DOI: 10.5937/topola2516041G
UDK: 630*9(497.113)

Originalni naučni rad

Monitoring zemljišta na bioindikacijskim tačkama (nivo I) u AP Vojvodini, Srbija

Zoran Galić[1*], Velisav Karaklić[1], Miljan Samardžić[1], Zoran Novčić[1], Milan Drekić[1]

[1] Univerzitet u Novom Sadu, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Novi Sad, Srbija

[*] Autor za korespodenciju: Zoran Galić; e-mail: galicz@uns.ac.rs

Datum prispeća rukopisa u uredništvo: 13.08.2025; **Datum recenzije:** 21.10.2025; **Datum prihvatanja rukopisa za publikovanje:** 16.11.2025.

Apstrakt: U radu je izvršena analiza podataka monitoringa zemljišta poslednja dva uzorkovanja (2014 i 2024. godine) na 13 bioindikacijskih tačaka (BIT) u AP Vojvodini, Republika Srbija. Podaci su prikupljeni u okviru monitoringa šuma na vazdušna zagađenja u Evropi (ICP Forests) i analizirani na osnovu manuala ovog programa. Analizom su obuhvaćene najvažnije fizičke (teksturni sastav) i hemijske osobine zemljišta (pH u vodi, sadržaj $CaCO_3$, azota, ugljenika, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma, gvožđa, hroma, nikla, mangana, cinka, bakra, olova). Fizičke osobine se između dva monitoringa nisu bitnije menjale. Kada su u pitanju hemijske osobine zemljišta, reakcija zemljišnog rastvora ukazuje na smanjenje reakcije zemljišnog rastvora. Isto tako je potrebno ukazati da je povećanje reakcije zemljišnog rastvora zabeleženo na dve bioindikacijske tačke. Sadržaj lakopristupačnog kalijuma ukazuje na trend smanjivanja na većini bioindikacijskih tačaka. Trend povećanja je utvrđen za sadržaj bakra na skoro svim tačkama i na svim dubinama, kao i za olovo na najvećem broju tačaka i dubina. Najmanje povećanje sadržaja je zabeleženo za kadmijum. Korelacija između teških metala je bila najizraženija za olovo i cink. Osim navedene, na dubini od 0 do 10 cm je u 2014. godini najizraženija bila korelacija između olova i kadmijuma. Grupisanje prema opterećenosti u sloju od 0 do 10 cm ukazuje na grupisanja na velikim distancama za arenosole, kao i za solonjec i kambisol na Vršačkim planinama. Kambisoli na Fruškoj gori su se grupisali na malim distancama.

Ključne reči: monitoring, zemljište, bioindikacijske tačke, nivo I.

Original scientific paper

Soil monitoring on the level I plots in AP Vojvodina, Serbia

Abstract: The paper analyzes the soil monitoring data of the last last research period (2014 and 2024) at 13 bioindication plots (BIP) in AP Vojvodina, Republic of Serbia. The data were collected as part of the forest monitoring network in Europe (ICP Forests) and analyzed based on the manual of ICP Forests program. The analysis includes the most important soil physical (textural classes) and chemical properties (pH in water, content of $CaCO_3$, nitrogen, carbon, potassium, calcium, magnesium, iron, chromium, nickel, manganese, zinc, copper, lead). Soil samples were taken from standard depths

Copyright © 2025 Institute of Lowland Forestry and Environment.
This is an Open Access paper distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) License.

according to the ICP forests methodology. An analysis of mandatory and some optional soil properties was performed. Physical properties did not change significantly between the two monitoring periods. The soil solution reaction mostly showed a decrease in the soil solution reaction. It is also necessary to point out that an increase in the soil solution reaction was recorded at two bioindication plots. Potassium content indicates a decreasing trend at most bioindication points. An increasing trend was established for copper content at almost all points and at all depths, as well as for lead at the largest number of plots and depths. Cadmium showed the lowest rate of content growth. Lead and zinc indicated the strongest correlation among various heavy metals. In add to the aforementioned, the correlation between lead and cadmium strongest in 2014 at a depth of 0 to 10 cm. Grouping according to the heavy metal load in the layer from 0 to 10 cm on large distances was for Arenosols, as well as for Solonjec and Cambisols in the Vršac Mountains. Cambisols on Fruška Gora were grouped at small distances.

Keywords: monitoring, soil, sample plot, level I.

1. Uvod

Međunarodni kooperativni program za praćenje stanja i monitoring šuma na vazdušna zagađenja u Evropi (ICP Forests) u Srbiji se realizuje od 2003. godine. U okviru ovog programa mreža nivo-a I je ustanovljena za praćenje zdravstvenog stanja šuma. Osim prethodno navedenog, sastavni deo na nivou I je monitoring zemljišta u vremenskom intervalu od 10 godina.

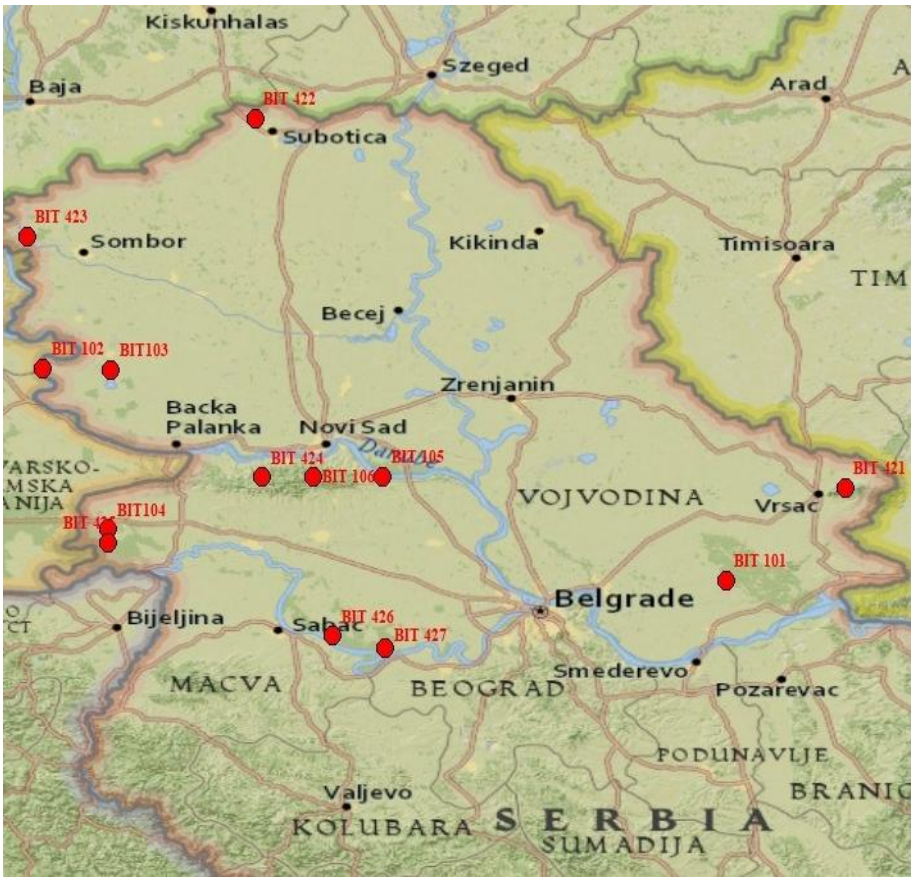
Istraživanje osobina šumskih zemljišta se u okviru programa vrše na oba nivoa monitoringa (nivo I i II). Svrha istraživanja zemljišta na evropskom nivou (nivo I) je pre svega procena osnovnih informacija o osobinama zemljišta i njegovim promenama tokom vremena. Iz ovoga proizilazi da je glavni cilj reprezentativnog istraživanja zemljišta na evropskom nivou (nivo I) da omogući procenu stanja šumskog zemljišta širom Evrope, kao i da je procene moguće izvršiti i na nacionalnom nivou (Carnicceli et al. 2025). Na osnovu promena osobina zemljišta se može analizirati osetljivost šumskog zemljišta na zagađenje vazduha, što je i osnovni cilj programa monitoringa. Pored toga što pruža podatke o mogućim promenama osobina zemljišta pod uticajem efekata atmosferskog taloženja na evropskom nivou, podaci prikupljeni u istraživanjima na nivou I mogu poslužiti i za druge studije, kao podrška proučavanjima vezanim za klimatske promene (skladištenja ugljenika) i održivo gazdovanje šumama (npr. studije bilansa hranljivih materija i vode). Kada je u pitanju acidifikacije zemljišta, može se koristiti više pristupa, a najjednostavnija metoda je analize pH vrednosti rastvora zemljišta (Carnicceli et al. 2025). Potencijal sekvestracije i skladištenja ugljenika u šumskim zemljištima u zavisi i od šumarskih operacija i aktivnosti gazdovanja šumama koje se sprovode u šumi. Postoji široko prihvaćena pretpostavka da je pod određenim klimatskim i gazdinskim uslovima sadržaj ugljenika u šumskim zemljištima u ravnoteži (Stoeva i Kirova, 2021). Monitoring teških metala je potreban iz najmanje dva razloga. Monitoring najopširnije proučavanih elemenata (Cd, Zn, Cu i Pb) je značajan za ekotoksikologiju (Nagajyoti et al. 2010), ali neki (npr. Cr, Cu, Mn, Zn) su neophodni u malim, ali kritičnim koncentracijama (Aloway, 2012). Posebno su neesencijalni metali (Cd, Hg i Pb) prepoznati kao važni zagađivači koji ulaze u šumska zemljišta putem taloženja. Radi uporedivosti podataka među zemljama, preduslov je da se iste metode za uzorkovanje i analizu zemljišta koriste u celoj mreži.

Cilj ovog rada je da se izvrši poređenje između prethodna dva istraživanja na nivou I monitoringa šumskih ekosistema u AP Vojvodini, Republika Srbija.

2. Materijal i metode

Istraživanja su obavljena na bioindikacijskim tačkama nivoa I u AP Vojvodina, Republika Srbija (slika 1) u okviru Programa praćenja uticaja prekograničnog aerozagađenja na stanje šuma u AP Vojvodini u 2014. i 2024. godini. Tokom istraživanja je izvršena analiza na 13 biotačaka u AP Vojvodini

u 2024. godini. Tipovi zemljišta su bila heterogena, tako da je prema WRB (2022) klasifikaciji arenosol determinisan u Deliblatskoj i Subotičko peščari. Na Fruškoj gori je preovlađujući tip zemljišta bio kambisol. U aluvijalnoj ravni su determinisani fluvisol i močvarno glejno zemljište. Poređenje je izvršeno na osnovu izvršenih analiza na istim bioindikacijskim tačkama u 2014. i u 2024. godini. Na taj način je formirana baza podataka o osobinama zemljišta za bioindikacijskim tačkama u AP Vojvodini. Podaci o navedenim osobinama zemljišta su sastavni deo i baze podataka fokalnog centra u Srbiji, kao i Međunarodnog koordinacionog programa za praćenje stanja šuma Evrope (ICP Forests).



Slika 1. Pregled analiziranih bioindikacijskih tačaka.
Picture 1. *Review of analyzed plots.*

Osnov za istraživanje je definisan u standardizovanim manualu za monitoring zemljišta (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual). U manualu su detaljno objašnjene procedure i metode za analizu zemljišta koje su primenjene. Izvršena je analiza obaveznih i dela opcionih osobina zemljišta. Uzorci zemljišta su uzimani sa standardnih dubina prema ICP forests metodologiji (Cools et al. 2010). Laboratorijske analize su obuhvatile: pripremu uzoraka, određivanje pH u vodi, kao i sadržaja $CaCO_3$, azota, ugljenika, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma, gvožđa, hroma, nikla, mangana, cinka, bakra, olova, granulometrijskog sastava uz određivanje teksturne klase. U radu je prikazan deo istraživanja iz prethodne dve obavezne analize zemljišta na bioindikacijskim tačkama. Podaci analiza zemljišta na biotačkama nivoa I iz 2014. i 2024. godine su dostupni i sastavni su deo izveštaja za potrebe Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije – Uprava za šume u okviru "Programa praćenja uticaja prekograničnog aerozagađenja na stanje šuma u AP Vojvodini". Podaci su statististički obrađeni u programskim paketima Excel i Statistica.

Tabela 1. Determinisani tipovi zemljišta na bioindikacijskim tačkama.
Table 1. *Soil types on bioindication plots.*

Redni broj *Number*	**Lokalitet** *Locality*	**Godina uspostavljanja** *Year of establishment*	**Broj bioindikacijske tačke** *Number of BIT*	**Tip zemljišta** *Soil type*
1	Deliblato	2003	101	Arenosol
2	Plavna	2003	102	Fluvisol
3	Branjevina	2003	103	Fluvisol
4	Morović	2003	104	Fluvisol
5	Čortanovci	2003	105	Leptosol
6	Popovica	2003	106	Kambisol
7	Vršac	2004	421	Kambisol
8	Subotica	2004	422	Arenosol
9	Bački Monoštor	2004	423	Solonjec
10	Andrevlje	2004	424	Kambisol
11	Raškovica	2004	425	Močvarno glejno
12	Klenak	2004	426	Močvarno glejno
13	Kupinovo	2004	427	Močvarno glejno

3. Rezultati

Rezultati istraživanja sadrže jedan deo podataka monitoringa zemljišta u cilju da se pokušaju objasniti pojave u zemljištima gde se vrši ovaj monitoring.

Krećući od formule (Jenny, 1941) o faktorima nastajanja zemljišta S = f(cl, o, r, p, t, …) potrebno je ukazati da li je došlo do promena faktora u nastajanju zemljišta na bioindikacijskim tačkama. Analizom faktora nastajanja zemljišta se može konstatovati da reljef (r) i matični supstrat (p) nisu pretrpeli bitne promene od poslednjeg uzorkovanja na bioindikacijskim tačkama. Na svim bioindikacijskim tačkama se neznatno promenilo vreme nastajanja zemljišta (t). Na jednoj površini je došlo do obnavljanja površine, vegetacije (o), što predstavlja bitnu promenu u razvoju zemljišta. Poređenjem dva klimatska perioda (cl) na svim bioindikacijskim tačkama se uočava da je uzorkovanje u 2024. godini vršeno u prosečno toplijim periodu od 0.52°C do 0.61°C. Najveće povećanje srednje godišnje temperature je između dva uzorkovanja utvrđeno za meteorološku stanicu Rimski Šančevi. U vegetacionom periodu je povećanje neznatno manje i iznosilo je od 0.41°C do 0.47°C).

Tabela 1. Temperatura vazduha - meteorološka stanica Rimski Šančevi (RHMZ, 1984-2023).
Table 1. *Air temperature - meteorological station Rimski Šančevi (RHMZ, 1984-2023).*

Period *Period*	**Temperatura vazduha (°C)/*Air temperature (°C)***							
	Srednja godišnja *Mean annual*	**Vegetacioni period** *Vegetative period*	**April** *April*	**Maj** *May*	**Jun** *June*	**Jul** *July*	**Avgust** *August*	**Septembar** *September*
1994-2023	12.12	18.81	12.30	17.39	21.12	22.75	22.42	17.32
1984-2013	11.51	18.41	12.02	17.24	20.23	22.12	21.87	17.00
Razlika *Difference*	0.61	0.47	0.28	0.15	0.89	0.64	0.55	0.32

Tabela 2. Temperatura vazduha - meteorološka stanica Sombor (RHMZ, 1984-2023).
Table 2. *Air temperature – meteorological station Sombor (RHMZ, 1984-2023).*

Period *Period*	**Temperatura vazduha (°C)/*Air temperature (°C)***							
	Srednja godišnja *Mean annual*	**Vegetacioni period** *Vegetative period*	**April** *April*	**Maj** *May*	**Jun** *June*	**Jul** *July*	**Avgust** *August*	**Septembar** *September*
1994-2023	11.78	18.66	12.10	17.19	21.08	22.66	22.06	16.84
1984-2013	11.26	18.25	11.82	17.09	20.30	22.14	21.60	16.55
Razlika *Difference*	0.52	0.41	0.28	0.10	0.78	0.52	0.46	0.29

Tabela 3. Temperatura vazduha - meteorološka stanica Sremska Mitrovica (RHMZ, 1984-2023).
Table 3. *Air temperature – meteorological station Sremska Mitrovica (RHMZ, 1984-2023).*

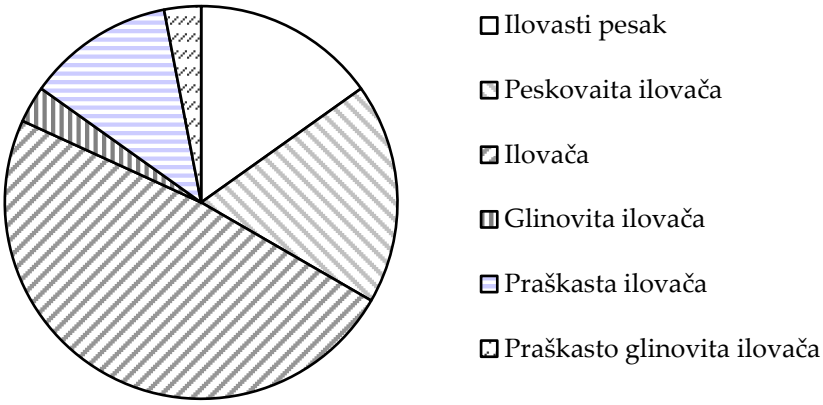
Period *Period*	**Temperatura vazduha (°C)/*Air temperature (°C)***							
	Srednja godišnja *Mean annual*	**Vegetacioni period** *Vegetative period*	**April** *April*	**Maj** *May*	**Jun** *June*	**Jul** *July*	**Avgust** *August*	**Septembar** *September*
1994-2023	11.87	18.59	12.16	17.33	20.86	22.29	21.90	16.99
1984-2013	11.34	18.17	11.96	17.18	20.04	21.74	21.44	16.66
Razlika *Difference*	0.53	0.42	0.20	0.16	0.83	0.55	0.47	0.33

Tabela 4. Temperatura vazduha - meteorološka stanica Zrenjanin (RHMZ, 1984-2023).
Table 4. *Air temperature – meteorological station Zrenjanin (RHMZ, 1984-2023).*

Period *Period*	**Temperatura vazduha (°C)/*Air temperature (°C)***							
	Srednja godišnja *Mean annual*	**Vegetacioni period** *Vegetative period*	**April** *April*	**Maj** *May*	**Jun** *June*	**Jul** *July*	**Avgust** *August*	**Septembar** *September*
1994-2023	12.23	19.10	12.39	17.57	21.30	23.06	22.72	17.56
1984-2013	11.63	18.63	12.20	17.41	20.48	22.38	22.11	17.17
Razlika *Difference*	0.60	0.47	0.19	0.16	0.82	0.67	0.61	0.39

Na svim meteorološkim stanicama je najveće povećanja temperatura zabeleženo za mesec jun (od 0.78°C - Sombor do 0.89°C – meteorološka stanica Rimski Šančevi).

Analizom granulometrijskog sastava je utvrđena minimalna razlika između dva uzorkovanja (2024. i 2014. godine) tako da se rezultati neće prikazivati u rezultatima istraživanja. Na navedenu činjenicu ukazuje da je samo na uzorku u Subotici (BIT 422) trebalo da se izvrši korekcija teksturne klase pesak u ilovasti pesak.



Slika 2. Teksturne klase iz monitoringa u 2014. godini.
Picture 2. *Textural class from monitoring in 2014.*

Reakcija zemljišnog rastvora se određuje u vodi i u kalijum hloridu. Analizom podataka za reakciju zemljišnog rastvora u kalijum hloridu je utvrđeno da je kod 84.62% utvrđeno smanjenje vrednosti u odnosu na prethodno istraživanje (tabela 1). U obzir su uzete sve dubine uzorkovanja. Na ovaj način analizirani podaci ukazuju da samo na dve bioindikacijske tačke (Andrevlje BIT 424 i Raškovaca BIT 425) u proseku nije utvrđeno smanjenje reakcije zemljišnog rastvora u kalijum hloridu. Osim toga, prosečni podaci ukazuju i na veće smanjenje reakcije zemljišnog rastvora sa povećanjem dubine.

Tabela 5. Smanjenje pH u KCl prema istraživanjima u 2024. godinu u odnosu na 2014. godinu.
Table 5. *Decrease of pH in KCl in 2024 compared to 2014.*

Lokalitet *Locality*	**Broj bioindikacijske tačke** *Number of BIT*	**Dubina zemljišta (cm)/*Soil depth (cm)***			**Prosečno** *Average*
		0-10	**10-20**	**20-40**	
Deliblato	BIT 101	-0.51	-0.08	-0.13	-0.24
Plavna	BIT 102	-0.39	-0.51	-0.74	-0.55
Branjevina	BIT 103	-1.10	-1.49	-1.76	-1.45
Morović	BIT 104	-1.14	-1.09	-0.84	-1.02
Čortanovci	BIT 105	-0.20	-0.21	0.03	-0.13
Popovica	BIT 106	0.23	-0.04	-0.53	-0.11
Vršac	BIT 421	-0.24	-0.91	-0.92	-0.69
Subotica	BIT 422	-1.34	-1.21	-1.54	-1.36
Bački Monoštor	BIT 423	-0.75	-1.00	-1.25	-1.00
Klenak	BIT 426	-0.32	-0.45	-0.47	-0.41
Kupinovo	BIT 427	-0.41	-0.49	-0.64	-0.51
Prosečno/*Average*		-0.56	-0.68	-0.79	-0,68
Mediana/*Median*		-0.41	-0.51	-0.74	-0,55

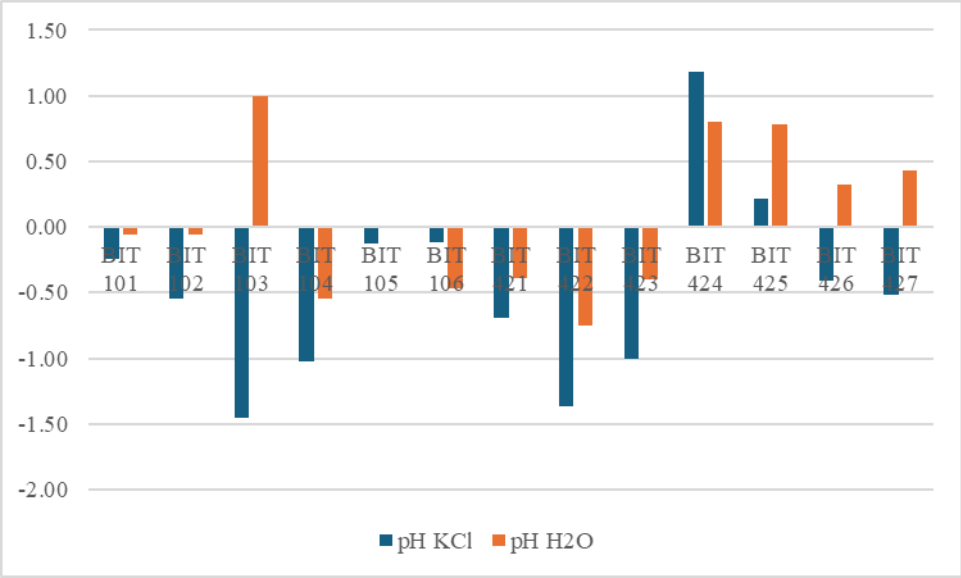
Analizom podataka za reakciju zemljišnog rastvora u vodi je utvrđeno na manjem broju lokaliteta (61.54%) u odnosu na reakciju zemljišta u kalijum hloridu. Kao i kod prethodne analize uzete su obzir sve dubine uzorkovanja. Veće smanjenje reakcije zemljišnog rastvora u vodi je utvrđeno na manjim dubinama, i smanjuje se sa povećanjem dubine.

Tabela 6. Smanjenje pH u vodi prema istraživanjima u 2024. godinu u odnosu na 2014. godinu.
Table 6. *Decrease of pH in H_2O in 2024 compared to 2014.*

Lokalitet *Locality*	**Broj bioindikacijske tačke** *Number of BIT*	**Dubina zemljišta (cm)/*Soil depth (cm)***			**Prosečno** *Average*
		0-10	**10-20**	**20-40**	
Deliblato	BIT 101	-0.57	0.13	0.28	-0.05
Plavna	BIT 102	-0.07	0.02	-0.13	-0.06
Branjevina	BIT 103	1.73	1.61	-0.35	1.00
Morović	BIT 104	-0.83	-0.47	-0.34	-0.55
Popovica	BIT 106	-0.27	-0.34	-0.79	-0.47
Vršac	BIT 421	-0.49	-0.29	-0.38	-0.39
Subotica	BIT 422	-2.10	-0.13	-0.03	-0.75
Bački Monoštor	BIT 423	-0.52	-0.73	0.04	-0.40
Prosečno/*Average*		-0.21	0.07	-0.11	-0.08
Mediana/*Median*		-0.27	0.02	-0.13	-0.06

Podaci reakcija zemljišta zemljišta ukazuju da je smanjenje reakcije zemljišnog rastvora utvrđeno na najmanje 61.54% bioindikacijskih tačaka. Uz ovu konstataciju mora se uzeti u obzir da je smanjenje rekacije zemljišnog rastvora u kalijum hloridu utvrđeno na 84.62% bioindikacijskih tačaka u AP Vojvodini.

Povećanje reakcije zemljišnog rastvora i za pH u KCl i u pH u H_2O je zabeleženo na dve BIT (BIT 424 i BIT 425). Povećanje pH u H_2O je zabeleženo za još tri BIT (BIT 103, 426 i 427).



Slika 3. Uporedna analiza promene pH zemljišta u KCl i H_2O.
Picture 3. *Comparative analysis of soil pH in KCl and H_2O change.*

Analizom podataka za sadržaj ugljenika je utvrđeno je došlo do smanjenja na 7 lokaliteta (53.85%). U proseku je najveće smanjenje na lokalitetu u Subotici (BIT 422), što se može povezati sa činjenicom da je šuma obnovljena. Najveće smanjenje sadržaja ugljenika je utvrđeno na 10 cm dubine.

Tabela 7. Smanjenje sadržaja ugljenika (%) u 2024. godinu u odnosu na 2014. godinu.
Table 7. *Decrease of carbon content* (%) *in 2024 compared to 2014.*

Lokalitet *Locality*	**Broj bioindikacijske tačke** *Number of BIT*	**Dubina zemljišta (cm)/*Soil depth (cm)***			**Prosečno** *Average*
		0-10	**10-20**	**20-40**	
Plavna	BIT 102	-0.67	-0.72	0.19	-0.40
Branjevina	BIT 103	-1.17	-0.48	-0.44	-0.70
Čortanovci	BIT 105	-5.10	-0.75	0.04	-1.93
Subotica	BIT 422	-8.14	-0.02	0.45	-2.56
Bački Monoštor	BIT 423	-0.95	-1.02	-0.33	-0.76
Klenak	BIT 426	-2.19	-0.47	0.37	-0.76
Kupinovo	BIT 427	-3.99	-0.34	0.01	-1.44
Prosečno/*Average*		-3.18	-0.55	0.04	-1.22
Mediana/*Median*		-2.19	-0.49	0.04	-0.77

Analizom sadržaja kalijuma i kalcijuma je utvrđeno smanjenje sadržaja kalijuma na 69.23 do 76.92% svih analiziranih dubina BIT. Sadržaj kalcijuma se smanjio samo u jednom sloju na dubini od 0-10 cm na BIT 101 (Deliblatska peščara).

Tabela 8. Promena sadržaja kalijuma i kalcijuma (%) na bioindikacijskim tačkama.
Table 8. *Potassium and calcium content change* (%) *at the bioindication points.*

Dubina zemljišta (cm) *Soil depth (cm)*	**Promena sadržaja (%) / *Content change (%)***	
	K	**Ca**
0-10	-76.92	-7.68
10-20	-76.92	0.00
20-40	-69.23	0.00

Prema uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija (Službeni glasnik 30/2018 i 64/2019) nijedan od teških metala ne prelazi remedacionu vrednost.

Tabela 9. Promena sadržaja teških metala (%) na bioindikacijskim tačkama.
Table 9. *Haevy metals content change* (%) *at the bioindication points.*

Dubina zemljišta (cm) *Soil depth (cm)*	**Promena sadržaja (%) / *Content change (%)***				
	Pb	**Cu**	**Cd**	**Zn**	**Mn**
0-10	46.15	92.31	15.38	38.46	92.31
10-20	61.54	100.00	15.38	46.15	15.38
20-40	61.54	100.00	0.00	38.46	23.08

Na bioindokacijskim tačkama BIT najveće povećanje sadržaja je utvrđeno za bakar na skoro svim tačkama na svim dubinama, kao i za olovo na najvećem broju tačaka i dubina (od 46.15 do 61.54%). Najmanje povećanje sadržaja je zabeleženo za kadmijum (do 15.38%) na bioindikacijskim tačkama - BIT. Korelacija između teških metala je po čitavoj dubini od 0 do 40 cm u oba perioda istraživanja bila najizraženija za olovo i cink.

Tabela 10. Korelacija između teških metala po dubini od 0 do 40 cm (u 2024 levo, 2014 desno).
Table 10. *Correlation between heavy metals by depth from 0 to 40 cm (in 2024 on the left, 2014 on the right).*

2024	Pb	Cu	Cd
Zn	0.866	0.138	0.583
Cd	0.610	0.283	
Cu	0.214		

2014	Pb	Cu	Cd
Zn	0.688	0.668	0.328
Cd	0.654	0.220	
Cu	0.677		

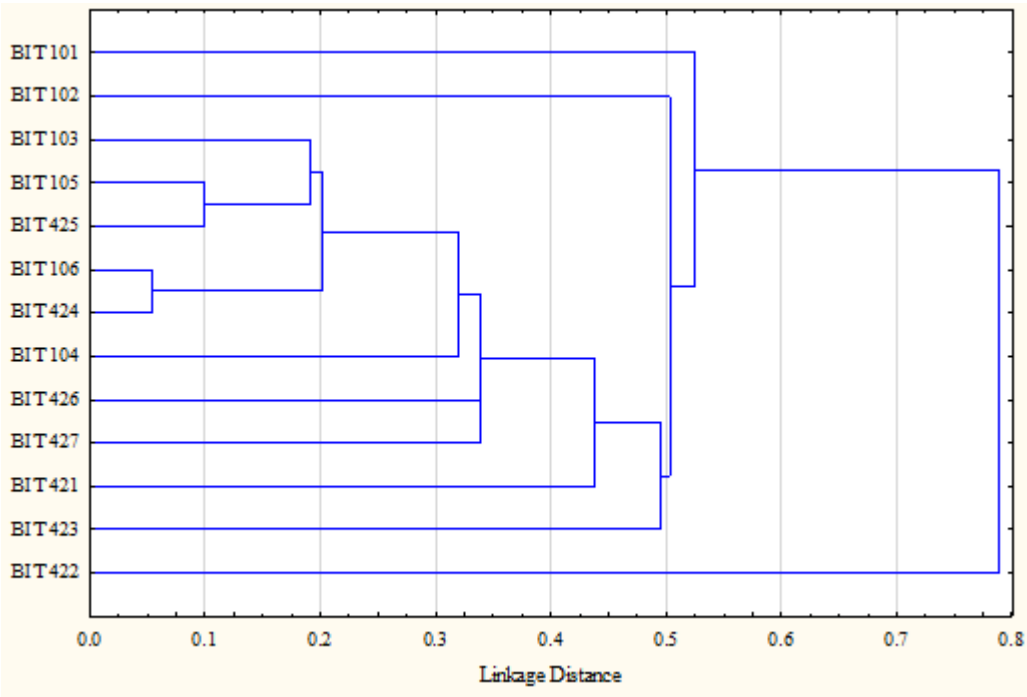
Na dubini od 0 do 10 cm je u 2014. godini najizraženija bila korelacija između olova i kadmijuma, dok je u 2024. godini najizraženija bila korelacija između olova i cinka.

Tabela 11. Korelacija između teških metala po dubini od 0 do 10 cm (u 2024 levo, 2014 desno).
Table 11. *Correlation between heavy metals by depth from 0 to 10 cm (in 2024 on the left, 2014 on the right).*

2024	Pb	Cu	Cd
Zn	0.879	0.807	0.731
Cd	0.782	0.572	
Cu	0.870		

2014	Pb	Cu	Cd
Zn	0.660	0.583	0.417
Cd	0.804	0.217	
Cu	0.533		

Grupisanje prema opterećenosti u sloju od 0 do 10 cm ukazuje na grupisanja na velikim distancama za arenosole (BIT 101 i BIT 422), kao i za solonjec i kambisol na Vršačkim planinama (BIT 421 i BIT 423). Kambisoli na Fruškoj gori su se grupisali na malim distancama (BIT 106 i BIT 424). Osim navedenih, na malim distancama su se grupisali i leptosol i močvarno glejno zemljište (BIT 105 i BIT 425).



Slika 11. Dendrogram klaster analize za opterećenost teškim metalima na dubini od 0 do 10 cm.
Picture 11. *Dendrogram of cluster analysis for heavy metal loading at a depth ranging from 0 to 10 cm.*

4. Diskusija

Diskusijom rezultata istraživanja su obuhvaćeni trendovi promena fizičkih i hemijskih osobina zemljišta sa potencijalnom mogućnošću uticaja i na kvalitet zemljišta. U procesu nastajanja zemljišta se promenio faktor klime odnosno na svim bioindikacijskim tačkama se zemljište prosečno razvijalo u toplijim klimatskim uslovima (povećanje srednje godišnje temperature vazduha od 0.52°C do 0.61°C). U vegetacionom periodu je povećanje srednje temperature bilo nešto manje (od 0.41°C do 0.47°C).

Granulometrijski sastav šumskog zemljišta se može prirodno menjati kroz razne procese u dužem vremenskom periodu, a najčešći uzroci su erozije, kao i ljudske aktivnosti poput neadekvatnog gazdovanja šumama. U slučaju adekvatnog gazdovanja šumama ovaj indikator kvaliteta zemljišta je svrstan u statičke indikatore (Doran and Parkin, 1994). Na bioindikacijskim tačkama u okviru poređenja podataka dva poslednje analize nisu utvrđene razlike u fizičkim osobinama zemljišta.

Reakcija zemljišnog rastvora (pH vrednost) zemljišta je važan pokazatelj kvaliteta zemljišta (Yang et al. 2015). Prema istom autoru uticaj klimatskih promena i antropogenih aktivnosti na pH vrednost zemljišta ostaju kontroverzni. Rezultati istraživanja se kreću od smanjenja pH vrednosti (Lapenis et al. 2004; Warby et al. 2009; Bedison et al. 2010; Hédl et al. 2011) do znatnog povećanja pH vrednosti (Kirk et al. 2010). Podaci istraživanja potvrđuju da je u najvećoj meri utvrđeno smanjenje reakcije zemljišnog rastvora. Isto tako je potrebno istaći da je smanjenje reakcije zemljišnog rastvora u kalijum hloridu utvrđeno na 84.62% bioindikacijskih tačaka u AP Vojvodini. Sa druge strane povećanje reakcije zemljišnog rastvora i za pH u KCl i u pH u H_2O je zabeleženo na dve bioindikacijske tačke. Nejasan trend je zabeležen za još tri bioindikacijske tačke.

Sadržaj kalijuma je smanjen na 69.23 do 76.92% svih analiziranih dubina na bioindikacijskim tačkama - BIT. Dosadašnja istraživanja ukazuju na problem od razumevanja fluksa kalijuma, kao i uloge antropogenih aktivnosti u tim tokovima. Sardans et al. (2015) navode da rastuća aridnost na globalnom nivou čini ulogu kalijuma kritičnijim zbog njegove uloge u efikasnosti korišćenja vode. U narednim dekadama monitoringa je iz ovog razloga potrebno obratiti pažnju na promene kalijuma i u šumskim zemljištima. Procena budžeta osnovnih zamenljivih katjona izgleda kao indikator koji omogućava jasnije razumevanje mogućeg ograničenog zakiseljavanje zemljišta.

Na bioindikacijskim tačkama BIT najveće povećanje sadržaja teških metala je utvrđeno za bakar na skoro svim tačkama i na svim dubinama, kao i za olovo na najvećem broju tačaka i dubina. Korelacija između teških metala je u oba perioda istraživanja bila najizraženija za olovo i cink. Navedene korelacije za podatke iz 2014. godine su bliske podacima istraživanja na evropskoj mreži nivoa I (Bommarez et al. 2021). Međutim, znatno veća korelacija je konstatovana za istraživanja sprovedena u 2024. godini. S obzirom, da su istraživanja zemljišta na evropskom nivou sprovedena u par poslednjih godina, poređenje je potrebno izvršiti po dostupnosti podataka.

5. Zaključak

U radu su predstavljeni podaci dva uzastopna monitoringa na nivou I na 13 bioindikacijskih tačaka – BIT u AP Vojvodini, Republika Srbija. Ustanovljeno je da se zemljište prosečno razvijalo u toplijim klimatskim uslovima.

Najvažnije fizičke osobine zemljišta se između dva monitoringa se nisu promenile. U najvećoj meri utvrđeno smanjenje reakcije zemljišnog rastvora. Nejasan trend je zabeležen na tri bioindikacijske tačke, što je u saglasnosti sa dosadašnjim istraživanjima.

Sadržaj kalijuma ukazuje na trend smanjivanja na većini bioindikacijskih tačaka. Iz ovog razloga je potrebno da se u narednim dekadama monitoringa obrati pažnja na promene sadržaja kalijuma i u šumskim zemljištima. Procena budžeta osnovnih zamenljivih katjona može u budućnosti biti indikator koji omogućava jasnije razumevanje mogućeg ograničenog zakiseljavanje zemljišta.

Kada su u pitanju teški metali na bioindikacijskim tačkama BIT najveće povećanje sadržaja je utvrđeno za bakar na skoro svim tačkama na svim dubinama, kao i za olovo na najvećem broju tačaka i dubina. Najmanje povećanje sadržaja je zabeleženo za kadmijum. Korelacija između teških metala je

bila najizraženija za olovo i cink. Osim navedene, na dubini od 0 do 10 cm je u 2014. godini najizraženija bila korelacija između olova i kadmijuma. Grupisanje prema opterećenosti u sloju od 0 do 10 cm ukazuje na grupisanja na velikim distancama za arenosole, kao i za solonjec i kambisol na Vršačkim planinama. Kambisoli na Fruškoj gori su se grupisali na malim distancama. Osim kambisola na Fruškoj gori, na malim distancama su se grupisali i leptosol i močvarno glejno zemljište.

Zahvalnica

Sredstva za realizaciju istraživanja obezbedilo je Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije – Uprava za šume, u okviru "Programa praćenja uticaja prekograničnog aerozagađenja na stanje šuma u AP Vojvodini u 2025. godini".

Literatura

1. Aloway, B.J. (2012): Heavy metals in soils: trace metals and metaloids in soils and their bioavailability. Volume 22. Springer Science & Business Media.
2. Bedison, J.E., Johnson A.H. (2010): Seventy-four years of calcium loss from forest soils of the Adirondack Mountains, New York. Forest, Range, and Wildland Soils 74: 2187–2195.
3. Bommarez, T., Cools, N., De Vos, B. (2021): Heavy metals in forest floors and topsoils of ICP Forests Level I plots. Forest Soil Coordinating Centre of ICP Forests. Report of the Research Institute for Nature and Forest 2021 (5). Research Institute for Nature and Forest, Brussels.
4. Carnicelli, S., Chelli, S., Cecchini, G., Ciampalini, R., Campetella, G., Andreetta, A. (2025): 30 years of forest soil monitoring: results from the Italian ICP-Forests network. Forests 16: 231.
5. Cools, N., de Vos, B., (2010): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part X, Sampling and Analysis of Soil. UNECE, ICP Forests, Hamburg, pp. 189.
6. Doran, J.W., Parkin, T.B. (1994): Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdick, D.F., Stewart, B.A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America. Special Publication No. 35: pp. 3-21.
7. Hédl, R., Petrik, P., Boublik, K. (2011): Long-term patterns in soil acidification due to pollution in forests of the Eastern Sudetes Mountains. Environmental Pollution 159: 2586–2593.
8. IUSS Working Group WRB (2022): World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. International Union of Soil Sciences (IUSS), 4th edition, Vienna, Austria.
9. Lapenis, A.G., Lawrence, G.B., Andreev, A.A., Bobrov, A.A., Torn, M.S., Harden, J.W. (2004): Acidification of forest soil in Russia: From 1893 to present. Global Biogeochemical Cycles 18: GB1037.
10. Jenny, H. (1941): Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. Dover Publications, New York, pp. 281.
11. Kirk, G.J.D., Bellamy, P.H., Lark, R.M. (2010): Changes in soil pH across England and Wales in response to decreased acid deposition. Global Change Biology 16: 3111–3119.
12. Sardans, J., Penuelas, J. (2015): Potassium: a neglected nutrient in global change. Global Ecology and Biogeography 24: 261-275.
13. Stoeva, L. Kirova L. (2021): Assessing the carbon stock changes in forest soils in Bulgaria. Silva Balcanica 22(3): 69-78.
14. Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T. (2010): Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters 8(3); 199–216.
15. Warby, R.A.F., Johnson, C.E., Driscoll, C.T. (2009): Continuing acidification of organic soils across the Northeastern USA: 1984–2001. Soil Science Society of America Journal 73: 274–284.

16. Yang, Y., Li, P., He, H., Zhao, X., Datta, A., Ma, W., Zhang, Y., Liu, X., Han, W., Wilson, M.C., Fang, J. (2015): Long-term changes in soil pH across major forest ecosystems in China. Geophysical Research Letters 42: 933–940.
17. RHMZ (1994-2023): http://www.hidmet.gov.rs/, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, Republika Srbija.
18. Službeni glasnik RS (br. 30/2018 i 64/2019): Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu.