni su primeri uspešne fitoremedijacije [22]. Jedna od takvih je rađena na zemljištu tipa ilovasti pesak, koje je kontaminirano sa 23200 mg ukupnih naftnih ugljovodonika (PHCs) po kg suve zemlje i 2194 mg policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAHs) po kg suve zemlje sa nekadašnjeg postrojenja za proizvodnju gasa u Berlinu - Prenzlauer Berg-u. U eksperimentima se istraživao potencijal 13 vrsta biljaka (trave, kupusnjače, mahunarke i druge) na uspešan rast u dugotrajno kontaminiranom zemljištu, kako bi se pratio razvoj bakterija (ARDB) u korenskom sistemu i podstakla biorazgradnja PHCs i PAHs. U navedenim koncentracijama, naftni ugljovodonici smanjuju klijanje semena, opstanak biljaka i prinos. Razvoj bakterija ARDB je bio najveći u rizosferi bele slačice *Sinapis alba* L. Efikasnost uklanjanja naftnih ugljovodonika je takođe bila najveća u rizosferi slačice, zbog brzog rasta bakterija, pa je za 68 dana uklonjeno 70 % naftnih ugljovodonika (687 mg/kg) [20].

Dobro poznata toksična jedinjenja polihlorovani bifenili (PCB), se nalaze na šestom mestu na listi opasnih materija, a na drugom mestu su po organskom zagađivanju globalno. Svetska proizvodnja je od 1988. godine procenjena na 1,2 miliona tona. Smatra se da se od toga 31 % već nalazi u životnoj sredini, da je 4 % uništeno, a 65 % je još uvek u upotrebi ili skladišteno. Ova jedinjenja su opasna i zbog svog brzog kretanja u ekosisteme, postoja-

nosti, sposobnosti akumuliranja u lance ishrane i visoke toksičnosti za različite organizme. U cilju uklanjanja PCB jedinjenja iz zemljišta, rađeni su brojni eksperimenti upotrebom mikroorganizama koji su povezani sa korenima biljaka u zoni rizosfere, a koji mogu koristiti sekundarne biljne metabolite poput fenilpropanoide. Ovo jedinjenje može biti zastupljeno 84 % u sekundarnim metabolitima biljke roda *Arabidopsis sp.* Kolonizacijom soja bakterija *Pseudomonas sp.* u rizosferi biljke roda *Arabidopsis sp.* uklanja se čak 90 % PCB jedinjenja u periodu od 28 dana [20].

U Srbiji se rekultivacija i ozelenjavanje zemljišta na velikim površinama radi u basenu uglja Kostolac. Ovaj rudnik se prostire na površini od 400 km², a za potrebe površinske eksploatacije, deponovanja jalovine i pepela i izgradnju pogona zauzeto je još 3000 ha zemljišta. Brojni su negativni uticaji na zemljište prilikom procesuiranja uglja u ovom basenu. Zato se radi rekultivacija jalovišta pošumljavanjem kosina velikih odlagališta, a na ravnim deponijama se zemljite revitalizuje za potrebe uređenja parkova, poljoprivrede (zasad jabuke, plastenici za gajenje saksijskog i baštenskog cveća). Do sada je rekultivisano preko 800 ha na kostolačkim kopovima. Rekultivacija pepelišta je posebno obiman proces koji obuhvata i privremeno vezivanje pepela na rezervnim kasetama biopokrivачem od zeljastih biljaka i fitoremedijaciju su korišćenje odgovarajućih grupa mikroorganizama za fitoekstrakciju i fitostabilizaciju teških metala [25].

Pre nekoliko godina su istražene industrijske lokacije u Srbiji za koje se sumnja da su kontaminirane. Ukupno je uzorkovano zemljište sa 32 lokacije tokom 2017. godine, a analize su obuhvatile utvrđivanje prisustva teških metala, mineralnih ulja i PCB i PAH jedinjenja. Gradski zavod za javno zdravlje u Beogradu preporučio je najbolje dostupne tehnike i ekološke prakse za sanaciju i remedijaciju istraživanih industrijskih lokacija. Fitoremedijacija se preporučuje za zemljišta 4 lokacije: Fabrike obojenih metala FOM (Prokuplje), Kožarsko-tekstilnog kombinata Koža (Zaječar), Hemijske industriju Elixir (Prahovo) i Fabrike omotnog papira i ambalaže SOPA (Vladičin Han) [16]. Fitoremedijacija bi trebalo da se uradi u narednom periodu na ovim predloženim industrijskim lokacijama. Ocenjena kvaliteta i procena stepena ugroženosti nepoljovrednog zemljišta (divljih deponija) na 56 lokacija urađena je na teritoriji AP Vojvodina. Predloženi su, između ostalih i biološki procesi remedijacije zemljišta [26]. Naglašeno je da su potrebna dalja istraživanja kako bi se projekti remedijacije i rekultivacije odvijali u skladu sa propisima Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu [27] i Pravilnikom o meto-

dologiji za izradu projekata sanacije i remedijacije [28].

Svakako je potrebno razmotriti primenu biotehno-oloških procesa i njima uvek dati prednost u cilju remedijacije zemljišta.

ZAKLJUČAK - KLJUČNI IZAZOVI I PREPORUKE

Nesporno je da se procesi i metodi biotehnologije sve šire primenjuju radi ostvarivanja ciljeva održivog razvoja i otklanjanja negativnih posledica dejstava antropogenih faktora na životnu sredinu, odnosno njene integralne komponente (vazduh, vodu, zemljište i biljni i životinjski svet) [29]. O važnosti uloge biotehno-oloških procesa u zaštiti životne sredine i njihovom domašaju na polju njene zaštite od zagađenja svedoči i činjenica da su njihov pojam i primena našli svoje mesto u pravnim izvorima kao međunarodnog tako i nacionalnog polja primene.

Imajući u vidu podatke o zagađenosti zemljišta u Srbiji sa jedne strane, kao i ogromne mogućnosti koje biotehnologija, kao potpuno ekološki prihvatljiva tehnologija, nudi kada su u pitanju načini za njegovo smanjenje ili potpuno otklanjanje, jasno je da biotehno-ološke procese treba što šire primenjivati u tom kontekstu. U prilog tome govore i primeri dosadašnje uspešne primene biotehno-oloških procesa u našoj zemlji koji su navedeni u ovom radu, uz, podrazumeva se, uvažavanje određenih ograničenja koja su inherentna ovim procesima i metodama. Tome bi svakako doprinelo podizanje svesti i edukacija [30] relevantnih subjekata o značaju zaštite životne sredine i ciljevima održivog razvoja, ali i intenzivnije promovisanje konkretnih prednosti primene biotehno-oloških procesa nasuprot klasičnim. U tom smislu, samo trajanje procesa, koje se nekad meri decenijama, ne bi trebalo uzimati kao osnovno ograničenje u primeni, jer se ovim postupcima kao krajnji rezultat dobijaju potpuno prirodni metaboliti koji ne štete životnoj sredini.

Zato bi sva buduća istraživanja trebalo usmeriti na intenziviranje prirodnih procesa i nativnih, autohtonih resursa, odnosno intermedijera u biotehno-ološkim procesima, a jasnije definisati „bezbednosne procedure“ i njihovu upotrebu na „ispravan način“ (Agenda 21). Ovo obuhvata i preispitivanje potrebe unapređivanja strategija upotrebom genetički modifikovanih organizama, što se često naglašava u naučnim radovima i zakonima.

Zahvalnica

Rad je nastao kao rezultat na projektu "Kriminal u Srbiji: fenomenologija, rizici i mogućnost socijalne intervencije" (broj 47011) koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Gabriel M., Pessl E. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences, *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, 14(2), 131-136 pp. 2016.
- [2] Burritt R., Christ K. Industry 4.0 and environmental accounting: a new revolution?, *Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility*, 1, 23-38 pp. 2016.
- [3] Prisecaru P. Challenges of the Fourth industrial revolution, *Knowledge Horizons – Economics*, 8(1), 57-62 pp. 2016.
- [4] Šefer D., Marković, R., Nedeljković-Trailović, J., Petrukić B., Radulović S., Grdović, S. Primena biotehnologije u ishrani životinja, *Veterinarski glasnik*, 69(1-2), 127-137 pp. 2015.
- [5] Gastrow M., Roberts B., Reddy V., Ismail S. Public perceptions of biotechnology in South Africa. *South African Journal of Science*, 114 (1/2), 1-9 pp. 2018.
- [6] Myshak H. Definition of the Term "Biotechnology", *Cogito – Multidisciplinary Research Journal*, 10(4), 142-149 pp. 2018.
- [7] Cadillo Chandler, D.M. Biotechnology and its Development in Developing Countries: Can Intellectual Property Rights Foster Innovation in the Field? In: Singh H.B., Jha A., Keswani C. (Eds.) „Intellectual Property Issues in Biotechnology“, Wallington, Oxfordshire, Boston, MA: CABI., 2016. 5. str.
- [8] Konvencija o biološkoj raznovrsnosti, Zakon o potvrđivanju Konvencije o biološkoj raznovrsnosti, Službeni list SRJ - Međunarodni ugovori, br. 11/2001.
- [9] Zakon o genetički modificovanim organizmima, Službeni glasnik RS, br. 41/2009.
- [10] Environmental Biotechnology: Meaning, Applications and Other Details, <http://www.biologydiscussion.com/biotechnology/environmental-biotechnology/environmental-biotechnology-meaning-applications-and-other-details/8528>, 24.04.2020.
- [11] Joldžić V., Batrićević A., Stanković V. Pravno-humanistički pristup razmatranju ciljeva održivog razvoja u III milenijumu, *Ecologica*, 24(86), 287-291 pp. 2017.
- [12] Agenda 21: Program of Action for Sustainable Development; Rio Declaration On Environment and Development ; Statement of Forest Principles: The Final Text of Agreements Negotiated by Governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 3-14 June 1992, Rio De Janeiro, Brazil. New York, NY: United Nations Dept. of Public Information, 1993., https://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_16.shtml, 25.04.2020.
- [13] Eight Main Areas of Environmental Biotechnology, <http://www.biologydiscussion.com/biotechnology/environmental-biotechnology/8-main-areas-of-environmental-biotechnology/61441>, 25.04.2020.
- [14] Joldžić V., Batrićević A., Stanković V. Međunarodnopravni okviri transporta, čuvanja, prerade i odlaganja otpada, *Ecologica*, 23(84), 854-858 pp. 2016.
- [15] Vidojević D., Damjanović D., Jevtić N., Aleksić N. Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji – indikatorski prikaz, Beograd: Ministarstvo zaštite životne sredine - Agencija za zaštitu životne sredine. 2018.
- [16] Kukobat, L., Vidojević, D., Šiljić, A. (Ur.). Ka dekontaminaciji zemljišta u Republici Srbiji - Projekat „Unapređenje međusektorskog upravljanja zemljištem kroz smanjenje pritiska na zemljište i planiranje korišćenja zemljišta“. Beograd: Ministarstvo zaštite životne sredine – Agencija za zaštitu životne sredine, 2018. 26. str.
- [17] Lekić, D., Perunović Čulić, T. (Ur.) Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2018. godinu. Beograd: Ministarstvo zaštite životne sredine - Agencija za zaštitu životne sredine. 2019. str. 173-174.
- [18] Zakon o zaštiti zemljišta, Službeni glasnik RS, br. 112/2015.
- [19] Batrićević, A. Nacionalni pravni okviri za zaštitu zemljišta u urbanim zonama u Srbiji. Zbornik Instituta za kriminološka i sociološka istraživanja, 35(2), 75-91 pp. 2016.
- [20] Truu, J., Truu, M., Espenberg, M., Nõlvak, H., & Juhanson, J. Phytoremediation and plant-assisted bioremediation in soil and treatment wetlands: a review. *The Open Biotechnology Journal*, 9(1). 85-92 pp. 2015.
- [21] Jovanović T. Bioremedijacija zemljišta zagađenog naftom i naftnim derivatima. *EkoBlog*, (31.3.2019) <http://ekoblog.info/rs/bioremedijacija-zemljišta-zagadenog-naftom-i-naftnim-derivatima/> 27.4.2020.
- [22] Dixit R., Malaviya D., Pandiyan K., Singh U.B., Sahu A., Shukla R., Singh, B.P., Rai J.P., Sharma P.K., Lade H. and Paul D. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes, *Sustainability*, 7(2), 2189-2212 pp. 2015.
- [23] Razanamahandry L.C., Karoui H., Andrianisa H.A., Yacouba H. Bioremediation of soil and water polluted by cyanide: A review. *African J. Environ. Sci. Technol*, 11(6), 272-291 pp. 2017.

- [24] de la Cueva S.C., Rodríguez C.H., Cruz N.O.S., Contreras J.A.R., Miranda J.L. Changes in bacterial populations during bioremediation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(91), 1-12 pp. 2016.
- [25] Rekultivacija degradiranog zemljišta. RIO Kostolac (2020) <http://riokostolac.rs/sadrzaj/stranica/rekultivacija>, 30.4.2020.
- [26] Štrbac S., Prokić D., Stojić N. Studija o oceni kvaliteta i proceni stepena ugroženosti zemljišta, Monitoring nepoljoprivrednog zemljišta u AP Vojvodini JN OP 12/2018. Fakultet zaštite životne sredine, Edukons Univerzitet. <http://www.ekourbapv.vojvodina.gov.rs/>, 2018.
- [27] Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu, Službeni glasnik RS, br. 30/2018.
- [28] Pravilnik o metodologiji za izradu projekata sanacije i remedijacije, Službeni glasnik RS, br. 74/ 2015.
- [29] Joldžić, V., Batrićević, A., Stanković, V., Paunović, N. Značaj i putevi adekvatnog ekološko pravnog pristupa vazduhu u cilju ostvarivanja održivog razvoja u III milenijumu, *Ecologica*, 24(87), 766-770 pp. 2017.
- [30] Joldžić V., Batrićević A., Stanković V., Šipetić G. Ekološka edukacija u cilju održivog razvoja: primer NVO Geko, Čačak, *Ecologica*, 24(88), 1038-1042 pp. 2017.

IZVOD

DOPRINOS BIOTEHNOLOGIJA ZAŠTITI ZEMLJIŠTA OD ZAGAĐENJA

Kao jedan od eko-medijuma, zemljište je naročito izloženo prekomernom zagađenju usled dejstva negativnih antropogenih faktora (pre svega tehnogenih uticaja), što dovodi do njegove degradacije, koja se negativno odražava kako na stanje životne sredine tako i na zdravlje ljudi. Istovremeno, razvoj biotehnologija, kao jednog od dostignuća četvrte industrijske revolucije, omogućava da se putem takozvanih bioremediacionih procesa zemljište u određenim slučajevima prečisti od zagađujućih materija i vrati u prvobitno stanje. Imajući u vidu rastuću primenu biotehnologija u zaštiti životne sredine uopšte, a posebno zemljišta, autori u ovom radu razmatraju pojam, primenu i domašaj bioremediacionih procesa u zaštiti zemljišta od zagađenja sa različitih aspekata - počevši od pravnog definisanja ovih procesa i njihovog domašaja, preko primera njihove praktične primene u navedenom kontekstu, uz preporuke za buduće postupanje kako bi se stanje u ovoj oblasti u našoj zemlji unapredilo.

Ključne reči: biotehnologije, bioremediacioni procesi, životna sredina, zagađenje, zemljište.

ABSTRACT

THE CONTRIBUTION OF BIOTECHNOLOGIES TO THE PROTECTION OF SOIL FROM POLLUTION

As one of eco-mediums, soil is particularly exposed to excessive pollution due to the effects of negative anthropogenic factors (primarily technological influences), which leads to its degradation that has negative impacts on the condition of the environment as well as on human health. At the same time, the development of biotechnologies, as one of the achievements of the fourth industrial revolution, in some cases facilitates the cleansing of soil from pollutants and its return to normal state through the so-called bioremediation processes. Having in mind the rising application of biotechnologies in environmental protection in general, particularly when it comes to soil, the authors of this paper discuss the term, application and scope of bioremediation processes in the protection of soil from pollution, from various perspectives - starting from the legal definition of these processes and their reach, followed by the examples of their practical application in the aforementioned context and accompanied by recommendations for future actions in order to improve the state in this field in our country.

Keywords: biotechnologies, bioremediation processes, environment, pollution, soil.