



**BOŠ**  
BEOGRADSKA  
OTVORENA  
ŠKOLA



Ovaj projekat finansira  
Evropska unija



**#EY  
3A TEBE**

# Biomonitoring kvaliteta vazduha

Prof. dr Snežana Šerbula

Univerzitet u Beogradu  
Tehnički fakultet u Boru



Mladi  
istraživači  
Srbije  
Volonterski servis Srbije



INŽENJERI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

**FRIEDRICH  
EBERT  
STIFTUNG**

Bor, novembar 2021.

# 1. UVOD



■ **Monitoring zagađenja vazduha klasičnim instrumentalnim metodama.**

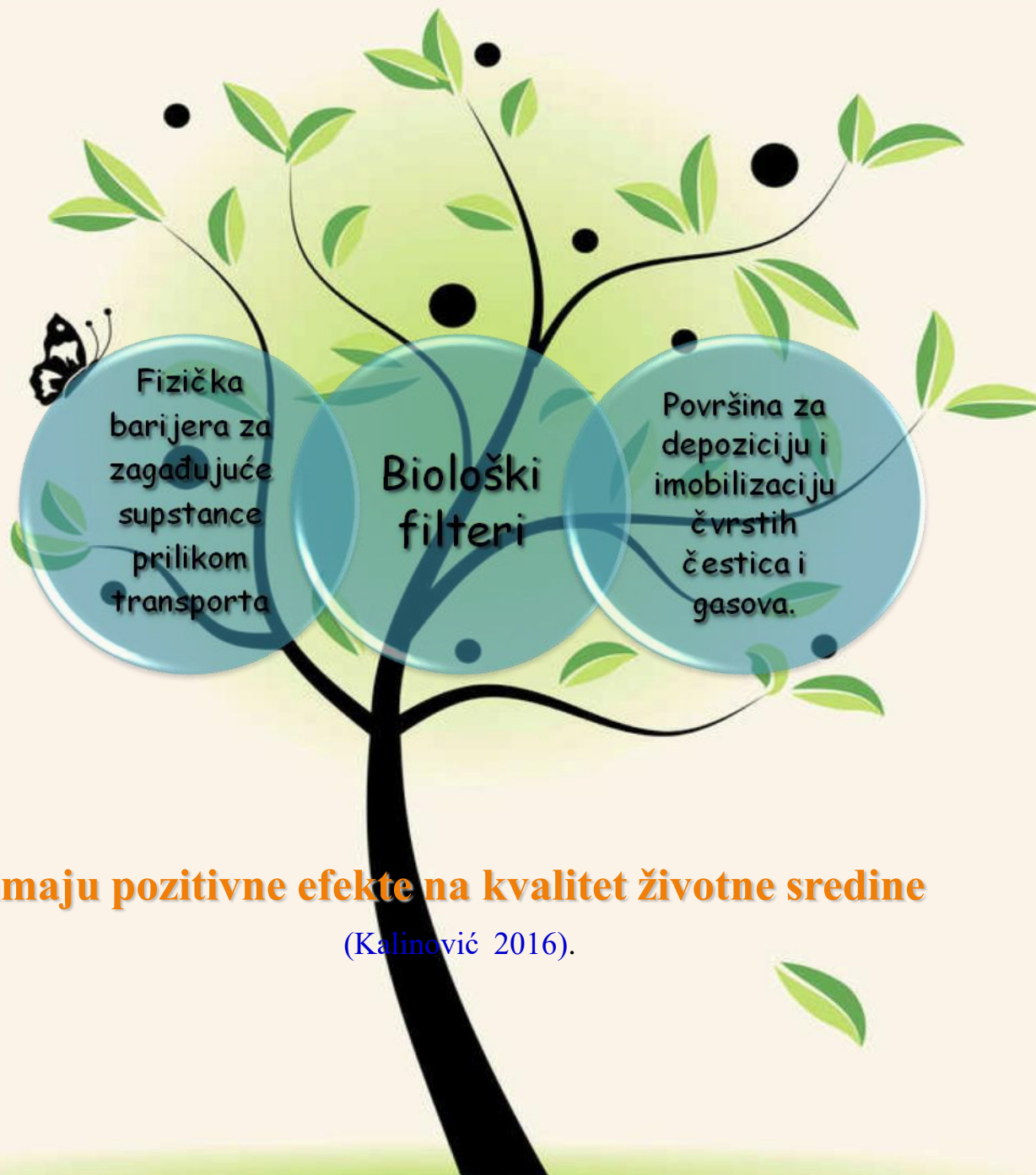
■ **Biomonitoring - ocena kvaliteta životne sredine, korišćenjem bio-materijala i živih organizama.**

■ **Osnova za korišćenje biljaka u biomonitoringu zagađenja vazduha – sposobnost da na/u svojim nadzemnim delovima zadrže čvrste čestice iz vazduha.**

■ **Osnova za korišćenje biljaka u fitoremedijaciji - usvajanje zagađujućih supstanci iz vazduha.**

■ **Pokretačka snaga za funkcionisanje i opstanak biljnog sveta-solarna energija**



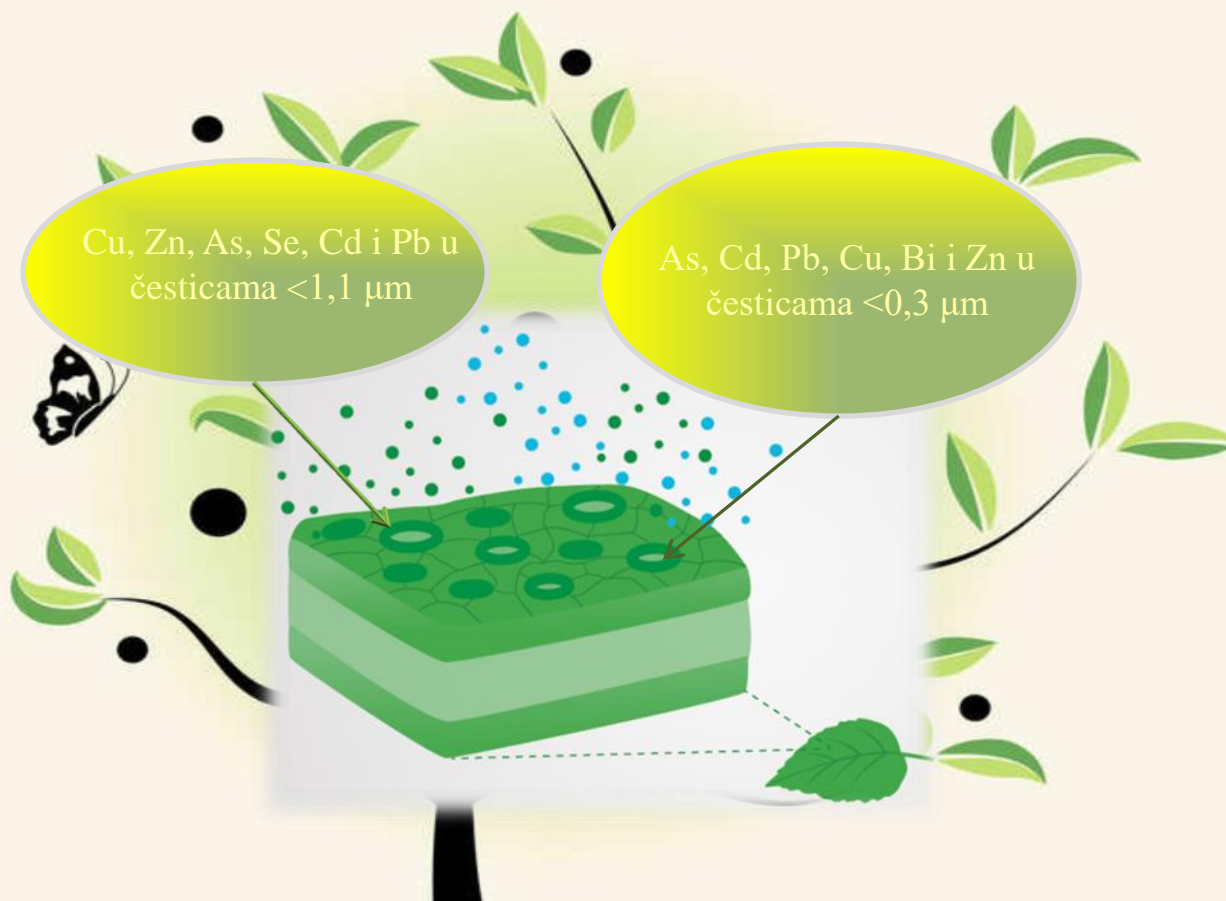


**Biljke imaju pozitivne efekte na kvalitet životne sredine**

(Kalinović 2016).



## Čestice manje od 2 $\mu\text{m}$ mogu dospeti u šupljine stoma lista

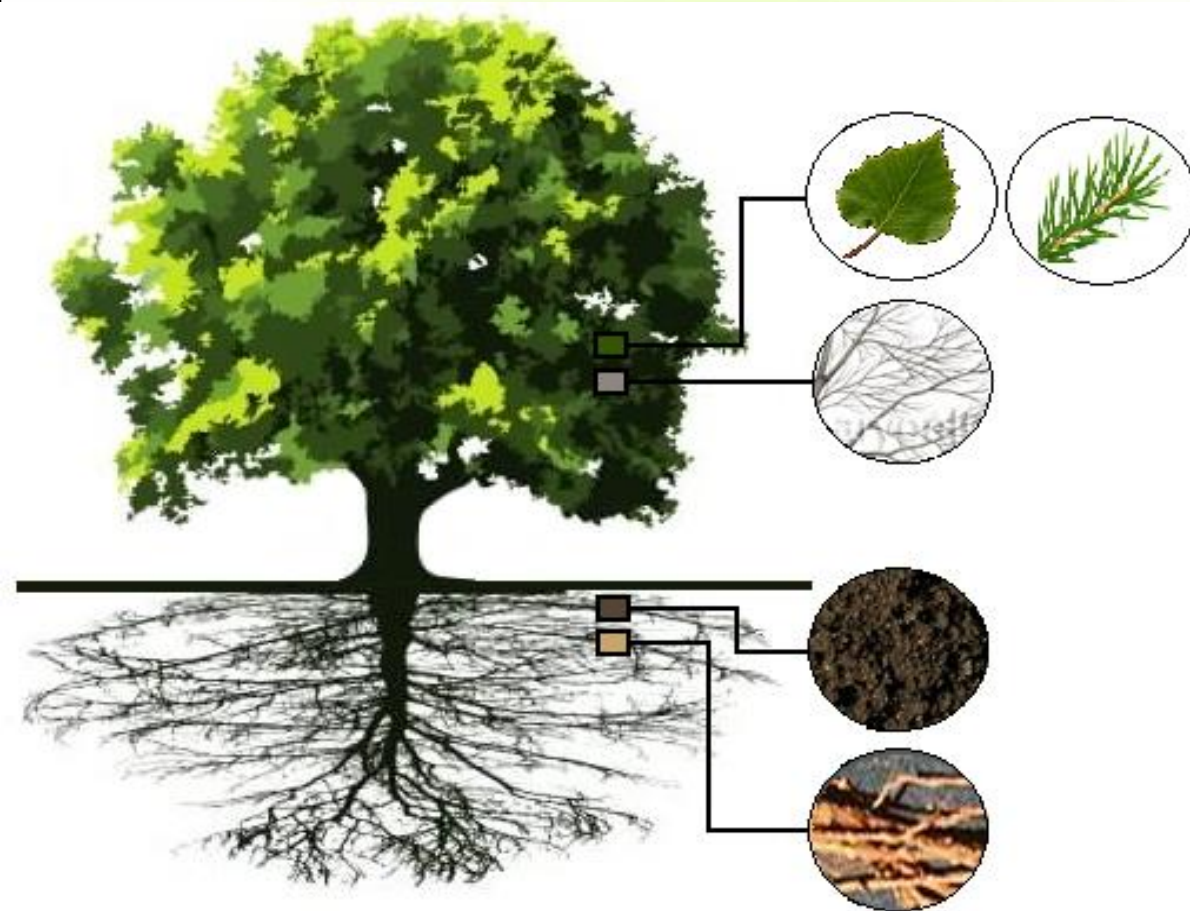


Na zadržavanje čestica na lišću utiču i fizičke, hemijske i morfološke osobine površine lišća.

(Kabata-Pendias, 2011)

## Biomonitoring

- Metoda za praćenje i procenu zagađenja životne sredine koja koristi bio-materijale i žive organizme tj. biomonitore kao što su biljke, životinje, ljudi itd.
- Biomonitori akumuliraju zagađujuće supstance u svojim tkivima.
- Folijarni delovi zimzelenog i listopadnog drveća – pasivni uzorkivači u životnoj sredini.





# Biljke i zagađujuće supstance

## Principi interakcija biljaka i zagađujućih supstanci



Od čega zavisi količina metala/metaloida koju biljka usvaja iz životne sredine

U većoj meri od koncentracija biodostupnih oblika, nego od ukupnih koncentracija u zemljištu.



Lako biodostupni  
(Cd, Ni, Zn, As, Se, Cu);



Umereno biodostupni  
(Co, Mn, Fe)

Najmanje biodostupni  
(Pb, Cr, U)



# MATERIJALI I METODE RADA

## Opis ispitivanog područja

### *Rudarske i metalurške aktivnosti u Boru i okolini*

Površinski kop rudnika bakra Cerovo



Površinski kop rudnika bakra Veliki Krivelj



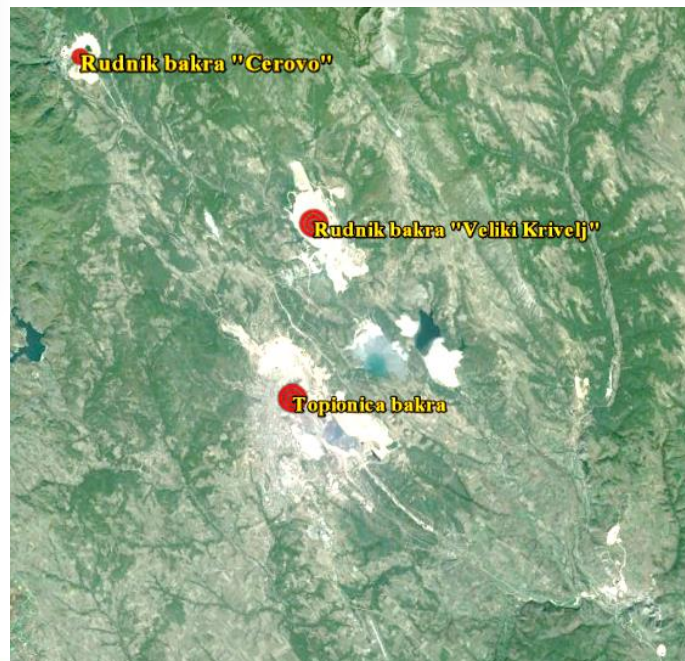
Deo odlagališta raskrivke rudnika bakra Veliki Krivelj



Odlagalište raskrivke rudnika bakra Cerovo



Topionica bakra



Staro flotacijsko jalovište u Boru



Flotacijsko jalovište u upotrebi



### 5.1.3. Zone uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta

**Tabela 5.** Opis zona i mesta uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta

Zona	Mesto uzorkovanja	Lokacija/Glavni izvori zagađenja
Urbano–industrijska	UI	<b>Grad Bor, oblast od 0,5-2,5 km jugo-zapadno od topionice</b> ✓ Na pravcu dominantnih vetrova koji donose zagađenje iz topionice ✓ Prašina sa odlagališta raskrivke i flotacijskog jalovišta ✓ Emisija iz energane i toplane ✓ Saobraćaj
Urbana	U	<b>Grad Bor, &gt;2,5 km jugo-zapadno od topionice</b> ✓ Periodično zagađenje iz topionice i sa flotacijskih jalovišta u Boru
Suburbana	SU	<b>Naselje, oko 2,5 km severo-zapadno od topionice</b> ✓ Zagađenje iz topionice ✓ Prašina sa odlagališta raskrivke
Industrijska	I1	<b>Okolina Rudnika bakra Veliki Krivelj, 5,5 km severno od topionice, u blizini sela Veliki Krivelj</b> ✓ Prašina sa odlagališta raskrivke i površinskog kopa ✓ Zagađenje iz topionice
	I2	<b>Okolina Rudnika bakra Cerovo, 11 km severo-zapadno od topionice</b> ✓ Prašina sa odlagališta raskrivke i površinskog kopa
Turistička	T1	<b>Brestovačka banja, 5 km jugozapadno od topionice</b> ✓ Periodično zagađenje iz topionice
	T2	<b>Borsko jezero, 8 km zapad-severo-zapadno od topionice bakra</b> ✓ Periodično zagađenje iz topionice
Ruralna	R1	<b>Seosko naselje, 4,5 km istok-jugo-istočno od topionice</b> ✓ Prašina sa flotacijskog jalovišta rudnika bakra Veliki Krivelj, koje se nalazi 1-2 km severno od sela Oštrej ✓ Zagađenje iz topionice
	R2	<b>Seosko naselje, 6,5 km jugo-istočno od topionice</b> ✓ Zagađenje iz topionice
Kontrolna	K	<b>Okolina sela Gornjane, 17 km severno od topionice</b> ✓ Bez uticaja zagađenja iz rudničkih i metalurških postrojenja



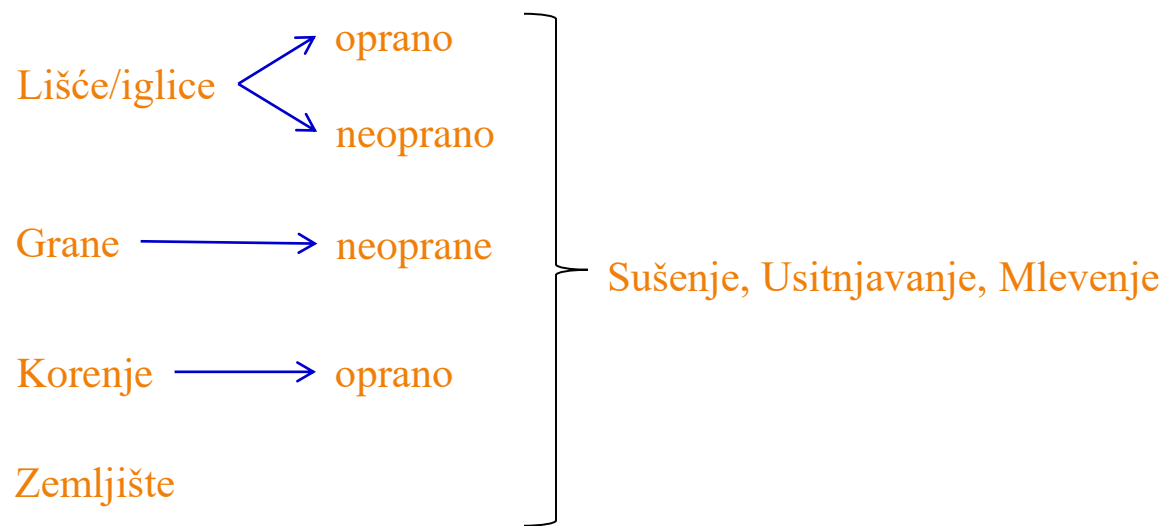
# Uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta

Uzorkovanje tokom septembra i prve polovine oktobra

**Bor**  
**Lipa**  
**Bagrem**  
**Smreka**  
**Povrće**  
**Voće**

lišće/iglice,  
grane,  
korenje i  
rizosferno zemljište (na dubini 10 do 20 cm)

## Priprema uzoraka biljnog materijala i zemljišta za fizičko-hemijske analize



U laboratorijama Tehničkog fakulteta u Boru

## Mikrotalasna digestija uzoraka zemljišta i biljnog materijala

➤ Digestija uzoraka zemljišta carskom vodom (zapreminski odnos  $\text{HNO}_3$  i  $\text{HCl}$  je 1:3) u MARS5 (CEM) uređaju.

➤ Digestija biljnog materijala sa  $\text{HNO}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}_2$ , u ETHOS One (Milestone, Italy) uređaju.

Ohlađeni rastvori su razblaženi ultračistom vodom u normalnim sudovima od  $50 \text{ cm}^3$ .

## Određivanje koncentracija metala i metaloida u biljnom materijalu i zemljištu

Al, Fe, Cu, Zn, Pb, Ni, As i Cd

➤ Atomski emisijski spektrometar sa indukovano spregnutom plazmom-sa radijalnim i aksijalnim posmatranjem plazme (*Atomic Emission Spectrometer with dual view simultaneous Inductively coupled plasma, ICP-AES*) proizvođača SPECTRO model Blue.

U Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru

U laboratorijama Tehničkog fakulteta u Boru



## Metode obrade podataka

**Faktor obogaćenja:**  $EF = \frac{C}{C_k}$

EF-Faktor obogaćenja;

C-koncentracija elementa u zemljištu ili određenom delu biljke ( $\mu\text{g/g}$ ) sa određenog mesta uzorkovanja;

$C_k$ -koncentracija elementa u zemljištu ili određenom delu biljke ( $\mu\text{g/g}$ ) iz kontrolne zone.

EF < 2: нема обобаћења или минимално обобаћење;

$2 \leq EF < 5$ : умерено обобаћење;

$5 \leq EF < 20$ : значајно обобаћење;

$20 \leq EF < 40$ : веома високо обобаћење;

EF > 40: екстремно високо обобаћење.

**Bioakumulacioni faktor:**  $BCF = \frac{C_{\text{koren}}}{C_{\text{zemljište}}}$

BAF - Bioakumulacioni faktor za koren;

$C_{\text{koren}}$ -koncentracija ispitivanog elementa u korenu;

$C_{\text{zemljište}}$ -koncentracija ispitivanog elementa u zemljištu

Efikasnost apsorpcije ispitivanih elemenata iz zemljišta u korenje

BAF:

10-100 (intenzivna apsorpcija),

1-10 (jaka apsorpcija),

0,1-1 (srednja apsorpcija),

0,01-0,1 (slaba apsorpcija),

0,001-0,01 (veoma slaba apsorpcija)

**Translokacioni indeks:**  $R_{l/b} = \frac{C_{\text{list}}}{C_{\text{grana}}}$

$R_{l/b} > 1$  znači uspešnu translokaciju iz grana u lišće. Ovaj indeks je značajan pokazatelj direktne akumulacije atmosferskog taloženja. U tim jednačinama  $C_{\text{zemljište}}$ ,  $C_{\text{koren}}$ ,  $C_{\text{grana}}$ ,  $C_{\text{list/iglice}}$  predstavlja koncentracije ( $\mu\text{g/g}$ ) određenog elementa u tlu, korenu, grani i list ili iglice (Serbula i sar., 2013).

**Translokacioni faktor (TF):**  $TF = \frac{C_{\text{list}}}{C_{\text{koren}}}$

TF-Translokacioni faktor;

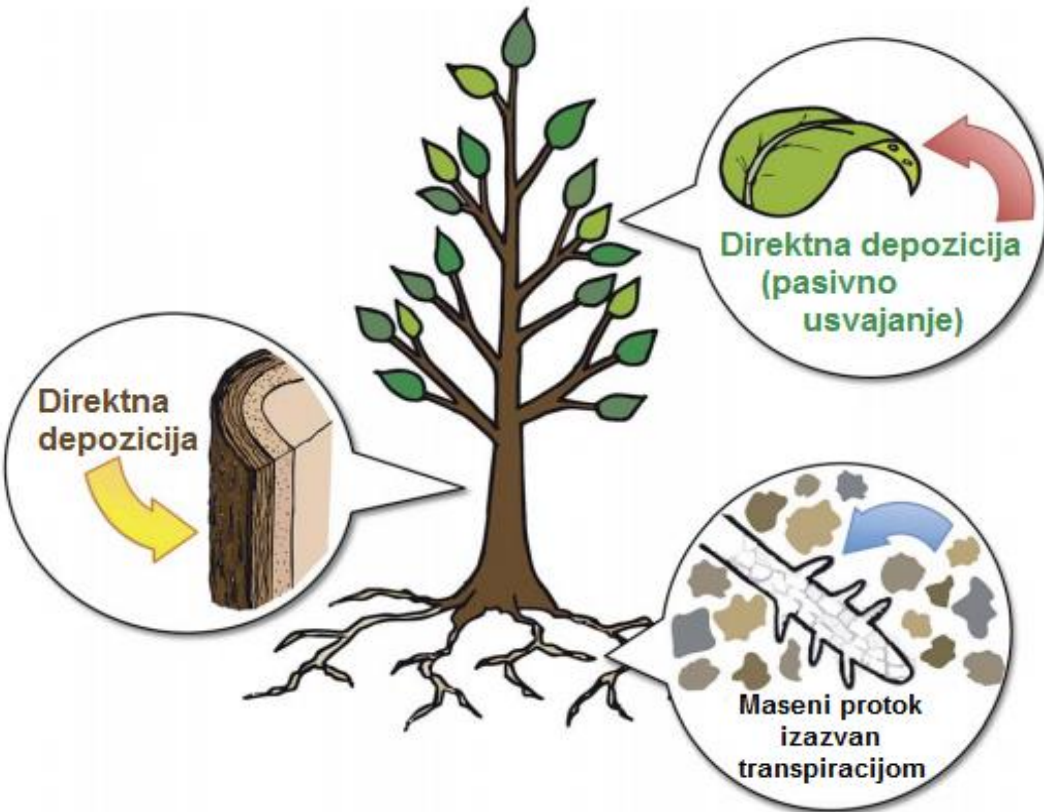
$C_{\text{list}}$ -koncentracija ispitivanog elementa u opranom lišću;

$C_{\text{koren}}$ -koncentracija ispitivanog elementa u korenju.

TF < 1 ograničena translokacija elementa iz korenja u lišće

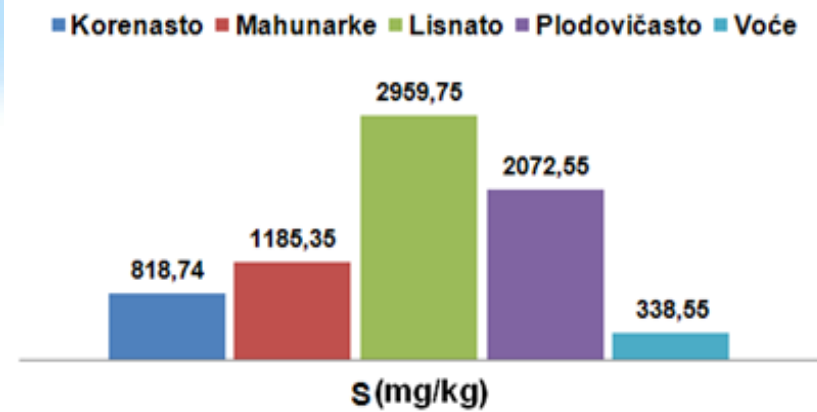
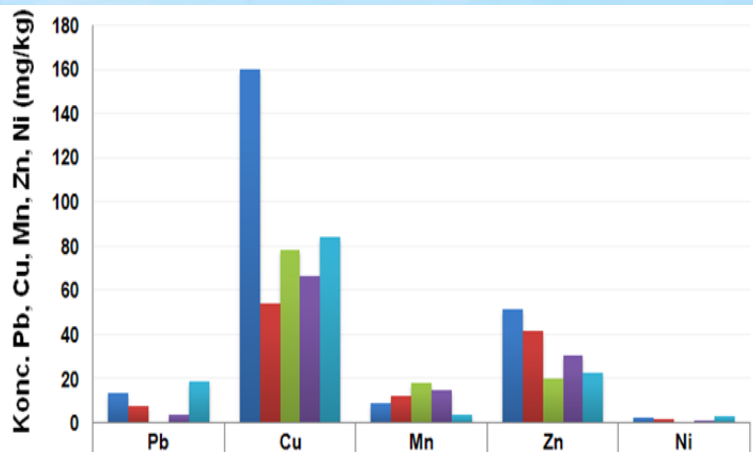
TF > 1 efikasna translokacija elementa iz korenja u lišće

## REZULTATI I DISKUSIJA



Šematski prikaz puteva usvajanja zagađujućih supstanci iz okruženja od strane drvenastih biljaka (Radojević, 2017)





Слика 6. Упоредни приказ средњих вредности: а) Pb, Cu, Mn, Zn, Ni; б) сумпор у гомољу/корену, махунаркама, лиснатом поврћу и воћу

Гомољасто - кортоласто поврће

Махунарке

Лиснато – (зелена салата)

Плодовичасто (парадајз и краставац)

Воће

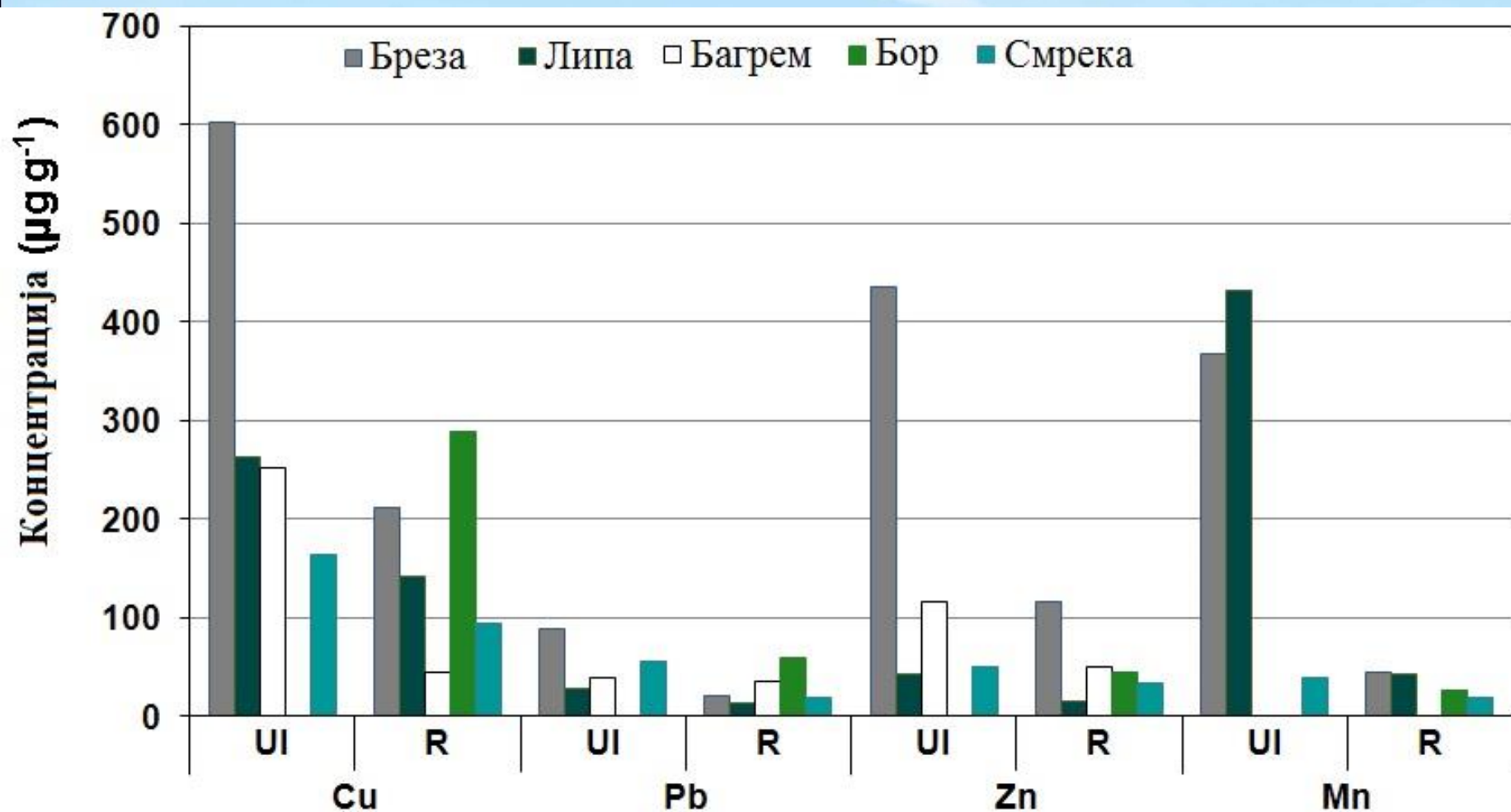
$S > Cu > Zn > Pb > Mn > Ni$

$S > Cu > Zn > Mn > Pb > Ni$

$S > Cu > Zn > Mn > Pb > Ni$

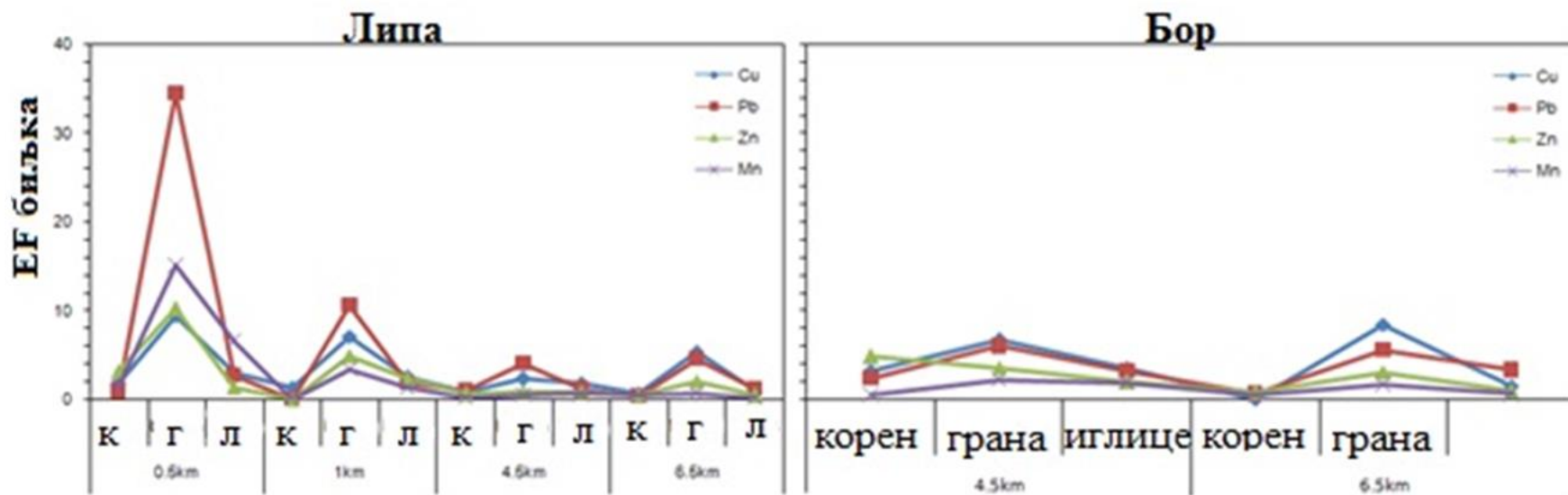
$S > Cu > Zn > Mn > Pb > Ni$

$S > Cu > Zn > Pb > Mn > Ni$



Слика 7. Концентрације Cu, Pb, Zn и Mn у лишћу/иглицама брезе, липе, багрема, бора и смреке у урбано-индустријским (UI) и руралним (R) зонама.





**Слика 8.** Фактор обогаћења (EF) за Cu, Pb, Zn и Mn у биљним деловима, к-корен, г-гране, л-лист липе и бора, на удаљености 0,5; 1;4,5 и 6,5km за липу и 4,5 и 6,5km за бор, у односу на топионицу бакра у Бору

**Табела. 2.** Средње вредности фактора BCF, TF и  $R_{1/g}$ , за Cu, Pb, Zn и Mn у деловима липе и бора

Елемент	Врста биљке	BCF	TF	$R_{1/b}$
		Земљиште - корен	Корен - гране	Гране - лишће
Cu	липа	1.05	0.90	0.62
	бор	5.32	0.33	1.16
Pb	липа	0.64	1.87	0.38
	бор	1.44	0.85	0.84
Zn	липа	0.9	0.80	0.67
	бор	1.9	0.3	1.57
Mn	липа	0.06	0.96	4.38
	бор	0.05	0.45	1.92

# Zaključak

- ✓ Biljke reaguju direktno na kvalitet vazduha.
- ✓ Najbolji pokazatelji zagađenja vazduha su mahovine i lišajevi.
- ✓ Kopriva se visoko preporučuje kao bolji biomonitor za metale.
- ✓ Poželjni fitoindikator je obični maslačak.
- ✓ Lipa ima mogućnosti da se koristi u fitostabilizaciji i to bakra, cinka i kadmijuma. Aglomeracija Bor kao ispitivano područje, okarakterisno višegodišnjim zagađenjem poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra.
- ✓ Mesta uzorkovanja biomonitoringa biraju se na osnovu udaljenosti od glavnih izvora zagađenja i pravaca dominantnih vetrova na ispitivanom području Bora i okoline, a lokacijski u skladu sa mernim mestima monitoringa kvaliteta vazduha.
- ✓ Podaci dobijeni na ovaj način mogu se uporediti i prikazati kao celokupna slika stanja životne sredine na ispitivanom području.
- ✓ Ova vrsta istraživanja je od velikog značaja za ocenu opasnosti od ulaska toksičnih materija preko osnovnih životnih resursa u lanac ishrane.
- ✓ Dalja istraživanja iz ove oblasti treba usmeriti na unapređivanje biomonitoringa i fitoremedijacije, kao i na definisanje mehanizama adaptacije i ostalih biljnih vrsta koje rastu na području Bora i okoline. Tako će se razumeti koliko se dugo ispoljavaju kumulativni efekti istorijskog zagađenja osnovnih životnih resursa.





**Hvala na pažnji**

PREGLJED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

