

VIOLETA D. MITIĆ^{1*}, VESNA P. STANKOV-JOVANOVIĆ¹, MARIJA D. ILIĆ¹, SNEŽANA Č. JOVANOVIĆ¹, SNEŽANA D. NIKOLIĆ-MANDIĆ²

Originalni naučni rad
UDC:614.841:504.7.055

Uticaj požara na sadržaj teških metala u biljkama i zemljištu

Požar koji se u letu 2007 godine desio na planini Vidlič u Srbiji opustošio je velike prostore pod sitnim rastinjem i šumom. Cilj ovog istraživanja bilo je ispitivanje uticaja požara na sadržaj teških metala u biljkama *Aegopodium podagraria*, *Hypericum perforatum* i *Chelidonium majus* koje pripadaju familijama Apiaceae, Hypericaceae i Papaveraceae. Takođe, ispitivan je i sadržaj teških metala u uzorcima zemljišta na kojima su biljke rasle godinu dana nakon požara. Kao kontrolni materijal korišćeni su uzorci biljaka i zemljišta sa lokaliteta u neposrednoj blizini koji nije bio izložen dejstvu vatre.

Sadržaj metala određivan je u ekstraktibilnoj, biodostupnoj i frakciji pseudototalnih katjona. Može se zaključiti da je sadržaj teških metala (Pb, Cd, Cu i Zn) najveći u frakciji pseudototalnih katjona, a najmanji u frakciji biodostupnih katjona. Koncentracije svih određivanih teških metala u svim frakcijama su uvek veće za uzorce zemljišta koja su bila izložena dejstvu požara osim u slučaju sadržaja cinka i bakra u ekstraktibilnoj frakciji zemljišta biljaka *A. podagraria* i *H. perforatum*.

Podzemni delovi svih ispitivanih biljaka koje su rasle na oba lokaliteta sadrže veću koncentraciju olova u odnosu na nadzemni deo. Sadržaj cinka je veći u uzorcima biljaka nego u uzorcima tla na kojem su biljke rasle. Nadzemni delovi sve tri ispitivane biljke sadrže nešto više bakra u odnosu na odgovarajuće podzemne delove biljaka.

Podzemni delovi sve tri biljke sa lokaliteta koji nije bio izložen dejstvu vatre sadrže veće količine kadmijuma u odnosu na biljke sa lokaliteta koji je pretrpeo požar.

Ključne reči: metali u zemljištu, metali u biljkama, požar, *Aegopodium podagraria*, *Hypericum perforatum*, *Chelidonium majus*

UVOD

Požari predstavljaju glavni uzrok smanjenja oblasti pod šumama. Postoje dva tipa šumske požare: kontrolisani i nekontrolisani (divlji), pri čemu obe vrste požara utiču na biodiverzitet područja koje je pretrpelo delovanje vatre, kao i na fizičke, hemijske i biološke karakteristike zemljišta, promenu klimatskih uslova i šumskog ekosistema. Šumski požari su od davnina bitno uticali na obikovanje strukture Zemlje i nastajanje ekosistema. To su procesi koji iniciraju prirodne cikluse, utiču na razvoj biljnih zajednica, dostupnost hranljivih materija iz zemljišta, na biodiverzitet, jednom rečju održavaju vitalnost ekosistema [9]. S druge strane požari mogu imati ogromne negativne uticaje na životnu sredinu i ljudsko društvo tako što degradiraju ekosistem iz osnove, prevashodno zemljište, s jedne strane promenom sadržaja nutrijenata, a sa druge gubitkom površinskog sloja zemljišta erozijom i spiranjem [3]. Požari predstavljaju glavni uzrok smanjenja organske materije, što bitno menja strukturu zemljišta i dovodi do kvalitativnih i kvantitativnih promena zajednica mikroorganizama i beskičmenjaka u tlu [5].

Adrese autora: ¹Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Niš, Srbija;
²Univerzitet u Beogradu, Hemski fakultet, Srbija

Rad primljen: 15. 09. 2012.

Uticaj požara na zemljište i vegetaciju zavisi od stepena sagorevanja žive i nežive materije, prirode zemljišta, kao i od uticaja toplove požara na fizičke i hemijske karakteristike zemljišta [7]. Očigledan je uticaj požara na zemljište, naime površina zemljišta koja je bilo izloženo vatri biva pokrivena crnim ili sivim pepelom u zavisnosti od intenziteta požara. Za vreme požara s jedne strane neka ugljenikova jedinjenja nestaju pretvaranjem u isparljive komponente, dok istovremeno dolazi i do formiranja nus proizvoda šumskih požara koji se nazivaju crni ugljenik. Nastali proizvod sadrži delimično ugljenisan biljni materijal i karakteriše se povećanim sadržajem nutrijenata usled velikog kapaciteta sorpcije [19].

Teški metali koji se obično u malim količinama nalaze u zemljištu su rezultat raspadanja stena ili drugih pedogenih procesa koji se dešavaju u stenovitom tlu u procesu nastajanja zemljišta. Takođe, poznato je i da se mineralizacijom organske materije usled požara izdvaja značajna količina teških metala, što može da prestavlja uzrok kontaminacije zemljišta. Količina teških metala koji se nalaze u pepelu zavisi od prirode samog metala, vrste zemljišta i temperaturе vatre koja je dostignuta za vreme požara. Sve to utiče na činjenicu da je nakon požara, usled različitog sastava, količine biomase i topografskih karakteristika tla, količina teških metala u pepelu vrlo promenljiva [13]. Mobilnost teških metala u zemljištu predstavlja

složen proces koji u osnovi zavisi od prirode samog metala, tipa interakcije čvrste faze i zemljишta, kao i drugih faktora kao što su kiselost, oksidacioni i/ili redukcioni uslovi, prisustvo liganada, jonski sadržaj zemljишnog rastvora [21].

Biljke nisu evolutivno razvile visoku selektivnost pri usvajanju hranljivih elemenata, te osim neophodnih usvajaju i teške metale koji nemaju poznatu funkciju u biljnog metabolizmu, čak se smatra da imaju i toksično dejstvo (Cd, Pb, Hg, Cr). Poznato je da na usvajanje teških metala iz zemljишta i na njihovu akumulaciju u biljkama mogu bitno da utiču, sa jedne strane hemijske i fizičke karakteristike zemljишta i njihove interakcije, a sa druge specifična sposobnost određenih biljnih vrsta da akumuliraju metale.

Od fizičkih i hemijskih faktora naročit značaj imaju prisustvo helatnih agenasa, sadržaj i količina organske materije, katjonski kapacitet, pH vrednost. Helatni agensi smanjuju dostupnost teških metala usled građenja helatnih kompleksa sa metalima, dok promena pH vrednosti može da dovede do promene koncentracije neorganskih jona, kao što su hloridi, koji takođe mogu da kompleksiraju metalne jone [16]. Mobilnost i dostupnost teških metala je obično niska, posebno u slučaju niske pH vrednosti zemljишta i visokog sadržaja organske materije i gline [22]. Specifična sposobnost određenih biljnih vrsta vrsta da akumuliraju metale zavisi pre svega od genetske konstitucije biljke, a zatim i od karakteristika korenovog sistema, njegovog kapaciteta za apsorpciju jona i nivoa evapotranspiracije [1]. Poznato je da biljke teške metale usvajaju na nekoliko načina. Najveću količinu teških metala usvaju iz zemlje preko korena i potom ih transportuju u list. Usvajanje teških metala iz zemljишta preko korena u velikoj meri zavisi od vrste i načina formiranja tla, veličine čestica zemljишta, količine organske materije, pH zemljишta, kapaciteta sorpcije, količine CaCO_3 , antropogenog uticaja, kao i ostalih hemijskih i fizičkih osobina zemljишta [10]. Takođe, biljke teške metale mogu usvojiti direktno preko lista, iz vazduha ili padavina, čak je kod nekih biljnih vrsta i dokazano postojanje jonoizmenjivačkih karakteristika. Kada teški metali dospeju na površinu lista, biljka ih usvaja preko stoma [17]. Akumuliranje teških metala u pojedinim organima, pa i tkivima pojedinih vrsta biljaka je različito. Ovo je prvenstveno uslovljeno mehanizmom tolerancije biljaka prema teškim metalima i/ili njihovim neposrednim ili posrednim uključivanjem u fiziološko-biohemijske procese. Na primer, cink i bakar se prvenstveno akumuliraju u ćelijskom zidu ćelija korena i lista, i dok neke biljne vrste imaju sposobnost da navedene metale u većoj meri nakupljaju u vakuolama, pojedine biljke akumulaciju vrše u mitohondrijama. Teški metali su generalno loše pokretljivi u

biljkama, pa je i njihov sadržaj u korenu znatno veći nego u nadzemnom delu. Međutim pojedini teški metali (Cu, Mn, Zn, Mo, Cd) pokazuju dobru pokretljivost u biljkama, što rezultira njihovu distribuciju do listova [11].

Veliki uticaj na metabolizam i usvajanje teških metala ima i prisustvo drugih teških metala u zemljишtu. Tako Pb, Ni, a posebno Cd inhibiraju usvajanje Ca, Mg, Fe, Zn, Mn i Cu, kao i njihov transport iz korena u nadzemne organe te na taj način utiču na raspodelu elemenata u biljkama. Unos i transport neophodnih mineralnih supstanci zavisi i od koncentracije dosupnih neesencijalnih teških metala u sustratu, vrste neophodnog mineralnog elementa, biljne vrste, genotipa i dr. [6]. U većim koncentracijama svi teški metali deluju toksično na biljke, bez obzira na činjenicu da neki imaju i određenu fiziološku ulogu. Povećan sadržaj teških metala u biljkama najčešće izaziva promene u aktivnosti enzima, dovodi do oštećenja ćelijskih membrana i inhibicije rasta korena [2].

Tolerancija biljaka prema teškim metalima se može tumačiti na više načina. Spoljašnjim mehanizmima tolerancije biljaka usmerenim od biljke prema spoljašnjoj sredini se sprečava usvajanje teških metala u biljku. Ti mehanizmi tolerantnosti deluju u apoplastu, u neživim delovima ćelije i u rizosferi. Zasnivaju se na vezivanju metala u ćelijski zid biljaka uz izlučivanje organskih kiselina i helata u spoljašnju sredinu preko korena ili lista, pri čemu dolazi do uspostavljanja pH i redoks-barijera [4]. Unutrašnji mehanizmi tolerancije biljaka prema visokim koncentracijama teških metala se zasnivaju na stvaranju kompleksa metala sa proteinima, peptidima i organskim kiselinama nakupljanjem u vakuolama i slično [8].

Teški metali svoje toksično dejstvo ispoljavaju na različite načine: neki stimulišu formiranje slobodnih radikala i reaktivnih kiseoničnih derivata što uzrokuje oksidativni stres i dovodi do lipidne peroksidacije membrane čime se narušava njena funkcionalnost i selektivnost pri transportu materija (Cu, Cd, Hg, Pb), neki reaguju sa sulfhidrilnim grupama enzima (Hg, Pb) inhibirajući njihovu aktivnost, pojedini teški metali mogu i da istisnu biogene elemente što dovodi do ispoljavanja simptoma nedostatka tih elemenata, svi reaguju sa aktivnim grupama ADP-a i ATP-a [1]. Mada su primarni efekti toksičnosti teških metala specifično zavisni od osobina njihovih jona, sekundarne posledice su veoma slične i ogledaju se u brojnim fiziološkim, anatomske i morfološkim poremećajima, pre svega u metabolizmu fitohroma, smanjenju inteziteta fotosinteze, usvajanju vode što za posledicu ima destruktivno dejstvo na hloroplaste,

smanjen rast i granjanje biljke, pojavu hlorotičnih i nekrotičnih pega na listovima.

Biljke olovo u neorganskom obliku slabo usvajaju i premeštaju u nadzemne organe, izuzev na kiselim zemljistima. S druge strane, organska jedinjenja olova se znatno lakše usvajaju i transportuju u nadzemne delove biljaka. Koren biljaka se karakteriše velikom moći akumulacije olova i to na neki način predstavlja oblik zaštite nadzemnog dela. Olovo u većim koncentracijama utiče na morfološko-anatomsku građu biljaka inhibiranjem izdužavanja korena i rasta listova, kao i procesa fotosinteze.

Kod brojnih biljnih vrsta intenzitet transporta kadmijuma u nadzemnim organima je u korelaciji sa njegovom koncentracijom u hranljivoj podlozi. Kadmiyum usvojen iz hranljive podloge uglavnom se akumulira u korenu, dok je sadržaj tog metala u stablu i listovima biljaka je približno isti. Veće koncentracije kadmijuma u biljkama dovode do inhibicije metabolizma gvožđa, što dovodi do hloroze listova i smanjenja intenziteta fotosinteze, izazivaju oksidativni stres, inhibiraju disanje i transport elektrona u procesu oksidativne fosforilacije, smanjuju usvajanje vode.

Bakar je sastavni deo mnogih enzima. Pošto se karakteriše izraženim afinitetom prema proteinskoj strukturi, 70% bakra je vezano u hloroplastima. Koncentracija bakra u biljkama kreće se od 5 do 30 mg/kg u suvoj materiji, pri čemu povećana kiselost zemljista dovodi i do povećanog sadržaja bakra. Pokretljivost bakra u biljkama je osrednja. Intezitet usvajanja i transporta bakra u nadzemnim organima je u pozitivnoj korelaciji sa koncentracijom tog metala u zemljistu.

Cink se ubraja u umereno toksične metale čija je pokretljivost u biljkama osrednja. Premeštanje cinka iz starijih u mlađe organe biljaka na zemljistima siromašnim cinkom odvija se izuzetno sporo. Ukoliko je koncentracija cinka u zemljisu visoka, onda ga biljke akumuliraju u korenu. Koncentracija cinka u suvoj materiji biljaka kreće se od 1 do 10.000 mg/kg suve materije. Zbog višestruke uloge u razvoju biljaka, nedostatak cinka može da dovede do promena u razmeni materija, kao i u morfološkoj i anatomskoj građi biljaka.

Planina Vidlič nalazi se u centralnom deli Balkanskog poluostrva, na severoistočnom obodu, između pirotske i sofijske kotline, pretežno u Srbiji. Požar na palnini Vidlič izbio je 20. jula 2007. godine, a kao uzrok naveden je ljudski faktor. Potpuno gašenje požara završeno je nakon deset dana. U požaru je izgorelo preko 2500 hektara niske vegetacije, šipražja i šume [12].

Sva merenja sadržaja teških metala rađena su paralelno za zemljisti i biljni materijal prikupljan na

lokalitetu koji je pretrpeo požar kao i na lokalitetu u neposrednoj blizini koji nije bio izložen dejству vatre. Na taj način izbegnut je uticaj ostalih faktora kao što su geografski položaj, nadmorska visina, osušćanost, koji bi mogli da predstavljaju smetnju u proceni posledica požara u realnom vremenu. Odabrane su tri biljke koje pripadaju trima familijama *Aegopodium podagraria* – familija *Apiaceae*, *Hypericum perforatum* familija *Hypericaceae* i *Chelidonium majus* familija *Papaveraceae*. Ovakav izbor bio je sa jedne strane uslovjen samom prirodnom biljnog sveta koji se nakon godinu dana od požara ponovo pojavo na području koje je bilo zahvaćeno vatrom, a onda i željom da se od biljnih vrsta koje su to uspele izaberu predstavnici različitih familija. Takođe, ova istraživanja su nastavak započetih istraživanja koja su se odnosila na biljne vrste iz porodice *Lamiaceae* sa istog lokaliteta [18].

Imajući u vidu sadržaj i distribuciju teških metala u zemljisu i analiziranim biljkama iz pomenute oblasti, nisu bili proučavani do sada za navedene biljne vrste, dobijeni podaci imaju važan doprinos budućim istraživanjima u razumevanju dugoročne procene posledica požara na analiziranom području.

MATERIJAL I METODE

Uzorci zemljista

Uzorci zemljista prikupljeni su aprila 2008. godine na planini Vidlič, na lokalitetu koji je pretrpeo požar kao i na susednom području koje nije bilo izloženo delovanju vatre. Pre analize, uzorci zemljista su sušeni na vazduhu, prosejani kroz sito i usitnjeni.

Posuđe korišćeno u radu je najpre prano vodenim rastvorom HCl (1:1), a na kraju dejonizovanom vodom.

Priprema uzorka zemljista za analizu biodostupnih (izmenljivih) katjona

Nakon sušenja i usitnjavanja zemljista, odmeravano je po 2,5 g zemljista sa tačnošću od 10^{-4} g u sterilne plastične čašice od 100 cm³ i dodato je po 25 cm³ 1 M rastvora amonijum acetata. Ovako pripremljeni uzorci mešani su na magnetnoj mešalici po 15 minuta. Nakon toga su uzorci procedeni kroz filter papir (plava traka) u normalne sudove od 25 cm³, u koje je dodat po 1 cm³ HNO₃, a zatim su normalni sudovi dopunjeni do crte rastvorom amonijum acetata (Perkin Elmer, 2002).

Priprema uzorka zemljista za analizu ekstraktibilnih katjona

Za određivanje sadržaja ekstraktibilnih katjona odmeravano je po 1 g zemljista sa tačnošću merenja od 10^{-4} g u sterilne plastične čaše. Uzorcima je dodato po 5 cm³ smeš za ekstrakciju, 0,05 M HCl + 0,05 M

H_2SO_4 , i mešani su po 15 minuta na magnetnoj mešalici, a zatim su filtrirani (plava traka) i prenešeni u normalne sudove od 10 cm^3 , koji su do crte dopunjeni smešom za ekstrakciju [14].

Priprema uzorka zemljišta za analizu sadržaja pseudo totalnih katjona

Odmereno je po 1 g zemljišta sa tačnošću od 10^{-4} g u staklene čaše od 100 cm^3 . Uzorci zemljišta su preliveni sa po 10 cm^3 koncentrovane HNO_3 a zatim su ostavljeni da stoje preko noći. Nakon stajanja preko noći u uzorce je dodato još po 5 cm^3 kiseline i zagrevani su na peščanom kupatilu do zapremine manje od 5 cm^3 . Nakon toga uzorci su ohlađeni i dodato je po 5 cm^3 smeše H_2O_2 (30 %): $\text{H}_2\text{O}=3:2$, pa

su uzorci ponovo zagrevani na peščanom kupatilu do zapremine manje od 5 cm^3 . Nakon hlađenja smeše, dodato je po 5 cm^3 30 % H_2O_2 pa je postupak zagrevanja i hlađenja je ponovljen. Zatim je dodato 10 cm^3 koncentrovane HCl, i smeša je ostavljena da stoji preko noći. Nakon toga, smeša se cedi i razblažuje do 25 cm^3 dejonizovanom vodom [15].

Uzorci biljnog materijala

Biljni material je istovremeno prikupljan na istim mestima gde je vršeno uzimanje uzorka zemljišta. Primeri analiziranih biljaka nalaze se u Herbariju Prirodnno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu (Tabela 1).

Tabela 1 - Pregled inventarnih brojeva analiziranih biljnih vrsta i koordinata lokaliteta na planini Vidlič sa kojih je prikupljan biljni materijal i uzorci tla.

Inventni broj	Stanište	Biljna vrsta	Lokalitet	Koordinate
5160	Bukova šuma	<i>Aegopodium podagraria</i>	Vazganica, Vidlič	$43^{\circ}10'38,5''\text{N}$ $22^{\circ}43'15,3''\text{E}$
5254	Bukova šuma	<i>Hypericum perforatum</i>	Vazganica, Vidlič	$43^{\circ}10'38,6''\text{N}$ $22^{\circ}43'09,3''\text{E}$
4460	Bukova šuma	<i>Chelidonium majus</i>	Vazganica, Vidlič	$43^{\circ}10'36,7''\text{N}$ $22^{\circ}43'23,5''\text{E}$

Priprema biljnog materijala za analizu teških metala

Biljni material je pažljivo ispran da bi se odstranile čestice zemljišta koje su se zadržale na korenovom sistemu, potom je sušen na sobnoj temperaturi do konstantne mase, odvojen je nadzemni od podzemnog dela biljke, korišćenjem plastičnog pribora biljni material je usitnjen i prosejan kroz sito dimenzija 1 mm.

Sadržaj teških metala (Zn, Cu, Cd and Pb) u biljnom materijalu određivan je mokrom digestijom. Najpre je biljni material preliven koncentrovanim HNO_3 i rastvor je zagrevan dok se zapremina nije smanjila i dok nisu nestale crveno-smeđe pare NO_2 . Potom je dodata 70 % HClO_4 i uparavanje je nastavljeno do male zapremine i obezbojavavanja rastvora. Na kraju su rastvori profiltrirani, preneti u normalne sudove zapremine 25 cm^3 i razblaženi do crte (Perkin Elmer, 2002).

Analiza metala je izvršena na atomskom apsorpcionom spektrofotometru (AAS) Perkin-Elmer M-1100.

Sve hemikalije koje su korišćene u radu bile su proizvod firme Merck, p. a. čistoće.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati određivanja sadržaja olova, kadmijuma, bakra i cinka u zemljištu na kojem su rasle biljke *A. podagraria*, *H. perforatum* i *C. majus* sa lokaliteta

koji je pretrpeo požar i lokaliteta koji nije bio izložen vatri prikazani su u obliku histograma na Slici 1.

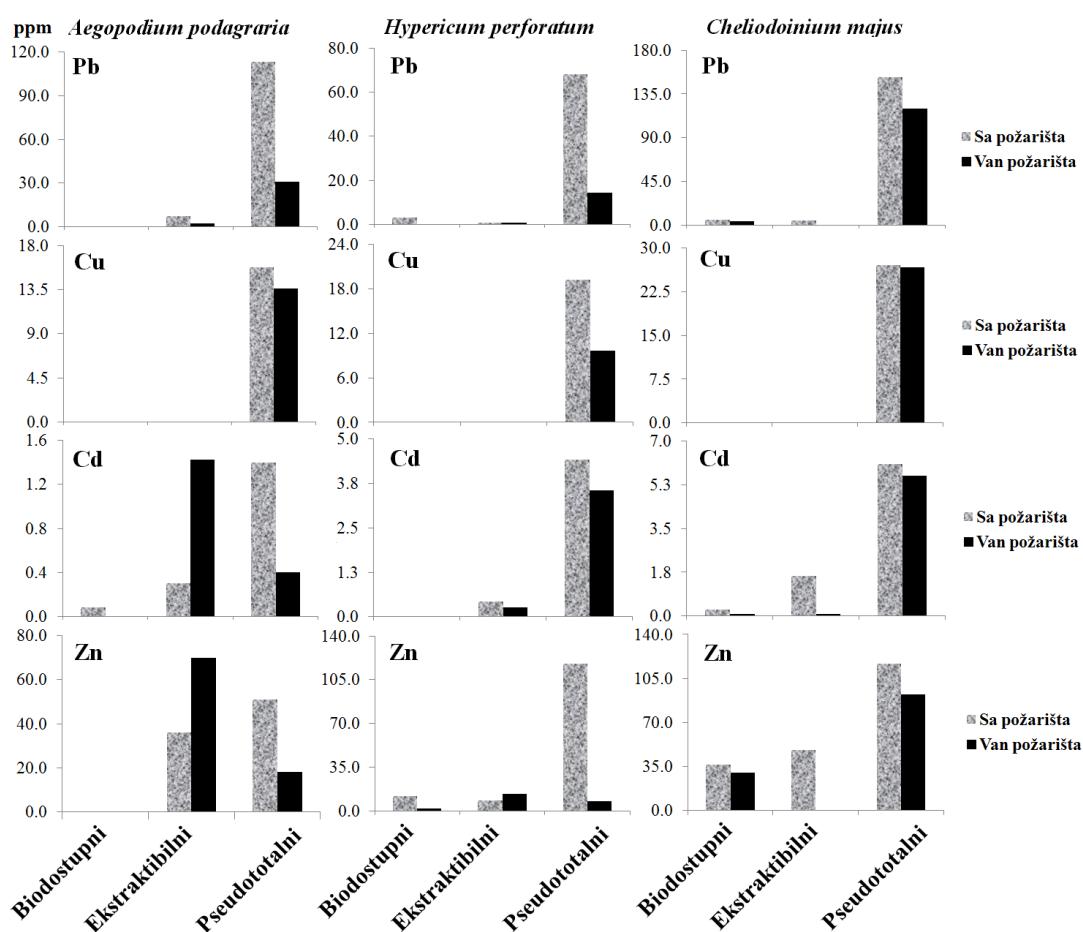
Od svih ispitivanih elemenata, olovo se karakteriše najvećom zastupljenosti u zemljištu sve tri ispitivane biljne vrste. Sadržaj olova je višestruko veći u frakcijama pseudototalnih katjona sa oba ispitivana lokaliteta u svim ispitivanim uzorcima u odnosu na frakcije biodostupnih i ekstraktibilnih katjona. U frakciji pseudototalnih katjona, olova najviše ima u zemljištu na kojem je rasla biljka *C. majus* (152,7 ppm) potom u zemljištu na kojem je rasla *A. podagraria* (113,1 ppm), a u zemljištu biljke *H. perforatum* ga ima u koncentraciji 68,1 ppm. Svi navedeni rezultati se odnose na lokalitete izložene dejstvu vatre. U zemljištu koje nije pretrpeo požar olova ima znatno manje: *C. majus* (119,7 ppm), *A. podagraria* (30,9 ppm), *H. perforatum* (14,3 ppm). U uzorcima zemljišta biljke *A. podagraria* sa oba lokaliteta i *H. perforatum* sa lokaliteta van požarišta, sadržaj olova u biodostupnoj frakciji bio je ispod granice detekcije AAS metode. Sadržaj olova u ekstraktibilnoj frakciji pokazuje isto ponašanje kao i u slučaju pseudototalnih i biodostupnih frakcija, naime, olovo uvek više ima na lokalitetu koji je pretrpeo dejstvo vatre, što navodi na zaključak da požar utiče na povećanje sadržaja olova u zemljištu.

Sadržaj bakra u biodostupnoj i ekstraktibilnoj frakciji zemljišta svih posmatranih biljaka sa oba lokaliteta bio je ispod limita detekcije AAS metode. Sadržaj bakra u zemljištu sa požarišta i van njega za

biljku *A. podagraria* iznosio je 15,8 i 13,6 ppm respektivno, dok je za biljku *C. majus* 27,1 i 26,7 ppm. Bakra u frakciji pseudototalnih katjona više ima i u zemljištu biljke *H. perforatum* koje je pretrpelo požar (19,2 ppm), u poređenju sa lokalitetom van požarišta gde ga ima duplo manje (9,6 ppm).

Maksimalni sadržaj kadmijuma u svim ispitivanim frakcijama zemljišta sve tri biljne vrste ima znatno manje vrednosti od maksimalnog sadržaja ostalih određivanih elemenata. Sadržaj kadmijuma je najmanji u slučaju biljke *A. podagraria*, a najveći u

zemljištu biljke *C. majus*. Frakcija pseudototalnih katjona ima višestruko veće vrednosti sadržaja kadmijuma u odnosu na frakcije biodostupnih i ekstraktibilnih katjona. Sadržaj ovog elementa u frakciji pseudototalnih katjona je uvek veći u uzorcima sa lokaliteta požarišta. Kadmijuma najviše ima u zemljištu biljke *C. majus* (6,1 ppm lokalitet požarišta i 5,6 ppm lokalitet van požarišta), a najmanje u slučaju biljne vrste *A. podagraria*, (1,4 ppm lokalitet požarišta i 0,4 ppm lokalitet van požarišta).



Slika 1 - Grafički prikaz sadržaja olova, bakra, kadmijuma i cinka u različitim frakcijama zemljišta biljaka *Aegopodium podagraria*, *Hypericum perforatum* i *Chelidonium majus* sa lokaliteta koji je pretrpeo požar i lokaliteta koji nije bio izložen vatri

Određivanje sadržaja cinka u frakciji pseudototalnih katjona pokazalo je isti uticaj požara kao i u slučaju olova. Naime, uzorci zemljišta sve tri posmatrane biljne vrste koji su pretrpeli požar karakterišu se većim sadržajem cinka u odnosu na odgovarajuća zemljišta sa lokaliteta koji nisu bili izloženi delovanju vatre. U zemljištu biljke *H. perforatum* određen je najviši 117,7 ppm (lokalitet požarišta) i najniži sadržaj

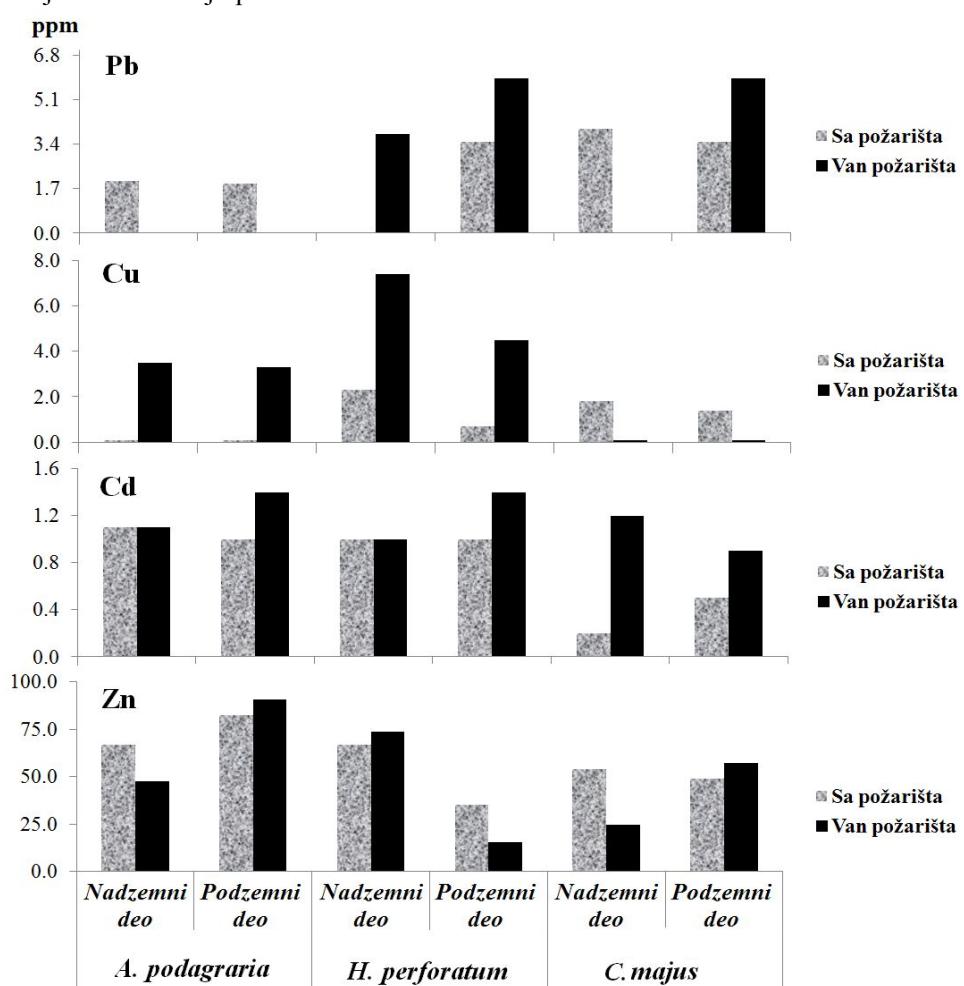
7,9 ppm (lokalitet van požarišta) cinka u ovoj frakciji. U uzorcima zemljišta biljke *A. podagraria* sa oba lokaliteta sadržaj cinka u biodostupnoj frakciji bio je ispod limita detekcije AAS metode. U ovoj frakciji, cinka najviše ima u zemljištu biljke *C. majus* sa lokalitetom požarišta (36,6 ppm). U zemljištu biljke *C. majus* sa dva posmatrana lokaliteta postoji najveća razlika u sadržaju cinka u ekstraktibilnoj frakciji; u

zemljištu koje je pretrpelo požar ga ima u koncentraciji od 48 ppm, dok je njegov sadržaj u zemljištu van požarišta bio ispod limita detekcije. U zemljištu druge dve posmatrane biljne vrste (*A. podagraria* i *H. perforatum*) situacija je obrnuta, cinka više ima na lokalitetu koji nije pretrpeo požar (68,9 i 13,5 ppm) no na požarištu (36,1 i 8,3 ppm).

Može se zaključiti da je sadržaj svih određivanih teških metala najveći u frakciji pseudototalnih kat-

jona, a najmanji u frakciji biodostupnih katjona. Osim u slučaju sadržaja cinka u ekskaktivnoj frakciji za zemljište biljaka *A. podagraria* i *H. perforatum*, koncentracije svih određivanih teških metala u svim frakcijama su uvek veće za uzorke zemljišta koja su bila izložena dejству požara.

Sadržaj navedenih teških metala u nadzemnom i podzemnom delu ispitivanih biljaka prikazan je na Slici 2.



Slika 2 - Grafički prikaz sadržaja olova, bakra, kadmijuma i cinka u nadzemnom i podzemnom delu biljaka *Aegopodium podagraria*, *Hypericum perforatum* i *Chelidonium majus* sa lokaliteta koji je pretrpeo požar i lokaliteta koji nije bio izložen vatri

Prirodne koncentracije olova u biljkama kreću se od 5-10 ppm [15]. Koncentracije olova u ispitivanim biljkama nalaze se unutar tog intervala ili su niže. Sadržaj olova u nadzemnom i podzemnom delu ispitivanih biljaka, kreće se u intervalu od koncentracije ispod granice detekcije AAS metodom (nadzemni i podzemni deo biljke *A. podagraria* sa lokalitetom van požarišta, nadzemni deo biljke *H. perforatum* sa lokalitetom koji je pretrpeo požar kao i nadzemni deo biljke *C. majus* sa lokalitetom van požarišta) do 5,9 ppm u podzemnom delu biljke *C.*

majus koja je rasla van požarišta. Podzemni delovi svih ispitivanih biljaka koje su rasle na oba lokaliteta sadrže više olova u odnosu na odgovarajuće nadzemne delove, što ukazuje da je taloženje olova kod ovih kao i kod većine biljaka intenzivnije u korenju u odnosu na nadzemne delove.

Bakar u biljnog materijalu pokazuje ponašanje suprotno olovu. Naime, nadzemni delovi sve tri biljke sadrže nešto više bakra u odnosu na odgovarajuće podzemne delove biljaka, što ukazuje da se bakar akumulira u nadzemnom delu biljaka. Najbogatija

bakrom je biljka *H. perforatum* pošto se u nadzemnim delovima ove biljke sa lokaliteta požarišta i van nalazi 2,3 ppm, tj. 7,4 ppm tog elementa. U slučaju biljke *A. podagraria* sadržaj bakra je približno jednak u biljkama koje su rasle na području koje je pretrpelo požar i onom koji nije bio izložen delovanju vatre.

Nadzemni delovi biljke *A. podagraria* sa oba lokaliteta imaju isti sadržaj kadmijuma (1,1 ppm). Isti je slučaj i sa biljom *H. perforatum* gde je prosečni sadržaj kadmijuma u nadzemnom delu biljke sa oba lokaliteta 1 ppm. Podzemni delovi sve tri biljke sa lokaliteta koji nije bio izložen dejstvu vatre sadrže veće količine kadmijuma u odnosu na biljke sa lokaliteta koji je pretrpeo požar. Najveća razlika u sadržaju kadmijuma u biljci sa lokalita požarišta i van primećena je kod nadzemnog dela biljke *C. majus* 0,2 ppm i 1,2 ppm respektivno. Uobičajen sadržaj kadmijuma u biljkama kreće se u intervalu od 0,1-2,4 ppm [20], tako da svi ispitivani uzorci sadrže kadmijum u navedenim granicama (Slika 2).

Sadržaj cinka je veći u uzorcima biljaka nego u uzorcima tla na kojem su biljke rasle. Sadržaj Zn u biljnem materijalu se kreće u intervalu od 15,4-96,9 ppm. Nadzemni delovi biljaka *A. podagraria* i *Ch. majus*, sa lokaliteta koji je pretrpeo požar sadrže više cinka u onosu na biljke sa lokaliteta koji nije bio izložen dejstvu vatre. U slučaju biljke *H. perforatum* situacija je obrnuta. Najbogatija cinkom je biljka *A. podagraria* čiji podzemni delovi sa lokaliteta požarišta i van sadrže 82,3 i 90,6 ppm cinka respektivno. Visok sadržaj cinka određen je i u uzorcima nadzemnog dela biljke *H. perforatum* i on iznosi 59,4 ppm za biljku sa lokaliteta koji je pretrpeo požar i 67,3 ppm za biljku sa lokaliteta koji nije bio izložen dejstvu vatre.

ZAKLJUČAK

Sadržaj svih određivanih teških metala najveći je u frakciji pseudototalnih katjona, a najmanji u frakciji biodostupnih katjona. Izuzetak predstavlja zemljишte na kojem raste biljka *A. podagraria* jer je u njemu sadržaj bakra i cinka najveći u frakciji ekstraktibilnih katjona. Osim u slučaju sadržaja cinka u esktraktibilnoj frakciji za zemljишte biljaka *A. podagraria* i *H. perforatum*, svi ostali uzorci zemljишta koji su pretrpeli požar karakterišu se većim sadržajem teških metala u odnosu na odgovarajuća zemljишta sa lokalitetima koji nisu bili izloženi delovanju vatre.

Podzemni delovi svih ispitivanih biljaka koje su rasle na oba lokaliteta sadrže veću koncentraciju olova u odnosu na nadzemni deo, osim u slučaju biljke *A. Podagraria*, što ukazuje da je taloženje olova kod ovih, kao i kod većine biljaka, intenzivnije u korenju u odnosu na nadzemne delove. Sadržaj cinka je veći u uzorcima biljaka nego u uzorcima tla na kojem su

biljke rasle. Nadzemni delovi sve tri biljke sadrže nešto više bakra u odnosu na odgovarajuće podzemne delove biljaka što ukazuje da se bakar akumulira u nadzemnom delu biljaka.

Podzemni delovi sve tri biljke sa lokaliteta koji nije bio izložen dejstvu vatre sadrže veće količine kadmijuma u odnosu na biljke sa lokaliteta koji je pretrpeo požar.

Dobijeni podaci o sadržaju teških metala koji pokazuju da su njihove koncentracije niže ili se nalaze u intervalu prosečne zastupljenosti u tlu i biljkama (Radojevic i Bashin, 1999), kako za uzorke sa područja koje je bilo izloženo dejstvu požara, tako sa lokaliteta koji nije bio izložen delovanju vatre. Sve to ukazuje da je ispitivano područje ekološki čisto.

Zahvalnica

Istraživanje je bilo finansijski podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Broj 172051).

LITERATURA

- [1] Alloway B.J. (1995) Heavy Metals in Soils, 2nd ed, Blackie Academic & Professional, Glasgow- London.
- [2] Amri N., Benslimane M., Zaoui H., Hamedoun M., Outiti B. (2007) Evaluation of the metals accumulate in semiples of the sediments, Siols and the plants by ICP-OES with the average seboue, M. J. Condensed Matter 8, 43-52.
- [3] Couto-Vázquez A., González-Prieto S.J. (2006) Short- and medium-term effects of three fire fighting chemicals on the properties of a burnt soil, Sci. Total Environ. 371, 353-361.
- [4] Derome J., Antti-Jussi L. (1998) Effects of heavy metal contamination on micronutrituent availabiliti and acidification parameters in forest soil in the vicinity of the Harjavalta Cu-Ni smetler, SW Finland, Envrion. Pollut. 99, 225-232.
- [5] Garcia-Marco S., González-Prieto S. (2008) Short- and medium-term effects of fire and fire-fighting chemicals on soil micronutrient availability, Sci. Total Environ. 407, 297-303.
- [6] Kastori R., Petrović N., Arsenijević-Maksimović I. (1997) Teški metali u životnoj sredini, (ed.) Naučni institut za ratarstvo povrtarstvo, Feljton, Novi Sad.
- [7] Kokaly R., Rockwell B., Haire S., King T.V. (2007) Characterization of post-fire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing, Remote Sensing Environ. 106, 305-325.
- [8] Kubova J., Matuš P., Bujdoš M., Hagarova I., Medved J. (2008) Utilization of optimized BCR three-step sequential and dilute HCl single extraction procedures of soil-plant metal transfer predictions in contaminated lands, Talanta 75, 1110-1122.
- [9] Levine S.J., Bobbe T., Ray N., Witt G.R., Singh A. (1999) Wildland Fires and the Environment: a Global Synthesis, 1st ed. EROS Data Center, SAD.
- [10] Lokeshwari H., Chandrappa T.G. (2006) Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation, Curr. Sci. 91, 622-627.

- [11] Madejon P., Maranon T., Murilloa J.M., Robinsonb B. (2004) White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests, *Environ. Pollut.* 132, 145–155.
- [12] Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, Republika Srbija, Republic of Serbia, Izveštaj o stanju životne sredine u 2007. godini. 7. Novembar 2008, www.ekoplan.gov.rs/src/download-642/upload.../izvestaj-pozari.pdf
- [13] Pereira P., Úbeda X. (2010) Spatial distribution of heavy metals released from ashes after wildfire, *J. Environ. Eng. Landsc.* 18, 13–22.
- [14] Perkin Elmer (2002) AY-5-Analysis of Plant Tissue: Wet Digestion, Analytical methods for AAS, Perkin Elmer Instruments, Release E, Perkin Elmer Corp., USA.
- [15] Radojevic M., Bashin V. (1999) Practical Environmental Analzsis, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- [16] Rainbow P., Black W. (2005) Physicochemistry or physiology: cadmium uptake and effects of salinity and osmolality in three crabs of different ecologies, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 286, 217–229.
- [17] Reimann C., Koller F., Kashulina G., Niskavaara H., Englmaier P. (2001) Influence of extreme pollution on the inorganic chemical composition of some plants, *Environ. Pollut.* 115, 239–252.
- [18] Stankov Jovanovic V.P., Ilic M.D., Markovic M.S., Mitic V.D., Nikolic Mandic S.D., Stojanovic G.S. (2011) Wild fire impact on copper, zinc, lead and cadmium distribution in soil and relation with abundance in selected plants of Lamiaceae family from VidlicMountain (Serbia), *Chemosphere* 84, 1584–1591.
- [19] Thiffault E., Hannam K.D., Quideau S.A., Paré D., Bélanger N., Oh S.W., Munson A.D. (2008) Chemical composition of forest floor and consequences for nutrient availability after wildfire and harvesting in the boreal forest, *Plant and Soil* 308, 37–53.
- [20] Tuzen M. (2003) Determination of heavy metals in soils, mushrooms and plant samples by atomic absorption spectrometry, *Microchem. J.* 74, 289–297.
- [21] Vidal M., Lopez-Sanchez J.F., Sastre J., Jimenez G., Dagnac T., Rubio R., Rauret G. (1999) Prediction of the impact of the Aznalcollar toxic spill on the trace element contamination of agricultural soils. *Sci. Total Environ.* 242, 131–148.
- [22] Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma L.Q. (2006) Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, *Sci. Total. Environ.* 368, 456–464.

ABSTRACT

IMPACT OF THE WILD FIRE ON THE CONTENT OF LEAD, ZINC, COPPER AND CADMIUM IN SOIL AND PLANT MATERIAL

*Wild fire occurred in the summer 2007 on the Vidlic Mountain (Serbia) overspreading a huge area of meadows and forests. The aim of the study was to investigate the effect of wild fire on the content of heavy metals in plants *Aegopodium podagraria*, *Hypericum perforatum* and *Chelidonium majus* belonging to the families Apiaceae, Hypericaceae and Papaveraceae. Also, we examined the content of heavy metals in soil samples on which the test plants grow a year after fire. As control samples were investigated by the appropriate plant material and soil from the site in the immediate vicinity that was not affected by the fire. Metal content in the soil was determined in the fractions of extractable, bioavailable and pseudo total cations. The content of all examined heavy metals (Pb, Cd, Cu and Zn) is the biggest in pseudo total cations fractions and the lowest in bioavailable cations fractions. The exception is the land on which the plant *A. Podagraria* grows, because the content of copper and zinc was the largest in the fraction of extractable cations. The concentration of heavy metals in all fractions was always higher in soil samples that were exposed to the fire, except in the extractible metal cations fractions of *A. podagraria* and *H. perforatum*.*

Lead is characterized by the highest concentration in the soil of all three plant species. The lead content was much greater in pseudo total cations fractions. The underground parts of plants that were grown on both locations have a higher concentration of lead in relation to the above-ground portion. The content of zinc was higher in the plant samples than in samples of soil where the plants are grown. Above-ground parts of all three examined plants contain more copper than the corresponding underground parts of the plant. The underground parts of examined plants from location that were not exposed to the fire have higher levels of cadmium than plants from the localities which suffered from the fire.

Key words: heavy metals in soil, heavy metals in plants, wildfire, *Aegopodium podagraria*, *Hypericum perforatum*, *Chelidonium majus*

Paper received: 15.09.2012.

Scientific paper