

Terenska i laboratorijska istraživanja tla

priručnik za uzorkovanje i analizu

Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu
Manualia Universitatis studiorum Zagrabienensis



Nikola Pernar
Darko Bakšić
Ivan Perković



Nikola Pernar, Darko Bakšić, Ivan Perković
TERENSKA I LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA TLA
priručnik za uzorkovanje i analizu

UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS

Izdavač
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Suizdavač
Hrvatske šume d.o.o.

Recenzenti
prof. dr. sc. Stjepan Husnjak
doc. dr. sc. Vibor Roje

Tehnički urednik
izv. prof. dr. sc. Darko Bakšić

Lektorica
Ivanka Vranković, prof.

Računalna priprema i tisak
DENONA d.o.o., Zagreb

Naklada
700 primjeraka

Odlukom Senata Sveučilišta u Zagrebu br. 380-061/117-12-2 od 17. listopada 2012.
odobrava se naziv sveučilišni priručnik (Manualia Universitatis studiorum Zagrabien-
sis)

ISBN 978-953-292-029-1

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 831590.

© Sva prava pridržava Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Nikola Pernar
Darko Bakšić
Ivan Perković

TERENSKA I LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA TLA

priručnik za uzorkovanje i analizu



Zagreb, 2013.

Predgovor

Istraživanje tla, odnosno sâmo mjerenje i opažanje njegovih parametara, temelji se na vrlo složenom terenskom i laboratorijskom radu. Za njegovu provedbu potrebna je stručna obučenost istraživača, a nerijetko i neposredna suradnja pojedinih subspecijalista (mikrobiologa, kemičara, fizičara i dr.) znanosti o tlu. Ova opažanja i mjerenja vrlo su skupa pa iziskuju visoki stupanj učinkovitosti u realizaciji projektnog zadatka.

Okosnicu istraživanja tla predstavljaju pretežno standardizirane (normirane) i druge empirijske metode terenskog i laboratorijskog rada koje su opisane u različitim i nerijetko vrlo opsežnim priručnicima te u međunarodnim i nacionalnim normama.

Cilj terenskih i laboratorijskih mjerenja parametara tla može biti i vrlo praktične naravi, osobito kad se radi o biljnoj proizvodnji (poljodjelstvo, šumarstvo, hortikultura), ekološkom motrenju ili sanaciji degradiranog zemljišta. U takvim slučajevima važno je da su postupci što jasniji, što jeftiniji i da se do pouzdanih i vjerodostojnih rezultata dođe u što kraćem roku.

Namjera autora ovog priručnika je omogućiti učinkovito usvajanje suvremenih metoda istraživanja tla i dobivanja informacija o tlu, kako radi izobrazbe stručnjaka kroz različite studentske programe, tako i radi njihove primjene u istraživačkim projektima ili praktičnom šumarstvu, poljodjelstvu, hortikulturi, odnosno zaštiti i sanaciji tla.

Priručnik je ponajprije namijenjen studentima na preddiplomskim, diplomskim i poslijediplomskim studijima na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U njemu su prikazane metode terenskih postupaka u istraživanju tla - prikupljanja informacija o tlu i uzorkovanja tla, te samo one laboratorijske metode koje se najčešće prakticiraju u pedološkim istraživanjima i motrenju tla (osobito šumskog, onečišćenog tla ili supstrata) prilikom sanacijskih postupaka i sl.

Predstavljene su pretežno suvremene, normirane metode mjerenja i analiza, a tek manjim dijelom uvršteno je i nekoliko nenormiranih¹, ali praktičnih (vrlo su jednostavne i/ili jeftine) i vrlo često prakticiranih, nadasve edukativnih postupaka.

Nadamo se da će priručnik, osim studentima, koristiti i svima onima koji su u istraživanjima, biljnoj proizvodnji ili izradi planova i propisa na izravan ili neizravan način povezani s tlom.

¹ Od nenormiranih ovdje prikazanih metoda valja istaknuti: određivanje vodno-retencijskog kapaciteta, određivanje poroznosti i zračnog kapaciteta tla, doze sredstva za kalcijaciju, postojanosti strukturnih mikroagregata i određivanje kiselosti humusa.

Knjiga je nastala u ugodnom okruženju, u kome smo uvijek imali razumijevanje, podršku i sveskoliku pomoć.

U njejoj pripremi mnogo su nam značili savjeti i podrška prof. dr. sc. Jose Vukelića. Doc. dr. sc. Mario Sraka dao nam je važne smjernice za prikaz određivanja vodno-retencijskih značajki tla. Ivo Pavlović, dipl. ing. kemije, sa svojim velikim iskustvom uvijek nam je bio pouzdan oslonac u rješavanju praktičnih pitanja iz pedokemijske analitike. Mnogi autori ili vlasnici autorskih prava (popis na kraju priručnika) ustupili su nam slike i tablice. Posebno ističemo FAO i tvrtku Eijkelkamp, čiji su prilozi najviše korišteni. Od dragocjene pomoći bili su nam savjeti i mišljenja recenzenata, prof. dr. sc. Stjepana Husnjaka i doc. dr. sc. Vibora Roje. Snažan oslonac u pripremi knjige za tisak bila nam je lektorica Ivanka Vranković, prof. U realizaciji njenog tiska nesebičnu pomoć pružio nam je prof. dr. sc. Milan Oršanić. Na kraju, tisak ove knjige omogućili su Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu te osobito suizdavač Hrvatske šume d.o.o.

Ugodna nam je dužnost i zadovoljstvo najtoplije zahvaliti svima koji su pomogli u njenom nastanku.

*Nikola Pernar
Darko Bakšić
Ivan Perković*

Sadržaj

| | |
|---|----|
| Predgovor | V |
| Uvod | 1 |
| 1. Plan i vrste uzorkovanja i uzoraka tla | 5 |
| 1.1. Plan uzorkovanja tla | 5 |
| 1.2. Vrste uzorkovanja tla | 6 |
| 1.3. Dubina uzorkovanja tla | 8 |
| 1.4. Broj i prostorni raspored uzoraka tla (plan uzorkovanja u užem smislu) | 8 |
| 1.4.1. Nesustavni statistički uzorak | 9 |
| 1.4.2. Kružna mreža uzoraka | 11 |
| 1.4.3. Sustavni statistički uzorak (regularno uzorkovanje) | 12 |
| 1.4.4. Randomizirano (slučajno) uzorkovanje | 12 |
| 1.4.5. Stratificirano randomizirano uzorkovanje | 13 |
| 1.4.6. Određivanje broja uzoraka (broj ponavljanja) | 14 |
| 1.5. Vrste uzoraka tla | 16 |
| 1.5.1. Uzorci tla fizički neizmijenjenog stanja | 16 |
| 1.5.2. Uzorci tla fizički izmijenjenog stanja | 17 |
| 2. Terenska istraživanja tla | 19 |
| 2.1. Uzorkovanje tla i označavanje uzoraka | 19 |
| 2.1.1. Uzorkovanje tla svrdlima, sondama, lopatama, lopaticama i drugim pomagalicama, pretežno iz površinskog dijela tla | 23 |
| 2.1.1.1. Svrdla za uzorkovanje tla | 25 |
| 2.1.1.2. Sonde za uzorkovanje tla | 28 |
| 2.1.2. Uzorkovanje tla na pedološkom profilu | 31 |
| 2.2. Transport i pohrana uzoraka | 37 |
| 2.3. Terenska mjerenja parametara tla | 39 |
| 2.3.1. Mjerenje infiltracije vode u tlo | 39 |
| 2.3.2. Mjerenje vodopropusnosti – terenski test vodoprovodljivosti ... | 41 |
| 2.3.3. Mjerenje vlažnosti i vodnog potencijala tla | 43 |
| 2.3.4. Mjerenje zbijenosti tla | 49 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.2. Određivanje udjela vode u tlu (vlažnost tla) | 96 |
| 3.2.2.1. Određivanje udjela vode u uzorcima tla fizički izmijenjenog stanja (<i>u skladu s ISO 11465, 1993</i> <i>i 16586, 2003</i>) | 96 |
| 3.2.2.1.1. Uređaji i pribor | 96 |
| 3.2.2.1.2. Postupak za zrakosuho tlo | 96 |
| 3.2.2.1.3. Postupak za prirodno vlažno tlo | 97 |
| 3.2.2.1.4. Obračun rezultata mjerenja | 97 |
| 3.2.2.2. Određivanje udjela vode u uzorcima tla fizički neizmijenjenog stanja (<i>u skladu s ISO 11461, 2001</i>) | 97 |
| 3.2.2.2.1. Uređaji i pribor | 97 |
| 3.2.2.2.2. Uzorkovanje tla | 98 |
| 3.2.2.2.3. Laboratorijski postupak | 98 |
| 3.2.2.2.3.1. Određivanje vodno-retencijskog kapaciteta tla | 98 |
| 3.2.2.2.4. Obračun rezultata mjerenja | 99 |
| 3.2.3. Određivanje gustoće krute faze tla (<i>u skladu s ISO 11508, 1998</i>) | 100 |
| 3.2.3.1. Određivanja gustoće čestica sitnice ($\varnothing < 2$ mm) | 100 |
| 3.2.3.1.1. Uređaji i pribor | 100 |
| 3.2.3.1.2. Laboratorijski postupak | 101 |
| 3.2.3.1.3. Obračun rezultata mjerenja | 101 |
| 3.2.3.2. Određivanje gustoće čestica skeleta ($\varnothing > 2$ mm) | 102 |
| 3.2.3.2.1. Uređaji i pribor | 102 |
| 3.2.3.2.2. Laboratorijski postupak | 102 |
| 3.2.3.2.3. Obračun rezultata mjerenja | 103 |
| 3.2.4. Određivanje gustoće (obujmene) tla (<i>u skladu s ISO 11272, 1998</i>) | 103 |
| 3.2.4.1. Određivanje gustoće na uzorku tla fizički neizmijenjenog stanja | 104 |
| 3.2.4.1.1. Uređaji i pribor | 104 |
| 3.2.4.1.2. Uzorkovanje i sušenje | 104 |
| 3.2.4.1.3. Obračun rezultata mjerenja | 105 |
| 3.2.4.2. Određivanje gustoće tla metodom iskopa | 105 |
| 3.2.4.2.1. Uređaji i pribor | 105 |
| 3.2.4.2.2. Terenski dio postupka | 106 |
| 3.2.4.2.3. Laboratorijski dio postupka | 106 |
| 3.2.4.2.4. Obračun rezultata mjerenja | 106 |
| 3.2.5. Određivanje poroznosti tla | 106 |
| 3.2.5.1. Sveukupna poroznost tla | 107 |
| 3.2.5.1.1. Obračun rezultata mjerenja | 107 |
| 3.2.5.2. Zračni kapacitet tla i poroznost prozračnosti | 107 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.6. Određivanje vodno-retencijskih značajki tla (u skladu s ISO 11274, 1998) | 108 |
| 3.2.6.1. Određivanje pF-vrijednosti i pF-krivulje u rasponu od -5 do -1500 kPa (od -0,05 do -15 bar) pomoću tlačnog ekstraktora | 112 |
| 3.2.6.1.1. Uređaji i pribor | 112 |
| 3.2.6.1.2. Laboratorijski postupak | 113 |
| 3.2.6.1.3. Obračun rezultata mjerenja | 116 |
| 3.2.6.1.3.1. Postupak za skeletno tlo | 117 |
| 3.2.6.1.4. Izrada pF-krivulja | 117 |
| 3.2.7. Određivanje vodopropusnosti tla (filtracije vode kroz tlo) | 118 |
| 3.2.7.1. Uređaji i pribor | 120 |
| 3.2.7.1.1. Laboratorijski permeametar i njegovo korištenje | 120 |
| 3.2.7.2. Priprema uzoraka - saturacija uzoraka tla vodom | 121 |
| 3.2.7.3. Postupak mjerenja vodopropusnosti | 123 |
| 3.2.7.3.1. Metoda s konstantnim hidrauličkim gradijentom (u skladu s ISO 17312, 2005) i uputom za uporabu permeametra Eijkelkamp, 09.02) | 123 |
| 3.2.7.3.2. Metoda s promjenjivim (opadajućim) hidrauličkim gradijentom (u skladu s ISO 17313, 2004) i uputom za uporabu permeametra Eijkelkamp, 09.02) | 125 |
| 3.2.7.4. Obračun rezultata mjerenja | 125 |
| 3.2.7.4.1. Metoda konstantnog hidrauličkog gradijenta | 125 |
| 3.2.7.4.2. Metoda s promjenjivim hidrauličkim gradijentom | 126 |
| 3.2.7.4.3. Temperaturna korekcija viskoznosti vode | 127 |
| 3.2.8. Određivanje plastičnosti tla (u skladu s ASTM D4318-10, 2010) . . | 128 |
| 3.2.8.1. Određivanje gornje granice plastičnosti (granice žitkosti) . . | 129 |
| 3.2.8.1.1. Višestupanjska metoda određivanja gornje granice plastičnosti | 130 |
| 3.2.8.1.1.1. Uređaji i pribor | 130 |
| 3.2.8.1.1.2. Laboratorijski postupak | 131 |
| 3.2.8.1.1.3. Obračun i iskaz rezultata mjerenja | 132 |
| 3.2.8.1.2. Jednostupanjska metoda određivanja gornje granice plastičnosti | 133 |
| 3.2.8.1.2.1. Laboratorijski postupak | 133 |
| 3.2.8.1.2.2. Obračun i iskaz rezultata mjerenja | 133 |
| 3.2.8.2. Određivanje donje granice plastičnosti (granica rahlosti, odnosno plastičnosti prema ASTM) | 134 |
| 3.2.8.2.1. Uređaji i pribor | 134 |
| 3.2.8.2.2. Laboratorijski postupak | 134 |
| 3.2.8.2.3. Obračun i iskaz rezultata mjerenja | 135 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.8.3. Indeks ili broj plastičnosti | 135 |
| 3.2.8.4. Indeks žitkosti | 136 |
| 3.2.9. Postojanost strukturnih mikroagregata | 136 |
| 3.2.9.1. Uređaji i pribor | 136 |
| 3.2.9.2. Postupak | 137 |
| 3.2.9.3. Obračun i iskaz rezultata mjerenja | 137 |
| 3.3. Analiza kemijskih svojstava tla | 138 |
| 3.3.1. Određivanje reakcije tla (<i>u skladu s ISO 10390, 1994</i>) | 138 |
| 3.3.1.1. Reagensi | 139 |
| 3.3.1.2. Uređaji i pribor | 140 |
| 3.3.1.3. Laboratorijski postupak | 140 |
| 3.3.1.4. Tumačenje rezultata analize pH-vrijednosti tla | 142 |
| 3.3.2. Određivanje udjela karbonata u tlu – volumetrijska metoda (<i>u skladu s ISO 10693, 1995</i>) | 142 |
| 3.3.2.1. Reagensi | 143 |
| 3.3.2.2. Uređaji i pribor | 143 |
| 3.3.2.3. Laboratorijski postupak | 144 |
| 3.3.2.4. Obračun i interpretacija rezultata analize | 146 |
| 3.3.3. Određivanje udjela organskog i ukupnog ugljika, te ukupnog dušika | 147 |
| 3.3.3.1. Određivanje udjela organskog ugljika sulfokromatnom oksidacijom (<i>u skladu s ISO 14235, 1998</i>) | 147 |
| 3.3.3.1.1. Reagensi | 147 |
| 3.3.3.1.2. Uređaji i pribor | 148 |
| 3.3.3.1.3. Laboratorijski postupak | 149 |
| 3.3.3.1.4. Izmjera na spektrofotometru | 150 |
| 3.3.3.2. Određivanje udjela organskog i ukupnog ugljika (<i>u skladu s ISO 10694, 1995</i>) i ukupnog dušika (<i>u skladu s ISO 13878, 1998</i>) suhim spaljivanjem | 150 |
| 3.3.3.2.1. Reagensi | 151 |
| 3.3.3.2.2. Uređaji i pribor | 151 |
| 3.3.3.2.3. Laboratorijski postupak | 151 |
| 3.3.3.2.4. Obračun rezultata analize | 153 |
| 3.3.3.3. Određivanje udjela ukupnog dušika modificiranom Kjeldahlovom metodom (<i>u skladu s ISO 11261, 1995</i>) | 155 |
| 3.3.3.3.1. Reagensi | 156 |
| 3.3.3.3.2. Uređaji i pribor | 156 |
| 3.3.3.3.3. Laboratorijski postupak | 157 |
| 3.3.3.3.4. Obračun rezultata analize | 158 |
| 3.3.4. Određivanje kiselosti humusa | 159 |
| 3.3.4.1. Reagensi | 159 |
| 3.3.4.2. Laboratorijski postupak i ocjena | 159 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.5. Određivanje efektivnog kapaciteta zamjene kationa i kapaciteta zamjene bazičnih kationa (<i>u skladu s ISO 11260, 1994</i>), te zamjenjive kiselosti tla (<i>u skladu s ISO 14254, 1997</i>), sve ekstrakcijom s otopinom $BaCl_2$ | 160 |
| 3.3.5.1. Ekstrakcija kationa iz adsorpcijskog kompleksa tla | 162 |
| 3.3.5.1.1. Reagensi | 162 |
| 3.3.5.1.2. Postupak | 162 |
| 3.3.5.2. Određivanje efektivnog KZK | 163 |
| 3.3.5.2.1. Reagensi | 163 |
| 3.3.5.2.2. Priprema kalibracijskih otopina | 163 |
| 3.3.5.2.3. Spektrometrijski postupak | 163 |
| 3.3.5.2.4. Obračun | 164 |
| 3.3.5.3. Određivanje zamjenjivih bazičnih kationa | 164 |
| 3.3.5.3.1. Određivanje zamjenjivih Na i K | 164 |
| 3.3.5.3.1.1. Reagensi | 164 |
| 3.3.5.3.1.2. Priprema kalibracijskih otopina | 165 |
| 3.3.5.3.1.3. Spektrometrijski postupak | 165 |
| 3.3.5.3.1.4. Obračun | 165 |
| 3.3.5.3.2. Određivanje zamjenjivih Ca i Mg | 166 |
| 3.3.5.3.2.1. Reagensi | 166 |
| 3.3.5.3.2.2. Priprema kalibracijskih otopina | 166 |
| 3.3.5.3.2.3. Spektrometrijski postupak | 166 |
| 3.3.5.3.2.4. Obračun | 167 |
| 3.3.5.4. Određivanje stupnja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama (ZB) | 167 |
| 3.3.5.5. Određivanje zamjenjive kiselosti tla | 167 |
| 3.3.5.5.1. Reagensi | 167 |
| 3.3.5.5.2. Uređaji i pribor | 169 |
| 3.3.5.5.3. Određivanje (sveukupne) zamjenjive kiselosti | 169 |
| 3.3.5.5.4. Određivanje H^+ kiselosti | 170 |
| 3.3.5.5.5. Spektrometrijsko određivanje Al (opcijsko) | 170 |
| 3.3.5.5.6. Obračun rezultata analize | 170 |
| 3.3.5.5.6.1. Zamjenjiva i H^+ kiselost | 170 |
| 3.3.5.5.6.2. Zamjenjivi Al | 171 |
| 3.3.5.6. Interpretacija rezultata | 171 |
| 3.3.6. Razaranje uzoraka tla za spektrometrijske analize | 171 |
| 3.3.6.1. Ekstrakcija elemenata u tragovima topljivih u zlatotopci (<i>u skladu s ISO 11466, 1995</i>) | 173 |
| 3.3.6.1.1. Reagensi | 174 |
| 3.3.6.1.2. Uređaji i pribor | 174 |
| 3.3.6.1.3. Postupak | 175 |

| | |
|--|------------|
| 3.3.7. Određivanje doze sredstva za kalcizaciju | 176 |
| 3.3.7.1. Određivanje doze kalcizacijskog sredstva za postizanje pH-vrijednosti 6 | 177 |
| 3.3.7.1.1. Reagensi | 177 |
| 3.3.7.1.2. Uređaji i pribor | 178 |
| 3.3.7.1.3. Postupak | 178 |
| 3.3.7.1.4. Obračun i iskaz rezultata mjerenja | 178 |
| 3.3.7.2. Određivanje doze kalcizacijskog sredstva za postizanje pH-vrijednosti 7 | 179 |
| 3.3.7.2.1. Reagensi | 179 |
| 3.3.7.2.2. Uređaji i pribor | 179 |
| 3.3.7.2.3. Postupak | 179 |
| 3.3.7.2.4. Obračun i iskaz rezultata mjerenja | 180 |
| 4. Literatura | 181 |
| 5. Kazalo | 185 |
| Prilozi | 189 |
| 1. Priprema standardne otopine natrijevog hidroksida, $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ | 189 |
| 2. Priprema standardne otopine klorovodične kiseline, $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$.. | 190 |
| 3. Priprema standardne otopine natrijevog karbonata, Na_2CO_3 | 191 |
| 4. Popis slika koje su ustupili autori ili vlasnici autorskih prava | 192 |
| 5. Popis tablica koje su ustupili autori ili vlasnici autorskih prava | 192 |