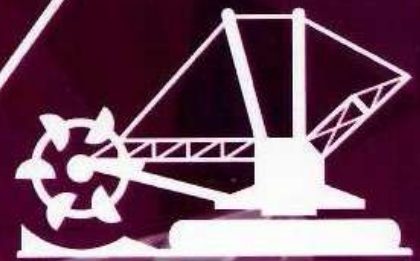




PRIVREDNA KOMORA SRBIJE
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

RUDARSTVO 2020

ODRŽIVI RAZVOJ U RUDARSTVU I ENERGETICI



„ RUDARSTVO 2020“

11. simpozijum sa međunarodnim učešćem

“MINING 2020“

11st Symposium with international participation

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS

Hotel „ Fontana “, Vrnjačka Banja
8. - 11. septembar 2020.

ZBORNIK RADOVA / *PROCEEDINGS*
RUDARSTVO 2020 / *PROCEEDINGS*

Organizatori:

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina
Privredna komora Srbije

Izdavač / Publisher

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina

Urednik / Editor

Miroslav Ignjatović

Štampa / Printed by

Akadska izdanja doo, Beograd

Tiraž / Copies

180

Beograd, 2020

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA PROCES BIOLOŠKE REKULTIVACIJE RUDNIČKIH JALoviŠTA

Dragana Randelović

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Uvod

Klimatske promene predstavljaju promenu statističke distribucije vremenskih obrazaca u dužem vremenskom periodu koja se direktno ili indirektno pripisuje ljudskoj aktivnosti, a koja menja sastav globalne atmosfere i koja je pridodata prirodnoj promenljivosti klime koja se javlja tokom uporedivih vremenskih perioda (United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992). Uočena je izvesna veza između klimatskih promena i antropogenih aktivnosti (IPCC, 2007) i u savremenom društvu prevladuje stav da je neophodan određen stepen prilagođavanja na predstojeće promene klime. Promena klime kreće se u pravcu povećanja prosečnih godišnjih temperatura, s tim što će konkretne promene varirati od mesta do mesta u zavisnosti od lokalnih uslova i bioklimatskog regiona.

Rudarski sektor, pored toga što doprinosi globalnim emisijama gasova sa efektom staklene bašte, takođe je podložan uticaju klimatskih promena. Budući da je značajan korisnik vodnih i energetske resursa, na koje će uticati promenljivost klimatskih uslova, izvesne mere prilagođavanja u rudarstvu su neophodne (Nelson i saradnici, 2009). Operacije u rudarstvu biće sve više izložene ekstremnim klimatskim događajima, poput kiša, poplava i suše. Klimatski uslovi uticaće na stabilnost i efikasnost infrastrukture i opreme, prakse zaštite životne sredine i zatvaranja lokacije i kao i održavanja transportnih pravaca (Pearce i saradnici, 2010). Na uslove rada rudnika mogu uticati i promene u raspo jačini padavina, imajući u vidu povećan rizikom od poplava, klizišta, erozije tla, kao i promene nivoa podzemnih voda.

U uslovima rudarske eksploatacije u Srbiji, naročito kada je u pitanju površinska eksploatacija, mogući su povećani rizici po proizvodnju, naročito u pogledu uticaja ekstremnih događaja poput obilnih padavina i poplava. Povećana količina padavina može uticati na plavljenje kopova, proboj brana jalovišta, kao i smanjenje stabilnosti kosina rudnika. Događaj iz 2014., kada je nakon obilnih padavina došlo do velikih poplava i aktivacije brojnih klizišta na teritoriji Srbije uzrokovao je plavljenje površinskih kopova u rudarskom basenu Kolubara, kao i proboj brane flotacijskog jalovišta „Stolice“ kod Krupnja, gde se jalovina izlila u obilne vodotokove i naselja (Serbia Floods, 2014).



Slika 1: osnovne faze životnog ciklusa rudnika

Klimatske promene utiće na različite delove životnog ciklusa rudnika (slika 1), i to naročito u slučajevima kada je predviđen duži rok eksploatacije mineralnih sirovina. Mere prilagođavanja na planirane klimatske promene neophodne su u različitim fazama kako bi se osigurala ekonomska održivost eksploatacije i obezbedili uslovi za odvijanje rada rudnika (Pierce i saradnici, 2010). Određene promene i dodatni rizici biće prisutni i u delu životnog ciklusa rudnika vezanom za zatvaranje, i one će zavisiti od lokacije kao i od opsega klimatskih promena predviđenih za dato područje. Ovo se naročito odnosi na procese vezane za rekultivaciju područja po završetku procesa eksploatacije.

Pojam i vrste rekultivacije

U svetu je pojam rekultivacije raščlanjen u zavisnosti od cilja i načina na koji se vrši, pa tako u upotrebi imamo termine poput: restoracija (povratak u prvobitno stanje pre narušavanja i degradacije ili stanje blisko originalu), reklamacija (vraćanje prvobitnih vrsta ili vrsta namenjenih nekom obliku remedijacije), rehabilitacija (povratak u prirodno stanje ili u stanje koje omogućava dalje korišćenje prostora za ljudsku upotrebu) (Bradshaw, 2002; Lima et al., 2016). Prema Zakonu o zaštiti zemljišta, u Srbiji je rekultivacija definisana kao skup mera i aktivnosti za ponovno formiranje zemljišnog sloja i uspostavljanje biljnih zajednica na zagađenim i degradiranim površinama (Sl. glasnik, 112/2015). Sam proces rekultivacije sadrži tehnički i biološki deo, a planiranje rekultivacije izvodi se najčešće u ranoj fazi planiranja rudnika. Kada je u pitanju eksploatacija mineralnih sirovina u Srbiji, nosilac eksploatacije je, prema Zakonu o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. glasnik

101/2015), dužan da u toku i po završetku izvođenja radova na eksploataciji ili najkasnije u godinu dana od završetka radova na površinama na kojima su rudarski radovi završeni, izvrši rekultivaciju zemljišta prema projektu tehničke i biološke rekultivacije. Tehnička rekultivacija stoga prethodi biološkoj i obuhvata pripremu i stabilizaciju kosina i ravni jalovišta, odnosno dovođenje terena u bezbedno stanje kako bi se na njemu sprovele dalje mere zasnivanja vegetacionog pokrivača. U izvesnim slučajevima moguća je upotreba namenskih prekrivača kojima se u izoluje površina jalovine, čime se sprečava ili ograničava prodiranje vlage i kiseonika i vrši smanjenje disperzije toksičnih elemenata u životnu sredinu. Rizici povezani sa klimatskim promenama, u prvom redu povećanom učestalošću ekstremnih klimatskih događaja, ovde uključuju: probijanje brana jalovišta, izlivanje otpadnih voda u okolna područja, povećanje nestabilnosti kosina i drugih zaštitnih struktura, povećan stepen erozije i povećanje troškova remedijacije i sanacije (Nelson i Schuchard, 2011). Napuštena rudnička područja takođe mogu zahtevati dodatne zaštitne mere kako bi se osigurala stabilnost jalovišta. Istraživanja Sarasos Inc (2011) sugerišu da je moguće povećanje erodibilnosti podloge usled pojave ekstremnih padavina i viška vode, u slučaju da kapacitet infiltracije podloge bude prevaziđen. Polupropusni prekrivači, poput sloja plodnog zemljišta, takođe mogu pretrpeti izvesne modifikacije u smislu povećanja odgovarajuće debljine sloja kako bi nastavili da vrše svoju funkciju upijanja dovoljne količine vlage i evapotranspiracije (Rykaart i Caldwell, 2006), što podrazumeva pronalaženje većih pozajmišta ovog ograničenog resursa. Sve ovo može dovesti do rasta troškova održavanja i reparacije terena, ili primene novih, skupljih tehnologija.

Biološka rekultivacija predstavlja sprovođenje različitih biotehničkih zahvata u cilju oživljavanja degradiranih područja i osnivanje vegetacionog pokrivača koji će podržavati planirani način korišćenja područja u post-eksploatacionom periodu. Do sada je izdvojeno nekoliko osnovnih pristupa biološkoj rekultivaciji (Johnson i saradnici, 1994; Cooke i Johnson, 2002):

1. meliorativni (zasniva se na obezbeđivanju optimalnih uslova za rast i razvoj biljaka poboljšanjem fizičkih i hemijskih osobina jalovine dodavanjem odgovarajućih materijala, pri čemu se koriste odgovarajuće vrste biljaka koje su dostupne na tržištu

2. adaptivni (koriste se tolerantne vrste, kultivari i ekotipovi biljaka sposobnih da podnesu ekstremne uslove određenog staništa, pri čemu supstrat može, ali i ne mora, biti meliorisan)

3. poljoprivredni/šumarski (koriste se odgovarajuće poljoprivredne ili šumske vrste a nakon određenog vremena predviđena je njihova eksploatacija. Primenjuje se na jalovinama niske toksičnosti)

4. ekološki pristup (ističe važnost uspostavljanja bioloških procesa poput fiksacije azota, razlaganja organske materije, ciklusa kruženja i zadržavanja hranljivih materija i drugih)

Uticaj klimatskih promena na planiranje i izvođenje biološke rekultivacije

Uticaj klimatskih promena na planiranje i izvođenje biološke rekultivacije je višestruk i takođe će zavisiti kako od vrste promena koje se očekuju u konkretnom području, tako i od

prethodno preduzetih mera u procesu eksploatacije i tehničke rekultivacije. Imajući u vidu neizvesnost u pogledu budućih klimatskih promena i pratećih reakcija bioloških sistema pri planiranju rekultivacije potrebno je koristiti fleksibilne pristupe sa mogućnošću reverzibilnog odlučivanja (Millar i saradnici, 2007). Postojeća znanja u rekultivacionim programima još uvek su oskudna, a bazirana su na relativno kratkoj istoriji primene ovakvih programa u praksi. Koncept adaptivnog upravljanja u programima rekultivacije jedna je od fleksibilnih tehnika koja se može primenjivati u uslovima visoke neizvesnosti stanja sistema (Randelović, 2010). Integrativna priroda ovog pristupa povezuje naučna istraživanja sa upravljačkim odlukama i politikama, omogućavajući bolji uvid u funkcionisanje ekosistema u promenljivim uslovima sredine. Neki od dosadašnjih predloga tiču se određivanja tzv. stepena osetljivosti područja na izmenjene klimatske uslove u regionu kao pomoćnog sredstva u detektovanju mogućih izazova prilikom rekultivacije, ali i kasnijem upravljanju rekultiviranim područjem (Audet i saradnici, 2013). Većina dosadašnjih planova rekultivacije izrađena je na osnovu pretpostavke relativne stabilnosti odnosa između hidroloških, edafskih i klimatskih varijabli u kojima bi se projektovani sistem razvijao; uprkos istraživanjima koja govore u prilog uticaju klimatskih promena na promene distribucije vrsta (Dyderski i saradnici, 2013), planovi rekultivacije i dalje se zasnivaju na projektovanom povratku degradiranih područja u stanje pre nego što je nastupila promena u načinu korišćenja. Međutim, u uslovima nastupajućih klimatskih promena, ova polazna osnova se više ne može primenjivati (Milly i saradnici, 2008). Jedno od osnovnih pitanja sa kojima se suočavaju stručnjaci iz oblasti obnove ekosistema je to što više neće postojati istinski referentni, polazni ekosistemi koji se mogu koristiti kao vodilja za aktivnosti rekultivacije i obnove (Starzomski, 2013). Umesto fokusiranja na obnovu prethodnih ekosistema, napore treba usmeriti ka procesima koji održavaju strukturu i funkcionisanje ekosistema, kao što su kruženje vode i hranjivih materija, regulacija mikroklimе, obezbeđivanje staništa, povezanost i mozaičnost predela. Prihvatanje funkcionalnosti ekosistema kao primarnog vodiča u rekultivaciji od velike je važnosti u uslovima buduće promene klime (Harris et al., 2006). Pored toga, ekosistemi kreirani u projektima biološke rekultivacije moraju biti otporni na promenu uslova tokom dužeg vremenskog perioda (Buckley i Niemi, 2011). Otpornost je u ovom kontekstu definisana kao sposobnost sistema da apsorbuje poremećaje i promene životne sredine uz zadržavanje ključnih funkcija i procesa u ekosistemu (Folke i saradnici, 2004).

Upravljanje ekosistemom stoga treba da prepozna vezu između ekosistemskih usluga i klimatskih promena tako da doprinese prilagođavanju i ublažavanju istih. Većina ekosistema je osetljiva na klimatske promene čak i prema scenarijima globalnog zagrevanja koji predviđaju manje promene ili promene srednjeg intenziteta (Settele i Scholes, 2014). Neke od uticaja vrše postepene promene temperature ili padavina, kao i poremećaji u vidu klimatskih ekstrema (npr. poplave, suša i požari), zajedno sa drugim vrstama pritiska (zagađenje, prekomerna eksploatacija resursa, moguće najezde patogena i drugo). Ove promene i poremećaji će uticati na strukturu i funkcije ekosistema, na ekološke interakcije među vrstama i promenu njihove distribucije, što će dalje usloviti promene u sastavu

biodiverziteta i usluga ekosistema (Locatelli et al., 2008). Otpornost ekosistema u kontekstu klimatskih promena zavisiće od više faktora, a jedan od njih je i biodiverzitet odnosno genetički diverzitet vrsta na nekom području (Buckley i Niemi, 2011). Jedna od važnih uloga projekata biološke rekultivacije u budućnosti je održavanje i povećanje biodiverziteta rekultivisanog područja, kako bi se osigurala funkcionalnost kreiranog ekosistema i njegova sposobnost da se prilagodi promenama klime. I pored sposobnosti disperzije, bioloških interakcija i evolucionih promena kod organizama, projektovane klimatske promene će uticati na eko-hidrološke režime i na to koje grupacije vrsta mogu opstati na nekom području i tu na odgovarajući način podržati ciljeve rekultivacije u narednom periodu (Rooney et al., 2015). Istraživanja pokazuju da će klimatske promene značajno uticati na promenu geografske distribucije biljnih vrsta u čitavom svetu (Scheffers et al., 2016), ali i na promene među dominantnim vrstama u ekosistemima (Dyderski i saradnici, 2018). Promene će uvećati i rizik od pojave invazivnih vrsta (Kleinbauer i saradnici, 2010). Sa druge strane, usled povećane koncentracije CO₂ u atmosferi, produkcija biomase i drvne mase u pojedinim oblastima sveta biće povećana (Sohngen i Tian, 2016). Ekosistemi mogu doprineti ublažavanju klimatskih promena zbog svoje sposobnosti deponovanja ugljenika iz atmosfere (Locatelli, 2016). Rekultivisane površine stoga takođe mogu vršiti i funkcije fiksacije ugljen-dioksida kao meru ublažavanja klimatskih promena. Potrebno je, međutim, voditi računa da ova njihova funkcija ne bude dominantna u slučajevima kada projekti rekultivacije mogu imati druge, značajnije uloge za lokalno područje, poput poboljšanja kvaliteta voda ili povećanja biodiverziteta područja (Buckley i Niemi, 2011). Imajući ovo u vidu, Međunarodni panel za klimatske promene upozorio je da intenzivna upotreba ekosistema u svrhu ublažavanja klimatskih promena putem podizanja plantaža brzorastućih vrsta za proizvodnju biomase može negativno uticati na ekosisteme i njihov biodiverzitet (Settele i Scholes, 2014). Iz svega navedenog, sledi da je neophodan novi pristup u rekultivaciji rudničkih jalovišta koji će sadržati sledeće elemente: a) identifikaciju i uključivanje klimatskih promena karakterističnih za oblast u kojoj će se sprovoditi rekultivacija u fazu planiranja, b) odabir odgovarajućih ekoloških procesa, struktura i vrsta koje mogu da ublaže ove promene i adekvatno se njima prilagode i c) odabir fleksibilnih upravljačkih pristupa koji ostavljaju mogućnost za implementaciju novih saznanja u procesu rekultivacije (Buckley i Niemi, 2011). Pored ovoga, neophodne su promene u fazi monitoringa rekultivisanih površina u smislu proširenja opsega monitoringa u odnosu na klimatske parametre i njihov eventualni uticaj, što će dodatno uvećati troškove koji se izdvajaju za ovu fazu (Audet i saradnici, 2013). Pojedini istraživači zalažu se za bliže uključivanje ekohidrološkog pristupa, naročito u onim regionima u kojima se predviđaju značajnije promene i uticaji klime na vodni režim (Price i saradnici, 2013). Istraživanja Rooney i saradnika (2015) predlažu konkretan model koji uključuje određivanje referentnih uslova i primenu bioklimatskog modelovanja (modelovanja distribucije vrsta i modelovanja ekoloških niša). Njihov pristup uključuje šest koraka: tri za postavljanje ciljeva rekultivacije sposobnih da odgovore na promenu klime i tri koja osiguravaju da na nivou predela ovi rekultivisani delovi budu sto približniji njihovim prirodnim analogima. U prva tri koraka pristup uključuje: klimatski model - identifikaciju potencijalne buduće klime u

regionu na osnovu nekog od scenarija; hidrološki model – procenu uticaja klime na hidrologiju područja kako bi se procenila količina vode dostupna rekultivisanom području; bioklimatsku klasifikaciju – kombinaciju klimatskih i hidroloških parametara iz prethodnih koraka radi identifikacije pogodnih ciljeva rekultivacije. Naredni koraci obuhvataju: identifikaciju predeonog modela slične geomorfologije i u istom regionu klimatskih promena, utvrđivanje odgovarajućih staništa na ovom području; model staništa-karakterizacija biotičkih i abiotičkih faktora staništa unutar referentnih predela kako bi se definisali odgovarajući ciljevi rekultivacije; planiranje rekultivacije – integrisanje pogodnih odabranih staništa u konfiguraciju i bioklimatski model terena kako bi se postigli ciljevi rekultivacije usklađeni sa promenom klime, a koja će biti samoodrživa i prilagođena na dostupnu količinu vode. Pojedini istraživači se zalažu za drugačiji pristup. Primera radi, koristeći simulacije i modele Međunarodnog panela za promenu klime Villiams i saradnici (2007) pokazuju da između 4% i 48% površina u svetu koje će doživeti promenu dosadašnjih klimatskih uslova može postati ne-analogni / novi ekosistem usled predviđene stope klimatskih promena. Posledica će biti susret sa novim ekosistemima, koji nam nisu poznati od ranije.

Nove ekosisteme karakterišu grupacije vrsta koje nisu istorijski zabeležene, a nastaju zbog antropogenih promena u životnoj sredini, promena u načinu korišćenja zemljišta, invazivnih vrsta ili kombinacija svega navedenog. Oni su posledica ljudske aktivnosti, ali njihov opstanak ne zavisi od dalje intervencije čoveka (Hobbs i saradnici, 2006). Koncept i uvodjenje novih ekosistema u polje rekultivacije još uvek je predmet etičkih i ekoloških debata (Lindenmayer i saradnici, 2008). S obzirom na to da većina modela ukazuje na promenu distribucija mnogih vrsta (Rosenzweig et al. 2007), Starzomski (2013) predlaže kao jednu od opcija koja se može primeniti u rekultivaciji “asistiranu migraciju”, odnosno namensku re-lokaciju vrsta ka njihovim budućim područjima distribucije utvrđenim prema određenom bioklimatskom modelu. Isti autor takođe ukazuje da kreiranje novih ekosistema omogućava stvaranje funkcionalnih ekvivalenata nekadašnjim prirodnim sistemima. I pored toga, autor naglašava da su očuvanje biodiverziteta, pojačana zaštita očuvanih prirodnih područja kao i održavanje visokog stepena povezanosti među prirodnim elementima predela prioriteta pomoću kojih se uvećava otpornost ekosistema na klimatske promene.

Uticaj klimatskih promena na praksu biološke rekultivacije u Srbiji

Na teritoriji Srbije usled globalnih klimatskih promena doći će do izmene određenih klimatskih parametara. Na osnovu klimatskog modelovanja procenjuje se da će godišnja temperatura u Srbiji do kraja veka porasti za 2,6°C prema umerenim scenarijima, ili oko 3,6°C prema pesimističnim scenarijima, pri čemu se najveća promena temperature očekuje u letnjim mesecima (Sekulić i saradnici, 2012; Popović i saradnici, 2015). Promene temperatura sve su izraženije i uzrok su sve češćih i intenzivnijih toplotnih talasa i ekstremnih događaja. Raste dužina i učestalost sušnih perioda, a ovaj trend će se nastaviti

naročito na jugoistoku i istoku Srbije (Božanić i Mitrović, 2019). Količine padavina smanjivaće se tokom leta, a rasti tokom ostalih godišnjih doba. Procenjuje se povećanje učestalosti i intenziteta pojave jakih padavina. Dužina vegetacionog perioda biće značajno veća, u zavisnosti od nadmorske visine u proseku za oko 2 meseca (Božanić i Mitrović, 2019). Iako su ukupne materijalne štete izazvane ekstremnim klimatskim i vremenskim uslovima u Srbiji u period od 2000-2015, iznosile preko pet milijardi evra, od čega je najveći deo gubitaka povezan sa sušom, visokim temperaturama i poplavama (Božanić i Mitrović, 2019), sistem adaptacija na nove klimatske trendove još uvek nije prepoznat kao prioritet u zvaničnim domaćim politikama i planiranju. Mnogi sektori koji su veoma osetljivi na klimatske promene, poput rudarstva, u svojim strateškim dokumentima i dalje ne prepoznaju potrebu za celishodnijim uvažavanjem i planiranjem adaptacija (Sekulić i saradnici, 2012). Iako zakonom propisana i obavezujuća, rekultivacija se ograničeno primenjuje u rudarskim basenima u Srbiji. Pored toga, upravljanje rekultivisanim površinama i pitanje njihovog vlasništva i nadzora često nije jasno definisano. Procenat rekultivisanih površina u odnosu na ukupne površine zauzete odlagalištima u velikim rudničkim basenima je relativno nizak (13 – 32%, prema Ranđelović, 2018). Nakon rekultivacije zemljište ostaje u javnom vlasništvu, a država i lokalne samouprave imaju obavezu pružanja finansijske podrške i drugih mera za efikasno upravljanje rekultivisanim područjem. Praksa promene vlasništva nad rekultivisanim područjem, u smislu povratka prethodnom vlasniku ili korišćenja u profitne ili neprofitne svrhe, za sada se ne sprovodi (Živanović- Miljković i Džunić, 2013). Šumarski i poljoprivredni pristup biološkoj rekultivaciji područja preovlađuju u rudničkim basenima u Srbiji, često kombinovani sa meliorativnim pristupom (Ranđelović, 2018). Namenski adaptivni i ekološki pristup za sada se ne primenjuje u praksi. Poljoprivredna rekultivacija sprovodi se kroz više faza, najpre sejanjem travnih smeša i leguminoza koje inicijalno obogaćuju podlogu hranjivim materijama, a potom sejanjem različitih useva (pšenica, kukuruz, lucerka, suncokret, uljana repica i druge). U Kolubarskom ugljenom basenu na rekultivisanim površinama zastupljeno je i gajenje voćki. Poljoprivredna rekultivacija sprovodi se na jalovinama niske toksičnosti, a proizvodi se prodaju na tržištu. Poljoprivredna proizvodnja na odlagalištima zahteva intenzivniju primenu agrotehničkih mera kako bi se dostigao optimalni prinos gajenih vrsta. Organizovana šumska rekultivacija otpočela je u Srbiji polovinom XX veka, upotrebom različitih lišćarskih i četinarskih vrsta. Vrste poput crnog bora (*Pinus nigra*), jasena (*Fraxinus sp.*), ariša (*Larix europaea*), bagrema (*Robinia pseudoacacia*), hrasta (*Quercus sp.*), jove (*Alnus glutinosa*), javora (*Acer sp.*) i lipe (*Tilia sp.*) široko su korišćene u pošumljavanju odlagališta Kolubarskog ugljenog basena. Istraživanja su potvrdila da je moguće koristiti veći broj lišćarskih vrsta u rekultivaciji ovog područja (u prvom redu azotofiksatora, poput jove i bagrema), kao i da je granulometrijski sastav podloge presudan za odabir vrsta, a sadržaj azota limitirajući faktor (Šmit i Veselinović, 1997.; Miletić i Radulović, 2005). Savremeni pristupi u rekultivaciji ovog područja obuhvataju formiranje šumskih plantaža kratke ophodnje i upotrebu višegodišnje trave *Mischanthus x giganteus* u cilju dobijanja biomase za proizvodnju energije. Na kopovima i odlagalištima ugljenog basena Kostolac šumska rekultivacija vršena je na kosinama upotrebom crnog bora, topole (*Populus sp.*) i

bagrema, pri čemu je najbolje rezultate do sada pokazao bagrem (Đorđević—Miloradović et al., 2014). U ovom basenu otpočeto je sa osnivanjem zasada brzorastuće vrste paulovnije (*Paulownia tomentosa*) za proizvodnju biomase. Na području rudarskog basena bakra Bor zbog pojačanog zagađenja medijuma životne sredine rekultivacija je imala za cilj zaštitu životne sredine i kontrolu erozije. Najveći uspeh u ovakvim uslovima ostvario je bagrem (Randelović, 2010), a noviji eksperimenti pokazuju uspešnost još nekih vrsta, poput belog jasena (*Fraxinus excelsior*) i javora (*Acer pseudoplatanus*) (Dožić i saradnici, 2010). Savremeni pristupi u rekultivaciji jalovišta u Boru zasnivaju se na pronalaženju većeg broja vrsta koje se mogu koristiti u ovu svrhu, kao i mapiranja vrsta za upotrebu u fitoremedijaciji ovog područja. Imajući u vidu promene klime koje se predviđaju na području Srbije, izvesno je da će planiranje i izvođenje rekultivacije na našim prostorima pretrpeti izvesne izmene. One se ogledaju u prilagođavanju na promene putem izbora vrsta, agromeliorativnih mera ali i samih ciljeva rekultivacije. Generalni porast temperature i promena režima padavina mogu dovesti do smanjenja prinosa poljoprivrednih kultura (do 2030. se očekuje smanjenje prinosa preko 50% kod kukuruza i oko 16% kod pšenice, ukoliko se ne primene adaptivne mere, prema Božanić i Mitrović, 2019). Neke od osnovnih adaptivnih mera preporučenih za primenu kod proizvodnje poljoprivrednih kultura su: navodnjavanje, primena agromeliorativnih mera, prilagođavanje proizvodnje i vremena obavljanja poljoprivrednih radova, gajenje pokrovnih i združenih useva, agrošumarstvo kao i izbor odgovarajućih otpornih sorti (Stričević i saradnici, 2019). Iako će prognozirani porast temperature usloviti brži razvoj biljaka i promene u dužini vegetacione sezone (Đurđević i saradnici, 2015), suvi periodi uticaće na smanjenje prinosa a pojave toplotnih talasa i ekstremnih događaja na povećanje rizika u proizvodnji (Stričević i saradnici, 2019). U ovakvim uslovima može se očekivati povećanje troškova za sprovođenje poljoprivredne rekultivacije, pa je u fazi planiranja potrebno izvršiti procenu ulaganja i troškova spram rizika koje će nositi ova vrsta rekultivacije. Šumska rekultivacija takođe će zahtevati određene izmene. S obzirom na zvaničnu preporuku intenziviranja rekultivacije zemljišta degradiranog rudarskim aktivnostima putem pošumljavanja, neke od glavnih dugoročnih mera adaptacije na klimatske promene uključivale bi: izbor odgovarajućih drvenastih vrsta otpornih na izmenjene klimatske uslove ili specijalizovanih za uslove koji se očekuju u budućnosti, uvođenje prakse fleksibilnog upravljanja šumama, izgradnju šumskih puteva u svrhu zaštite od požara čija će se učestalost povećati (Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime, 2017). Neke od kratkoročnih mera odnosila bi se na pripremu terena, tehniku sadnje i zaštitu sadnica u prvim godinama po zasnivanju. Prostorne analize potencijalnog uticaja klimatskih promena na najzastupljenije vrste drveća u Srbiji pokazale su da će očekivani uticaj biti različit za različite vrste (Stojanović i saradnici, 2014). Negativnom uticaju klimatskih promena biće izložene u prvom redu higrofilnije vrste, poput hrasta lužnjaka (*Quercus robur*), kao i frigorifilne vrste. Crni bor, vrsta široko korišćena u rekultivaciji, biće prema istraživanju Stojanovića i saradnika (2014) najmanje pogođena promenom klimatskih uslova na području Srbije. Pojedine pionirske vrste, poput breze (*Betula pendula*), pokazuju veliku osetljivost na klimatske promene i potencijalni gubitak staništa na teritoriji Evrope (Dyderski i saradnici, 2017). Sa druge strane, neke

invazivne vrste, kao što je bagrem, pokazuju prilagodljivost na uticaje promene klime i tendenciju osvajanja novih staništa usled povlačenja autohtonih vrsta (Dyderski i saradnici, 2017). Brzorastuće vrste, poput breza (*Salix* sp.) i topola (*Populus* sp.) mogu se koristiti za ublažavanje klimatskih promena selekcijom odgovarajućih sorti/klonova sa izraženom tolerancijom na sušu ili potencijalom za fitoremedijaciju (Pilipović i saradnici, 2019).

U uslovima izmenjene klime i produžetka vegetacionog perioda za 20-30 dana do 2100. godine (Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime, 2017), kao jedna od mogućnosti koja doprinosi fiksaciji ugljenika ističe se i podizanje brzorastućih zasada za proizvodnju biomase. Primeri namenskih zasada za proizvodnju biomase već su prisutni u pojedinim rudarskim basenima u Srbiji. Istraživanja Lasch i saradnika (2009) pokazuju da plantaže brzorastućih vrsta kratke ophodnje povoljno deluju na fiksiranje ugljenika, ali da je moguć i njihov negativan uticaj na hidrologiju područja. U ovom slučaju potrebno je izvršiti adekvatnu procenu koristi od osnivanja ovakvih zasada na konkretnom području, imajući u vidu stanje predela kao i potrebe okolnih ekosistema. Smatra se da će povećanje biomase generalno doprineti pojačanom usvajanju metala u biljku, premda ovo svojstvo zavisi od konkretnog područja, odabrane vrste i očekivanih promena. Pojačan stres biljaka usled suše, ekstremnih vremenskih pojava i drugih klimatskih parametara može negativno uticati na njihov kapacitet i mogućnost da tolerišu usvajanje metala u svoja tkiva (Rajakumar i saradnici, 2013).

Zaključna razmatranja

Predviđene promene klime uticaće na čitav sektor rudarstva i kroz više faza životnog ciklusa rudnika. Uticaj klimatskih promena u fazi zatvaranja, rekultivacije i monitoringa životne sredine po prestanku rudarskih aktivnosti skopčan je sa različitim vrstama potencijalnih rizika, pa je stoga neophodno da mogući efekti klimatskih promena, kao i mere ublažavanja i prilagođavanja, budu uzeti u obzir još u ranoj fazi planiranja rudnika i ugrađeni u planska rešenja i procenu rizika.

Ciljevi rekultivacije u budućem periodu usled klimatskih promena biće izmenjeni ili adaptirani na prognozirane uslove. Biološka rekultivacija postaće u mnogo većoj meri zavisna od hidrološke situacije na terenu i projektovanog vodnog bilansa. Slično tome, ciljevi rekultivacije moraće da se u određenoj meri prilagode održavanju funkcija regionalnih ekosistema po pitanju ublažavanja klimatskih promena, što otvara mogućnost da rekultivisane površine budu projektovane, podignute i održavane na način da predstavljaju integralne delove ekoloških koridora i mreža, omogućće migraciju vrsta ili njihov zaklon i generalno povećaju povezanost prirodnih celina u predelu. Monitoring rekultivisanih površina takođe će zahtevati širi pristup i učestalije kontrole zdravstvenog stanja oformljenog vegetacionog pokrivača. Iako je do sada u Srbiji forsiran šumarsko-poljoprivredni i meliorativni pristup rekultivaciji, adaptivni i ekološki pristup ovoj problematici u uslovima izmenjene klime sve više će dobijati na značaju, a prostojeći

pristupi pretrpeće izvesne modifikacije u pogledu ciljeva i mogućnosti prilagođavanja predviđenim klimatskim promjenama. S obzirom na očekivano povećanje prosečne godišnje temperature, izmenu režima padavina i produžetak vegetacionog perioda u Srbiji odabir odgovarajućih vrsta koje će se koristiti u svrhu biološke rekultivacije rudničkih jalovišta postaje jedna od najznačajnijih stavki u postupku planiranja i projektovanja.

Reference:

1. Audet, P., Arnold, S., Lechner, A., Baumgartl, T. (2013): Site-specific climate analysis elucidates revegetation challenges for post-mining landscapes in eastern Australia, *Biogeosciences*, 10: 6545–6557.
2. Božanić, D., Mitrović, Đ. (2019): Studija o socio-ekonomskim aspektima klimatskih promena u Republici Srbiji, Program Ujedinjenih nacija za razvoj
3. Buckley and Niemi (2011): Climate Change Implications for Ecological Restoration Planning, in: D. Egan (eds.), *Human Dimensions of Ecological Restoration: Integrating Science, Nature, and Culture*, The Science and Practice of Ecological Restoration, Island Press
4. Cooke J.A., Johnson M.S. (2002): Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice, *Environmental Reviews*, Vol. 10, Number 1, NRC Research Press, 41-71p.
5. Dyderski, M., Paz, S., Frelich, L., Jagodzinski, A. (2018): How much does climate change threaten European forest tree species distributions?, *Global Change Biology*, 24(3):1150–1163.
6. Dožić, S., Đukić M., Bogdanović G., Stanojlović R., Lukić S., Đunisijević-Bojović D., Bjedov I. (2010) : New approach to the reclamation of the old flotation tailings in Bor, *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 101, p. 35-47.
7. Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime, 2017, Ministarstvo zaštite životne sredine, Program Ujedinjenih nacija za razvoj, Srbija
8. Đurđević, V., Plavšić, J., Lalić, B., Stričević, R., Jaćimović, G., Firanj, A., Orlović, S., Stojanović, D., Radović, D., Mladenović, A., Stanisavljačić, B., Mitrović, Đ. (2015): Prvi nacionalni plan adaptacije na izmenjene klimatske uslove za Republiku Srbiju, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije
9. Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S. (2004): Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 557-581
10. Harris, J., Hobbs, R.J., Higgs, E., Aronson, J. (2006): Ecological restoration and global climate change, *Restoration Ecology*, 14: 170–176.
11. Hobbs, R.J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J., Bridgewater, P., Cramer, V.A., Epstein, P.R., Ewel, J.J., Klink, C.A., Lugo, A.E., Norton, D., Ojima, D., Richardson, D.M., Sanderson, E.W., Valladares, F., Vila, M., Zamora, R. and Zobel, M. (2006): Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, 15: 1–7.
12. Johnson M. S., Cooke J. A., Stevenson J. K.W. (1994): *Revegetation of Metalliferous Wastes and Land After Metal Mining*, Mining and its Environmental Impact. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
13. Kleinbauer, I., Dullinger, S., Peterseil, J., & Essl, F. (2010). Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudacacia* into nature reserves and endangered habitats. *Biological Conservation*, 143, 382–390.

14. Lasch, P., Kollas, C., Rock, J., Suchow, F. (2009): Potentials and impacts of short-rotation coppice plantation with aspen in Eastern Germany under conditions of climate change, *Regional Environmental Change*, 10:83-94.
15. Lima, A., Mitchell, K., O'Connell, D., Verhoeven, J., Philippe Van Cappellen, P. (2016): The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation, *Environmental Science & Policy*, 66: 227-233.
16. Locatelli B., 2016. Ecosystem Services and Climate Change. In: *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. M. Potschin, R. Haines Young, R. Fish and R. K. Turner (eds). Routledge, London and New York, pp. 481-490.
17. Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C., Murdiyarso, D., Santoso, H. (2008). *Facing an Uncertain Future: How Forest and People Can Adapt to Climate Change*, CIFOR, Bogor
18. Lindenmayer, D., Fischer, J. Felton, A., Crane, M., Michael, D., Macgregor, C., Montague-Drake, R., Manning, A., Hobbs, R. (2008) : Novel ecosystems resulting from landscape transformation create dilemmas for modern conservation practice, *Conservation Letters*, 1: 129–135
19. Millar, C. I., Stephenson, N., Stephens, S. (2007): Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty, *Ecological Applications*, 17(8): 2145-2151.
20. Milly, P.C., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R., Kundzewicz, Z., Lettenmaier, D., Stouffer, R. (2008): Stationarity Is Dead: Whither Water Management?, *Science*, 319 (5863) : 573-574.
21. Miletić, Z., Radulović, Z. (2005): Biogenost organske prostirke različitih šumskih kultura na deposalima REIK „Kolubara“, *Šumarstvo*, 4: 11-20.
22. Nelson, J., Schuchard, R. (2011) *Adapting to Climate Change: A Guide for the Mining Industry* BSR Industry Series
23. Pearce, T.D., Ford, J.D., Prno, J., Duerden, F., Pittman, J., Beaumier, M., Berrang-Ford, L., Smit, B. (2010): Climate change and mining in Canada. *Mitigation Adaptation Strategy Global Change*, 16:347–368.
24. Pilipović, A., Orlović, S., Kovačević, B., Galović, V., Stojnić, S. (2019): Selection and Breeding of Fast Growing Trees for Multiple Purposes in Serbia, in: *Forests of Southeast Europe Under a Changing Climate: Conservation of Genetic Resources* (ed. Šijačić-Nikolić, M., Milovanović, J., Nonić, M.), Springer Nature Switzerland, p: 239-250.
25. Price, D.T.; Alfaro, R.I.; Brown, K.J.; Flannigan, M.D.; Fleming, R.A.; Hogg, E.H.; Girardin, M.P.; Lakusta, T.; Johnston, M.; McKenney, D.W.; Pedlar, J.H.; Stratton, T.; Sturrock, R.N.; Thompson, I.D.; Trofymow, J.A.; Venier, L.A. (2013): Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems, *Environmental Reviews* 21(4):322-365.
26. Popović, T., Đurđević, V., Živković, M., Jović, B., Jovanović, M. (2009): Promena klime u Srbiji i očekivani uticaji, Agencija za zaštitu životne sredine, URL: [http://www.sepa.gov.rs/download/EnE09_T %20Popovic %20V DJurdjevic%20i%20Dr Pr%20kl%20u%20Srbija%20i%20uticaji.pdf](http://www.sepa.gov.rs/download/EnE09_T%20Popovic%20V_DJurdjevic%20i%20Dr_Pr%20kl%20u%20Srbija%20i%20uticaji.pdf)
27. Rajakumar, M., Prasad, M.N., Swaminathan, S., Freitas, H. (2013): Climate change driven plant–metal–microbe interactions, *Environment international*, 53:74-86.
28. Randelović, D. (2010): Primena adaptivnog menadžmenta u procesu biološke rekultivacije, Zbornik radova 5. Simpozijuma 'Reciklažne tehnike i održivi razvoj', Soko Banja, 12-15. Septembar, Tehnički fakultet u Boru Univerziteta u Beogradu, 544- 549.
29. Randelović, D. (2018): Reclamation Methods and their outcomes in Serbian Mining Basins, eds. Belić, M., Nešić, Lj., Ćirić, V., Mačkić, K., Congress Proceedings of 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia "Solutions and Projections for Sustainable Soil

Management”, September 25-28th, 2017, Novi Sad, Serbia, Soil Science Society of Serbia, p. 40-48. ISBN 978-86-912877-1-9.

30. Rykaart, M., Caldwell, J. (2006): Covers, State Of The Art Review, [URL: www.technology.infomine.com/covers](http://www.technology.infomine.com/covers)

31. Rooney, R., Robinson, D., Petrone, R. (2015): Megaproject reclamation and climate change, *Nature Climate Change*, 5: 963-966.

32. Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. and Tryjanowski, P. (2007) Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change (2007): Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson), Cambridge University Press.

33. Scheffers, B., De Meester, L., Bridge, T., Hoffmann, A., Pandolfi, J., Corlett, R., Butchart, S., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W., Martin, T., Mora, C., Bickford, D., Watson, J. (2016): The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354(6313):7671

34. Sekulić, G., Dimović, D., Kalmar, Z., Todorović, N. (2012): Procena ranjivosti na klimatske promene – Srbija, Svetski fond za prirodu, Centar za unapređenje životne sredine

35. Serbia Floods, report (2014), United Nations, Serbia, Belgrade

36. Settele, J., Scholes, R., Betts, R. A., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., ... Winter, M. (2014). Terrestrial and Inland Water Systems, In: C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, ... A. N. Levy (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge: Cambridge University Press, pp. 271-359

37. Sohngen, B., & Tian, X. (2016). Global climate change impacts on forests and markets. *Forest Policy and Economics*, 72, 18–26.

38. Starzomski, B. (2013): *Novel Ecosystems and Climate Change, Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order*, First Edition. Edited by Richard J. Hobbs, Eric S. Higgs, and Carol M. Hall. John Wiley & Sons, Ltd.

39. Stojanović, D., Matović, B., Orlović, S., Kržič, A., Trudić, B, Galić, Z., Stojnić, S., Pekeč, S. (2014): Future of the Main Important Forest Tree Species in Serbia from the Climate Change Perspective. *South-east European forestry*, 5(2): 117-124.

40. Stratos Inc., (2011): *Climate Change and Acid Rock Drainage – Risks for Canadian mining sector*, Mining Association of Canada

41. Stričević, R., Prodanović, S., Đurović, N., Petrović-Obradović, O, Đurović, P. (2019): Izveštaj uticaja osmotrenih klimatskih promena na poljoprivredu u Srbiji i projekcije uticaja buduće klime na osnovu različitih scenarija budućih emisija, Program Ujedinjenih nacija za razvoj.

42. Šmit, S., Veselinović, N. (1997): Recultivation by afforestation of opencast lignite mine “Kolubara“, Institute of Forestry, Belgrade.

43. Zakon o zaštiti zemljišta, Službeni glasnik Republike Srbije, 112/2015.

44. Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima, Službeni glasnik Republike Srbije, 101/2015.

45. Živanović-Miljković, J., Džunić, G. (2013): Land use in large mining basins in post-exploitation period: the example of Serbia, *Proceedings of 3rd International Geography Symposium GEOMED*, 10-13 June, Antalya, Turkey, p. 292-299.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

622(082)

502/504(082)

СИМПОЗИЈУМ са међународним учешћем "Рударство" (11 ; 2020 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova = Proceedings / 11. simpozijum sa međunarodnim učešćem "Rudarstvo 2020", Vrnjačka Banja 8. - 11. septembar 2020. = 11st [i.

e.11th] Symposium with International Participation "Mining 2020" ; [urednik, editor Miroslav Ignjatović] ; [organizatori Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina [i] Privredna komora Srbije]. - Beograd : Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 2020 (Beograd : Akademska izdanja). - 243 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 180. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts.

ISBN 978-86-82867-28-9

1. Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (Београд) 2. Привредна комора Србије (Београд)

а) Рударство - Зборници б) Животна средина - Заштита - Зборници

COBISS.SR-ID 19693065