

Prostorna distribucija mikrohraniva u tlu prašume hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Potočnjak, Robert

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:517940>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA

ROBERT POTOČNJAK

PROSTORNA DISTRIBUCIJA MIKROHRANIVA U TLU
PRAŠUME HRASTA LUŽNJAKA
(*Quercus robur* L.)

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2018.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK

PROSTORNA DISTRIBUCIJA MIKROHRANIVA U TLU PRAŠUME
HRASTA LUŽNJAKA
(*Quercus robur* L.)

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša

Predmet: Zaštita i gospodarenje s tlom

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Darko Bakšić
2. prof. dr. sc. Nikola Pernar
3. doc. dr. sc. Ivan Perković

Student: Robert Potočnjak

JMBAG: 0068222113

Broj indeksa: 784/16

Datum odobrenja teme: 23.05.2018.

Datum predaje rada: 21.09.2018.

Datum obrane rada: 28.09.2018.

Zagreb, rujan, 2018.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Prostorna distribucija mikrohraniva u tlu prašume hrasta lužnjaka (<i>Quercus robur</i> L.)
Title	Spatial distribution of soil micronutrients in old-growth forest of penduculate oak (<i>Quercus robur</i> L.)
Autor	Robert Potočnjak
Adresa autora	Barbat 474, Rab
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	prof. dr. sc. Darko Bakšić
Izradu rada pomogao	univ. bacc. ing. silv. Mario Sladin
Godina objave	2018.
Obujam	62 stranice, 33 slike, 10 tablica, 29 literaturnih referenci
Ključne riječi	prašuma, hrast lužnjak, mikrohraniva, šumsko tlo
Key words	old-growth forest, penduculate oak, micronutrients, forest soil
Sažetak	<p>Tlo je otvoreni sustav u kojem se neprekidno odvija promet tvari i energije, gdje posebnu pozornost, s aspekta biljne produkcije zauzimaju i mobilna hraniva. Njihova biopristupačnost ovisi o nizu čimbenika kao što su svojstava samog tla, utjecaj vegetacije, te utjecaj čovjeka (u prašumskom ekosustavu izostaje). Obzirom da organska tvar u tlu predstavlja medij koji je od presudnog značaja za hraniva, a da postoje statistički značajne razlike u zalihama organskog ugljika u šumskim zajednicama Prašnika, mogle bi se očekivati i značajnije razlike u udjelu hraniva, odnosno mikrohraniva koja su predmetom istraživanja.</p> <p>Stoga je cilj istraživanja diplomskog rada bio odrediti količinu ekstraktibilnih mikrohraniva u tlu prema Mehlich 3-metodi po dubinama tla 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm i 50-100 cm na području prašume hrasta lužnjaka Prašnik u dvije fitocenoze, <i>Genisto elatae-Quercetum roboris</i> i <i>Carpino betuli-Quercetum roboris</i>. Temeljem dobivenih analitičkih rezultata za sve dubine tla izrađene su karte prostorne raspodjele mikrohraniva na području prašume.</p> <p>Generalno gledajući, u zajednici Ge-Qr utvrđene su veće količine Fe, Mn, Zn, Cu (mikrohraniva) i Na (beneficijalni element) nego u zajednici Cb-Qr. U tlu unutar zajednice Ge-</p>

Qr utvrđena je statistički značajno veća koncentracija Fe do dubine od 20 cm te Cu i Na do dubine od 50 cm, dok za Mn i Zn nije utvrđena statistički značajna razlika.

Utvrđen je statistički značajan utjecaj udjela i zalihe org. C na pojedine elemente Cu, Na i Fe, ali je uočeno i da su odnosi u tlu znatno kompleksniji pa razloge u različitim koncentracijama mikrohraniva treba tražiti i u značajno drugačijoj fiziografiji tla (granulometrijski sastav, mineralni sastav i hidrološki režim) koja opet utječe i na sastav, izgled i produkciju samih sastojina.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	OB ŠF 05 07
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj *diplomski rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Robert Potočnjak

U Zagrebu, 28.09.2018.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	PRAŠUMSKI EKOSUSTAV	1
1.2.	BILJNA HRANIVA	3
1.2.1.	Podjela, oblici i usvajanje biljnih hraniva	3
1.2.2.	Mikrohraniva	5
2.	CILJ ISTRAŽIVANJA.....	9
3.	POLOŽAJ I EKOLOŠKA OBILJEŽJA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....	11
3.1.	GEOGRAFSKI POLOŽAJ	11
3.2.	KLIMATSKA OBILJEŽJA	12
3.3.	PEDOLOŠKA OBILJEŽJA	13
3.4.	FITOCENOLOŠKA OBILJEŽJA.....	15
4.	MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	17
4.1.	TERENSKA ISTRAŽIVANJA.....	17
4.2.	LABORATORIJSKE ANALIZE.....	18
4.2.1.	Priprema uzoraka.....	18
4.2.2.	Laboratorijske analize uzoraka.....	18
4.2.3.	Određivanje udjela mikroelemenata.....	19
4.3.	STATISTIČKA OBRADA PODATAKA	21
5.	REZULTATI.....	22
5.1.	OPĆE ZNAČAJKE TLA PRAŠUME PRAŠNIK.....	22
5.2.	MIKROHRANIVA U TLU PRAŠUME PRAŠNIK	26
5.2.1.	Željezo (Fe)	26
5.2.2.	Mangan (Mn).....	28
5.2.3.	Cink (Zn)	30
5.2.4.	Bakar (Cu)	32
5.2.5.	Natrij (Na)	34
5.3.	ODNOS MIKROHRANIVA I ORGANSKE TVARI U TLU.....	36

5.3.1.	Korelacija pH vrijednosti, udjela i zalihe organskog ugljika i koncentracije mikrohraniva	36
5.4.	PRIKAZ PROSTORNE DISTRIBUCIJE MIKROHRANIVA	37
5.4.1.	Željezo (Fe)	37
5.4.2.	Mangan (Mn).....	41
5.4.3.	Cink (Zn)	45
5.4.4.	Bakar (Cu)	49
5.4.5.	Natrij (Na)	53
6.	RASPRAVA.....	57
7.	ZAKLJUČAK	59
8.	LITERATURA.....	60

Popis slika

Slika 1. Najveće stablo hrasta lužnjaka u Prašniku (foto: D. Bakšić)	2
Slika 2. Geografski položaj prašume Prašnik.....	11
Slika 3. Fitocenološka karta prašume Prašnik prema Raušu izrađena 1975. god. (Matić et al., 1979). 16	
Slika 4. Prikaz načina uzorkovanja tla u prašumi Prašnik.....	17
Slika 5. Uređaj za određivanje udjela organskog ugljika i ukupnog dušika NC Soil Flash 2000 Thermo Scientific (foto: I. Perković).....	18
Slika 6. Atomski emisijski spektrometar uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-AES) Thermo Fisher, iCAP 6300 (foto: I. Perković)	20
Slika 7. Udjel Org.C, pH _{H2O} i udjel gline u tlu u zajednicama Ge-Qr i Cb-Qr	22
Slika 8. Prostorna distribucija udjela organskog ugljika (Mg Org C ha ⁻¹) u tlu do 100 cm dubine na području prašume Prašnik (Bakšić et al., 2018)	24
Slika 9. Koncentracija željeza (Fe) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B).....	27
Slika 10. Koncentracija mangana (Mn) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B).....	29
Slika 11. Koncentracija cinka (Zn) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B).....	31
Slika 12. Koncentracija bakra (Cu) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)	33
Slika 13. Koncentracija natrija (Na) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)	35
Slika 14. Prostorna distribucija željeza (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik	37
Slika 15. Prostorna distribucija željeza (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik.....	38
Slika 16. Prostorna distribucija željeza (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik.....	39
Slika 17. Prostorna distribucija željeza (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik	40
Slika 18. Prostorna distribucija mangana (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik.....	41
Slika 19. Prostorna distribucija mangana (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik.....	42
Slika 20. Prostorna distribucija mangana (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik	43
Slika 21. Prostorna distribucija mangana (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik.....	44
Slika 22. Prostorna distribucija cinka (mg kg ⁻¹) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik	45

Slika 23. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik	46
Slika 24. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik	47
Slika 25. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik	48
Slika 26. Prostorna distribucija bakra (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik	49
Slika 27. Prostorna distribucija bakra (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik	50
Slika 28. Prostorna distribucija bakra (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik	51
Slika 29. Prostorna distribucija bakra (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik	52
Slika 30. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik	53
Slika 31. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik	54
Slika 32. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik	55
Slika 33. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik	56

Popis tablica

Tablica 1. pH vrijednost u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: <i>Genisto elatae</i> - <i>Quercetum roboris</i> (Ge-Qr) i <i>Carpino betuli- Quercetum roboris</i> (Cb-Qr).....	23
Tablica 2. Udjel organskog ugljika (g kg^{-1}) u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: <i>Genisto elatae</i> - <i>Quercetum roboris</i> (Ge-Qr) i <i>Carpino betuli- Quercetum roboris</i> (Cb-Qr)	23
Tablica 3. Udjel ukupnog dušika (g kg^{-1}) u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr	25
Tablica 4. C:N u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr.....	25
Tablica 5. Udjel Fe u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr.....	26
Tablica 6. Udjel Mn u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr.....	28
Tablica 7. Udjel Zn u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr	30
Tablica 8. Udjel Cu u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr.....	32
Tablica 9. Udjel Na u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr.....	34
Tablica 10. Korelacija pH vrijednosti, udjela i zalihe organskog ugljika i koncentracije hraniva (podebljane vrijednosti označavaju statistički značajne korelacije $p < 0,01$).....	36

Predgovor

Želio bih se zahvaliti svom mentoru, prof. dr. sc. Darku Bakšiću na uloženom trudu i vremenu, stručnom vođenju i pomoći pri cjelokupnoj izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem doc. dr. sc. Viboru Roji i doc. dr. sc. Ivanu Perkoviću na stručnom sudjelovanju i vođenju prilikom laboratorijskih analiza koje su bile potrebne za izradu diplomskog rada.

Zahvaljujem se i kolegi univ. bacc. ing. silv. Mariju Sladinu na pomoći i zajedničkoj laboratorijskoj obradi uzoraka te mnoštvu dana provedenih zajedno u laboratoriju.

Naposljetku, želio bih se zahvaliti svim kolegama i prijateljima koji su bili podrška i dio mog fakultetskog obrazovanja, a koje je okrunjeno izradom ovog diplomskog rada.

Posebno hvala ide mojoj obitelji koja je bila podrška i oslonac tijekom cijelog mog puta na fakultetu. Moram istaknuti moje najdivnije nećake, Luciju, Bornu i Mariju Zlatu koji me uvijek uveseljavaju i čine mi sve lakšim.

Na kraju, najveću zahvalu želim uputiti mojim roditeljima, ocu Goranu i majci Ružici, na njihovu trudu i odricanju te svemu što su napravili da mi omoguće što lakše i bezbrižnije studiranje. Hvala na svim trenucima brige i pažnje za mene i proživljavanju samnom svih teških trenutaka na putu moga obrazovanja. Oni su ti koji su uvijek bili i jesu podrška i siguran oslonac u mom životu. Ovaj diplomski rad kao zadnja stepenica na putu mog visokoškolskog obrazovanja je ujedno i njihov uspjeh.

1. UVOD

1.1. PRAŠUMSKI EKOSUSTAV

Prašuma je prirodna šuma koja se oduvijek razvijala bez neposrednoga antropogenoga utjecaja, dakle isključivo pod utjecajem prirodnih čimbenika (Prpić et al., 2001). Drugim riječima, stara šuma odnosno prašuma jest tip vegetacije koji se od svoga nastanka razvijao uz mali utjecaj čovjeka ili bez njegova utjecaja. Na temelju navedenoga, mogu se razlikovati dva tipa prašume, primarna i sekundarna. Primarna prašuma je ona na koju čovjek nikada nije direktno utjecao, dok je sekundarna prašuma bivša gospodarska šuma koja je izuzeta iz gospodarenja te prepuštena procesu samoregulacije. Kroz određeni vremenski period ona poprima strukturalna obilježja prave prašume. Što se tiče antropogenih utjecaja na prašumski ekosustav, akademik Anić (2004) navodi kako se u taj utjecaj ne ubraja sječa pojedinih stabala za sitne potrebe lokalnog stanovništva, ali uz uvjet da korištenjem nisu narušili prirodnost prašume i procese u njoj. Također, Anić navodi kako je pogrešno shvaćanje da je prašuma od čovjeka potpuno izoliran ekosustav jer ona to niti jest niti može biti. Čovjekov indirektni utjecaj može se vidjeti kroz klimatske promjene, onečišćenje zraka i vode, turistički obilasci ili istraživanja.

Prašuma hrasta lužnjaka „Prašnik“ ima status zaštićenog dijela prirode pod kategorijom posebnog rezervata šumske vegetacije. Njome upravlja Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Brodsko-posavske županije - Natura Slavonica. Površina rezervata iznosi 53 ha (Devčić, 2015). Rezervat se nalazi unutar gospodarske jedinice „Prašnik“ čija površina iznosi 1436 ha. Odjel 7a izlučen je iz redovnog gospodarenja 1929. godine, a 1965. godine odjel je proglašen specijalnim rezervatom šumske vegetacije (Matić et al., 1979). Prašuma Prašnik pripada kategoriji sekundarnih prašuma. Rezervat predstavlja relikat stare slavonske prašume koju su sačuvali domaći šumari za buduća pokoljenja, a starost stabala hrasta lužnjaka je između 150 i 300 godina. U Prašniku se nalazi i ponajveći europski hrast (slika 1), čiji obujam na visini od 1,30 metara iznosi 7,82 metara, a visok je gotovo 40 metara (Devčić, 2015).



Slika 1. Najveće stablo hrasta lužnjaka u Prašniku (foto: D. Bakšić)

Prašumske ekosustave možemo smatrati živim laboratorijima. Prema Aniću (2004) prašumu možemo shvatiti kao „školu prirode“ koja pruža mogućnost uvida u životni put šume od njenog nastajanja pa do raspadanja i istodobnoga ponovnoga nastanka.

Razloge za istraživanje i očuvanje prašumskih ekosustava iznijeli su Mansourian i suradnici (Mansourian et al., 2013). Navedeni autor sa suradnicima tematizirao je prašume Mediterana, ali mišljenje je da se iste činjenice mogu primijeniti i na prašumske ekosustave drugih područja. Razlozi za istraživanje i očuvanje prašuma jesu: održivo gospodarenje šumskim ekosustavima i obnavljanje šuma, razvoj strategija očuvanja prirode, očuvanje bioraznolikosti, razumijevanje prijetnji iz okoliša i otpornost na klimatske promjene, razvoj znanosti, ekonomska vrijednost prašuma, prirodna baština i kulturna vrijednost koju posjeduje prašuma te inspiracija koju prašuma pruža ljudima za razne djelatnosti.

1.2. BILJNA HRANIVA

1.2.1. Podjela, oblici i usvajanje biljnih hraniva

Biljke su organizmi koje za život koriste energiju Svemira u obliku Sunčeve radijacije pomoću koje pretvaraju anorgansku tvar u organsku koja je potrebna svim živim bićima na Zemlji. Taj proces, osim organogenih elemenata, zahtijeva i više mineralnih elemenata. Osim iz Sunčeve energije, potrebna hraniva biljke uzimaju iz tla u više kemijskih oblika.

Biljna hraniva su elementi biljne ishrane, odnosno to su kemijski elementi i molekule čije podrijetlo može biti anorgansko ili organsko s obzirom da li potječu iz minerala Zemljine kore ili su produkti razgradnje žive tvari poput humusa. Biljke mineralna hraniva usvajaju u mineralnom obliku i njihovo je podrijetlo najčešće iz minerala tla, a to su anorganski ioni, soli ili molekule. S druge strane, organska hraniva jesu rezultat razgradnje žive tvari te se najčešće poput anorganskih hraniva usvajaju u ionskom obliku, ali mogu i u obliku molekula čija molarna masa ne prelazi 1.000 g mol^{-1} (Vukadinović & Vukadinović, 2011). Hranive tvari s obzirom na značaj za ishranu bilja mogu se podijeliti na:

- potrebni elementi (esencijalni),
- korisni elementi (beneficijalni),
- nekorisni i toksični elementi.

Temeljem egzaktnih pokusa u vodenim kulturama utvrđeno je kako je za život viših biljaka (stablašica) neophodno 17 kemijskih elemenata (esencijalni ili biogeni elementi). Biljke ne zahtijevaju istovjetne količine svakog pojedinog kemijskog elementa pa se stoga oni mogu podijeliti na:

- makroelemente (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg i Fe),
- mikroelemente (B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl i Ni),
- korisne elemente (Co, Na, Si, Al, Se, V, Ti, La, Ce) i
- toksične elemente (Cr, Cd, U, Hg, Pb, As, itd.).

Prisutnost makroelemenata najčešće je veća od 0,1 %, dok mikroelementi čine tek 10^{-1} do 10^{-4} % izraženo na suhu tvar biljke (Vukadinović & Vukadinović, 2011).

Hranive tvari u tlu se nalaze u promjenjivim i različitim oblicima koji utječu na njihovu biodostupnost. Stoga je usvajanje hraniva korijenskim sustavom biljaka ovisno o fizičko-kemijskim svojstvima istih.

Prema Vukadinović & Vukadinović (2011) pristupačnost hraniva je prostorno – vremenski promjenjiva, ovisno o brojnim svojstvima tla, genetskim odlikama biljaka, uzrastu biljaka, mikrobiološkoj aktivnosti, vodozračnom režimu i dr.

Prema pristupačnosti, hranjive tvari dijelimo s obzirom na njihovu topivost u vodi. Uobičajeno, biljna se hraniva dijele na mobilna (pokretljiva) i rezervna hraniva. Od ukupne količine hraniva u tlu, rezervni elementi ishrane čine oko 98 %, dok mobilnih elemenata ishrane ima manje od 2 %. Rezervna hraniva su hranjive tvari u tlu vezane organskim ili anorganskim vezama koje ne dozvoljavaju njihovo usvajanje u tom obliku nego se moraju transformirati u pristupačne oblike. Njihova je topivost u vodi slaba, ograničena i izuzetno spora. Mobilna hraniva jesu hraniva u vodenoj fazi tla i dio hraniva koji nije čvrsto vezan na adsorpcijski kompleks. Pod pokretna hraniva spadaju vodotopljiva hraniva koja su u potpunosti pokretljiva (premještaju se u tlu kretanjem vode ili difuzijom) i izmjenjivo vezana hraniva (spadaju u pokretna hraniva jer postoji stalno prisutna ravnoteža između procesa sorpcije i desorpcije).

Prema Vukadinović & Vukadinović (2011) s obzirom na mobilnost hraniva se mogu podijeliti na:

- Vrlo mobilna hraniva u tlu: NO_3^- , SO_4^{2-} , H_3BO_3
- Umjereno mobilna: NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , MnO_4^{2-}
- Imobilna: N_{org} , H_2PO_4^- , $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, Cu^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}

Biljkama su najvažnija mobilna hraniva jer su vodotopiva i dostupna te ih korijenski sustav lako može usvojiti.

Usvajanje hraniva može biti pasivno i aktivno. Pasivno usvajanje hraniva odvija se bez utroška energije, odnosno temelji se na fizikalnim zakonima difuzije i osmoze. Razmjena tvari između vanjske sredine i biljnih stanica moguća je tim procesom samo u uvjetima dovoljne vlažnosti tla, ali i tada uz prisutne velike prepreke. Aktivno usvajanje hraniva je prenošenje tvari kroz živu membranu, nasuprot gradijentu koncentracije te se provodi s više raznih mehanizama, primjerice i uz pomoć molekula prenositelja proteinske ili fosfolipidne građe. Za aktivno usvajanje hraniva potrebno je utrošiti određenu energiju jer dolazi do prelaženja tvari iz područja niže u područje više koncentracije, odnosno difuzija nasuprot gradijentu koncentracije nije moguća.

1.2.2. Mikrohraniva

Mikroelementi su neophodni i jednako važni u biljnoj ishrani kao i makroelementi te njihov nedostatak predstavlja značajan ograničavajući čimbenik. Živa tvar sadrži manju količinu mikroelemenata jer oni djeluju u malim količinama, ali zbog uskog područja njihovog povoljnog djelovanja često se zapaža njihov deficit ili sufišak. Mikroelementi imaju važnu i složenu ulogu u biljnoj ishrani, a većina njih povezana je s enzimatskim reakcijama u metabolizmu.

Željezo (Fe) u tlu

Željezo je teški metal koji se u tlu nalazi kao dvovalentni i trovalentni kation ili u odgovarajućim spojevima. Podrijetlo u tlu vezano je za brojne primarne i sekundarne minerale. Biljke ga trebaju u malim količinama pa ima obilježje mikroelementa, a u tlu može biti prisutno u visokim koncentracijama pa nema obilježje elementa u tragovima. Prema Pernaru (2007) u tlu ga obično ima 5 do 100 g kg⁻¹, a najviše ga ima u obliku hematita i getita. Prisutno je i u drugim oksidima, zatim u silikatima, karbonatima, sulfidima i dr.

Rezerve željeza u tlu su najvećim dijelom anorganske prirode i ukupni sadržaj željeza u tlu je između 0,5% i 4 % s prosjekom od 3,2%. U površinskom djelu tla može ga biti dosta u organskoj formi (Fe oksidi-hidroksi spojevi i Fe-kelati) (Vukadinović & Vukadinović, 2011).

Na području Hrvatske ga u površinskih 25 cm tla ima od 5,5 do 80,2 g kg⁻¹, s medijanom od 34 g kg⁻¹ (Halamić i Miko, 2009).

Porastom pH vrijednosti raspoloživost željeza se smanjuje, dok se njegova mobilnost povećava sa sniženjem pH vrijednosti. Uz prisutnost fosfora i porastom kiselosti nastaju teško pristupačni fosfati željeza, a u lužnatoj sredini željezo se nalazi u obliku teško topivih oksida (Vukadinović & Vukadinović, 2011).

Željezo je važno za transfer elektrona u enzimatskim procesima u respiraciji, te za fotosintetski proces. Vrlo je važno za razgradnju organske tvari, osobito u slabo aeriranoj sredini (Pernar, 2017).

Mangan (Mn) u tlu

Mangan je teški metal kojeg sadrži velik broj minerala, a u tlu najvećim dijelom potječe iz piroluzita (MnO_2). Nalazi se i u manganitu, braunitu, birnezitu, todorokitu, litioforitu, hausmanitu i dr. U tlu ga ima od 0,2 do 3 g kg^{-1} , a od te količine je više od 99% inaktivan, odnosno biljkama nedostupan mangan. U tlu se pojavljuje pretežno u vidu oksida i hidroksida i to u prevlakama čestica tla i u nodulima različitog promjera. Može dospjeti u tlo i iz antropogenih izvora (pročišćivači vode, otpadni mulj, metalna industrija itd.) (Pernar, 2007).

U biljkama se nalazi kao kation Mn^{2+} i Mn^{3+} , a u tlu i kao Mn^{3+} i Mn^{4+} . Raspoloživost mangana ovisi uvelike o pH vrijednosti, oksido-redukcijskom potencijalu tla i o udjelu i značajkama organske tvari. Snižanjem pH vrijednosti i redukcijom do Mn^{2+} te sniženjem aeriranosti tla mobilnost mu raste. Reducirani mangan (vodotopljivi Mn^{2+} i izmjenjivo sorbirani Mn^{2+} , kao i lakoreducirajući MnOOH) biljke lako usvajaju (označava se kao aktivni mangan), dok su više oksidirani oblici Mn^{3+} i Mn^{4+} inaktivni oblici. Biljke lako usvajaju mangan i u obliku kelata. Više mangana nalazi se na težim i karbonatnim tlima, a manje na lakim i pjeskovitim tlima (Vukadinović & Vukadinović, 2011).

U površinskih 25 cm tla u Hrvatskoj ga ima od 0,01 do 5,6 g kg^{-1} , s medijanom 0,72 g kg^{-1} (Halamić i Miko, 2009).

Mangan je u biljci sastavnica i aktivator niza enzima. Potiče razvoj kloroplasta i fotooksidacijsku aktivnost biljke. Sudjeluje u Krebsovom ciklusu, ključan je za transfer elektrona u fotosintezi, fotolizi vode, redukciji nitrata itd. U nizu procesa služi kao energijski izvor te kao primatelj elektrona (Pernar, 2017).

Cink (Zn) u tlu

Cink je teški metal s podrijetlom iz primarnih i sekundarnih minerala. Prema Pernaru (2017) najviše je prisutan u bazičnim stijinama, a najmanje ga ima u karbonatima. Najčešće se nalazi u formi sulfida, sulfata, oksida, klorida i kao zamjena mangana u silikatima. Trošenje navedenih minerala, pogotovo u kiseloj, oksidacijskoj sredini producira otapanje cinka (Kabata-Pendias i Pendias, 2001; Pernar, 2017).

U površinskih 25 cm tla u Hrvatskoj ga ima od 23 do 1432 mg kg^{-1} , s medijanom 88 mg kg^{-1} (Halamić i Miko, 2009).

Biljke ga usvajaju kao Zn^{2+} , ZnCl^+ , $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $\text{Zn}(\text{OH})^+$ te kelatizirani Zn. Kod viših pH-vrijednosti bolje se sorbira na koloide pa mu je koncentracija u otopini niža. Njegove bioakumulacijske značajke, slično bakru, manifestiraju se u relativnom nakupljanju u površinskom dijelu tla – dobro se sorbira na organske i mineralne koloide (Pernar, 2017).

Prosječan sadržaj cinka u tlu je od 5 do 20 ppm. Pristupačnost cinka je veća u kiselim tlima i tada postoji opasnost od njegova ispiranja, dok niska temperatura i suvišak fosfora snižavaju usvajanje cinka. Do nedostatka ovog elementa najčešće dolazi na teškim i glinovitim tlima i na karbonatnim tlima istočne Hrvatske te solonocima (Vukadinović & Vukadinović, 2011).

U biljci je sastavnica enzima i njihov je aktivator. Značajan je u metabolizmu i sintezi bjelančevina, sintezi auksina itd. Jednim dijelom se u biljci (osobito u ksilemu) nalazi kao slobodan ion, pa se razgradnjom organskih ostataka brzo oslobađa u otopinu tla (Pernar, 2017).

Bakar (Cu) u tlu

Bakar pripada u skupinu teških metala koji se čvrsto sorbiraju na koloide tla, posebno organske. Podrijetlo bakra je iz primarnih minerala iz kojih se oslobađa njihovim trošenjem. Radi se pretežno o sulfidima, a to su halkopirit, bornit, halkocit, kuprit, tenarit, malahit, i dr. U procesu trošenja lako su topljivi, osobito u kiselim uvjetima. Oslobađanjem u otopinu bakar se oksidira iz Cu^+ u Cu^{2+} . Biljke ga usvajaju kao ion Cu^{2+} te kao kelatirani bakar. (Pernar, 2017).

Sadržaj bakra u tlu je od 5-50 ppm. Raspoloživost bakra značajno je uvjetovana pH reakcijom tla i pristupačnost mu raste s kiselošću, s optimalnim pH 4,5 – 6 (Vukadinović & Vukadinović, 2011).

U Hrvatskoj ga u površinskih 25 cm tla ima od 3 do 429 mg kg^{-1} , s medijanom 25 mg kg^{-1} (Halamić i Miko, 2009).

Prema Pernaru (2017) opća značajka distribucije bakra u tlu je da njegov udjel raste prema površini tla. S organskom tvari na koju se čvrsto veže gradi organske komplekse zbog čega se manjak bakra češće javlja na jako humoznim tlima uslijed organske fiksacije.

Bakar je u biljci sastavnica i aktivator enzima, utječe na proteosintezu, stabilizira molekule klorofila itd. Iz biljnih ostatak relativno se brzo oslobađa jer je najvećim dijelom vezan za bjelančevine (Pernar, 2017).

Natrij (Na) u tlu

Natrij je alkalni metal koji se u određenim količinama nalazi u svim tlima te ga u litosferi ima oko 2,8%. Biljke ga usvajaju u obliku Na^+ i s obzirom na njihovu potrebu za njime definiran je kao korisni element.

U Hrvatskoj ga u površinskih 25 cm tla ima od 0,5 do 32 g kg^{-1} , s medijanom 6,7 g kg^{-1} (Halamić i Miko, 2009).

Prema Pernaru (2017) u tlu humidnih područja ga ima malo, dok ga najviše ima u tlu aridnih područja gdje se akumulira u površinskom dijelu tla u obliku lako topljivih soli. Izvorno potječe iz glinenaca i drugih primarnih minerala, centralnu ulogu u geokemiji Na imaju njegovi kloridi i karbonati. U tlima gdje nema akumuliranih klorida ili karbonata u matičnom supstratu ili se oni vodom ne unose u tlo, udjel biodostupnog natrija u odnosu na njegov ukupni udjel u tlu je vrlo nizak. Biljke ga usvajaju kao kation Na^+ . Lako se usvaja, a u biljkama regulira vodni režim (osmotski tlak i hidratiziranost protoplazme). U otopini se nalazi i kao NaSO_4^- te NaHCO_3^0 . Natrijev ion (Na^+) slabo se sorbira u tlu. Kad mu je u otopini visoka koncentracija onda se pojavljuje kao konkurent drugim kationima, u ekstremnim slučajevima dominira u difuznom sloju i pojačavaju hidrofилna obilježja koloidne micelle. Na^+ je hidrofилnih svojstava pa djeluje destruktorski (peptizirajuće) na strukturne agregate.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Istraživanja obuhvaćena ovim diplomskim radom sastavni su dio istraživanja znanstveno-istraživačkog projekta Hrvatske zaklade za znanost pod naslovom „Uspostava dugoročnog znanstvenog monitoringa prirodnih šumskih ekosustava u Hrvatskoj (CroFEM)“.

Ranija istraživanja, koja su u okviru projekta CroFEM provedena na području prašume Prašnik, bavila su se problematikom zalihe ugljika u šumskoj prostirci i tlu unutar zajednice hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* „*typicum*“ Rauš 1973) (Buršić, 2016), a zatim su proširena na prostornu raspodjelu udjela i zaliha ugljika u mineralnom dijelu tla do 1 m dubine (Juzbašić, 2017) na području cijele prašume Prašnik, odnosno u obje zastupljene šumske zajednice: hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom i rastavljenim šašem (*Genisto elatae-Quercetum roboris caricetosum remotae* Horv. 1938) i hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* „*typicum*“ Rauš 1973).

Navedena su istraživanja pokazala da na razmjerno malom području koje obuhvaća prašuma Prašnik (53,35 ha) postoji statistički značajna razlika u zalihama ugljika između zajednica *Genisto elatae-Quercetum roboris* i *Carpino betuli-Quercetum roboris*. U zajednici *Genisto elatae-Quercetum roboris* utvrđena je veća zaliha organskog ugljika koja se kreće u rasponu od 118 do 315 Mg OrgC ha⁻¹ (Juzbašić, 2017, Bakšić et al., 2018).

Tlo je otvoreni sustav u kojem se neprekidno odvija promet tvari i energije, gdje posebnu pozornost, s aspekta biljne produkcije zauzimaju i mobilna hraniva. Njihova biopristupačnost ovisi o nizu čimbenika kao što su svojstva samog tla, utjecaj vegetacije, te gospodarski utjecaj čovjeka (u prašumskom ekosustavu izostaje). Obzirom da organska tvar u tlu predstavlja medij koji je od presudnog značaja za hraniva, a da postoje statistički značajne razlike u zalihama organskog ugljika u šumskim zajednicama Prašnika, mogle bi se očekivati i značajnije razlike u udjelu hraniva, odnosno mikrohraniva koja su predmetom istraživanja. Mikrohraniva (mikroelementi) neophodna su i podjednako važna za ishranu bilja kao i makrohraniva. Ona imaju vrlo važne i složene funkcije u biljnoj ishrani, uglavnom povezane s enzimatskim reakcijama u metabolizmu tvari i energije.

Za određivanje (ekstrakciju) mobilnih hraniva odabrana je Mehlich-3 metoda koja se pokazala vrlo široke valencije u pogledu primjenjivosti, kako s obzirom na svojstva tla, tako i s obzirom na mogućnost određivanja šireg spektra mobilnih hraniva (Mylavarapu et al. 2014). Metoda je vrlo prihvaćena i kao takva preporučena, kako za mobilne makroelemente, tako i za neke mikroelemente (Cu, Mn, Zn, Fe, B) (Zhang et al., 2014).

Stoga je cilj istraživanja diplomskog rada odrediti količinu ekstraktibilnih mikrohraniva u tlu prema Mehlich 3- metodi po dubinama tla 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm i 50- 100 cm na području prašume hrasta lužnjaka Prašnik u dvije fitocenoze, *Genisto elatae - Quercetum roboris* i *Carpino betuli - Quercetum roboris*. Temeljem dobivenih analitičkih rezultata za sve dubine tla izradile bi se i karte prostorne raspodjele mikrohraniva na području prašume.

Hipoteza: Udjel i zaliha organskog ugljika u tlu dviju istraživanih zajednica značajno će utjecati na koncentraciju mikrohraniva.

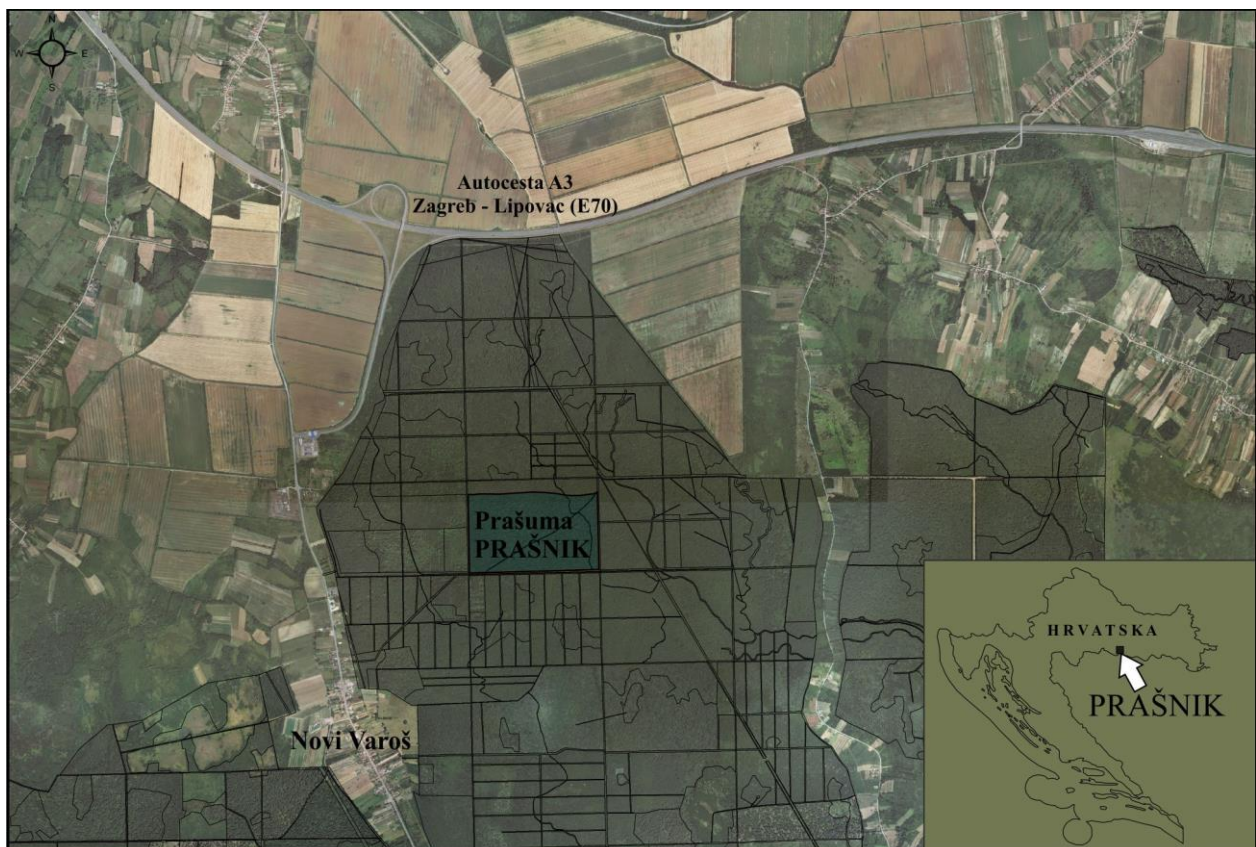
Zadaci koji su postavljeni na temelju cilja istraživanja bili su:

1. Proučiti dosadašnja istraživanja;
2. Prikupiti informacije o području istraživanja i opisati područje istraživanja;
3. Pripremiti plan uzorkovanja;
4. Izvršiti analize uzoraka unaprijed određenim metodama u laboratoriju;
5. Statistički obraditi i analizirati dobivene rezultate te ih interpretirati u skladu s ciljevima istraživanja;
6. Raspraviti dobivene rezultate.

3. POLOŽAJ I EKOLOŠKA OBILJEŽJA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

3.1. GEOGRAFSKI POLOŽAJ

Sekundarna prašuma Prašnik nalazi se unutar gospodarske jedinice „Prašnik“ te je izlučena u odjelu 7 a. Geografske koordinate prašume Prašnik jesu 45°12'28.13" zemljopisne širine i 17°13'47.81" zemljopisne dužine. Visina na kojoj se nalazi je od 93 do 97 metara. Posebni rezervat Prašnik nalazi se u nizini lijeve obale rijeke Save uz Staru Gradišku u Brodsko-posavskoj županiji. Prostorno je smještena u blizini Okučana, južno od autoceste A 3 (Zagreb – Lipovac). Na zapadnoj strani svega nekoliko stotina metara udaljena je cesta Okučani-Stara Gradiška (slika 2).



Slika 2. Geografski položaj prašume Prašnik

3.2. KLIMATSKA OBILJEŽJA

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime područje rezervata Prašnik pripada tipu klime označenom klimatskom formulom Cfbwx“ (Matić et al., 1979). Köppenova klasifikacija klime uvažava bitne odlike srednjeg godišnjeg hoda temperature zraka i količine oborine. Oznaka C predstavlja umjereno toplu kišnu klimu sa srednjom mjesečnom temperaturom najhladnijeg mjeseca višom od -3°C i nižom od 18°C koju ima najveći dio Hrvatske. Oznaka fw označava da tijekom godine nema izrazito suhih mjeseci, a mjesec s najmanje oborine u hladnom je dijelu godine. Oznaka b znači da najtopliji mjesec u godini ima srednju temperaturu nižu od 22°C . Kada se u godišnjem hodu oborine javljaju dva maksimuma, odnosno zimsko kišno razdoblje je široko rascijepano u jesensko-zimski i proljetni maksimum koristi se oznaka x“ (Zaninović et al., 2008).

Za prikaz klimatskih prilika šireg područja Prašnika (Posavine) prikazani su podaci meteorološke postaje DHMZ-a Slavonski Brod. Naime, ta je postaja najbliža istraživanom područja pa je time uzeta kao referentna. Podatci su prikaz višegodišnjeg razdoblja od 1971. do 2000. godine te mogu vjerno vizualizirati klimatske prilike istraživanog područja. Podatci su dobiveni iz Klimatskog atlasa Hrvatske (Zaninović et al., 2008).

Temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$)

- Prosječna godišnja temperatura zraka: $10,7^{\circ}\text{C}$
- Najviša izmjerena temperatura: $39,6^{\circ}\text{C}$
- Najniža izmjerena temperatura: $-26,1^{\circ}\text{C}$
- Prosječna temperatura vegetacijskog razdoblja: $17,3^{\circ}\text{C}$

Temperatura tla ($^{\circ}\text{C}$)

- Prosječna godišnja temperatura tla do 5 cm dubine: $12,2^{\circ}\text{C}$
- Najviša izmjerena temperatura tla do 5 cm dubine: $27,5^{\circ}\text{C}$
- Najniža izmjerena temperatura tla do 5 cm dubine: $-1,2^{\circ}\text{C}$
- Prosječna temperatura tla do 5cm dubine tijekom vegetacijskog razdoblja: 19.2°C

Oborine (mm)

- Prosječna godišnja količina oborina: 748,1 mm
- Prosječna godišnja količina oborina u vegetacijskom razdoblju: 426,3 mm

Prema humidnosti klime po Langu klima područja je semihumidna. Langov kišni faktor iznosi 69,92, a dobiva se kao omjer prosječne godišnje količine oborina (mm) i prosječne godišnje temperature zraka (°C). Raspon Langova kišnog faktora za semihumidnu klimu je između 60-80.

3.3. PEDOLOŠKA OBILJEŽJA

Tla istraživanog područja posebnog rezervata šumske vegetacije Prašnik pripadaju odjelu hidromorfni tala koja karakterizira suficitno vlaženje vodama, koje nisu zaslanjene, ni alkalizirane, odnosno „slatke vode“. Definiirajući tla na razini tipa, utvrđeno je da tla s obzirom na različite biljne zajednice pripadaju i različitim tipskim karakteristikama hidromorfni tala (Matić et al., 1979).

Na području biljne zajednice *Genisto elatae-Qercetum roboris caricetosum remotae* Horvat 1938 pridolazi klasa glejnih tala. Radi se o tipu močvarnog glejnog tla (euglej), amfiglejnog podtipa (Matić et al., 1979). Ovaj tip tla razvija se u uvjetima zasićenosti dopunskom vodom većeg dijela profila, tako da se morfološki ističe G- horizont unutar dubine tla od 100 cm. Gornja granica podzemne vode je iznad 100 cm. Osim podzemne vode, na tvorbu ovog tla djeluju i gornje poplavne vode tako da se proces hidrogenizacije odvija odozgo i odozdo s jednim međuhorizontom koji je najmanje oglejen. Upravo se zbog dvojakog djelovanja vode (tlo je pod utjecajem podzemne i površinske vode) očituje amfiglejni podtip ovoga tla, sa sklopom profila Aa – Gso – Gr.

Kako navode Matić i suradnici (1979) prema mehaničkom sastavu to su teža tla u rasponu od lakih do teških glina koje su u Aa-horizontu vertične. Površinski humusnoakumulativni Aa horizont vrlo je porozan s velikim kapacitetom za vodu i malim kapacitetom za zrak. Dublji oksidacijsko-redukcijski horizonti (Gso i Gr) sadrže manje pora, osrednjeg su kapaciteta za vodu te imaju još manje zračnih pora nego u Aa-horizontu.

Po sadržaju humusa u Aa horizontu tlo je vrlo jako humozno (11,12 %), plavičaste boje s rdastim i plavičastim mrljama koje nastaju u uvjetima oksidacijsko-redukcijskih procesa zbog prekomjernog vlaženja uzrokovanog površinski stagnirajućom vodom. Reakcija tla je kisela do

70 cm dubine. S dubinom pH-vrijednost raste pa je najdublji Gr horizont praktično neutralan jer sadrži slobodne karbonate (i do 16%). Humusnoakumulativni horizont bogat je dušikom. Što se tiče sadržaja fiziološki aktivnog P_2O_5 humusnoakumulativni horizont osrednje je opskrbljen, a dublji horizonti su slabo opskrbljeni, dok je sa K_2O humusnoakumulativni horizont bogat, a dublji horizonti su osrednje opskrbljeni (Matić et al., 1979).

Prema Matiću i suradnicima (1979) u biljnoj zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris typicum* Rauš 1973 nalazi se klasa semiglejnih (livadskih) tla, to jest prevladava fluvijalno-humusno tlo (humofluvisol, semiglej). Radi se o tlu onog dijela riječne doline gdje je zbog promjene vodnog režima, usprkos povremenim poplavama, smanjen intenzitet naplavlivanja suspendiranog materijala (Pernar, 2017). Tla u ovoj biljnoj zajednici karakterizirana su dubokom podzemnom vodom koja se u najvlažnijem periodu godine kreće između 100 i 150 cm u profilu tla. To je razlog zbog kojeg se pedogenetski procesi u gornjim horizontima profila odvijaju u terestičkim uvjetima bez utjecaja suvišnih voda s tipom profila: A-C-G. Suvišna voda karakteristična za ovaj tip tla dolazi kao podzemna voda, koja se nalazi na dubini više od jednog metra ispod površine, i to u vrijeme najvlažnijeg djela godine, a u sušnom periodu spušta se i na dubinu do 3 m. Stoga se G-horizont nalazi na dubini koja se podudara s razinom vode ispod 1 m od površine tla s karakterističnom morfologijom koja je rezultat oksidacijsko-redukcijskih procesa u tlu (Matić et al., 1979).

Ovaj tip tla na istraživanom području razvijen je na aluvijalnim sitnopjeskovitim sedimentima kod kojih se u profilu tla ispod humusnog horizonta dubine 10-ak cm odvija proces posmeđivanja s pojačanim trošenjem primarnih minerala i tvorbom gline u B-horizontu. Zbog lakšeg mehaničkog sastava aluvija fizikalna svojstva ovih tala su povoljna i neznatno variraju s dubinom profila. Gledajući mehanički sastav, radi se glinasto-ilovastom tlu kod kojeg pjeskovita frakcija prelazi 50 %, a u C-horizontu (koji počinje s dubinom oko 80 do 100 cm) tlo je još pjeskovitije. U humusno-akumulativnom horizontu tlo je vrlo porozno, a kapacitet za vodu velik, dok su dublji horizonti zbijeniji i manje porozni. Naročito su deficitarni dublji horizonti u zračnim porama, dok su kapilarne pore zastupljenije, te je kapacitet za vodu osrednji (Matić et al., 1979).

Tlo je jako humozno u površinskom horizontu do prvih desetak centimetara, dok su dublji horizonti slabo ili vrlo slabo humozni. Po većem sadržaju fiziološki aktivnih hraniva P_2O_5 i K_2O ističe se humusnoakumulativni horizont. Dublji su horizonti slabo opskrbljeni fosforom, dok je opskrbljenost kalijem slaba do osrednja (Matić et al., 1979).

3.4. FITOCENOLOŠKA OBILJEŽJA

Na području prašume Prašnik pridolaze dvije biljne zajednice: šuma hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom i rastavljenim šašem (*Genisto elatae-Quercetum roboris caricetosum remotae* Horvat 1938) koja nastanjuje niže i vlažne terene takozvane nize i šuma hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris „typicum“* Rauš 1973) koja nastanjuje svježije i ocijedite terene takozvane grede.

Šuma hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom-subasocijacija s rastavljenim šašem (*Genisto elatae Quercetum roboris caricetosum remotae* Horvat 1938)

Prema Vukeliću (2012) ova subasocijacija razvija se u nizama s relativno visokom podzemnom vodom te može biti periodično poplavljena pritokama Save ili stajaćom površinskom vodom. Za uspijevanje zajednice bitan je mikroreljef, to jest veće ili manje mikrodepresije (nize) koje sadržavaju mnogo manje vode nego šumska staništa s poljskim jasenom ili crnom johom.

U sloju drveća dominira hrast lužnjak, a još pridolaze poljski jasen, crna joha, nizinski brijest, vez, crna i bijela topola te na nekim mjestima voćkarice. Za razliku od šume hrasta lužnjaka i običnog graba, u ovoj subasocijaciji sloj grmlja je vrlo bujan i bogat vrstama. Pokrovnost sloja grmlja je od 10-50%, a sačinjavaju ga *Genista tinctoria* ssp. *Elata*, *Crataegus laevigata*, *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Pyrus piraster*, *Viburnum opulus*, *Frangula alnus*, *Rubus caesius*, *Rubus fruticosus* i druge.

Sloj prizemnog rašća ima pokrovnost 80-100%. Najčešće i sociološki najznačajnije vrste jesu *Carex remota*, *Carex strigosa*, *Cerastium silvaticum*, *Rumex sanguineus*. Razlikovne vrste subasocijacije su *Carex remota*, *Carex vesicaria*, *Caltha palustris* i *Leucojum aestivum*. Općenito, ovu subasocijaciju karakteriziraju vrste mokrih, močvarnih i poplavnih staništa (pridolaze češće i s većom pokrovnošću).

Šuma hrasta lužnjaka i običnog graba-tipična subasocijacija (*Carpino betuli-Quercetum roboris typicum* Rauš 1973)

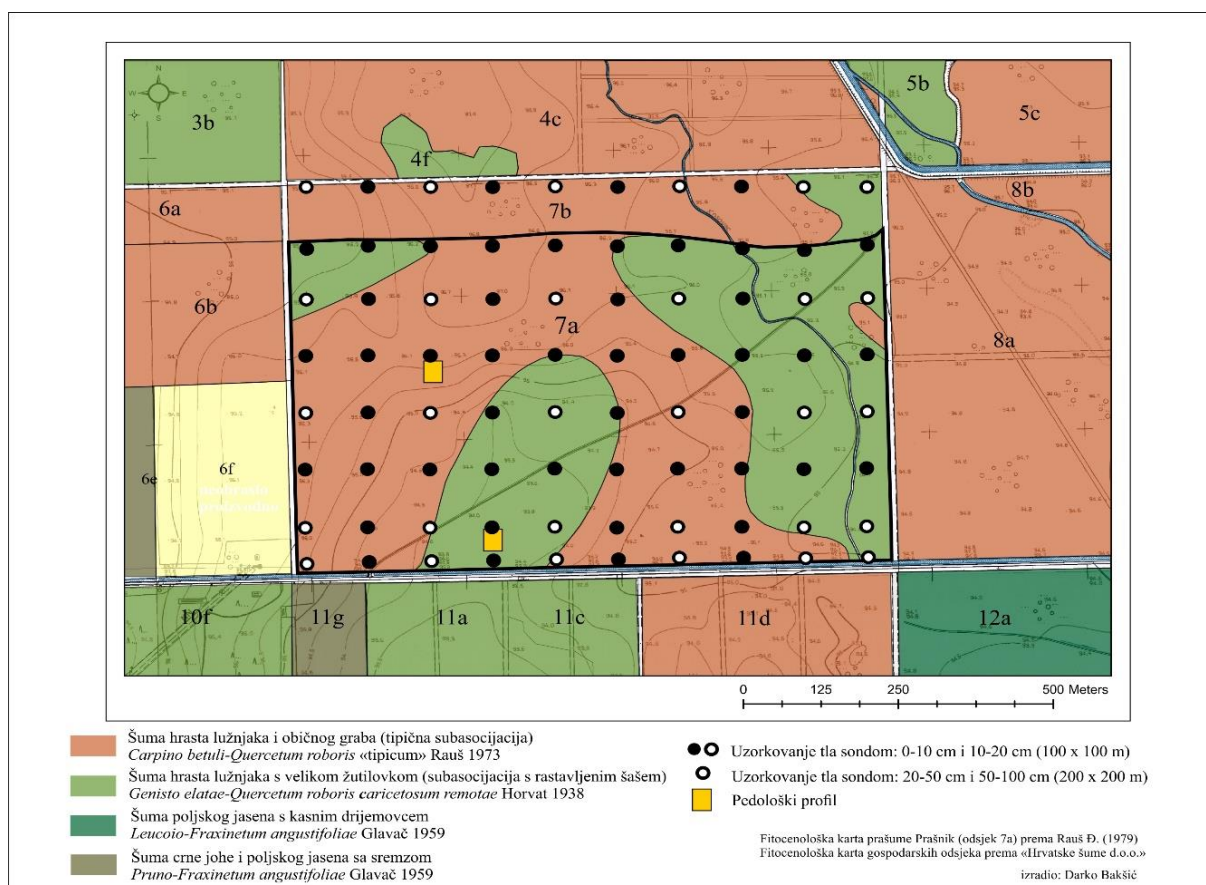
Prema Vukeliću (2012) u šumi hrasta lužnjaka s običnim grabom tlo nije izvrgnuto poplavi, ali je ono zimi zasićeno vodom. Sastojine ove subasocijacije rastu na svježim, ocjedinim povišicama ili gredama.

4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Uzorkovanje tla za potrebe ovog istraživanja kojem je cilj utvrditi prostornu distribuciju mikrohraniva u prašumi Prašnik napravljeno je u okviru diplomskog rada „Prostorna distribucija udjela organskog ugljika u tlu prašume hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)“ (Juzbašić, 2017).

Na slici 4 prikazana je mreža uzorkovanja 100 × 100 metara i mreža uzorkovanja 200 × 200 metara na istraživanom području. U sklopu mreže 100 × 100 metara uzeti su kompozitni uzorci koji se sastoje od 5 pojedinačnih uzoraka uzorkovanih na dubinama 0-10 cm i 10-20 cm, dok su u sklopu mreže 200 × 200 metara uzeti kompozitni uzorci uzorkovani sa dubina 20-50 cm i 50-100 cm.



Slika 4. Prikaz načina uzorkovanja tla u prašumi Prašnik

4.2. LABORATORIJSKE ANALIZE

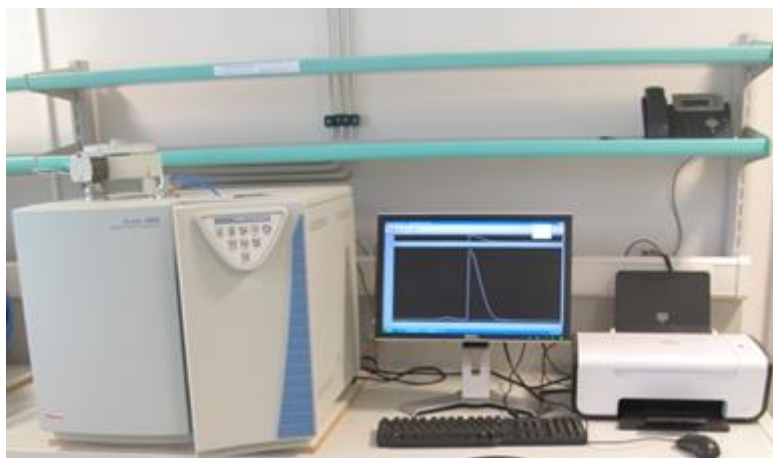
4.2.1. Priprema uzoraka

Uzorci tla sušeni su 5 do 14 dana, a zatim su takvi zrakosuhi uzorci zdrobljeni ručno u tarioniku i prosijani kroz sito gustoće pletiva 2 mm x 2 mm i 0,2 x 0,2 mm (ISO 11464, 1994). Prosijano tlo je homogenizirano, a zatim su uzeti poduzorci za pojedine analize. Oko 1/3 mase suhog tla u agregatnom obliku pohranjena je u arhivi uzoraka.

4.2.2. Laboratorijske analize uzoraka

Na uzorcima tla obavljene su sljedeće analize:

- a) određivanje pH-vrijednosti tla (HRN ISO 10390:2005);
- b) određivanje udjela karbonata u tlu – volumetrijska metoda (u skladu s ISO 10693, 1995);
U priručniku za analizu tla ICP Forest Monitoring (Cools & De Vos, 2010) navodi se da se karbonati ne određuju ako je pH (u CaCl₂) u organskom horizontu manji od 5,5, odnosno pH (u CaCl₂) u mineralnom horizontu manji od 6.
- c) određivanje udjela vode u uzorcima tla fizički izmijenjenog stanja (u skladu s ISO 11465, 1993);
- d) određivanje granulometrijskog sastava u mineralnom dijelu tla (ISO 11277, 1998);
- e) određivanje udjela organskog ugljika i ukupnog dušika suhim spaljivanjem (ISO 10694, 1995; ISO 13878, 1998) na uređaju NC Soil Flash 112 tvrtke Thermo-scientific (slika 5).



Slika 5. Uređaj za određivanje udjela organskog ugljika i ukupnog dušika NC Soil Flash 2000 Thermo Scientific (foto: I. Perković)

4.2.3. Određivanje udjela mikroelemenata

Udio mikroelemenata analiziran je Mehlich-3 metodom (Zhang et al., 2014) na tlu koje je prethodno prosijano kroz sito sa žičanom mrežom dimenzija otvora 0,2 x 0,2 mm.

Priprema otopine

Za izradu ekstrakcijskih otopina korištene su slijedeće kemikalije:

1. Amonijev nitrat (NH_3NO_3), fw=80,05, CAS # 6484-52-2,
2. Amonijev fluorid (NH_4F), fw= 37,04, CAS# 12125-01-8,
3. Dušična kiselina (HNO_3), 68-70 %, fw=63,02; 15,5 N, CAS# 7698-37-2,
4. Etilendiamintetraoctena kiselina (EDTA), $(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$, fw=292,25, CAS# 60-00-4,
5. Octena kiselina [CH_3COOH], fw= 60,05, CAS# 64-19-7 i
6. Ultračista voda (deionizirana voda).

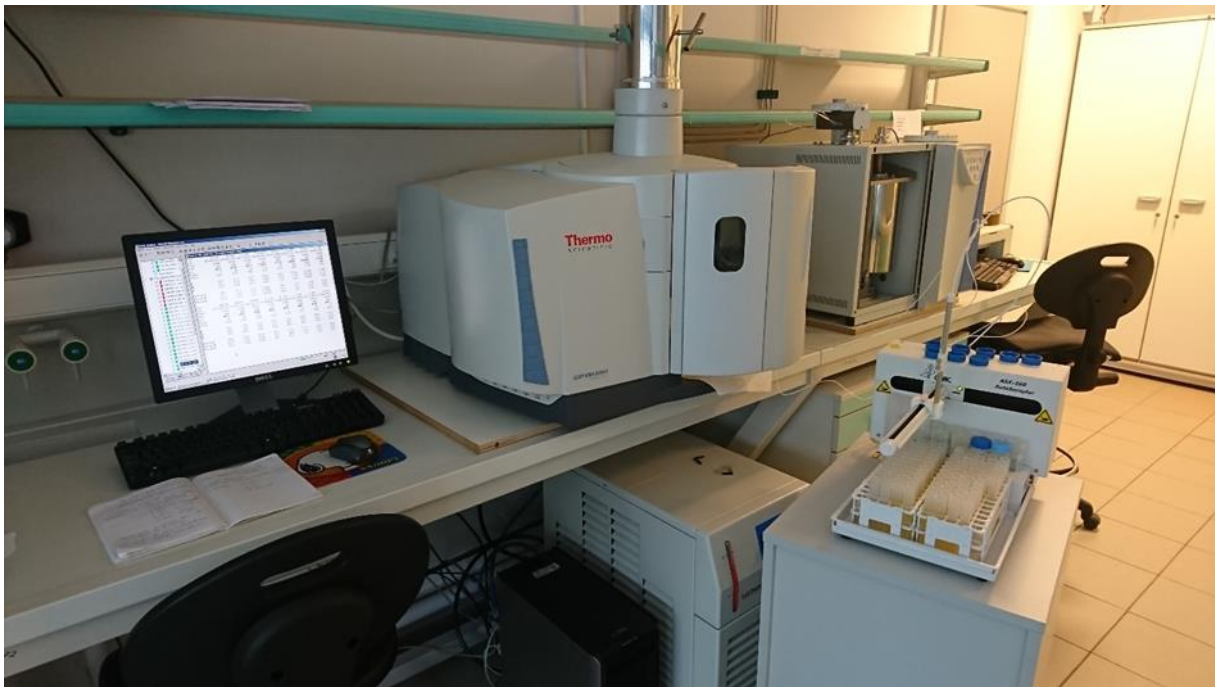
Prva faza obuhvatila je pripremu početne otopine (koncentrirane Mehlich-3 otopine) 3,75 M NH_4F + 0,25 M EDTA. U volumetrijsku tikvicu ulilo se 600 mL ultračiste vode, dodano je 138,9 g amonijevog fluorida (NH_4F) i dobro promiješano. Zatim je dodano 73,06 g etilendiamintetraoctene kiseline (EDTA, $(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$) koja se otopila, sve se prelilo u plastičnu posudu i nadopunilo ultračistom vodom do 1000 mL i još jednom dobro promiješalo.

Druga faza bila je priprema Mehlich-3 otopine. U odmjernu volumetrijsku plastičnu tikvicu zapremnine 1000 mL ulilo se 600 mL ultračiste vode. Zatim se u to dodalo 20,01 g amonijevog nitrata (NH_3NO_3), sve se dobro promiješalo dok se potpuno nije otopilo. Nadalje se dodalo 4 mL početne otopine 3,75 M NH_4F + 0,25 M EDTA i dobro promiješalo. U dobivenu otopinu na kraju je dodano 11,5 mL koncentrirane octene kiseline (CH_3COOH) i 0,825 mL koncentrirane dušične kiseline (HNO_3) te se dopunilo ultračistom vodom do 1000 mL. Sve se ponovo promiješalo do potpunog otapanja. pH-vrijednost otopine iznosila je $2,50 \pm 0,05$.

Postupak analize

Za ekstrakciju mikro i makrohraniva iz tla odvagnulo se $2,0 \pm 0,05$ g grama uzorka tla u plastičnu Erlenmeyer kivetu koje se zatim prelilo s 20 mL prethodno pripremljene ekstrakcijske otopine. Uz svaku seriju uzoraka (14 uzoraka u seriji) provedene su i dvije slijepe probe ("blank"). Poslije prelijevanja s ekstrakcijskom otopinom uzorci su stavljeni u laboratorijsku mućalicu Tehnica Vibromix 403 EVT gdje su mućkani 5 minuta brzinom od 200 oscilacija u minuti. Nakon mućkanja, uzorci su flitrirani kroz filtar papir Whatman u polipropilenske scintilacijske posudice u kojima je nakon filtracije izolirana otopina tla.

Otopina tla dobivena ekstrakcijom metodom Mehlich-3 analizirana je atomskim emisijskim spektrometrom uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-AES) (slika 6).



Slika 6. Atomski emisijski spektrometar uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-AES) Thermo Fisher, iCAP 6300 (foto: I. Perković)

4.3. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Statističke analize obavljene su u programu "Statistica 8" (StatSoft, Inc., 2007) i Excel. Za sva mikrohraniva, odvojeno za dvije zajednice hrasta lužnjaka: *Genisto elatae- Quercetum roboris* (Ge-Qr) i *Carpino betuli-Quercetum roboris* (Cb-Qr), napravljena je deskriptivna statistika: broj uzoraka, aritmetička sredina, medijan, minimum, maksimum, donji kvartil, gornji kvartil, standardna devijacija, koeficijent varijacije i standardna pogreška aritmetičke sredine. Navedene zajednice u tekstu diplomskog rada nadalje su, zbog jednostavnosti, označene kraticama Ge-Qr i Cb-Qr. Za dubine uzorkovanja prilikom statističkih analiza odabrane su brojčane oznake 10 (dubina 0-10 cm), 20 (dubina 10-20 cm), 50 (dubina 20 – 50 cm) i 100 (dubina 50 – 100 cm).

Pri tome je važno istaknuti da su, temeljem fitocenološke karte koju je izradio Rauš (Matić et al., 1979), iz statističkih analiza bili isključeni oni uzorci iz mreže uzorkovanja tla koji se nalaze na kontaktu dviju fitocenoza: *Genisto elatae - Quercetum roboris* (Ge-Qr) i *Carpino betuli- Quercetum roboris* (Cb-Qr).

Međusobne razlike između koncentracija mikrohraniva u dvije zajednice hrasta lužnjaka *Genisto elatae- Quercetum roboris* i *Carpino betuli-Quercetum roboris* testirane su t-testom, odnosno Mann-Whitney U test-om. Greška tipa I (α) od 5% smatrana je statistički značajnom (Sokkal & Rohlf, 1995).

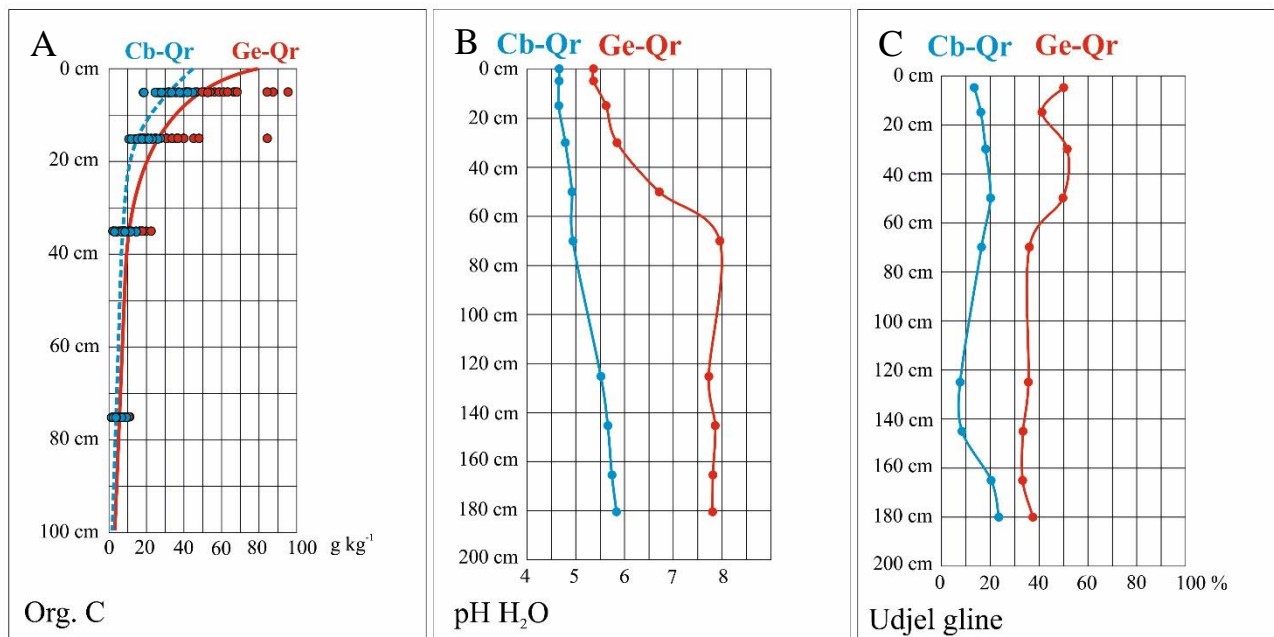
Prostorne distribucije koncentracija Fe, Mn i Cu po dubinama u tlu (0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 50 cm i 50 – 100 cm) izražene u mg kg^{-1} prikazane su predikcijskim kartama izrađenim determinističkom prostornom interpolacijskom tehnikom: Inverse Distance Weighting (IDW), u ArcMap-u. ArcGIS ekstenzijom Geostatistical Analyst generirane su karte koncentracija pojedinih elemenata, klase koncentracija odabrane su manualno, a boje idu od plave (najmanje vrijednosti) do crvene (najviše vrijednosti).

U izračun je bilo uključeno maksimalno 15 susjednih točaka, a minimum je bio 10 točaka. Doseg izračuna bio je krug promjera 250 m. S povećanjem udaljenosti od točke smanjuje se i njezin utjecaj na predviđanje. Koliko brzo će taj utjecaj padati, ovisi o veličini eksponenta udaljenosti (p). Ako je $p=0$, nema međusobnog djelovanja točaka i predviđanje je prosječna mjerena vrijednost. S povećanjem vrijednosti p pada utjecaj točke s udaljavanjem od nje. Da bi se dobio optimalan i ravnomjeran međusobni utjecaj točaka, birana je vrijednost eksponenta udaljenosti 2.

5. REZULTATI

5.1. OPĆE ZNAČAJKE TLA PRAŠUME PRAŠNIK

U ovom potpoglavlju statistički su analizirane i opisane opće značajke tla: pH-vrijednost, udjel organskog ugljika i ukupnog dušika, C:N odnos i granulometrijski sastav tla, odnosno udjel frakcije gline zbog toga što navedene značajke mogu imati ili imaju važnu ulogu u interpretaciji dobivenih rezultata za mikrohraniva.



Slika 7. Udjel Org. C, pH_{H₂O} i udjel gline u tlu u zajednicama Ge-Qr i Cb-Qr

Temeljem određenih pH_{H₂O}-vrijednosti (tablica pH_{H₂O} iz Pernar et al., 2013) do 100 cm dubine (tablica 1), kao i temeljem pH_{H₂O}-vrijednosti uzoraka tla uzetih sondom do 190 cm dubine može se reći da je tlo u zajednici Ge-Qr do dubine od 20 cm osrednje kiselo, zatim u rasponu od 20 cm do 100 cm slabo do vrlo slabo kiselo, a od 100 cm pa do 190 cm slabo do osrednje alkalno. U zajednici Cb-Qr u cijelom profilu tla do dubine od 190 cm tlo je osrednje kiselo gdje je uočljiv blagi porast pH_{H₂O}-vrijednosti od 5,03 u površinskim 10 cm tla do 5,96 na dubini od 190 cm (slika 7B).

Rezultati udjela organskog ugljika (tablica 2) upućuju na to da je tlo u zajednici Ge-Qr do dubine od 20 cm jako humozno, a za dubinu od 20 do 50 cm slabo humozno. U zajednici Cb-Qr u površinskim 10 cm dubine tlo je također jako humozno, od 10 do 20 cm dubine osrednje humozno, a od 20 do 50 cm slabo humozno. Udjel organskog ugljika do 100 cm dubine u zajednicama Ge-Qr i Cb-Qr prikazan je na slici 7A.

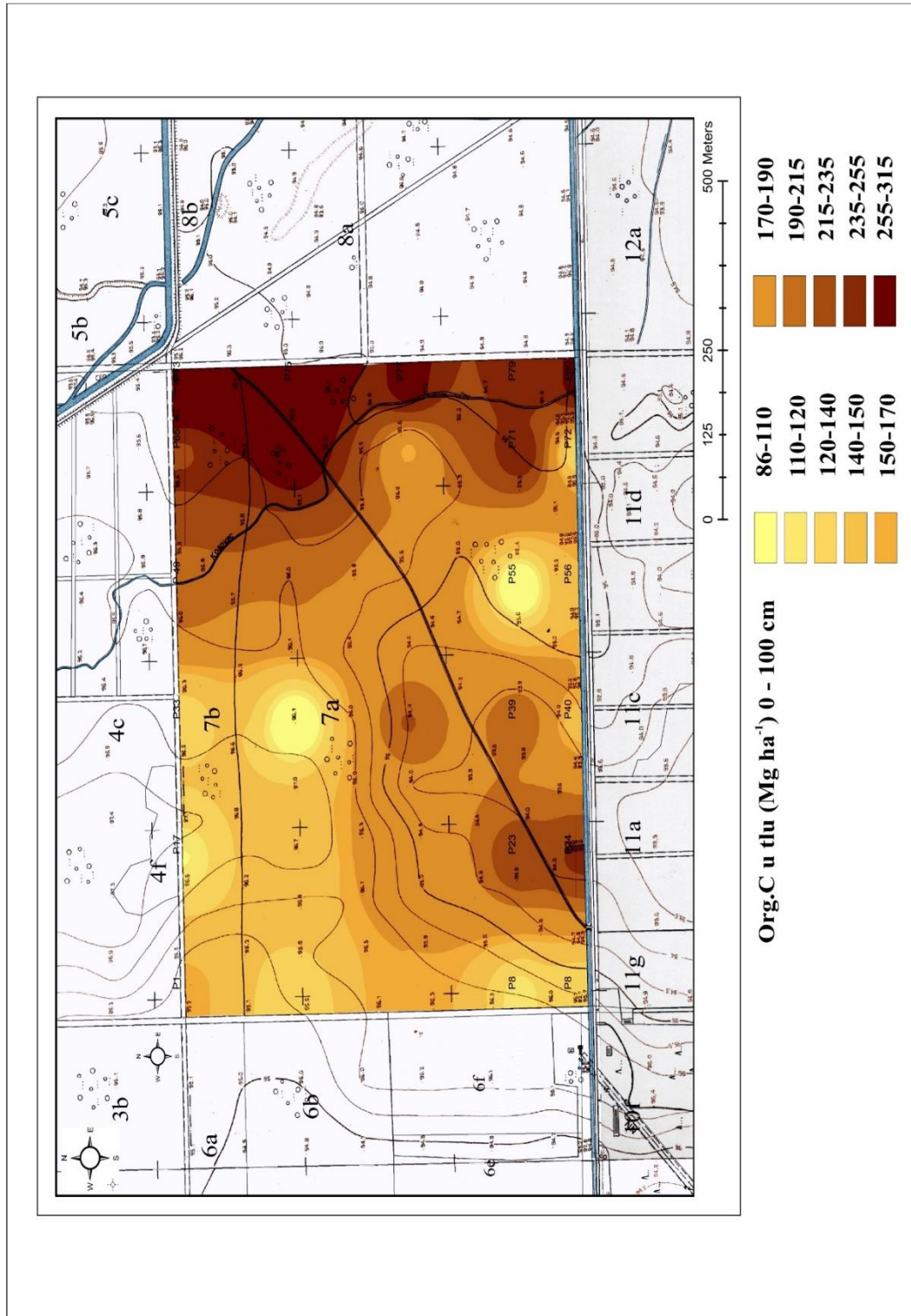
Tablica 1. pH vrijednost u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: *Genisto elatae* - *Quercetum roboris* (Ge-Qr) i *Carpino betuli*- *Quercetum roboris* (Cb-Qr)

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
pH _{H2O} Ge-Qr	0 - 10 cm	26	5,49	5,43	4,71	6,18	5,32	5,86	0,41	7,45	0,08
pH _{CaCl2} Ge-Qr			4,71	4,80	3,79	5,66	4,38	5,11	0,50	10,61	0,10
pH _{H2O} Ge-Qr	10 - 20 cm	26	5,53	5,48	4,82	6,12	5,36	5,84	0,38	6,95	0,08
pH _{CaCl2} Ge-Qr			4,74	4,77	3,76	5,34	4,55	5,13	0,44	9,29	0,09
pH _{H2O} Ge-Qr	20 - 50 cm	11	5,89	6,09	4,90	6,69	5,19	6,36	0,63	10,68	0,19
pH _{CaCl2} Ge-Qr			5,05	5,09	4,03	5,79	4,99	5,46	0,55	10,90	0,17
pH _{H2O} Ge-Qr	50 - 100 cm	11	6,84	6,84	5,25	7,72	6,65	7,49	0,79	11,50	0,24
pH _{CaCl2} Ge-Qr			6,10	6,10	4,20	7,40	5,86	6,91	1,01	16,53	0,30
pH _{H2O} Cb-Qr	0 - 10 cm	29	5,17	5,03	4,40	5,98	4,82	5,64	0,46	8,86	0,09
pH _{CaCl2} Cb-Qr			4,26	4,11	3,63	5,32	3,91	4,51	0,45	10,61	0,08
pH _{H2O} Cb-Qr	10 - 20 cm	29	5,23	5,03	4,54	6,99	4,88	5,64	0,55	10,45	0,10
pH _{CaCl2} Cb-Qr			4,21	4,08	3,72	5,47	3,93	4,33	0,46	10,81	0,08
pH _{H2O} Cb-Qr	20 - 50 cm	10	5,58	5,39	5,02	6,86	5,10	5,84	0,58	10,34	0,18
pH _{CaCl2} Cb-Qr			4,56	4,39	4,10	6,01	4,21	4,63	0,59	12,87	0,19
pH _{H2O} Cb-Qr	50 - 100 cm	10	5,85	5,64	5,20	6,80	5,44	6,35	0,56	9,65	0,18
pH _{CaCl2} Cb-Qr			4,88	4,76	4,30	6,10	4,56	5,07	0,50	10,18	0,16

Tablica 2. Udjel organskog ugljika (g kg⁻¹) u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: *Genisto elatae* - *Quercetum roboris* (Ge-Qr) i *Carpino betuli*- *Quercetum roboris* (Cb-Qr)

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
Org. C (g kg ⁻¹) Ge-Qr	0 - 10 cm	26	55,2	52,5	31,8	95,7	41,4	66,8	17,1	30,9	3,3
	10 - 20 cm	26	31,5	30,6	16,7	84,6	20,9	36,8	14,1	44,6	2,8
	20 - 50 cm	11	14,8	16,5	6,5	22,6	10,9	18,0	5,0	33,7	1,5
	50 - 100 cm	11	6,8	7,4	2,1	11,2	3,7	8,8	3,1	44,7	0,9
Org. C (g kg ⁻¹) Cb-Qr	0 - 10 cm	29	32,1	31,8	18,4	52,8	27,5	36,1	7,4	22,9	1,4
	10 - 20 cm	29	18,8	19,8	10,7	26,2	15,8	21,5	3,8	20,3	0,7
	20 - 50 cm	10	8,4	8,2	3,0	14,7	6,9	11,1	3,5	41,0	1,1
	50 - 100 cm	10	4,5	4,0	1,4	9,4	2,3	6,7	2,7	58,8	0,8

Prostorna distribucija zalihe organskog ugljika (Mg Org C ha^{-1}) u mineralnom dijelu tla do 100 cm dubine također se poklapa s prostornim rasporedom dviju biljnih zajednica Ge-Qr i Cb-Qr na području prašume Prašnik, a može se vidjeti iz karte preuzete iz rada Bakšić et al. (2018).



Slika 8. Prostorna distribucija udjela organskog ugljika (Mg Org C ha^{-1}) u tlu do 100 cm dubine na području prašume Prašnik (Bakšić et al., 2018)

Prema udjelu ukupnog dušika tlo je u zajednici Ge-Qr do dubine od 20 cm vrlo bogato opskrbljeno dušikom, a na dubini od 20 do 50 cm čak dobro opskrbljeno dušikom. U zajednici Cb-Qr do 10 cm dubine tlo je bogato opskrbljeno dušikom, a na dubini 10 do 20 cm dobro opskrbljeno dušikom (tablica 3). C:N odnos u obje zajednice je jako uzak i povoljan (tablica 4).

Tablica 3. Udjel ukupnog dušika (g kg^{-1}) u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
N uk. (g kg^{-1}) Ge-Qr	0 - 10 cm	26	4,7	4,6	2,5	9,1	3,4	5,7	1,7	36,0	0,3
	10 - 20 cm	26	3,2	3,0	1,3	6,9	1,9	3,8	1,7	50,9	0,3
	20 - 50 cm	11	1,4	1,5	0,6	1,9	1,2	1,7	0,4	30,7	0,1
	50 - 100 cm	11	0,7	0,6	0,3	1,2	0,5	1,0	0,3	44,3	0,1
N uk. (g kg^{-1}) Cb-Qr	0 - 10 cm	29	2,3	2,3	0,9	5,4	1,7	2,7	0,8	36,1	0,2
	10 - 20 cm	29	1,3	1,3	0,2	2,3	0,9	1,5	0,4	34,6	0,1
	20 - 50 cm	10	0,7	0,5	0,2	1,3	0,4	1,1	0,4	61,2	0,1
	50 - 100 cm	10	0,4	0,4	0,1	0,7	0,3	0,4	0,1	41,7	0,0

Tablica 4. C:N u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
C:N Ge-Qr	0 - 10 cm	26	12	13	5,6	15,7	11,3	13,5	2,1	17,7	0,4
	10 - 20 cm	26	10	11	4,8	13,7	10,3	12,0	2,4	23,3	0,5
	20 - 50 cm	11	11	11	7,2	16,2	9,8	11,7	2,2	20,2	0,7
	50 - 100 cm	11	10	9	4,5	14,3	8,3	11,5	2,5	26,4	0,8
C:N Cb-Qr	0 - 10 cm	29	14	13	9,8	21,4	12,5	16,3	2,7	18,6	0,5
	10 - 20 cm	29	19	15	6,7	113,7	12,3	19,3	18,9	99,9	3,5
	20 - 50 cm	10	17	11	5,5	41,6	7,9	27,2	12,4	72,0	3,9
	50 - 100 cm	10	20	10	3,8	93,6	4,9	17,7	27,4	135,6	8,7

Prema granulometrijskom sastavu tla utvrđeno je da je u zajednici Ge-Qr do dubine od 80 cm tlo praškasta glinuša, a od 80 cm do 190 cm praškasto glinasta ilovača, dok je u zajednici Cb-Qr do dubine od 80 cm tlo ilovača, a od 80 do 190 cm pjeskovita ilovača. Jasno je uočljiva teža tekstura tla u zajednici Ge-Qr unutar cijelog profila tla s time da je do 80 cm udjel glinovite frakcije izrazito visok i kreće se oko 50% (slika 7C).

5.2. MIKROHRANIVA U TLU PRAŠUME PRAŠNIK

5.2.1. Željezo (Fe)

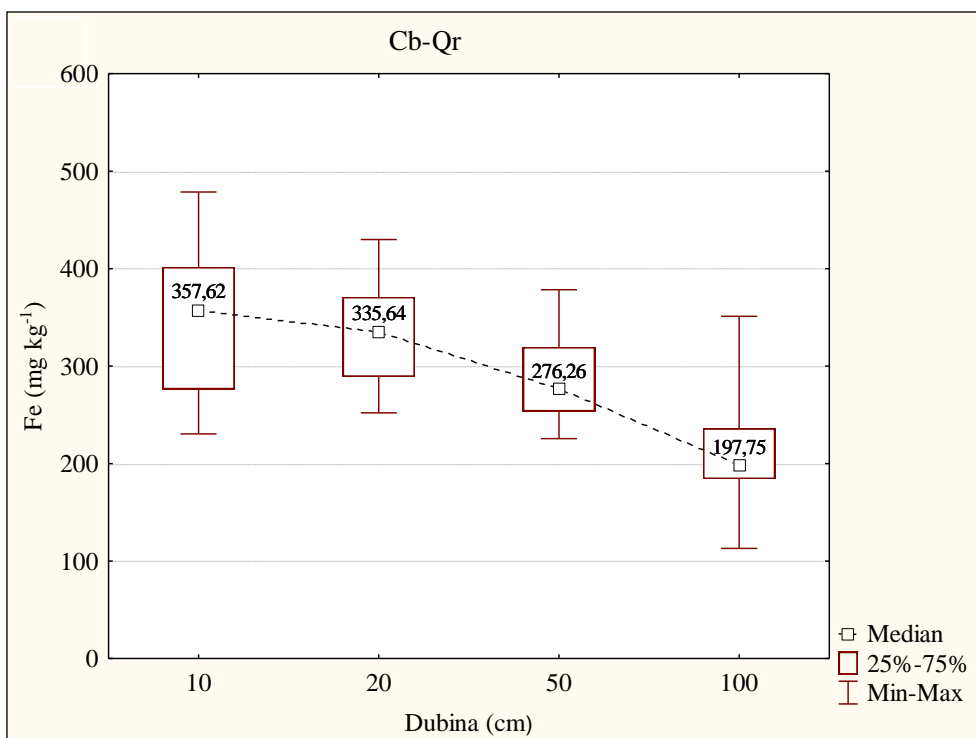
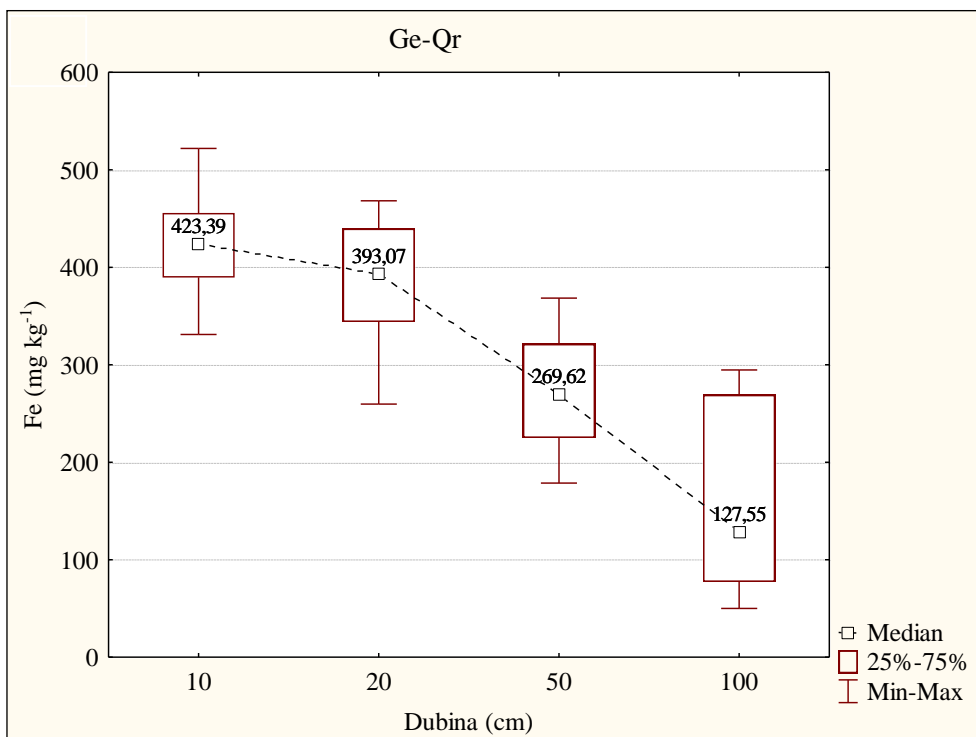
Tablica 5 prikazuje koncentracije željeza u tlu do dubine od 100 cm za dvije zajednice Ge-Qr i Cb-Qr. Zajednica Ge-Qr ima veće vrijednosti medijana Fe za dubine tla 0-10 cm i 10-20 cm od zajednice Cb-Qr. Razlika u koncentraciji Fe u tlu za navedene dubine statistički je značajna ($Z = 3,675$, $p < 0,01$; $Z = 3,114$, $p < 0,01$).

Za dubine tla 20-50 cm i 50-100 cm zajednica Cb-Qr ima veće vrijednosti medijana koncentracije Fe, ali ta razlika nije statistički značajna.

Tablica 5. Udjel Fe u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
Fe (mg kg ⁻¹) Ge-Qr	0 - 10 cm	26	423,40	423,39	331,15	521,91	389,40	455,77	50,94	12,03	9,99
	10 - 20 cm	25	384,89	393,07	259,67	468,26	344,00	439,62	60,06	15,60	12,01
	20 - 50 cm	10	272,99	269,62	178,60	368,37	225,07	321,37	65,72	24,07	20,78
	50 - 100 cm	11	164,17	127,55	50,03	294,64	77,27	269,09	92,62	56,41	27,93
Fe (mg kg ⁻¹) Cb-Qr	0 - 10 cm	29	347,78	357,62	230,42	478,67	276,35	401,60	71,83	20,65	13,34
	10 - 20 cm	29	331,99	335,64	252,04	429,83	289,10	370,85	54,49	16,41	10,12
	20 - 50 cm	10	287,39	276,26	225,64	378,42	253,56	319,54	44,52	15,49	14,08
	50 - 100 cm	10	210,41	197,75	113,03	351,14	184,26	236,10	61,20	29,09	19,35

Na slici 9 nešto je jasnije uočljiva razlika u koncentraciji željeza (Fe) po dubinama tla do 100 cm između dvije istraživane zajednice. Prema vrijednosti medijana vidljivo je kako koncentracija željeza u obje zajednice najveću vrijednost ima u površinskih 20 cm, a zatim se ta vrijednost dubinom smanjuje.



Slika 9. Koncentracija željeza (Fe) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)

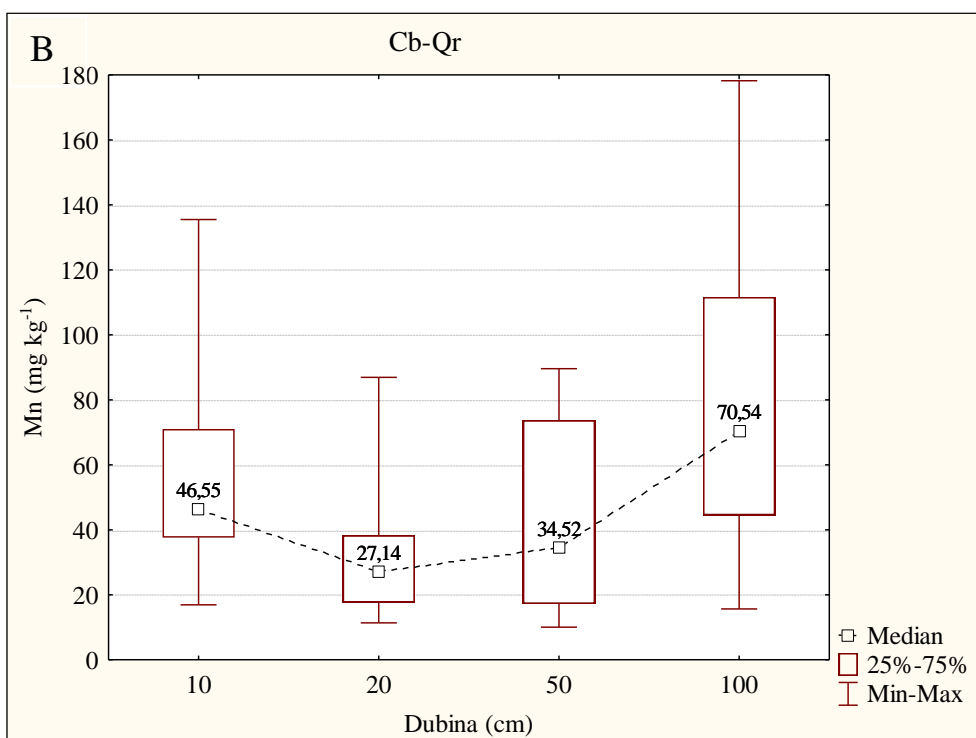
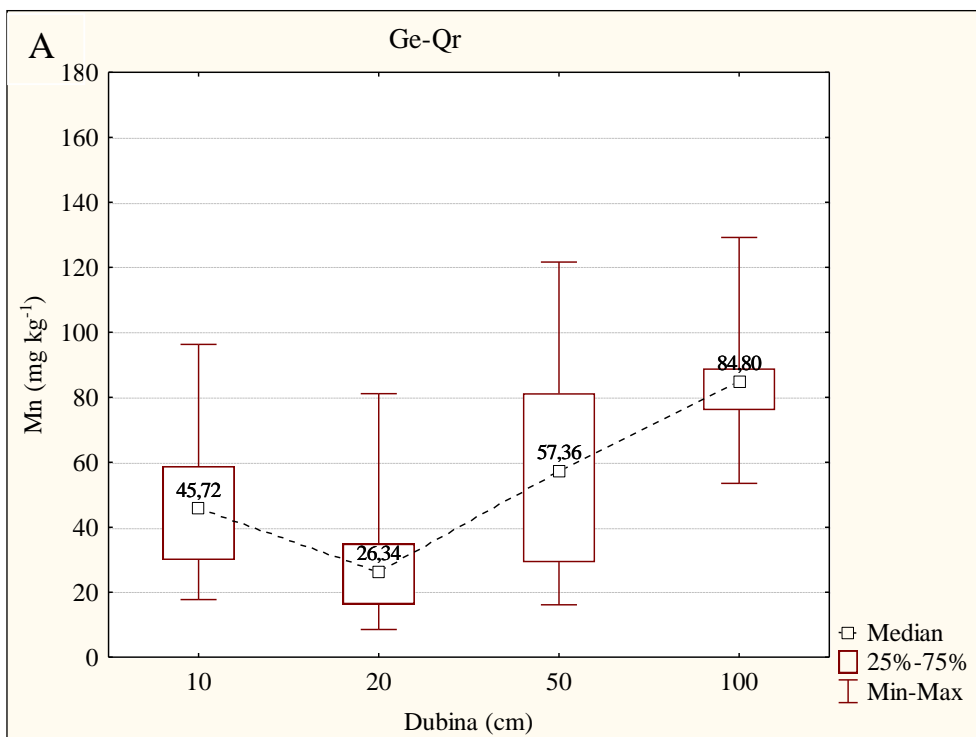
5.2.2. Mangan (Mn)

Tablica 6 prikazuje koncentracije mangana u tlu do dubine od 100 cm za dvije zajednice Ge-Qr i Cb-Qr. U površinskih 20 cm tla zajednica Cb-Qr ima neznatno veće vrijednosti medijana koncentracije Mn u odnosu na zajednicu Ge-Qr, a zatim zajednica Ge-Qr od 20 cm dubine do 100 cm dubine u odnosu na zajednicu Cb-Qr ima nešto veće vrijednosti medijana za Mn. Nije utvrđena statistički značajna razlika u koncentracijama Mn za sve dubine tla između zajednica.

Tablica 6. Udjel Mn u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
Mn (mg kg ⁻¹) Ge-Qr	0 - 10 cm	26	46,74	45,72	17,74	96,28	29,94	58,82	20,09	42,99	3,94
	10 - 20 cm	25	29,79	26,34	8,51	81,12	16,32	34,94	17,52	58,82	3,50
	20 - 50 cm	10	56,66	57,36	16,15	121,59	29,21	81,25	33,22	58,63	10,51
	50 - 100 cm	11	85,04	84,80	53,49	129,17	76,03	88,87	20,42	24,01	6,16
Mn (mg kg ⁻¹) Cb-Qr	0 - 10 cm	29	59,39	46,55	16,92	135,48	37,61	71,04	32,36	54,49	6,01
	10 - 20 cm	29	31,90	27,14	11,38	86,91	17,63	38,30	18,83	59,02	3,50
	20 - 50 cm	10	42,22	34,52	10,04	89,59	17,24	73,71	29,10	68,92	9,20
	50 - 100 cm	10	80,54	70,54	15,65	178,21	44,49	111,65	53,60	66,55	16,95

Na slici 10 uočava se identičan trend koncentracija Mn po dubinama za obje zajednice. Koncentracije Mn od površine do 20 cm opadaju, a zatim od 20 cm do 100 cm rastu s time da je najveća koncentracija na dubini 50 do 100 cm.



Slika 10. Koncentracija mangana (Mn) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)

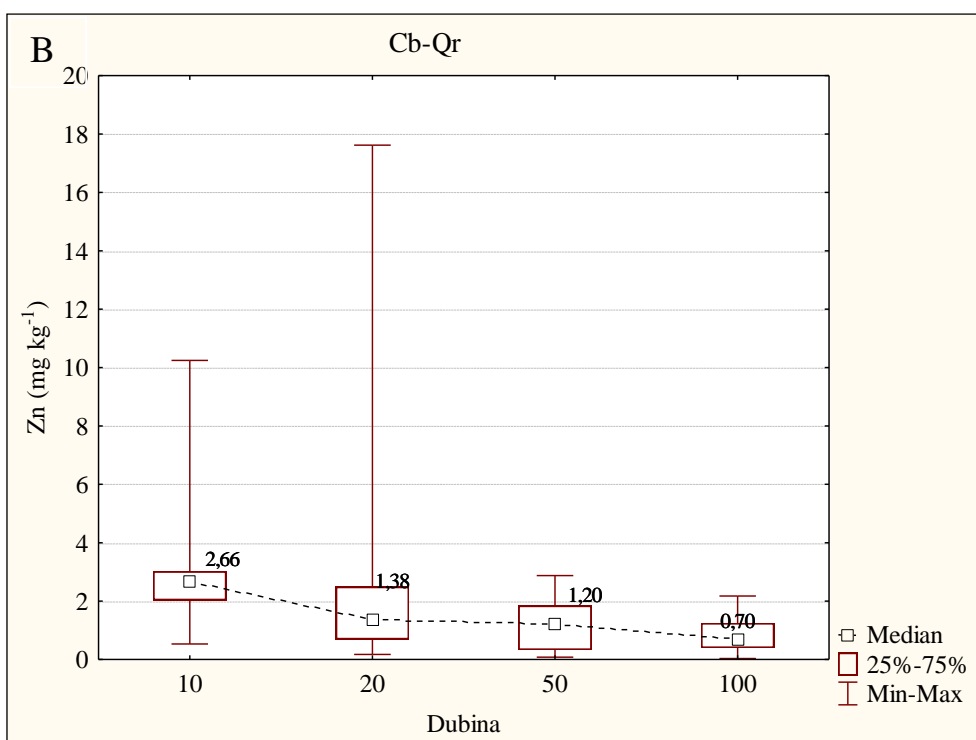
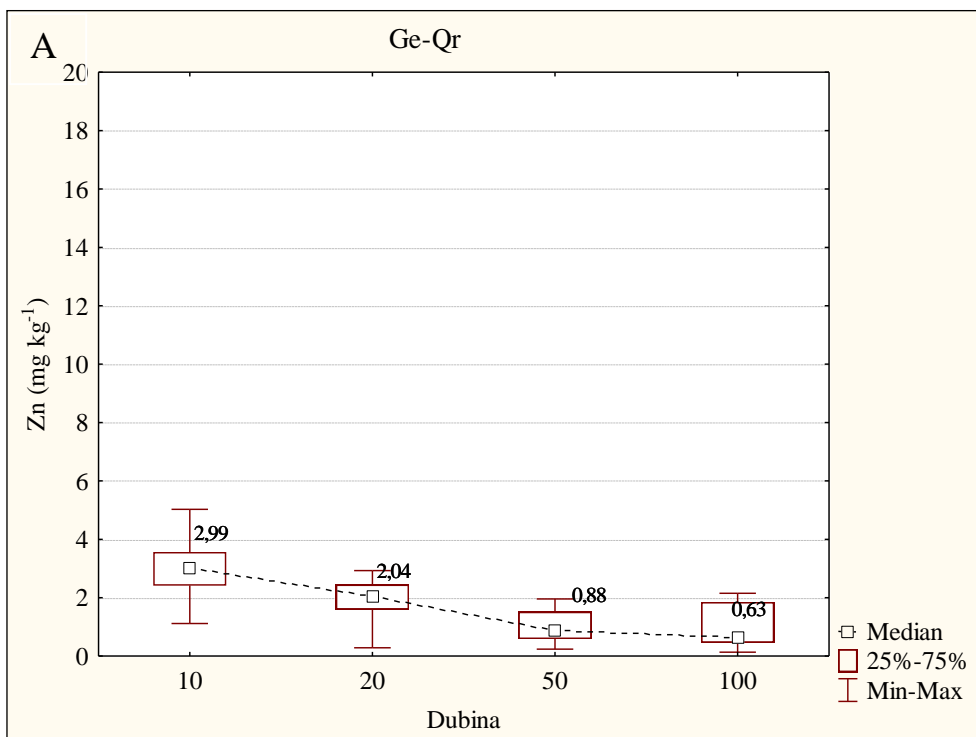
5.2.3. Cink (Zn)

Tablica 7 prikazuje koncentracije cinka u tlu do dubine od 100 cm za dvije zajednice Ge-Qr i Cb-Qr. Zabilježen je pad koncentracije Zn s povećanjem dubine, tako da u površinskih 10 cm tla vrijednost medijana za Zn u zajednici Ge-Qr iznosi 2,99 mg kg⁻¹, odnosno u zajednici Cb-Qr 2,66 mg kg⁻¹ da bi za dubinu od 50 do 100 cm iznosio u Ge-Qr 0,63 mg kg⁻¹, a u zajednici Cb-Qr 0,70 mg kg⁻¹. Utvrđene vrijednosti koncentracija cinka u obje zajednice su podjednake, ne postoji statistički značajna razlika u koncentracijama, ali je u zajednici Cb-Qr kod prisutna značajnija varijabilnost – koeficijent varijacije iznosi čak do 173%.

Tablica 7. Udjel Zn u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
Zn (mg kg ⁻¹) Ge-Qr	0 - 10 cm	26	3,01	2,99	1,11	5,03	2,41	3,57	0,80	26,59	0,16
	10 - 20 cm	22	2,01	2,04	0,29	2,93	1,59	2,46	0,70	35,05	0,15
	20 - 50 cm	9	0,94	0,88	0,24	1,96	0,59	1,09	0,53	55,97	0,18
	50 - 100 cm	9	0,97	0,63	0,13	2,15	0,46	1,85	0,81	84,06	0,27
Zn (mg kg ⁻¹) Cb-Qr	0 - 10 cm	23	2,83	2,66	0,53	10,24	1,98	2,81	2,04	72,02	0,43
	10 - 20 cm	19	2,32	1,38	0,17	17,62	0,63	2,49	4,01	173,02	0,92
	20 - 50 cm	8	1,20	1,20	0,08	2,87	0,25	1,88	0,99	82,75	0,35
	50 - 100 cm	7	1,01	0,70	0,04	2,17	0,32	2,14	0,87	86,32	0,33

Na slici 11 za cink je uočljiv ujednačen raspon koncentracija i trend s većom varijabilnošću u Cb-Qr u površinskih 20 cm tla.



Slika 11. Koncentracija cinka (Zn) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)

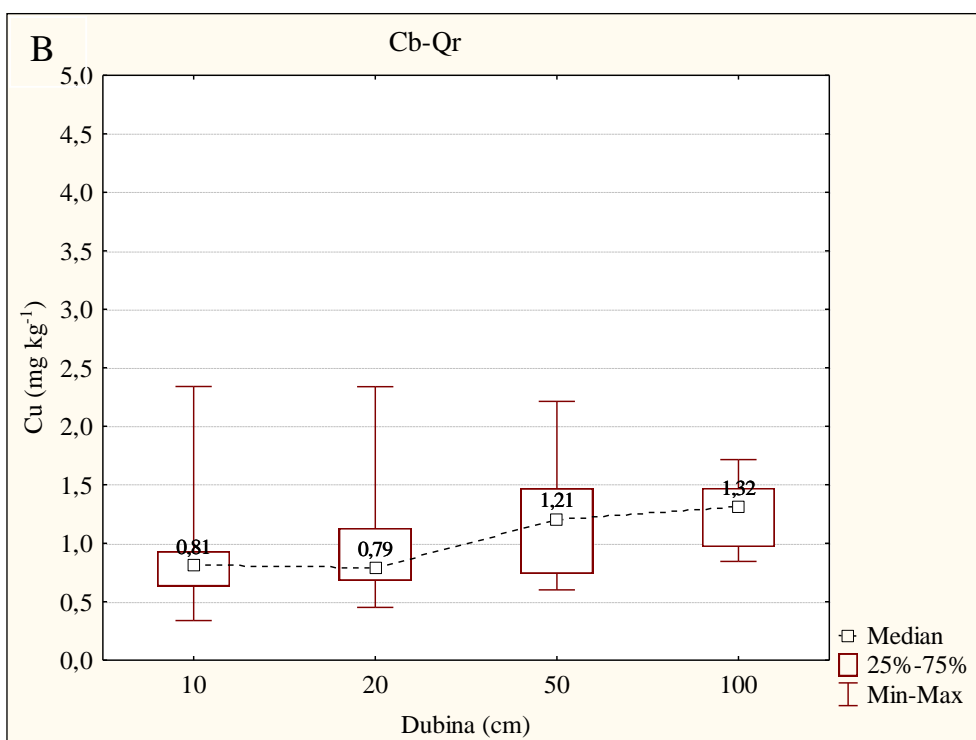
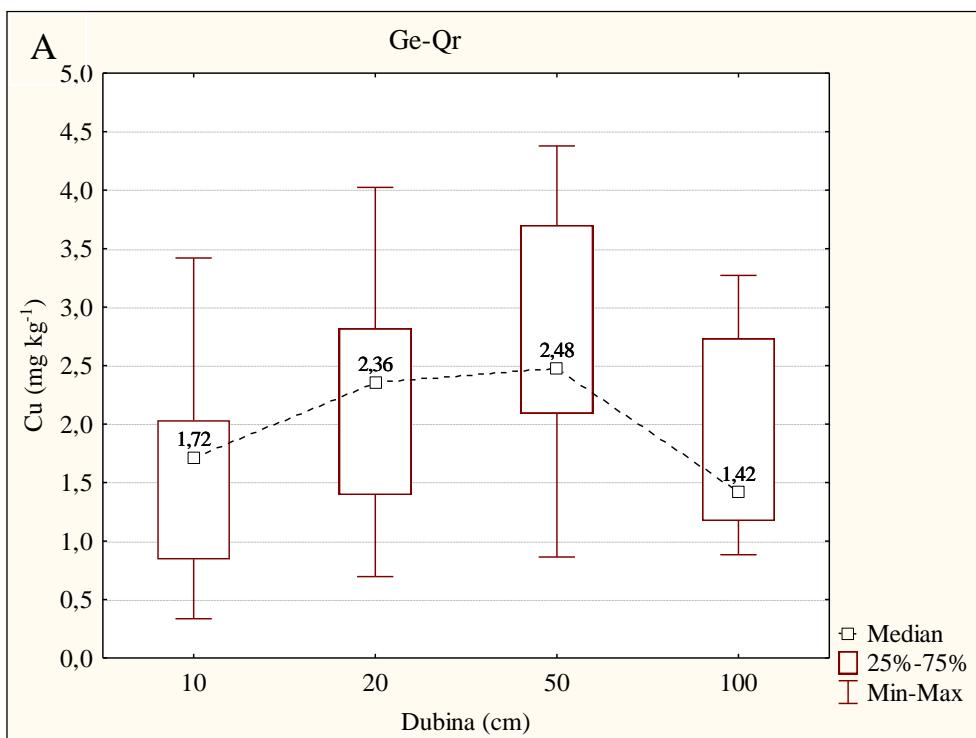
5.2.4. Bakar (Cu)

Tablica 8 prikazuje koncentracije bakra u tlu do dubine od 100 cm za dvije zajednice Ge-Qr i Cb-Qr. U zajednici Ge-Qr do dubine od 100 cm za sve dubine uzorkovanja utvrđene su veće vrijednosti koncentracija bakra u tlu u odnosu na zajednicu Cb-Qr. Utvrđena je statistički značajna razlika u koncentraciji Cu za dubinu tla do 50 cm između dvije navedene zajednice ($Z = 3,237$, $p < 0,01$; $Z = 4,623$, $p < 0,01$; $Z = 2,646$, $p < 0,01$), dok za dubinu tla od 50 cm do 100 cm razlika nije statistički značajna.

Tablica 8. Udjel Cu u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
Cu (mg kg ⁻¹) Ge-Qr	0 - 10 cm	26	1,65	1,72	0,34	3,42	0,84	2,03	0,80	48,63	0,16
	10 - 20 cm	25	2,19	2,36	0,70	4,02	1,39	2,82	0,93	42,43	0,19
	20 - 50 cm	10	2,57	2,48	0,86	4,38	2,09	3,70	1,16	45,31	0,37
	50 - 100 cm	11	1,77	1,42	0,88	3,27	1,17	2,73	0,83	47,22	0,25
Cu (mg kg ⁻¹) Cb-Qr	0 - 10 cm	29	0,91	0,81	0,34	2,34	0,63	0,93	0,51	56,55	0,10
	10 - 20 cm	29	0,97	0,79	0,45	2,34	0,68	1,13	0,46	47,65	0,09
	20 - 50 cm	10	1,20	1,21	0,60	2,21	0,74	1,47	0,50	41,31	0,16
	50 - 100 cm	10	1,26	1,32	0,85	1,72	0,97	1,47	0,29	23,34	0,09

Na temelju slike 12 jasno se može uočiti razlika između koncentracija bakra u tlu prema dubinama u dvije istraživane zajednice hrasta lužnjaka. Najveća razlika koncentracije bakra uočljiva je za dubinu tla od 10 do 20 cm, a najmanja za dubinu od 50 do 100 cm.



Slika 12. Koncentracija bakra (Cu) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)

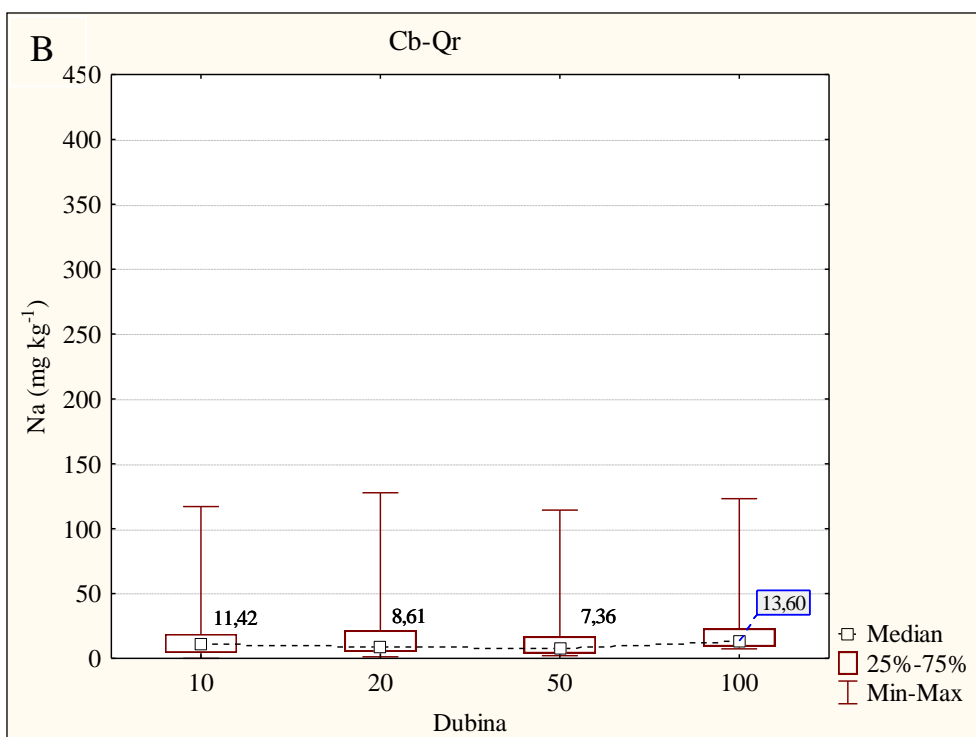
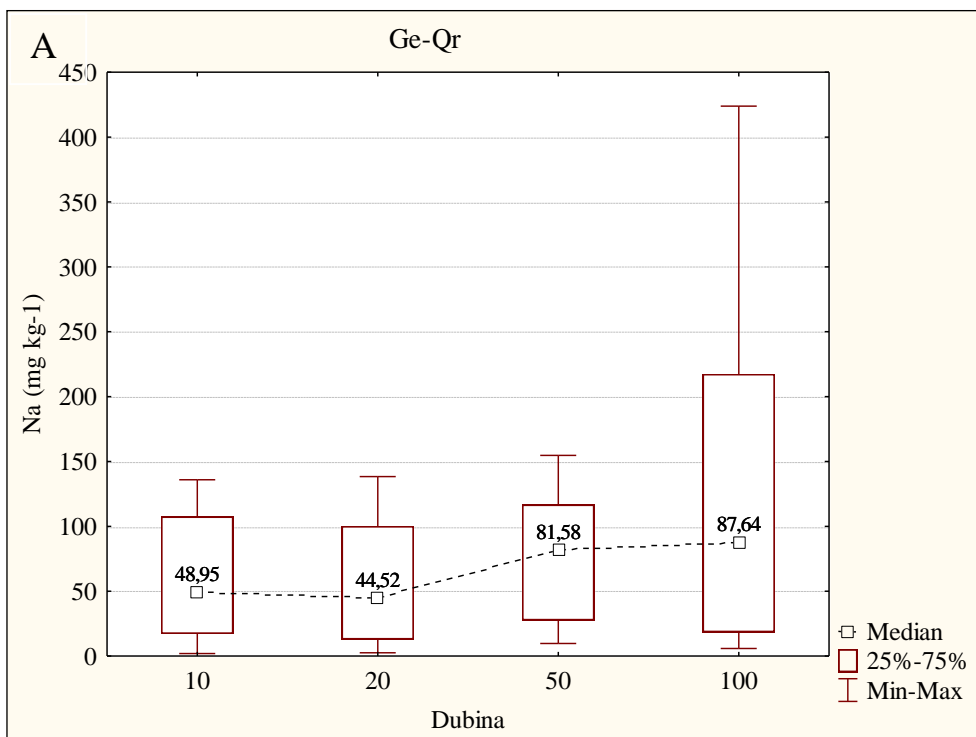
5.2.5. Natrij (Na)

Tablica 9 prikazuje koncentracije natrija u tlu do dubine od 100 cm za dvije zajednice Ge-Qr i Cb-Qr. U zajednici Ge-Qr do dubine od 100 cm za sve dubine uzorkovanja utvrđene su veće vrijednosti koncentracija Na u tlu u odnosu na zajednicu Cb-Qr. Utvrđena je statistički značajna razlika u koncentraciji Na za dubinu tla do 50 cm između dvije navedene zajednice ($Z = 3,126, p < 0,01$; $Z = 2,693, p < 0,01$; $Z = 2,598, p < 0,01$), dok za dubinu tla od 50 cm do 100 cm razlika nije statistički značajna.

Tablica 9. Udjel Na u tlu do 100 cm dubine u dvije zajednice hrasta lužnjaka: Ge-Qr i Cb-Qr

Varijabla/zajednica	Dubina	N	Aritm. sred.	Medijan	Min.	Maks.	Donji kvartil	Gornji kvartil	Std. dev.	Koef. varijacije	Std. pogreška
Na (mg kg ⁻¹) Ge-Qr	0 - 10 cm	25	61,10	48,95	1,99	135,94	17,17	107,50	46,47	76,05	9,29
	10 - 20 cm	22	59,15	44,52	2,55	138,32	12,87	100,14	46,30	78,28	9,87
	20 - 50 cm	9	78,01	81,58	9,74	154,67	27,62	116,69	56,51	72,44	18,84
	50 - 100 cm	9	153,85	107,63	5,88	423,81	24,91	217,36	148,34	96,42	49,45
Na (mg kg ⁻¹) Cb-Qr	0 - 10 cm	23	21,08	11,42	0,03	117,02	4,49	18,70	30,25	143,49	6,31
	10 - 20 cm	19	22,42	8,61	1,21	127,66	5,36	21,44	36,14	161,21	8,29
	20 - 50 cm	8	21,58	7,36	2,13	114,33	3,95	16,79	38,06	176,34	13,46
	50 - 100 cm	7	30,20	14,63	7,40	123,07	7,97	28,35	41,55	137,57	15,70

Na slici 13 vidljivo je da obje zajednice imaju najveću koncentraciju Na na dubini od 50 do 100 cm s time da je to znatno izraženije u zajednici Ge-Qr.



Slika 13. Koncentracija natrija (Na) po dubinama tla u zajednicama Ge-Qr (A) i Cb-Qr (B)

5.3. ODNOS MIKROHRANIVA I ORGANSKE TVARI U TLU

5.3.1. Korelacija pH vrijednosti, udjela i zalihe organskog ugljika i koncentracije mikrohraniva

Tablica 10. Korelacija pH vrijednosti, udjela i zalihe organskog ugljika i koncentracije hraniva (podebljane vrijednosti označavaju statistički značajne korelacije $p < 0,01$)

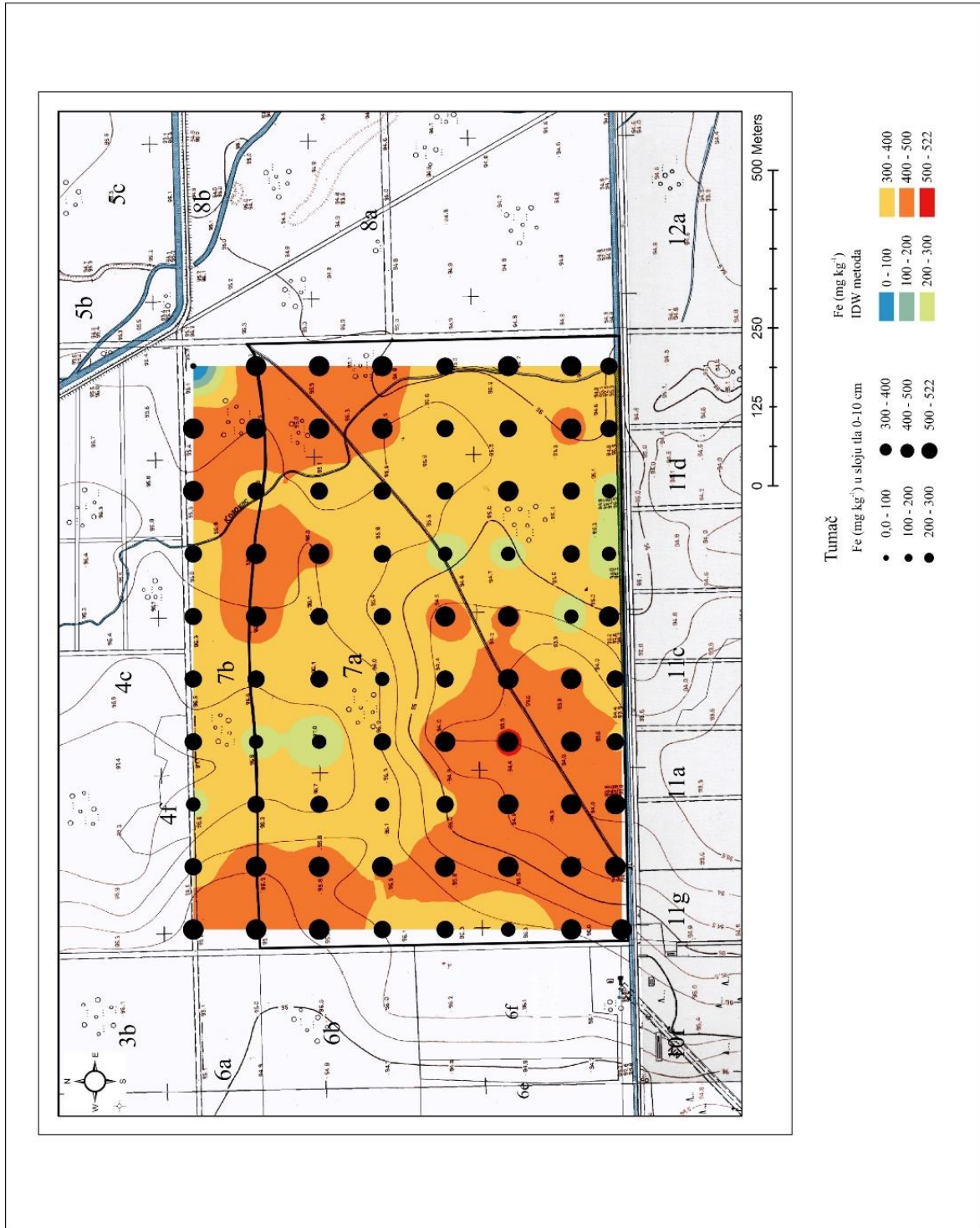
Svojstvo	Jedinica	Cu	Fe	Mn	Na	Zn
0-10 cm						
Reakcija tla	pH _{H2O}	0,58	0,16	-0,18	0,11	0,19
Udjel Org. C	g kg ⁻¹	0,56	0,32	-0,14	0,55	0,10
Zaliha Org. C	Mg Org C ha ⁻¹	0,58	0,33	-0,15	0,53	0,10
10-20 cm						
Reakcija tla	pH _{H2O}	0,50	0,08	0,06	-0,02	0,15
Udjel Org. C	g kg ⁻¹	0,43	0,39	0,18	0,42	0,05
Zaliha Org. C	Mg Org C ha ⁻¹	0,49	0,40	0,16	0,44	0,05
20-50 cm						
Reakcija tla	pH _{H2O}	0,72	-0,71	0,37	0,21	-0,19
Udjel Org. C	g kg ⁻¹	0,57	-0,36	0,25	0,28	0,10
Zaliha Org. C	Mg Org C ha ⁻¹	0,63	-0,39	0,27	0,35	0,09
50-100 cm						
Reakcija tla	pH _{H2O}	0,44	-0,56	0,30	0,39	-0,32
Udjel Org. C	g kg ⁻¹	0,65	0,14	-0,38	0,57	0,03
Zaliha Org. C	Mg Org C ha ⁻¹	0,71	0,12	-0,21	0,56	0,05

Utvrđene su statistički značajne pozitivne korelacije udjela i zalihe organskog ugljika i koncentracije Cu u tlu do 100 cm dubine, dok natrij pozitivno korelira s udjelom i zalihom organskog ugljika za dubinu tla do 20 cm.

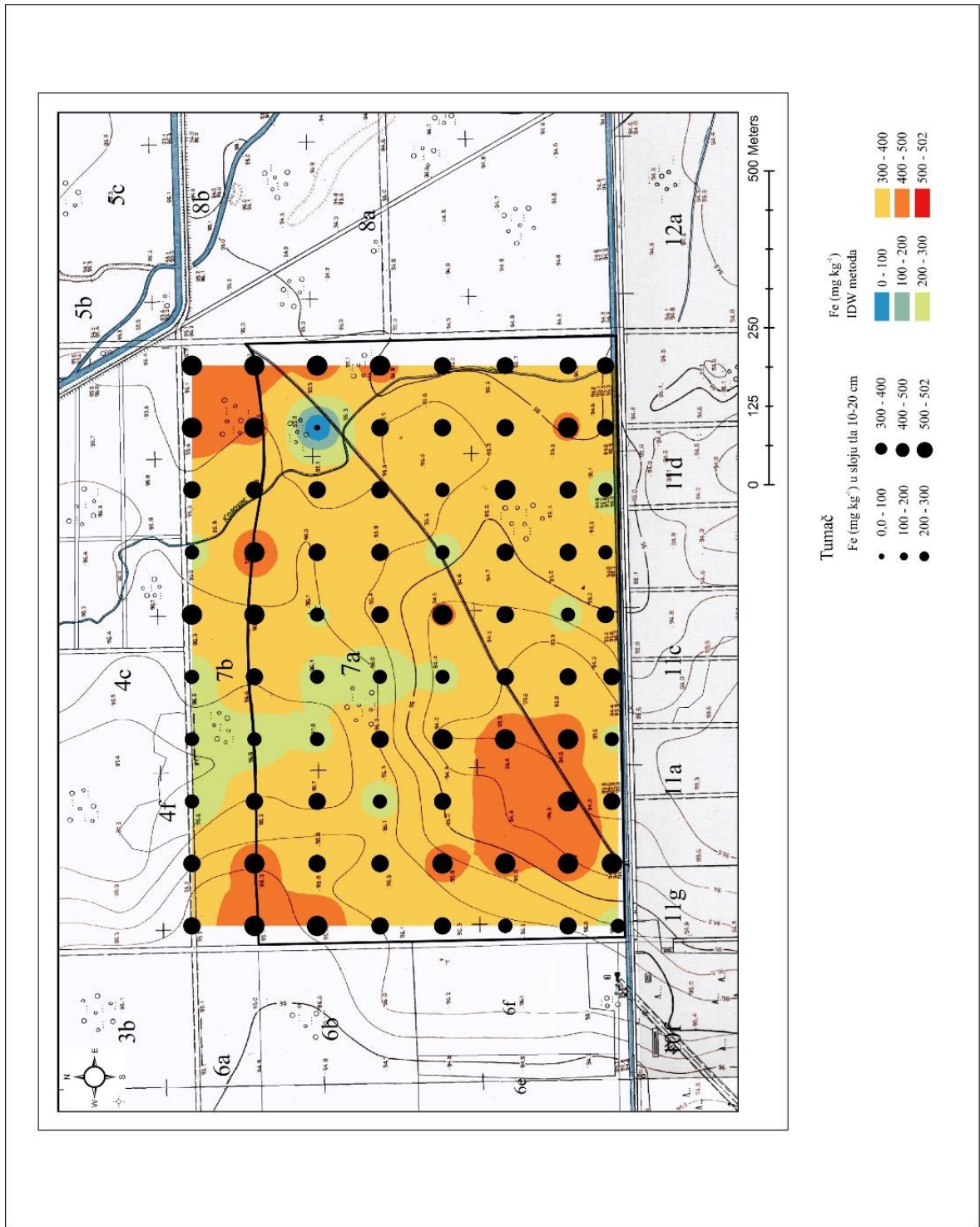
Za željezo je utvrđena pozitivna korelacija udjela i zalihe organskog ugljika samo za dubinu 10-20 cm, te negativna korelacija s pH vrijednosti za dubine 20-50 cm i 50-100 cm.

5.4. PRIKAZ PROSTORNE DISTRIBUCIJE MIKROHRANIVA

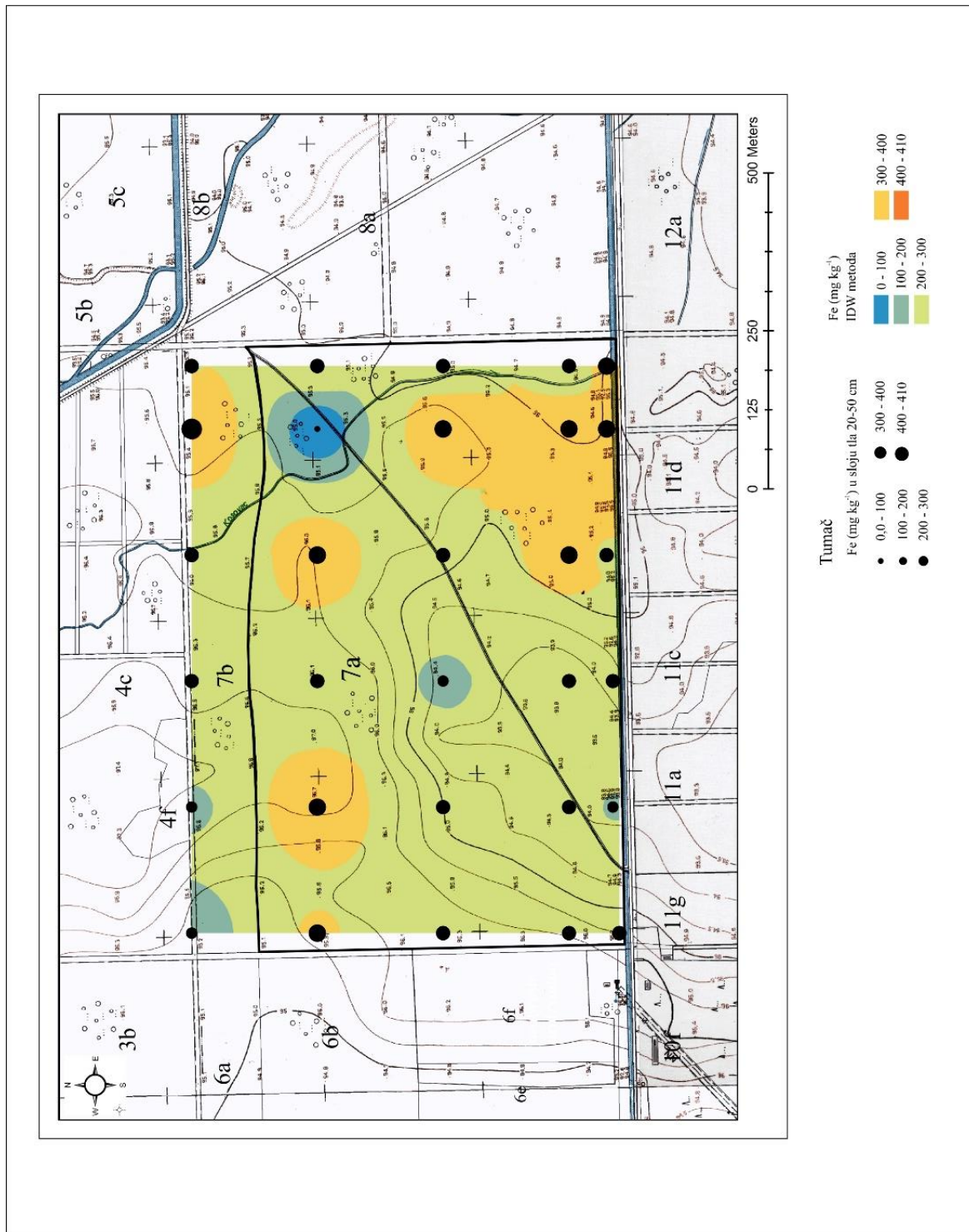
5.4.1. Željezo (Fe)



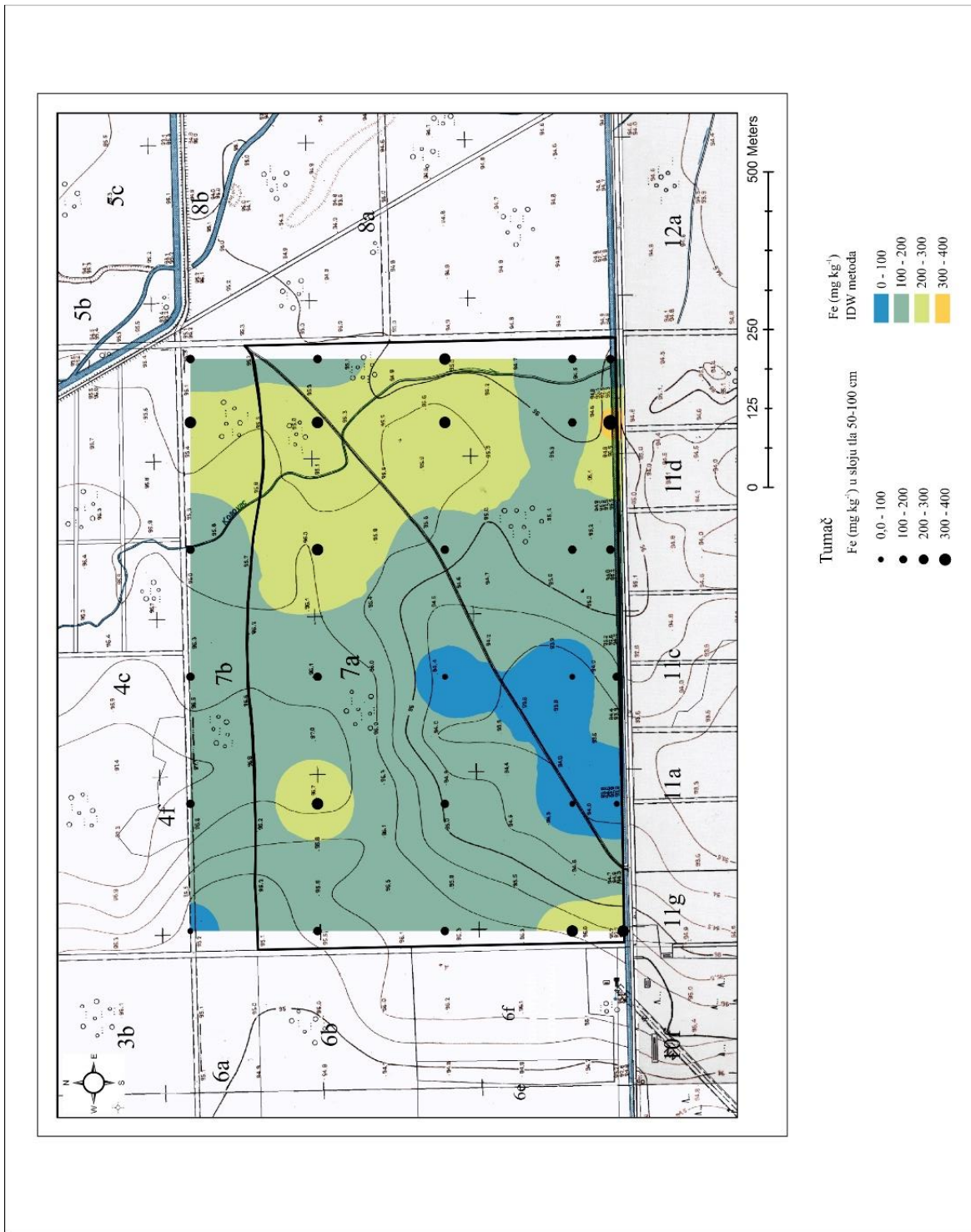
Slika 14. Prostorna distribucija željeza (mg kg⁻¹) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik



Slika 15. Prostorna distribucija željeza (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik

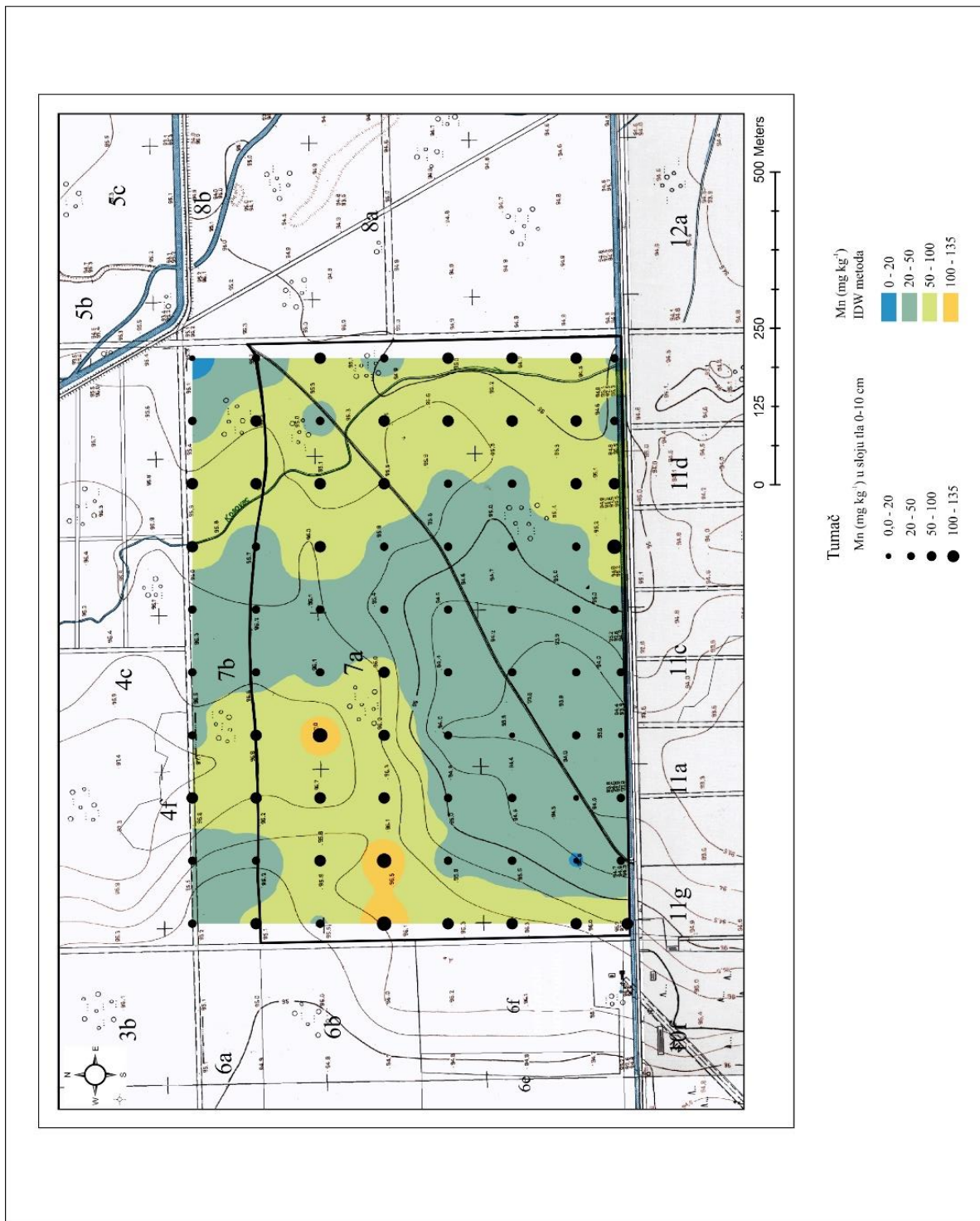


Slika 16. Prostorna distribucija željeza (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik

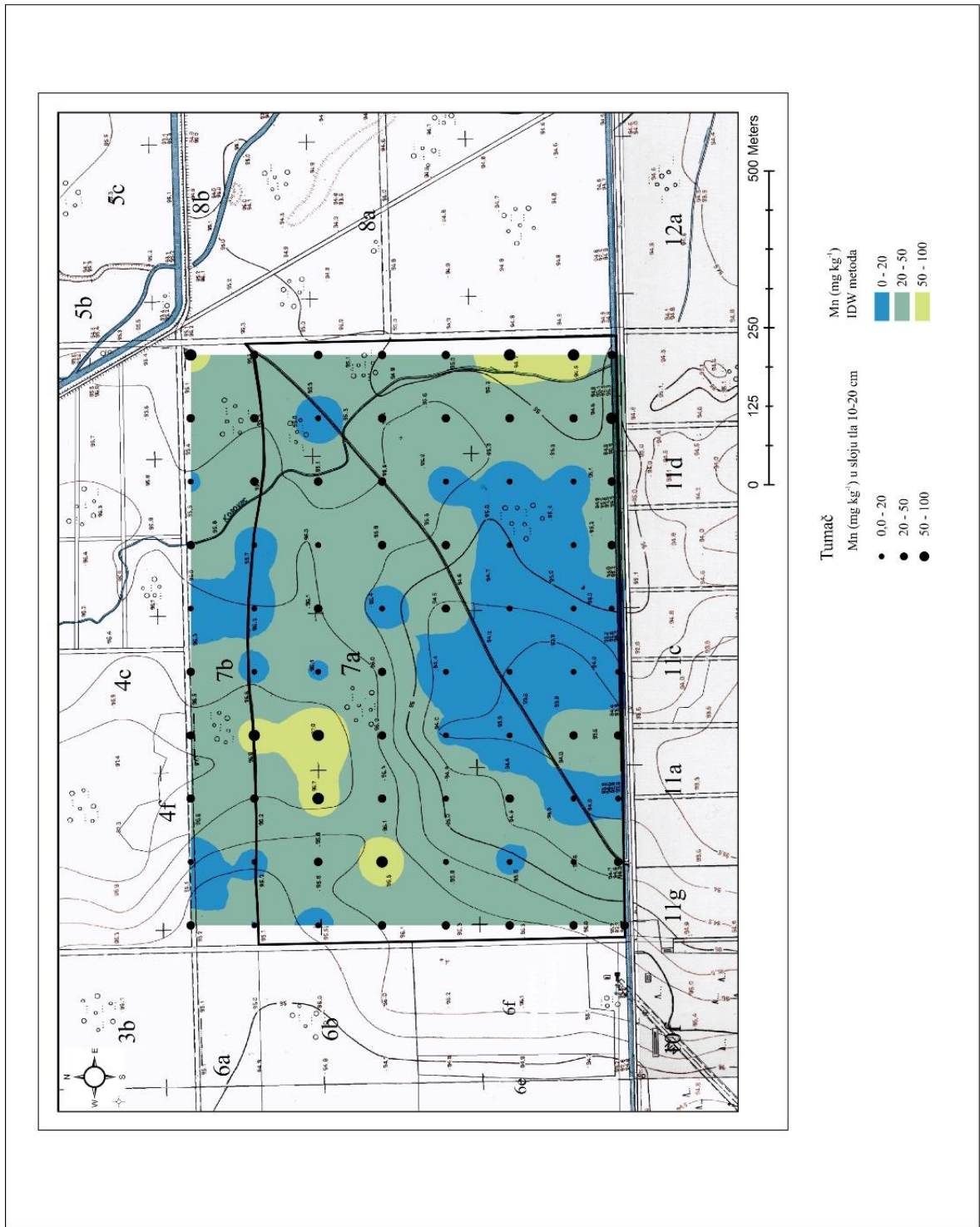


Slika 17. Prostorna distribucija željeza (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik

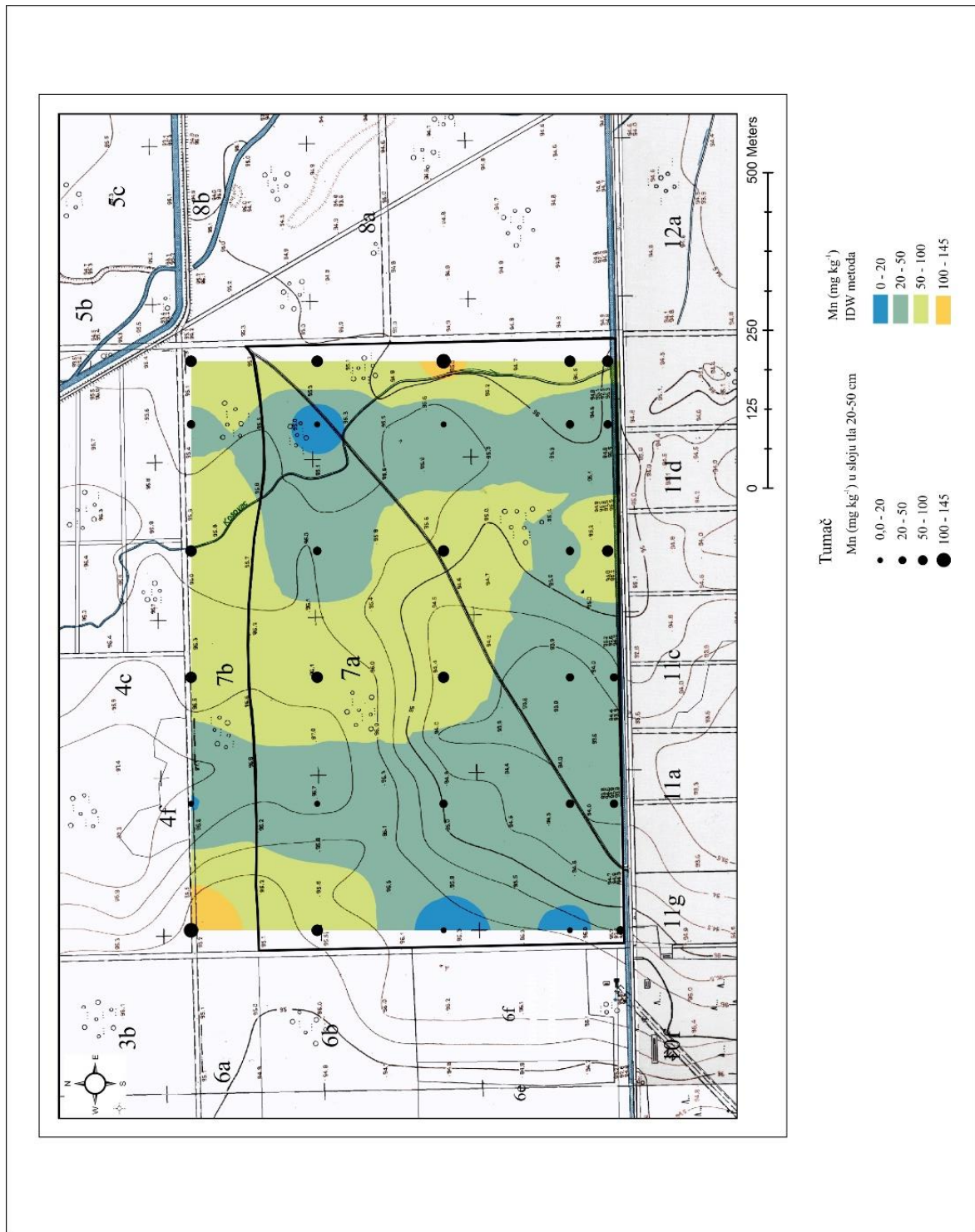
5.4.2. Mangan (Mn)



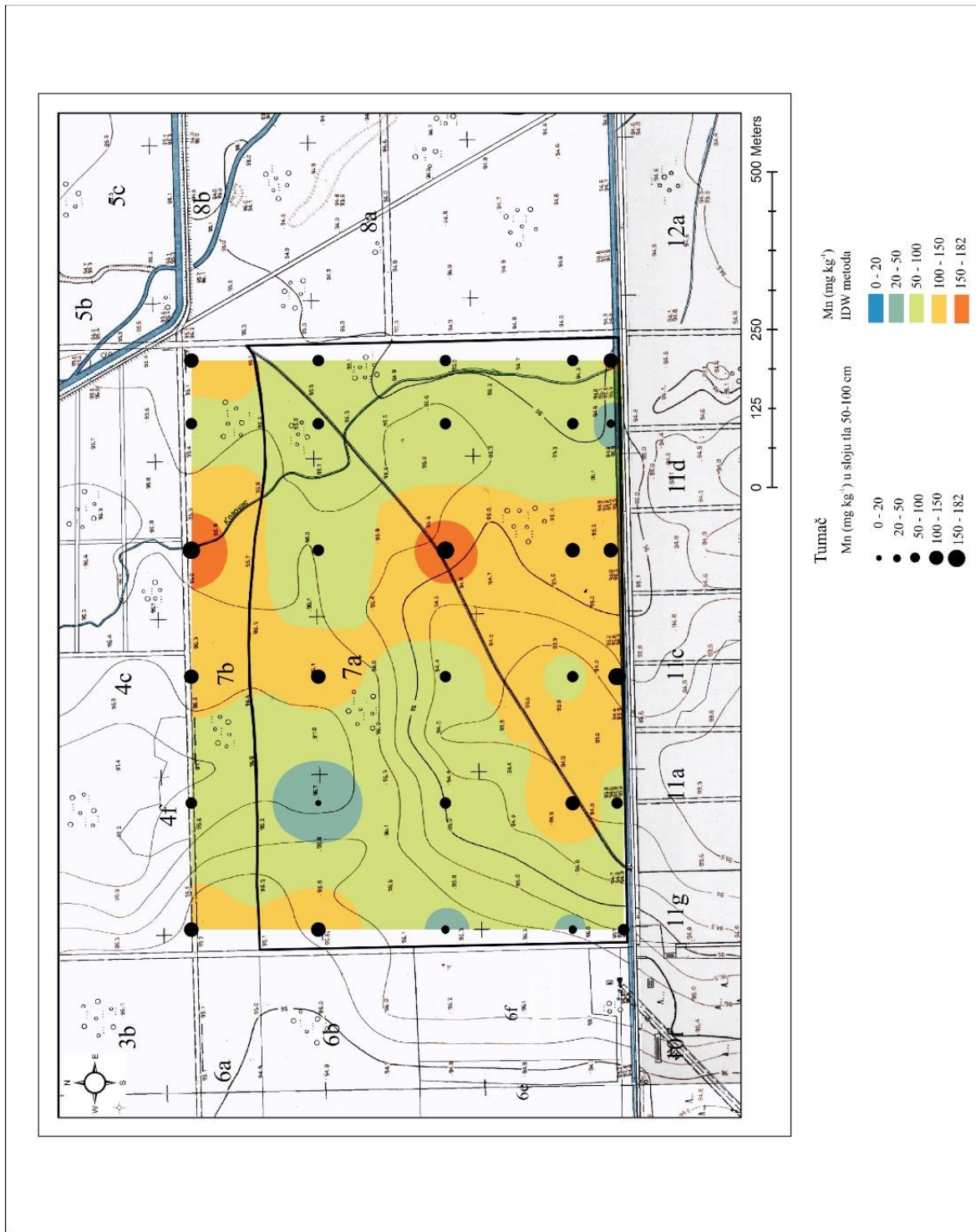
Slika 18. Prostorna distribucija mangana (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik



Slika 19. Prostorna distribucija mangana (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik

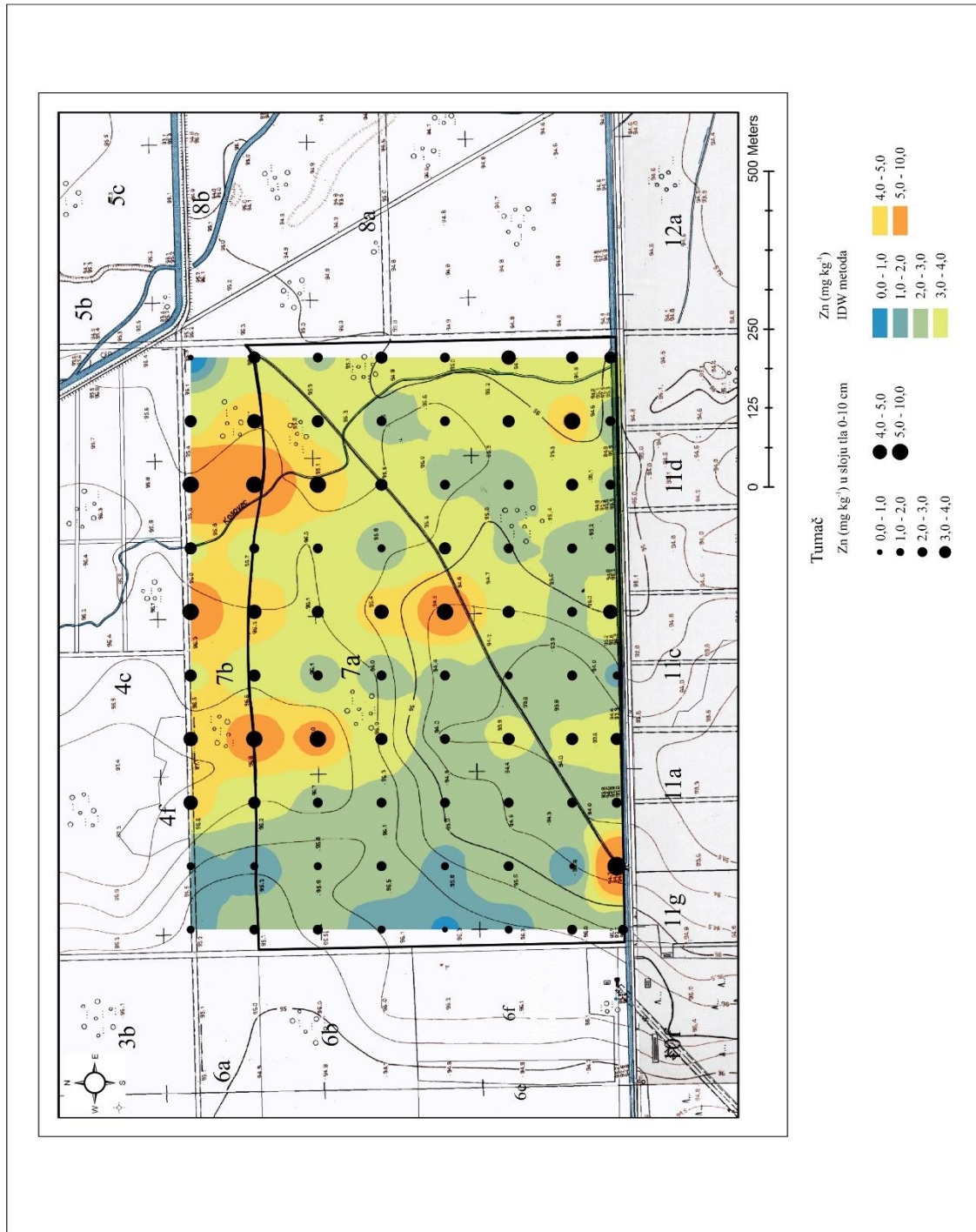


Slika 20. Prostorna distribucija mangana (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik

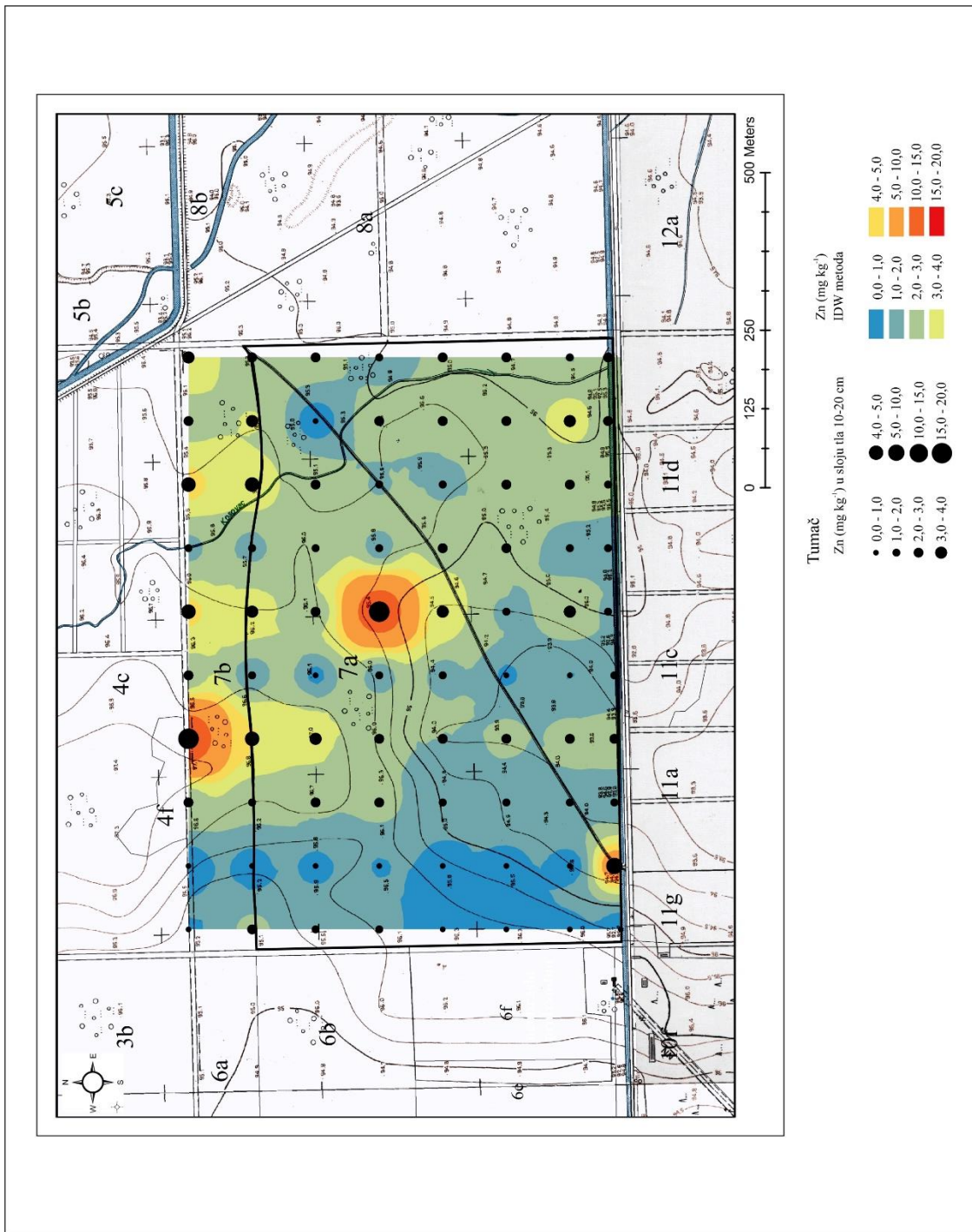


Slika 21. Prostorna distribucija mangana (mg kg⁻¹) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik

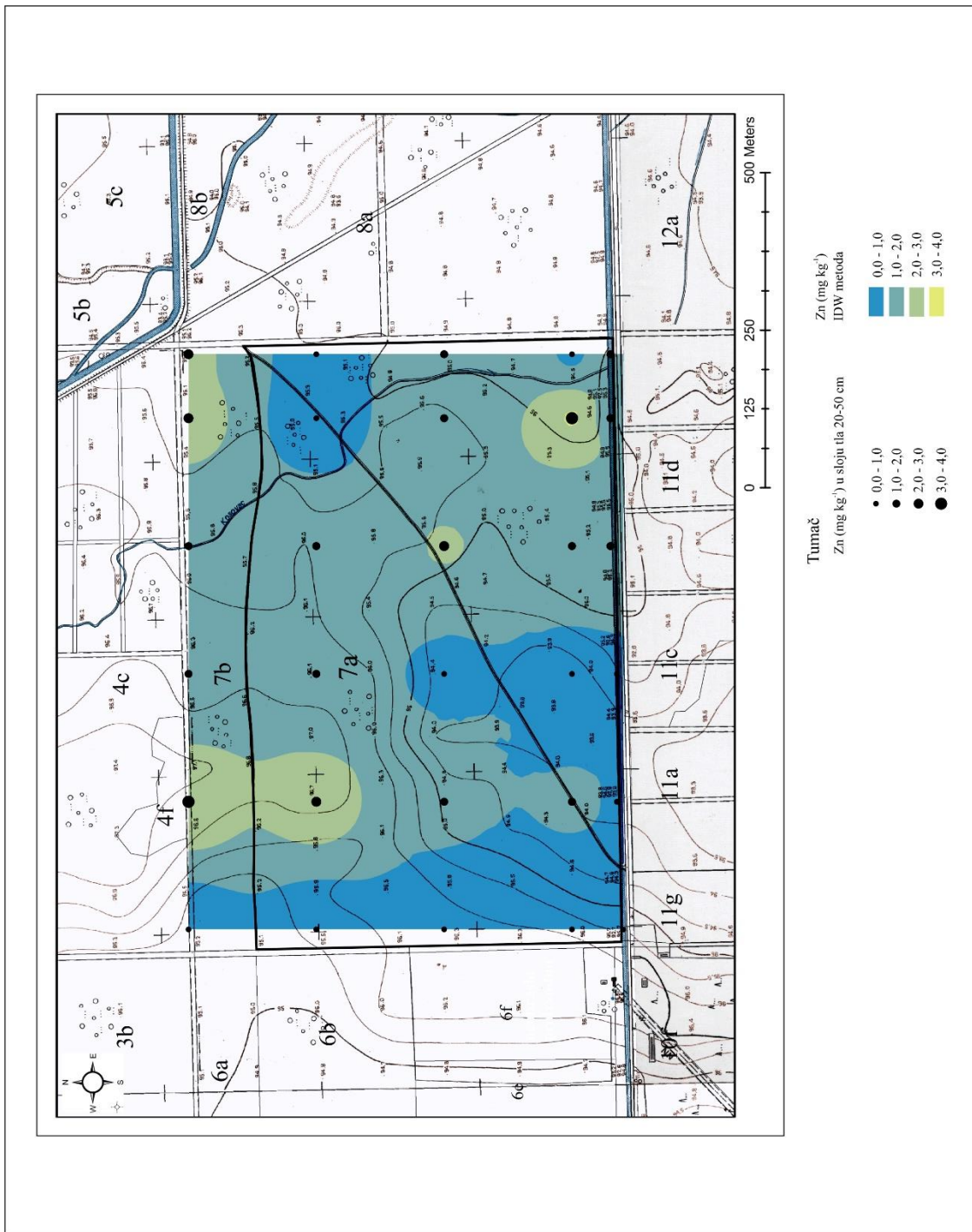
5.4.3. Cink (Zn)



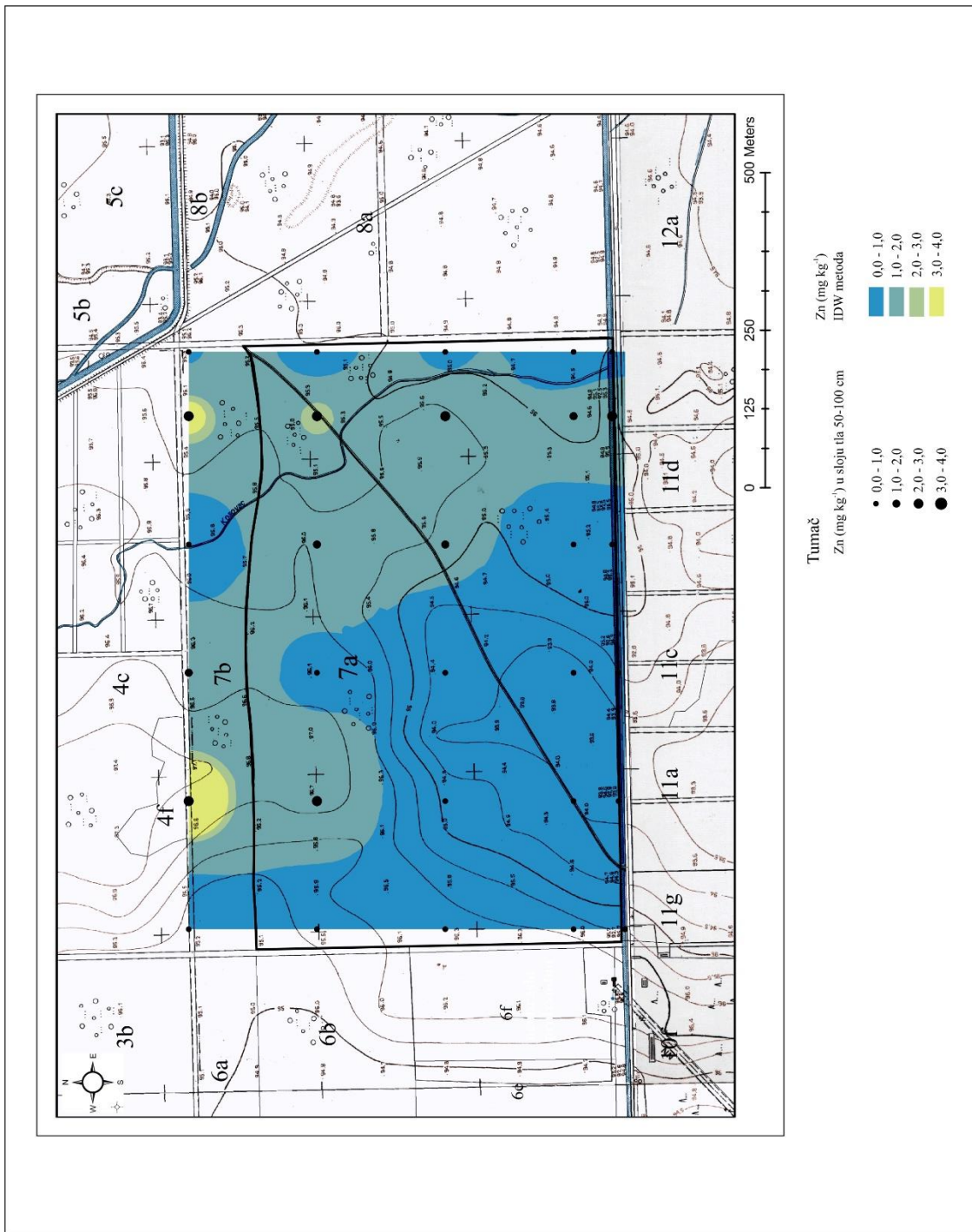
Slika 22. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik



Slika 23. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik

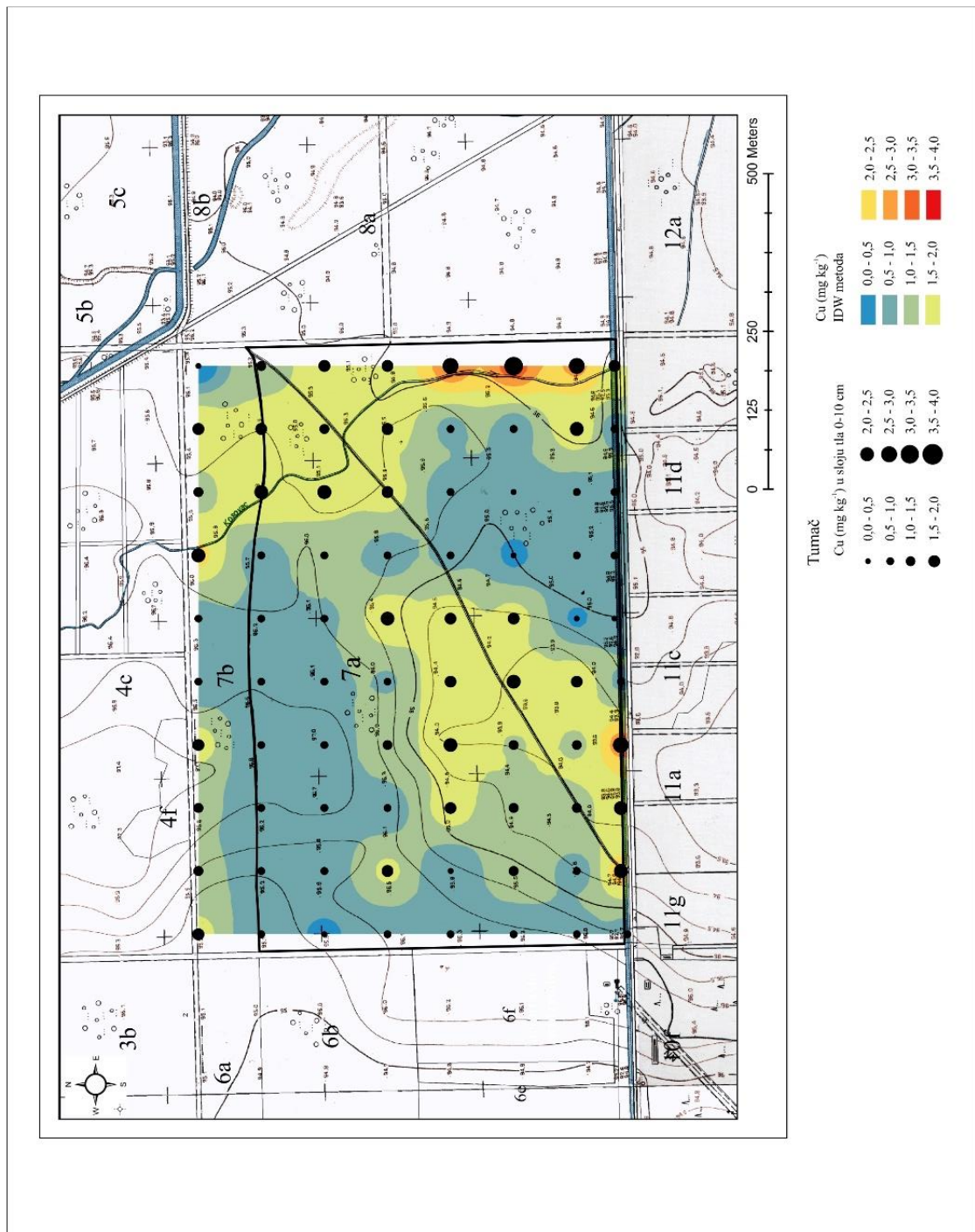


Slika 24. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik

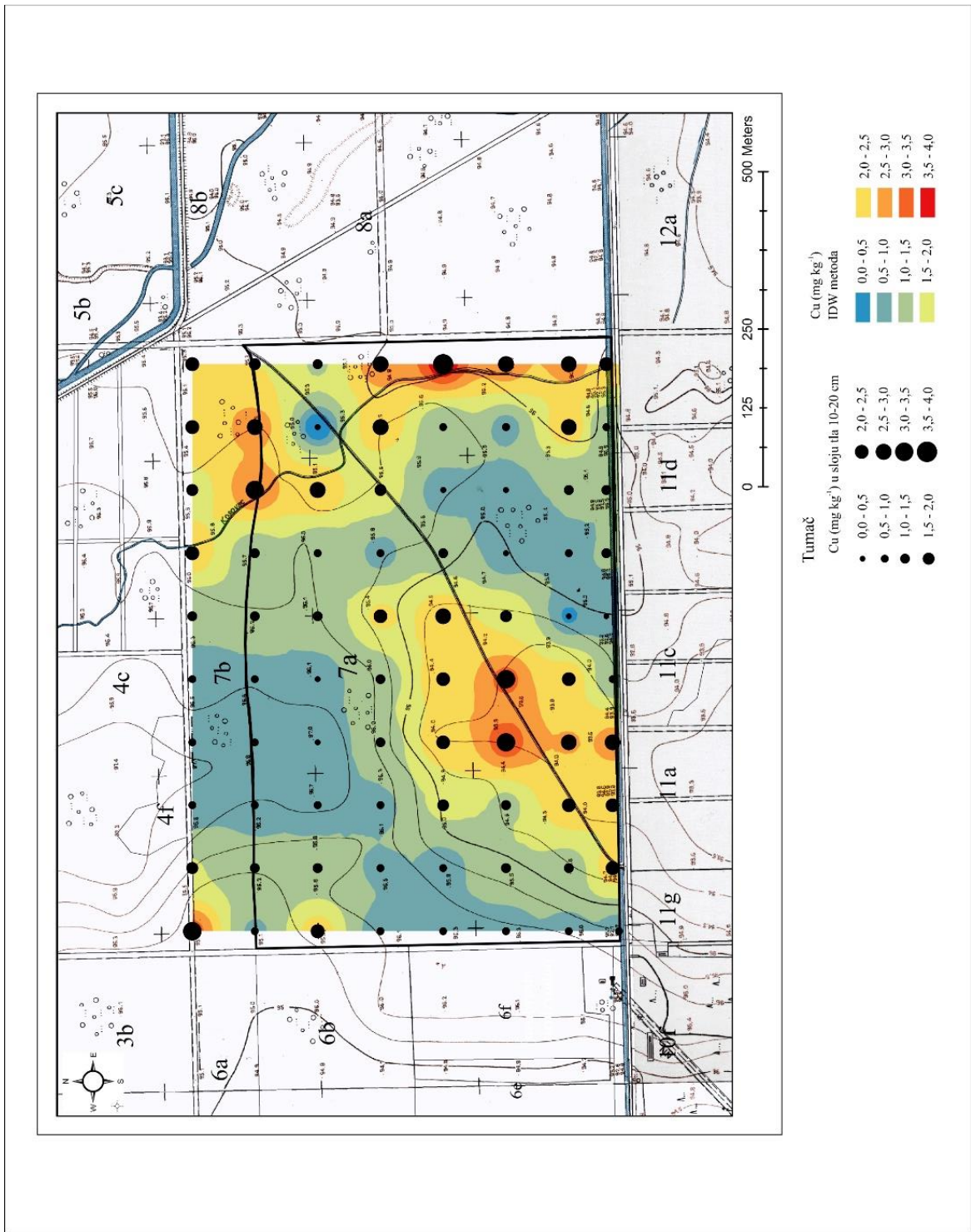


Slika 25. Prostorna distribucija cinka (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik

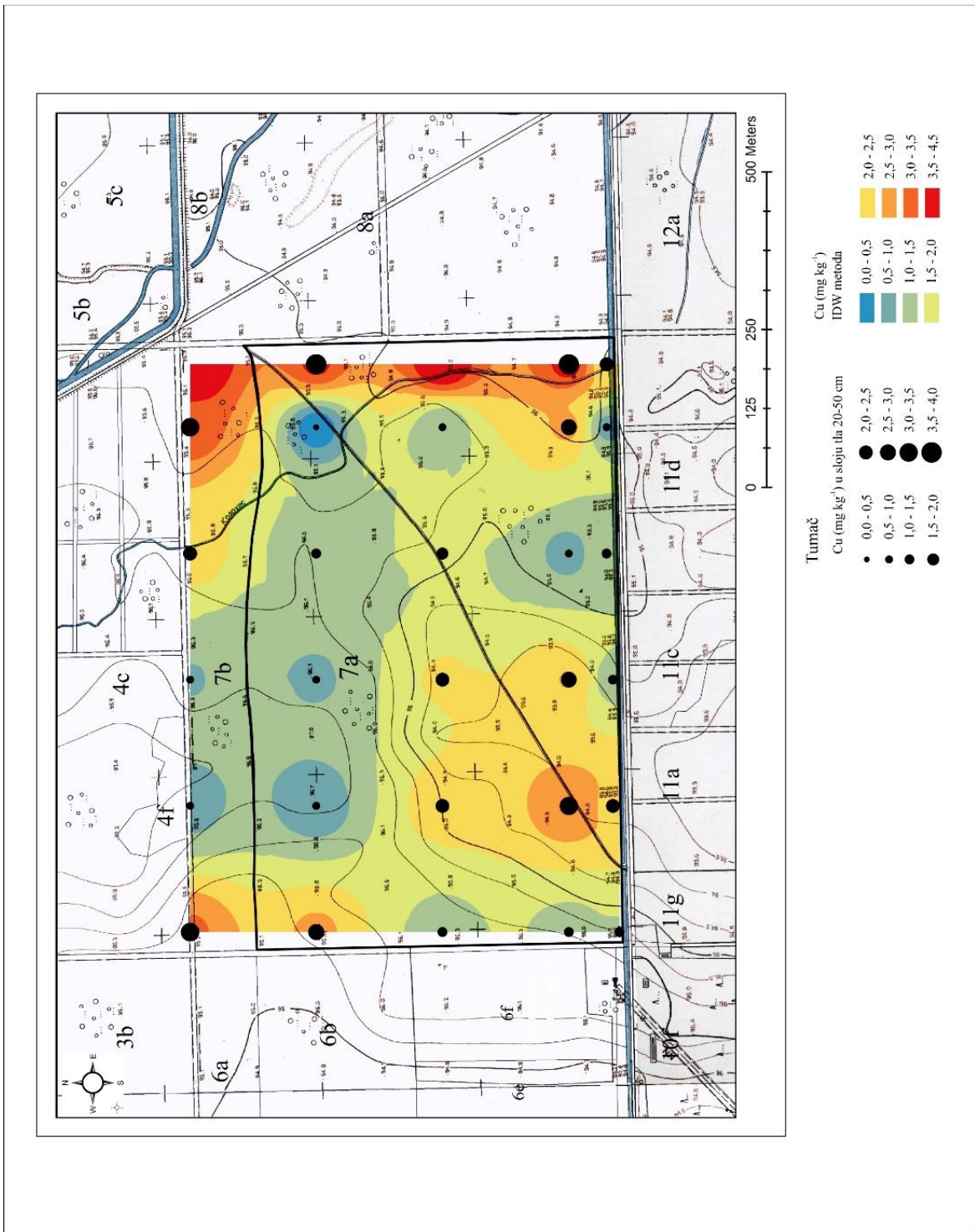
5.4.4. Bakar (Cu)



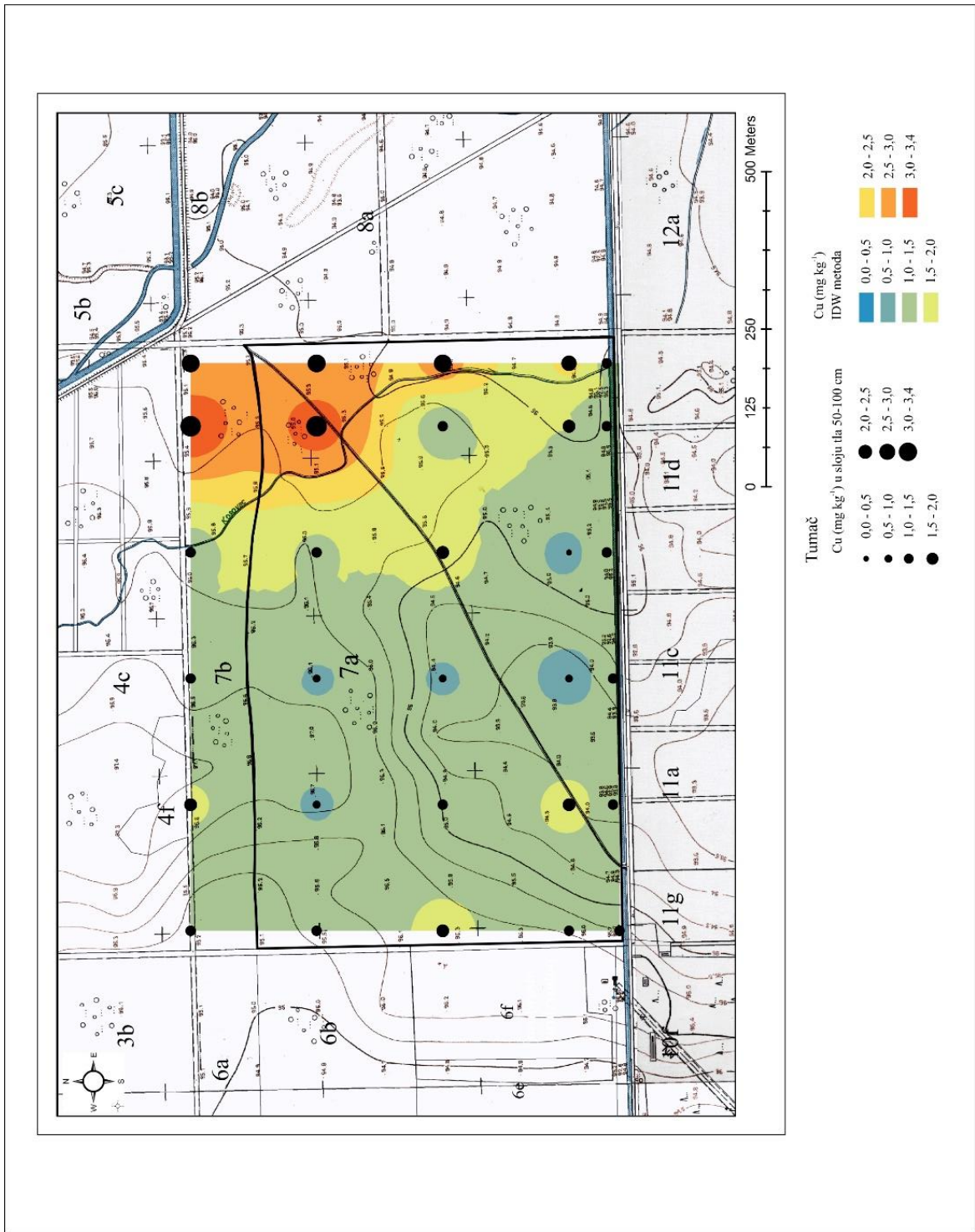
Slika 26. Prostorna distribucija bakra (mg kg⁻¹) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik



Slika 27. Prostorna distribucija bakra (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik

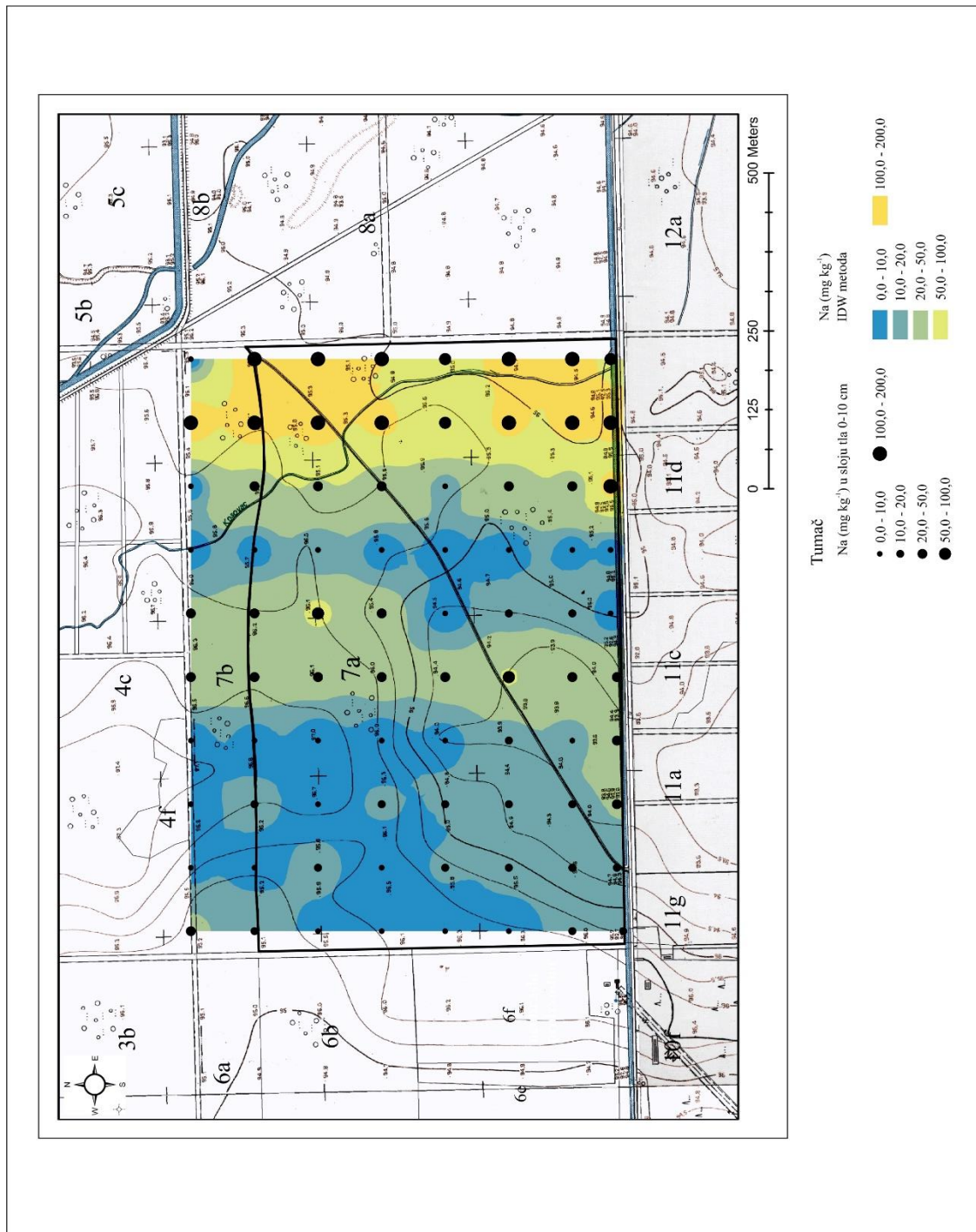


Slika 28. Prostorna distribucija bakra (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik

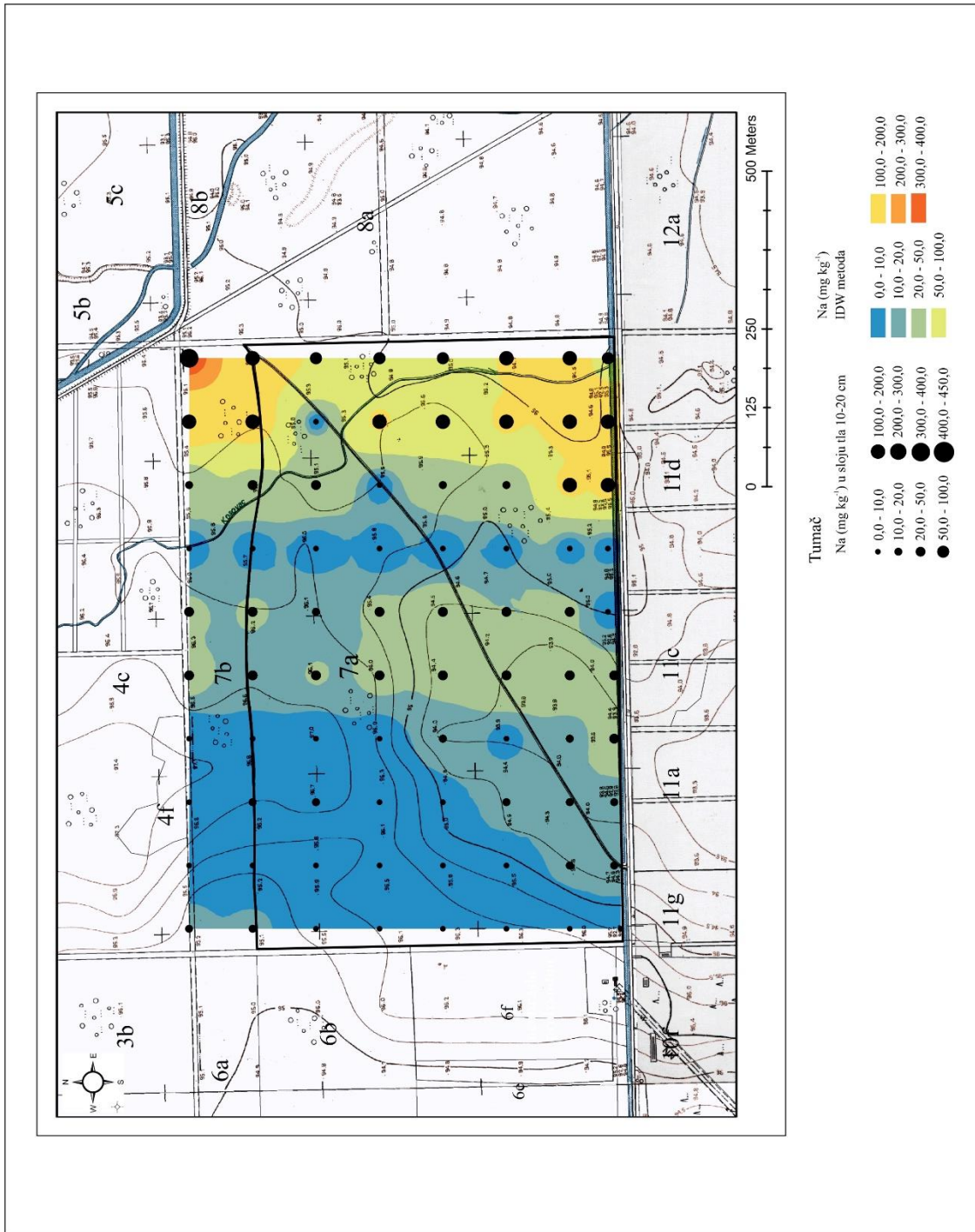


Slika 29. Prostorna distribucija bakra (mg kg⁻¹) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik

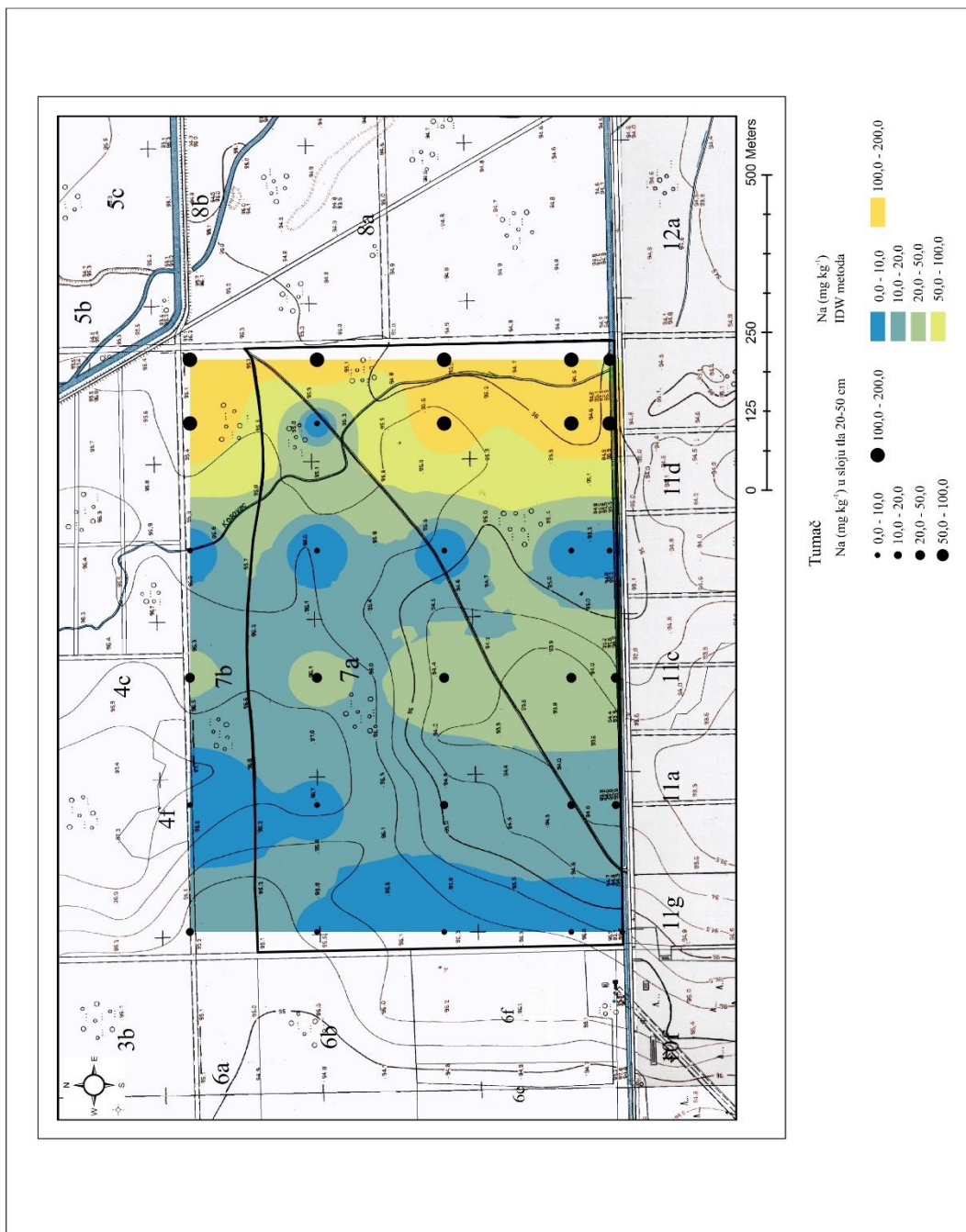
5.4.5. Natrij (Na)



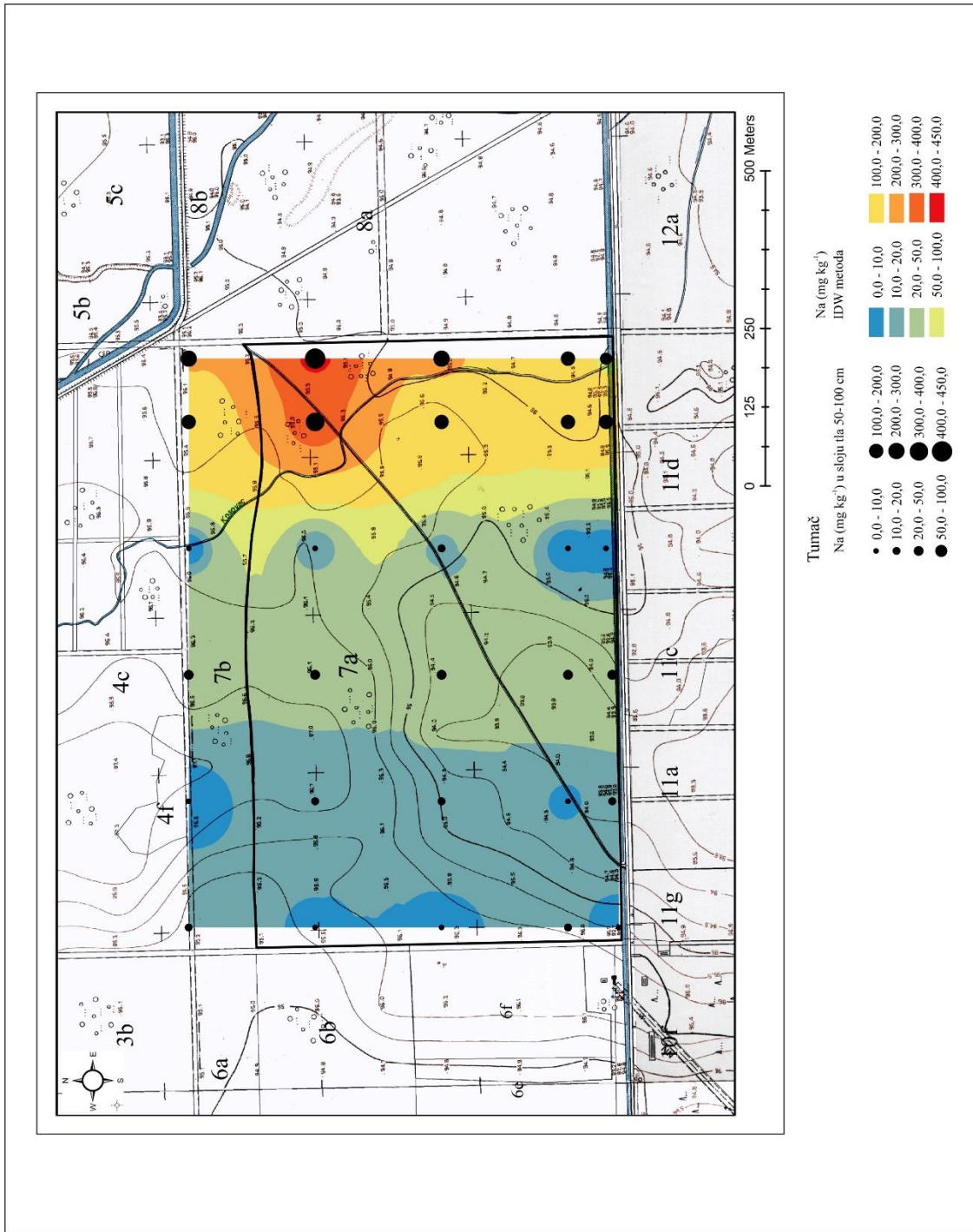
Slika 30. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 0-10 cm na području prašume Prašnik



Slika 31. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 10-20 cm na području prašume Prašnik



Slika 32. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 20-50 cm na području prašume Prašnik



Slika 33. Prostorna distribucija natrija (mg kg^{-1}) u tlu za dubinu 50-100 cm na području prašume Prašnik

6. RASPRAVA

Pridolazak zajednica Ge-Qr i Cb-Qr vezan je uz specifičan mikroreljef (niza-greda). Zajednica Ge-Qr predstavlja prijelaznu zajednicu od niza prema gredama, a zajednica Cb-Qr razvija se na gredama i vlažnim gredama izvan dosega poplavne vode (Vukelić et al., 2008). Visinska razlika između nize i grede na području prašume Prašnik u prosjeku je 1,5 do 2 m što uvjetuje znatno drugačiji hidrološki režim (različite dubine podzemne vode i zadržavanje površinske vode). Osim drugačijeg hidrološkog režima evidentna je i razlika u granulometrijskom sastavu tla. Sve je to u konačnici utjecalo na formiranje različitih tipova tala. U zajednici Ge-Qr prevladava euglej amfiglejni s težom teksturom, (značajniji udjel gline) izložen djelovanju podzemne i površinske vode s gornjom granicom podzemne vode iznad 100 cm, dok u zajednici Cb-Qr prevladava humofluvisol, lakše teksture s dubokom podzemnom vodom koja i u najvlažnijem periodu godine ne prelazi dubinu od 100 cm (Matić et al., 1979).

Opće značajke tla: pH-vrijednost, udjel organskog ugljika i ukupnog dušika, C:N odnos i granulometrijski sastav tla, odnosno udjel frakcije gline koji su analizirani tijekom izrade diplomskih radova Buršić (2016), Juzbašić (2017) i u ovom diplomskom radu podudaraju se s rezultatima istraživanja Matić et al. (1979).

U diplomskom radu Juzbašića (2016), kao i u radu Bakšić et al. (2018) prikazana je karta prostorne distribucije zalihe organskog ugljika u tlu prašume Prašnik koja je preuzeta i o ovom diplomskom radu (slika 8). Utvrđena je statistički značajno veća zaliha organskog ugljika (Mg ha^{-1}) u mineralnom dijelu tla do 100 cm dubine u zajednici Ge-Qr $215,3 \pm 52,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ u odnosu na Cb-Qr $130 \pm 30,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Bakšić et al., 2018). Karta prostorne distribucije zalihe ugljika (slika 8) izvrsno se poklapa s fitocenološkom kartom (slika 3) koju je za Prašnik 1975. godine izradio Rauš (Matić et al., 1979).

U kontekstu istraživanih mikrohraniva važno je imati na umu da se u ovom istraživanju radi o ekstrakcijskoj metodi Mehlich-3 koja se upotrebljava za određivanje mobilnih (lako dostupnih) hraniva. Njena prednost je vrlo široka valencije u pogledu primjenjivosti s obzirom na široki raspon pH vrijednosti kod šumskih tala, različitu mineralogiju i mogućnost određivanja šireg spektra mobilnih hraniva (Mehlich, 1984; Mylavarapu et al. 2014).

U tlu unutar zajednice Ge-Qr u ovom diplomskom radu utvrđena je statistički značajno veća koncentracija željeza do dubine od 20 cm te bakra i natrija do dubine od 50 cm, dok za mangan i cink nije utvrđena statistički značajna razlika. Utjecaj na ovu statistički značajnu razliku za željezo može se djelomično pripisati udjelu, odnosno zalihi organskog ugljika (korelacija za dubinu 10 – 20 cm).

Za koncentracije bakra i natrija također je utvrđena statistički značajna korelacija (tablica 10) s udjelom organskog ugljika i njegove zalihe i to za bakar do 100 cm dubine i za natrij do 20 cm dubine. Na kartama prostorne distribucije za bakar (slike 26-29) i natrij (slike 30-33) uočava se jasna podudarnost s kartom zalihe ugljika (slika 8) i fitocenološkom kartom (slika 3). Poznato je da se bakar vrlo dobro sorbira na organsku tvar s kojom gradi organske komplekse čime se potvrđuje korelacija Cu i org. C utvrđena u ovom istraživanju. Tu ipak treba istaknuti da je bakar u organskim kompleksima biljkama slabo dostupan (Vukadinović & Vukadinović, 2011; Pernar, 2017). Iako koncentracija Na u tlu statistički značajno korelira s udjelom i zalihom org. C u površinskih 20 cm, razlog u statistički značajno većoj koncentraciji Na u Ge-Qr treba tražiti i u većem udjelu prisutnih karbonata. U ovom diplomskom radu to se najbolje može uočiti iz slike 7B (prikaz pH-vrijednosti) gdje je u tlu u zajednici Ge-Qr ispod 60 cm dubine pH veći od 7 (zbog prisutnosti karbonata) što bi se podudaralo s razinom podzemne vode i kapilarnog vlaženja.

Veće koncentracije pojedinih elemenata Fe, Mn i Zn u površinskim slojevima tla mogle bi se pripisati bioakumulaciji, odnosno mnogokratnim godišnjim ciklusima uzimanja biogenih elemenata iz tla i njihovo vraćanje u obliku organskih ostataka (opada biljnog materijala kao što su listovi, grančice, grane, plodovi itd) na površinu tla, zapravo premještanjem biogenih elemenata iz nižih slojeva tla u više (Martinović, 2003). Vrijednosti Cu tu malo odstupaju, a razlog treba tražiti u tome da ekstrakcijska otopina vjerojatno nije mogla istisnuti značajniju količinu Cu čvrsto sorbiranog u organskim kompleksima. Evidentno je da su u istraživanju Bakšić et al. (2018) u zajednici Ge-Qr utvrđene i statistički značajno veće zalihe ugljika u šumskoj prostirci $5,28 \pm 3,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ u odnosu na Cb-Qr koja u šumskoj prostirci ima $3,12 \pm 1,42 \text{ Mg ha}^{-1}$ što upućuje na veću bioakumulaciju, a time i veće koncentracije navedenih hraniva u površini tla.

7. ZAKLJUČAK

Generalno gledajući, u zajednici hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom i rastavljenim šašem (*Genisto elatae-Quercetum roboris caricetosum remotae* Horvat 1938) – Ge-Qr utvrđene su veće količine Fe, Mn, Zn, Cu (mikrohraniva) i Na (beneficijalni element) nego u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris „typicum“* Rauš 1973) Cb-Qr.

U tlu unutar zajednice Ge-Qr utvrđena je statistički značajno veća koncentracija Fe do dubine od 20 cm te Cu i Na do dubine od 50 cm, dok za Mn i Zn nije utvrđena statistički značajna razlika.

Hipoteza da će udjel i zaliha organskog ugljika u tlu dviju istraživanih zajednica značajno utjecati na koncentraciju mikrohraniva samo je djelomično potvrđena. Iako se statistički značajno veći udjel i zaliha org C. u zajednici Ge-Qr grubo poklapa s većim koncentracijama svih elemenata, odnosi u tlu znatno su kompleksniji. Iz dobivenih rezultata uočljiva je statistički značajna korelacija udjela i zalihe org. C s koncentracijom Cu, dok je korelacija udjela i zalihe org. C s koncentracijom Na utvrđena samo za površinskih 20 cm, a za Fe za dubinu 10-20 cm. To upućuje na već spomenute kompleksnije odnose, a razlog treba tražiti i u značajno drugačijoj fiziografiji tla (granulometrijski sastav, mineralni sastav i hidrološki režim) koja opet utječe i na sam sastav, izgled i produkciju samih sastojina.

Izradom karata prostorne distribucije za sve istraživane elemente ostvaren je cilj istraživanja.

8. LITERATURA

1. Anić, I., 2004: Prašume i njihovo značenje za gospodarenje šumama u Hrvatskoj, str. 85-96. Glasnik zaštite bilja, godina 27, broj 6, studeni 2004. Zagreb.
2. Bakšić, D., Bakšić, N., Buršić, D., Juzbašić, A., Perković, I., Pernar, N., Roje, V., 2018: Zalihe organskog ugljika u šumskoj prostirci i tlu prašume hrasta lužnjaka Prašnik. 13. Kongres Hrvatskog tloznanstvenog društva, „Potencijal tla i zemljišnih resursa: ključne uloge znanosti i učinkovitih politika“, 10.-14. rujna, Vukovar, Hrvatska.
3. Buršić, D., 2016: Zalihe ugljika šumske prostirke i tla u prašumi hrasta lužnjaka (*Quercus robur L.*), Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
4. Cools, N. & De Vos B. 2010: Sampling and Analysis of Soil. Manual Part X. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, UNECE, ICP Forests, Hamburg.
5. Devčić, I., 2015: Prašume- živi svjedoci prošlosti. Časopis Hrvatske šume, broj 226, listopad 2015. Zagreb.
6. Halamić, J., Miko., S., 2009: Geokemijski atlas Republike Hrvatske. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
7. ISO 10390, 1994: Soil quality – Determination of pH. ISO, Geneve.
8. ISO 10693, 1995: Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method, ISO, Geneve.
9. ISO 10694, 1995: Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). ISO, Geneve.
10. ISO 11464, 1994: Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analyses. ISO, Geneve.
11. ISO 11465, 1993: Soil quality – Determination of dry matter and water content on mass basis – Gravimetric method. ISO, Geneve.
12. ISO 13878, 1998: Soil quality – Determination of total nitrogen content by dry combustion (elemental analysis). ISO, Geneve.
13. Juzbašić, A., 2017: Prostorna distribucija udjela organskog ugljika u tlu prašume hrasta lužnjaka (*Quercus robur L.*). Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
14. Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A., B., 2007: Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

15. Mansourian, S., Rossi, M. and Vallauri, D., 2013: Ancient Forests in the Northern Mediterranean: Neglected High Conservation Value Areas. Marseille: WWF France, 80 p.
16. Martinović, J., 2003: Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj, Šumarski institut Jastrebarsko, Hrvatske šume , 525 p.
17. Mehlich, A. 1984. "Mehlich 3 Soil Test Extractant: A Modification of Mehlich 2 Extractant." Comm. Soil Sci. Plant Anal. 15 (12): 1409–1416
18. Mylavarapu, R., T. Obreza, Kelly Morgan, George Hochmuth, Vimala Nair, and Alan Wright, 2014: Extraction of Soil Nutrients Using Mehlich-3 Reagent for Acid-Mineral Soils of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/ss620>
19. Pernar, N., 2017: Tlo; nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
20. Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I., 2013: Terenska i laboratorijska istraživanja tla – priručnik za uzorkovanje i analizu, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 192 p.
21. Prpić, B., Matić, S., Vukelić, J., Seletković, Z., 2001: Bukovo-jelove prašume hrvatskih dinarida // Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj / Prpić, B.(ur.). Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
22. Rauš, Đ., Matić, S., Prpić, B., Vranković, A., 1979: Rezervati šumske vegetacije Prašnik i Muški bunar. Šumsko gospodarstvo „Josip Kozarac“, Nova Gradiška.
23. Sokal RR, Rohlf FJ.(1995) Biometry. Freeman and Company. New York.
24. StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com
25. Vukadinović, V., Vukadinović, V., 2011: Ishrana bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
26. Vukelić, J., Mikac, S., Baričević, D., Bakšić, D., Rosavec, R., 2008: Šumska staništa i šumske zajednice u Hrvatskoj. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 263 p.
27. Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
28. Zaninović, K., Gajić-Capka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Lisko, T., Lončar, E., Lončar, Z., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnec, L., Vučetić, V., 2008: Klimatski atlas Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

29. Zhang,H., Hardy, D., Mylavarapu, R., Wang, J., 2014: Mehlich 3 Extraction for Macro- and Micronutrients. Soil Test Methods From the South eastern United States. P. 101 – 110.