

Određivanje kakvoće tla u Varaždinskoj županiji

Brežnjak, Tihana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:218878>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

TIHANA BREŽNJAK

ODREĐIVANJE KAKVOĆE TLA U VARAŽDINSKOJ ŽUPANIJI

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2021.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 15. 07. 2021. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 01. 07. 2021.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Saajda Korać

Članovi povjerenstva

- 1) Izv. prof. dr. sc. Anita Pivčak Šinčić
- 2) Izv. prof. dr. sc. Nikola Sakac
- 3) Izv. prof. dr. sc. Saajda Korać

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

TIHANA BREŽNJAK

ODREĐIVANJE KAKVOĆE TLA U VARAŽDINSKOJ ŽUPANIJI
DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:

TIHANA BREŽNJAK

Brežnjak

MENTOR:

izv.prof.dr.sc. ANITA PTIČEK SIROČIĆ

VARAŽDIN, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: TIHANA BREŽNJAK
Matični broj: 261 - 2019./2020.
Smjer: UPRAVLJANJE VODAMA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

ODREĐIVANJE KAKVOĆE TLA U VARAŽDINSKOJ ŽUPANIJI


Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Opći dio
3. Eksperimentalni dio
4. Rezultati i rasprava
5. Zaključak
6. Literatura
7. Popis slika
8. Popis tablica

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 09.03.2021.

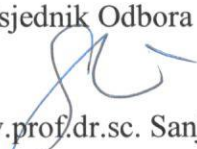
Rok predaje: 01.07.2021.

Mentor:


Izv.prof.dr.sc. Anita Pticek Siročić



Predsjednik Odbora za nastavu:


Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

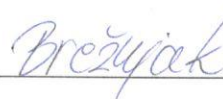
ODREĐIVANJE KAKVOĆE TLA U VARAŽDINSKOJ ŽUPANIJI

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv.prof.dr.sc. Anite Ptiček Siročić**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz nercitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 24.06.2021.

TIHANA BREŽNJAK



(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG
RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ODREĐIVANJE KAKVOĆE TLA U VARAŽDINSKOJ ŽUPANJI

Pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20 %, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5 %.

U Varaždinu, 24.06.2021.

iev. prof. ANITA PTIČEK SIKOČIĆ

(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Tlo je površinski, rahli sloj Zemljine kore te ima svoja kemijska, fizikalna i biološka svojstva koja ga ujedno čine i nositeljem mnogih funkcija neophodnih za biljni i životinjski svijet. Nastalo je kao rezultat pedogenetskih čimbenika i procesa, a sastavljeno je od vode, zraka, organske tvari i čestica minerala od kojih su najviše zastupljeni aluminij, silicij, željezo, ugljik, kisik i dušik. U prirodi postoje različite vrste tla koje su klasificirane prema zajedničkim svojstvima koja su morfološki vidljiva i mjerljiva kao što je boja, tekstura i struktura. Klasifikacija tala Hrvatske počinje podjelom na 4 odjela koji se zatim dijele na klase, a klase na tipove. Odjeli se temelje na kvaliteti vode i načinu vlaženja te stoga postoje automorfna, hidromorfna, halomorfna i subakvalna tla. Praćenje stanja zemljišta temelji se na analizi tla i propisano je pravilnikom, a kakvoća kao i zahtjevi za korištenje zemljišta moraju biti kvantitativno opisani, odnosno mjerljivi. Stoga se kakvoća tla temelji na analizi uzoraka tla sa svrhom određivanja pojedinih pokazatelja kakvoće. Kakvoća tla ovisi prvenstveno o kemijskim pokazateljima odnosno o pH vrijednosti, humusu, postotku opskrbljenosti dušikom, fosforom, kalijem, fiziološki aktivnim vapnom te o hidrolitičkoj kiselosti. Uzorkovanje tla provedeno je na 24 lokacije u Varaždinskoj županiji te su analizirani pH_{H_2O} vrijednost, pH_{KCl} vrijednost, humus, ukupni dušik (N), fosfor (V) oksid (P_2O_5), kalijev oksid (K_2O), ukupni karbonati te hidrolitička kiselost.

Ključne riječi: tlo, kakvoća tla, pH vrijednost, humus, ukupni dušik, fosfor (V) oksid, kalijev oksid, ukupni karbonati, hidrolitička kiselost

ABSTRACT

Soil is the loose upper layer of the Earth's crust. Its chemical, physical and biological properties make it essential for the functioning of flora and fauna. It was formed as a result of pedogenetic factors and processes and it consists of water, air, organic matter and mineral particles, mostly aluminium, silicon, iron, carbon, oxygen and nitrogen. In nature, there are different types of soil that are classified according to common properties that are morphologically visible and measurable such as colour, texture and structure. In Croatia, soil is divided into 4 departments which are then divided into classes and classes are divided into types. The departments are based on water quality and wetting method and therefore there are automorphic, hydromorphic, holomorphic and subaquatic soils. Monitoring the condition of the land is based on the analysis of soil and it is prescribed by regulations. The quality as well as the requirements for the use of land must be quantitatively described, i.e. measurable. Therefore, soil quality is based on the analysis of soil samples with the purpose of determining individual quality indicators. Soil quality depends primarily on chemical indicators such as pH value, humus, the percentage of nitrogen, phosphorus, potassium, physiologically active lime and hydrolytic acidity. Soil sampling was carried out at 24 locations in Varaždin County and $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ value, pH_{KCl} value, humus, total nitrogen (N), phosphorus (V) oxide (P_2O_5), potassium oxide (K_2O), total carbonates and hydrolytic acidity were analysed.

Keywords: soil, soil quality, pH value, humus, total nitrogen, phosphorus (V) oxide, potassium oxide, total carbonates, hydrolytic acidity

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Tlo.....	2
2.2. Vrste tla.....	4
2.3. Uzorkovanje tla.....	8
2.4. Svojstva tla.....	9
2.4.1. $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ vrijednost	9
2.4.2. pH_{KCl} vrijednost	10
2.4.3. Humus.....	11
2.4.4. Ukupni dušik.....	12
2.4.5. Fosfor (V) oksid (P_2O_5) i kalijev oksid(K_2O)	12
2.4.6. Ukupni karbonati	13
2.4.7. Hidrolitička kiselost.....	14
2.5. Zakonska regulativa.....	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	16
3.1. Opis lokacija	16
3.2. Uzorkovanje tla.....	20
3.3. Određivanje pH vrijednosti tla u vodi i otopini KCl.....	21
3.4. Određivanje humusa	22
3.5. Određivanje ukupnog dušika	23
3.6. Određivanje fosforovog (V) oksida i kalijeva oksida	25
3.7. Određivanje ukupnih karbonata sukladno normi HRN ISO 10693:2004.....	27
3.8. Određivanje hidrolitičke kiselosti.....	28
4. REZULTATI I RASPRAVA	29
4.1. Rezultati određivanja $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ vrijednosti	29
4.2. Rezultati određivanja pH_{KCl} vrijednosti.....	31
4.3. Rezultati određivanja humusa.....	32
4.4. Rezultati određivanja ukupnog dušika.....	34
4.5. Rezultati određivanja fosfor (V) oksida.....	36
4.6. Rezultati određivanja kalija	37
4.7. Rezultati određivanja ukupnih karbonata	39

4.8. Rezultati određivanja hidrolitičke kiselosti	40
5. ZAKLJUČAK	42
6. LITERATURA.....	43
7. Popis slika	47
8. Popis tablica.....	48

1. UVOD

Tlo je rastresiti, površinski sloj Zemljine kore kojeg određuje trošenje raznih vrsta stijena. Obilježen je mnogim karakterističnim svojstvima kao što su mehanička građa, morfologija te fizikalna, biološka i kemijska svojstva. Po svojoj građi tla su jedinstvena, a sastoje se od pretežito anorganskog te organskog materijala krute, kapljevite ili plinovite faze [1]. Tla se razlikuju prema brzini i načinu razvoja, količini izloženosti antropogenim utjecajima te drugim mjerljivim parametrima. Prema razini antropogenog utjecaja, tlo se može razvrstati kao tlo šuma, travnjaka, pustinja, naselja i drugih. Tlo se neprestano mijenja i razvija, odnosno podliježe evoluciji te ostavlja vidljiva obilježja u obliku slojeva u profilu tla koji se nazivaju genetski horizonti [2].

Postupak razvrstavanja i grupiranja tla prema zajedničkim osobinama naziva se klasifikacija tla. U Hrvatskoj se klasifikacija tla temelji na svojstvima koja su mjerljiva i okom vidljiva. Početna klasifikacija je na odjele, a odjeli se zatim dijele na klase, a klase na tipove. Tlo ima i razne gospodarske i ekološke funkcije povezane s antropogenim aktivnostima kao što su proizvodnja biomase, filtracija i pohrana vode, prebivalište je za mnoge biljne i životinjske organizme te služi kao prostor za izgradnju naselja i stambenih zgrada [3].

Tlo je početna i završna točka u biološkom kruženju tvari i energije te je stoga važno odrediti njegova kemijska, fizikalna i biološka svojstva. Kakvoća tla kao i zahtjevi za njegovo korištenje moraju biti kvantitativno opisani, odnosno mjerljivi [4]. Mjerenjem se određuju vrijednosti pojedinih pokazatelja na temelju kojih se dolazi do spoznaje o kakvoći tla za pravovremenu reakciju na promjene u tlu, koje mogu imati negativan utjecaj na bilje i vodu odnosno na ljudsko zdravlje [5].

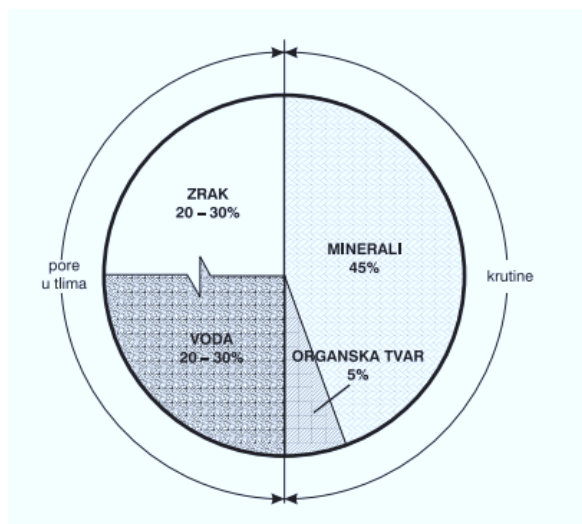
Cilj ovog rada bio je analizirati pokazatelje kakvoće tla odnosno pH_{H_2O} vrijednost, pH_{KCl} vrijednost, humus, ukupni dušik (N), fosfor (V) oksid (P_2O_5), kalijev oksid (K_2O), ukupne karbonate te hidrolitičku kiselost na pojedinim lokacijama u Varaždinskoj županiji.

2. OPĆI DIO

2.1. Tlo

Definicija tla navedena je u Pravilniku o agrotehničkim mjerama (NN 22/19) i ona glasi: “Tlo je samostalno živo i dinamičko prirodno-povijesno tijelo, nastalo postupnim razvojem iz trošina stijena djelovanjem mehaničkih, fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji ovise o konstelaciji pedogenetskih faktora, temeljem čega tla poprimaju svojstva karakteristična za svaki pojedini tip tla“ [6].

Tlo je nositelj mnogih funkcija neophodnih za biljni i životinjski svijet na Zemlji, a najvažnija uloga je opskrba biljaka vodom, zrakom i hranjivim tvarima. Također, tlo je prebivalište mnogih organizama koji žive na i/ili u tlu, fizički je prostor za gradnju naselja i stambenih zgrada, štiti podzemnu vodu i sprječava njeno onečišćenje, izvor je hrane za ljudske potrebe te ima mnoge druge funkcije od velikog značaja. Sastavljeno je od vode, zraka, čestica minerala i organske tvari (Slika 1). Od minerala najviše su zastupljeni aluminij (Al), silicij (Si), željezo (Fe), a od ostalih elemenata najviše su zastupljeni ugljik (C), kisik (O) i dušik (N). Veliku važnost kod kakvoće tla čini koncentracija alkalnih elemenata kao što su kalij (K), magnezij (Mg), natrij (Na) i kalcij (Ca) koji čini osnovu plodnog tla [3].



Slika 1. Sastav tla [3]

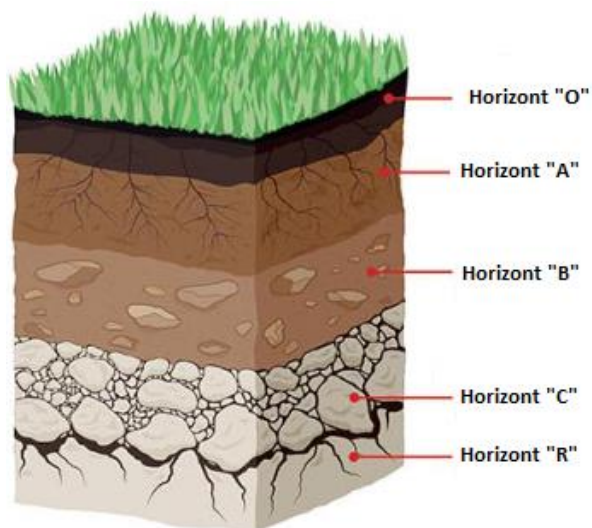
Znanost koja se bavi proučavanjem tla kao prirodnog resursa Zemlje uključujući klasifikaciju, plodnost i genezu tla, kao i kemijska, biološka i fizikalna svojstva naziva se pedologija ili tloznanstvo. Tlo je nastalo kao rezultat pedogenetskih čimbenika (matični supstrat, klima, reljef, organizmi i vrijeme) i procesa. Pedogenetski procesi uključuju transformacije i premještanje energije te organske i mineralne tvari. Ti procesi se odvijaju u ovisnosti o pedogenetskim čimbenicima te kao rezultat uzajamnog djelovanja nastaje tlo [7]. U pedogenetske procese ubrajaju se: trošenje matične stijene, tvorba sekundarnih minerala, transformacija organske tvari, aluvijalni procesi i mnogi drugi. Trošenje matične stijene može biti fizikalno, kemijsko i biološko (Tablica 1.)

Tablica 1. Vrste trošenja matične stijene

Trošenje matične stijene	
Fizikalno	Raspadanje stijena i minerala bez kemijskih promjena Usljed širenja i stezanja minerala
Kemijsko	Hidroliza, hidratacija, otapanje, oksidacija Glavni uzročnici: voda, kiseline, ugljični dioksid i kisik
Biološko	Uzrokuju organizmi tla otpuštanjem ugljičnog dioksida i vodikovih iona

Tla u prirodi imaju određeni oblik, odnosno morfologiju, a ona je odraz dinamike, geneze i evolucije. Morfološke značajke tla također su rezultat pedogenetskih čimbenika i procesa, a razlikuju se vanjske i unutarnje morfološke značajke tla. U vanjske značajke tla (ektomorfološke) ubrajaju se živi i mrtvi pokrov te reljef, a u unutrašnje (endomorfološke) sklop tla, boja, poroznost, struktura, tekstura, odnosno, ono je najvažniji pokazatelj svojstva, dinamike i postanka tla [7].

Procesima geneze tlo se razvija iz inicijalnih u razvijene stadije i time ostavlja vidljive slojeve u profilu tla, odnosno genetske horizonte (Slika 2). Osnova za razlikovanje horizonata su mineralni sastav, boja, struktura, tekstura i konzistencija.



Slika 2. Genetski horizonti tla [8]

Horizont „O“ površinski je sloj i sadrži ostatke organskih materijala kao što su plodovi, lišće, sjemenke i granje. Najčešće se nalazi u šumskim predjelima dok obrađene površine nemaju horizont „O“. Horizont „A“ je najčešće gornji dio tla, a uglavnom se sastoji od mineralnih tvari, no može sadržavati i organsku tvar koja mu najčešće daje tamniju boju. On predstavlja zonu trošenja i izlučivanja. Horizont „B“ predstavlja dublji dio tla i naziva se još i zona akumulacije te ga većina tla i sadrži. U njemu se nakupljaju glina, željezo, organske tvari te isprani elementi iz horizonta „A“. Između horizonta „A“ i „B“ može se nalaziti horizont „E“ odnosno eluvijalni (isprani) horizont. Horizont „C“ zona je ishodišnog materijala, slabo je alteriran i ne sadrži organsku tvar. Horizont „R“ matična je stijena odnosno stjenovita podloga i ona je jedan od ključnih faktora kod definiranja sastava tla [9].

2.2. Vrste tla

U prirodi postoje različite vrste tla koje nastaju interakcijom pedogenetskih čimbenika i procesa na matičnu stijenu. Tla se u Hrvatskoj klasificiraju prema svojstvima koja su morfološki mjerljiva i vidljiva (struktura tla, veličina čestica, boja, itd.) [10]. Boja tla morfološki je znak i indikator mnogih osobina tla te je oduvijek služila kao kriterij za klasifikaciju tla. Važan je indikator koji ukazuje na kemijski sastav i pedogenetske procese koji se odvijaju u tlu. Osnovne boje tla su smeđa, žuta, siva, crna te crvena, a s

obzirom na boju postoje različite vrste tla, kao što su crnica, crvenica, pješčano tlo, glineno tlo i ilovača (Slika 3).



Slika 3. Prikaz osnovnih boja tla [11]

Važan indikator kod klasifikacije tla je i struktura. Pod strukturom se podrazumijeva veličina, oblik i raspored agregata u tlu. Agregati se mogu podijeliti prema porijeklu na prirodne i umjetne te prema veličini na mikroagregate ($< 0,25$ mm) i makroagregate ($> 0,25$ mm). Po obliku agregati se dijele na tri skupine: kockasti (kuboformni), stubasti (prizmatofornni) i plosnati (laminoformni). Strukturna svojstva tla određuju se u suhom tlu pošto se struktura mijenja s promjenom vlažnosti. Tekstura tla podrazumijeva sadržaj određenih frakcija u tlu u postocima. Ukoliko su frakcije veće od 20 mm one se nazivaju skelet, a čestice koje su manje dimenzije nazivaju se sitno tlo (Slika 4).



Slika 4. Frakcije tla različitih promjera [12]

Postoji mnogo klasifikacija mehaničkih frakcija u tlu, no u Hrvatskoj se koristi klasifikacija Međunarodnog društva za proučavanje tla (Tablica 2.) [3].

Tablica 2. Klasifikacija mehaničkih frakcija tla

	Frakcija	Efektivni promjer [mm]
Skelet	Kamen	> 20
	Šljunak	20 – 2,0
Sitno tlo	Krupni pijesak	2,0 – 0,2
	Sitni pijesak	0,2- 0,02
	Prah	0,02 – 0,002
	Glina	< 0,002

Klasifikacija tala Hrvatske je genetička sa osnovama proizvodno-ekološkog ocjenjivanja tla. Postupak razvrstavanja i sistematskog grupiranja pojedinih tala ovisno o zajedničkim svojstvima naziva se klasifikacija tla, a kao rezultat klasifikacije tla dobiva se sistematika tala. Početna jedinica klasifikacije je odjel, odjel se dijeli na klase, a klase na tipove (Tablica 3.). Tla se klasificiraju na 4 odjela koji su izdvojeni na temelju kvalitete vode i načina vlaženja. Tipovi tla su osnovna jedinica klasifikacije i oni su određeni: građom profila, osnovnim procesima transformacije i sličnim kemijsko-fizikalnim svojstvima horizonata te se dijele još na podtipove, forme i varijetete [10].

Tablica 3. Klasifikacija tala Hrvatske [10]

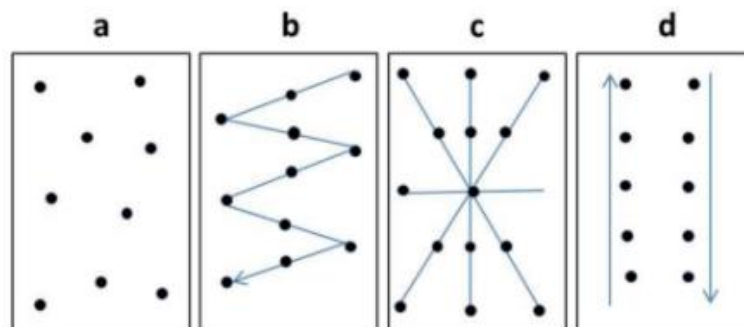
ODJEL	KLASA	TIP
Automorfna tla	Nerazvijena	Kamenjar, eolski „živi“ pijesci, koluvijalna tla
	Humusno akumulativna	Vapnenačko dolomitna crnica, redzina, černozem
	Kambična	Eutrično smeđe, distrično smeđe, crvenica
	Eluvijalno iluvijalna	Lesivirano, podzol, smeđe podzolasto
	Antropogena	Rigolano, vrtno
	Tehnogena	Tla deponija, nanosi iz zraka, flotacioni nanosi
Hidromorfna tla	Pseudoglejna	Pseudoglej (ravničarski i obronačni)
	Nerazvijena hidromorfna	Aluvijalno tlo
	Semiglejna	Livadsko tlo
	Glejna	Pseudoglej-glej, ritska crnica, močvarno glejno
	Tresetna	Izdignuti visoki treset, prelazni treset, niski treset
	Antropogena	Tla rižišta, rigolano tresetno, hidromeliorirano
Halomorfna tla	Akutno zaslanjena	Solončak
	Soloneci	Solonec
Subakvalna tla	Nerazvijena subakvalna	Protopedon
	Subakvalna tla	Girja, Daj, Sapropel

2.3. Uzorkovanje tla

Uzorkovanje tla u poljoprivredne svrhe temelji se na laboratorijskom analiziranju pojedinih kemijskih pokazatelja poput: pH vrijednosti, humusa, ukupnog dušika i sl. Površina gdje se vrši uzorkovanje tla ovisi o homogenosti, odnosno tlo treba biti istog mehaničkog sastava, iste primjene gnojidbe i obrade te konfiguracije terena [13]. U pravilu, uzorke tla trebalo bi uzeti nakon berbe, kada je tlo slobodno, pa do vremena kada se tlo priprema za novi usjev. Najpovoljnije vrijeme za uzorkovanje je u uvjetima kada tlo nije previše vlažno ni suho jer presuho tlo može otežati upotrebu alata, dok se tlo velike vlažnosti može lijepiti za alate. Težina uzoraka trebala bi biti od 0,5 do 1,0 kg svježega tla, a dubina uzorkovanja ovisi o vrsti biljne proizvodnje odnosno o vrsti kulture [14]:

- 0 – 30 cm; za povrtlarske i ratarske kulture
- 0 – 30 i 30 – 60 cm; za višegodišnje nasade
- 0 – 30, 30 – 60, 60 – 90 cm; za određivanje mineralnog dušika

Alati za uzorkovanje tla trebali bi biti jednostavni za korištenje i transport, kao i prilagođeni tipu tla u ovisnosti o zahvatu količine tla i dubini prodiranja, a najčešće korišteni alati su: lopate, štihače, noževi, hidrauličke sonde, različiti tipovi sonda i svrdla te cilindrične agrokemijske sonde za uzorkovanje tala srednje teksture [13]. Prilikom uzorkovanja razlikuju se dvije vrste uzoraka: pojedinačni uzorak (predstavlja jedan uzeti uzorak) i prosječni (sastoji se od nekoliko izmiješanih pojedinačnih uzoraka). Kod uzorkovanja tla izbjegavaju se područja deponija, depresija, gospodarskih objekata, a metoda uzorkovanja ovisi o terenu i dijeli se na sistematski (a) način uzorkovanja ili nesistematski (b, c, d) način uzorkovanja (Slika 5).



Slika 5. Načini uzorkovanja tla [14]

Uzorak koji se dostavlja na analizu treba biti reprezentativan, odnosno uzet sa više mjesta na zemljištu te treba sadržavati sljedeće podatke: ime i prezime vlasnika, dubinu uzimanja uzoraka, naziv parcele, datum uzimanja uzoraka, predkultura i kulturu koja će se saditi i/ili sijati..

2.4. Svojstva tla

Kakvoća tla, kao i drugih sastavnica okoliša, određuje se prema svojstvima odnosno različitim pokazateljima istih, koji se mogu podijeliti na fizikalna, kemijska i biološka (Tablica 4). Kod procjene plodnosti, kvalitete, pogodnosti ili zdravlja tla, kao indikatori se biraju i ocjenjuju različita svojstva tla. Prema dinamici promjene, svojstva se dijele na dinamična i statična. Dinamična svojstva su brze promjene prilikom obrade tla ili vremenskih prilika kao što je izgled površine te sadržaj vode i zraka, a statična svojstva su tekstura, masa, dubina, struktura, pH.

Tablica 4. Osnovna svojstva tla [15]

Fizička svojstva	Kemijska svojstva	Biološka svojstva
Mehanički sastav	pH vrijednost	Organizmi
Struktura	Adsorpcijski kompleks	
Gustoća	Humus	
Poroznost	Makro i mikro elementi	
Konzistencija	Gnojiva i gnojidba	

2.4.1. pH_{H₂O} vrijednost

pH vrijednost predstavlja negativni logaritam koncentracije vodikovih iona ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$). Mjerenjem pH u vodenoj suspenziji određuje se trenutna kiselost, koja je posljedica slobodnih iona, najviše vodikovih iona (H^+), ali i hidroksidnih (OH^-) te aluminijskih (Al^{3+}) [12]. Veći dio tih iona vezan je za koloide te se može lako zamijeniti s drugim ionima. Analiza pH vrijednosti provodi se u destiliranoj vodi elektrometrijski pomoću pH metra. Pri 25°C pH vrijednost tla može biti između 0 i 14 (Tablica 5), a u čistoj vodi koncentracija vodikovih iona jednaka je hidroksidnim ionima te iznosi 7. U lužnatim otopinama pH vrijednost je veća od 7 što znači da se u takvim otopinama nalazi veća

koncentracija hidroksidnih iona, a otopine sa pH manjim od 7 sadrže veće koncentracije vodikovih iona [16].

Tablica 5. Kategorije trenutne pH vrijednosti tla [16]

Kategorija pH vrijednosti tla	pH vrijednost
Ekstremno kiselo	3,50 – 4,50
Vrlo jako kiselo	4,51 – 5,00
Jako kiselo	5,01 – 5,50
Umjereno kiselo	5,51 – 6,00
Slabo kiselo	6,01 – 6,50
Neutralno	6,51 – 7,30
Slabo alkalno	7,31 – 7,80
Jako alkalno	7,81 – 8,50
Ekstremno alkalno	8,51 – 9,00

2.4.2. pH_{KCl} vrijednost

Mjerenjem pH u otopini kalijeva klorida (KCl) određuje se izmjenjiva kiselost, odnosno koncentracija H^+ iona koja se u određenim uvjetima oslobađa prilikom razmjene iona u tlu i otopine KCl [12]. Obično su vrijednosti izmjenjive kiselosti niže u odnosu na aktualnu za 1 pH jedinicu. S obzirom da je pH ljestvica (Tablica 6) u obliku dekadskog logaritma, razlika za 1 pH jedinicu znači da je koncentracija vodikovih iona 10 puta veća kod mjerenja u otopini kalijeva klorida. U posljednje vrijeme se sve više koristi metoda određivanja pH_{KCl} jer manje ovisi o vlažnosti tla i koncentraciji soli u tlu [16].

Tablica 6. pH vrijednosti tla u KCl otopini [17]

Kategorija pH vrijednosti tla	pH vrijednost
Jako kiselo	< 4,50
Kiselo	4,51 – 5,50
Slabo kiselo	5,51 – 6,50
Neutralno	6,51 – 7,20
Alkalno	> 7,21

2.4.3. Humus

Humus je tamna, organska tvar (Slika 6) odnosno visokomolekularni produkt koji nastaje reakcijom kondenzacije i polimerizacije mrtve organske tvari u kojem sudjeluju i mikroorganizmi tla [12]. U tlu ima utjecaj na mikrobiološku aktivnost koja se događa u njemu, ali i na kemijska i fizikalna svojstva. Također, izvor je hrane mnogim biljkama, a sadrži oko 58 % ugljika. U laboratoriju se određuje dikromatnom metodom koja predstavlja mokro spaljivanje prilikom čega dolazi do oksidacije organske tvari u tlu kalijevim dikromatom ($K_2Cr_2O_7$).



Slika 6. Humus [18]

Agroekološki značaj humusa vrlo je važan, omogućuje biološko kruženje elemenata, najznačajniji je izvor dušika i drugih tvari u tlu koje su neophodne za rast biljaka, važan je dio adsorpcijskog kompleksa i pomaže u stvaranju stabilne strukture tla. Vrijednosti za humoznost tla prikazane su u tablici 7.

Tablica 7. Vrijednosti za humoznost tla [17]

Opis	Vrijednost za humus / %
Ekstremno slabo humuzno tlo	< 0,5
Vrlo slabo humuzno tlo	0,6 – 1,0
Slabo humuzno tlo	1,1 – 2,0
Srednje humuzno tlo	2,1 – 3,0
Dosta humuzno tlo	3,1 – 5,0
Jako humuzno tlo	5,1 – 10,0
Vrlo jako humuzno tlo	10,1 – 30,0
Tresetno	> 30

2.4.4. Ukupni dušik

Dušik se u tlu nalazi u obliku organskih i anorganskih spojeva, a organski dio predstavlja humus. Zbog niske koncentracije dušika u tlu, primjena dušika gnojidbom postala je svakodnevna agrotehnička mjera. Koncentracija dušika u tlu ukazuje na produktivnost tla i kvalitetu okoliša, odnosno predstavlja učinkovitost poljoprivrednog ekosustava i same održivosti okoliša. Dušik se infiltrira u tlo gnojidbom, biološkom N-fiksacijom, vodom koja služi za navodnjavanje, a gubici dušika nastaju ispiranjem tla, denitrifikacijom i erozijom.

Bilanca dušika odražava se na anorgansko-organske odnose tla. Kod povećanja mineralizacije organske tvari tla dolazi do veće raspoloživosti dušika čime se mogu povećati prinosi, dok se gubici dušika odražavaju na kakvoću vode i zraka [19]. Ukupna količina dušika u tlu ovisi o starosti tla, vegetaciji, klimi, matičnom supstratu itd. Ukupni dušik čine anioni NO_3^- , NO_2^- i NH_4^+ čije se vrijednosti određuju spektrofotometrijski, a vrijednosti za sadržaj ukupnog dušika prikazane su u tablici 8.

Tablica 8. Vrijednosti za sadržaj ukupnog dušika [17]

Opskrbljenost	% N
Slabo opskrbljeno	< 0,06
Umjereno opskrbljeno	0,07 – 0,10
Dobro opskrbljeno	0,11 – 0,20
Bogato opskrbljeno	0,21 – 0,30
Vrlo bogato opskrbljeno	> 0,30

2.4.5. Fosfor (V) oksid (P_2O_5) i kalijev oksid(K_2O)

Fosfor u tlu potječe iz razgradnje matičnih stijena, a najviše apatita. Ulazi u sastav mnogih različito topljivih minerala, a koncentracija u litosferi je vrlo promjenjiva, no također se nalazi i u organskoj tvari tla. Mnoga poljoprivredna tla sadrže 20-60 % organski vezanog i 40-80 % anorganski vezanog fosfora. Nedostatak fosfora u tlu vrlo je česta pojava što rezultira slabim rastom biljaka odnosno, dolazi do znatno nižeg prinosa. Suvišak fosfora

rijetka je pojava i prilikom povišenja njegove koncentracije dolazi do usporenog rasta i opadanja lišća, stoga je važno održavati optimalnu koncentraciju [20].

Kalij u tlu potječe iz minerala kao što su liskuni i feldspati. Prilikom njihovog raspadanja dolazi do oslobađanja kalija koji se odmah veže na adsorpcijski kompleks pa je opasnost od ispiranja mala. Koncentracija kalija u tlima većinom je vrlo visoka, a višu koncentraciju imaju glinasta tla. Kalij ima dvije funkcije u tlu, a to su aktivacija enzima i regulacija permeabilnosti živih membrana. Nedostatak kalija dovodi do usporenog rasta biljaka, a suvišak je moguć na zaslanjenim tlima i tada se javljaju problemi kod ishrane bilja [20].

Određivanje fosfora i kalija u tlu radi se pomoću AL-metode (Tablica 9). Metoda se temelji na ekstrakciji fosfora i kalija iz biljaka sa pufer otopinom amonijeva laktata. AL otopinu čine amonijev acetat, mliječna i octena kiselina. Nakon ekstrakcije iz biljaka se fosfor i kalij određuju spektrofotometrijski [12].

Tablica 9. Klasifikacija tala prema sadržaju fosfora i kalija po AL metodi [17]

Opskrbljenost	mg/100g tla	
	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vrlo slaba	0,0 – 5,0	0,0 – 5,0
Slaba	5,1 – 10,0	5,1 – 10,0
Umjerena	10,1 – 15,0	10,1 – 15,0
Dobra	15,1 – 20,0	15,1 – 20,0
Bogata	20,1 – 25,0	20,1 – 25
Vrlo bogata	>25	>25

2.4.6. Ukupni karbonati

Sadržaj karbonata u zemljištu indiciraju njegove plodnosti. Tlo sadrži slobodne karbonate i to pretežito u tlima čija je pH vrijednost veća od 7, a prisutne su soli kalcija i drugih elemenata kao posljedica malih količina oborina [1]. Oni djeluju na tlo na različite načine: smanjuju kiselost, utječu na strukturu tla te su izvor magnezija i kalcija. Sadržaj prisutnih karbonata u tlu može se odrediti volumetrijskim mjerenjem pomoću

Scheiblerovog kalcimetra. U graduiranoj cijevi mjeri se razvijeni CO₂ te se izmjereni plin preračunava u % CaCO₃. Reakcija se odvija prema jednadžbi [12]:



Kod prekomjerne pojave kalcija u tlu može doći do nastanka kloroze kod biljaka. Kalcij se u tlu može nalaziti u nekoliko oblika, a najčešći su karbonati (CaCO₃) i hidrogen karbonati (HCO₃²⁻). Kloroza je poremećaj u biljkama uvjetovan sa nedovoljnim količinama odgovarajućih kationa u fiziološkim procesima. Najčešći simptomi su promjena boje listova, a liječi se pripravcima koji sadrže željezo.

Tablica 10. Vrijednosti za karbonate [17]

Opis opskrbljenosti tla sa karbonatima	Vrijednosti [% CaCO ₃]
Slabo karbonatno	< 10
Srednje karbonatno	10 - 20
Jako karbonatno	> 30

2.4.7. Hidrolitička kiselost

Kada je pH vrijednost tla niža od 7, odnosno kada je tlo kiselo ono je nepovoljno za većinu biljaka jer biljke preferiraju neutralnu pH vrijednost. Kako bi se smanjila kiselost tla dodaju se vapneni materijali i taj proces predstavlja kalcizaciju ili kalcifikaciju tla. Smanjivanje kiselosti moguće je na temelju hidrolitičke kiselosti. Na temelju vrijednosti hidrolitičke kiselosti potpuno se neutralizira kiselost i postiže se pH vrijednost 7. Međutim, promjena od kiselog do neutralnog tla mijenja njegove uvjete. Tla sa niskom pH vrijednošću mogu biti degradirana, sadržavati nisku količinu humusa i biti loše strukture pa unošenje većih količina kalcizacijskog materijala može dovesti do smanjenja sadržaja organske tvari [21]. Vrijednosti za tumačenje potrebe za kalcizacijom prikazane su u tablici 11.

Tablica 11. Vrijednosti za tumačenje potrebe za kalcizacijom [12]

H [ml]	Potreba kalcifikacije
0 – 4	Nije potrebna kalcifikacija
4 – 8	Nije nužna kalcifikacija
8 – 16	Potrebne niske doze materijala za kalcifikacija
16 – 24	Potrebne umjerene doze materijala za kalcifikaciju
> 24	Potrebne visoke doze materijala za kalcifikaciju

2.5. Zakonska regulativa

Praćenje stanja (monitoring) poljoprivrednih zemljišta temelji se na analizi tla koja se obavlja periodično svake četvrte godine. Obveza praćenja stanja kroz ispitivanja tla propisana je Pravilnikom o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/2019). Propisuje se za: (a) trajno praćenje stanja zemljišta i (b) za praćenje stanja poljoprivrednog tla kojeg koristi pravna ili fizička osoba na temelju zakupa. Svrha monitoringa je zaštita poljoprivrednih tala od degradacije prilikom nepridržavanja pravila dobre poljoprivredne prakse, smanjiti pritisak na okoliš i očuvanje zemljišta te stvoriti informacijsku baza podataka o načinu korištenja zemljišta [22].

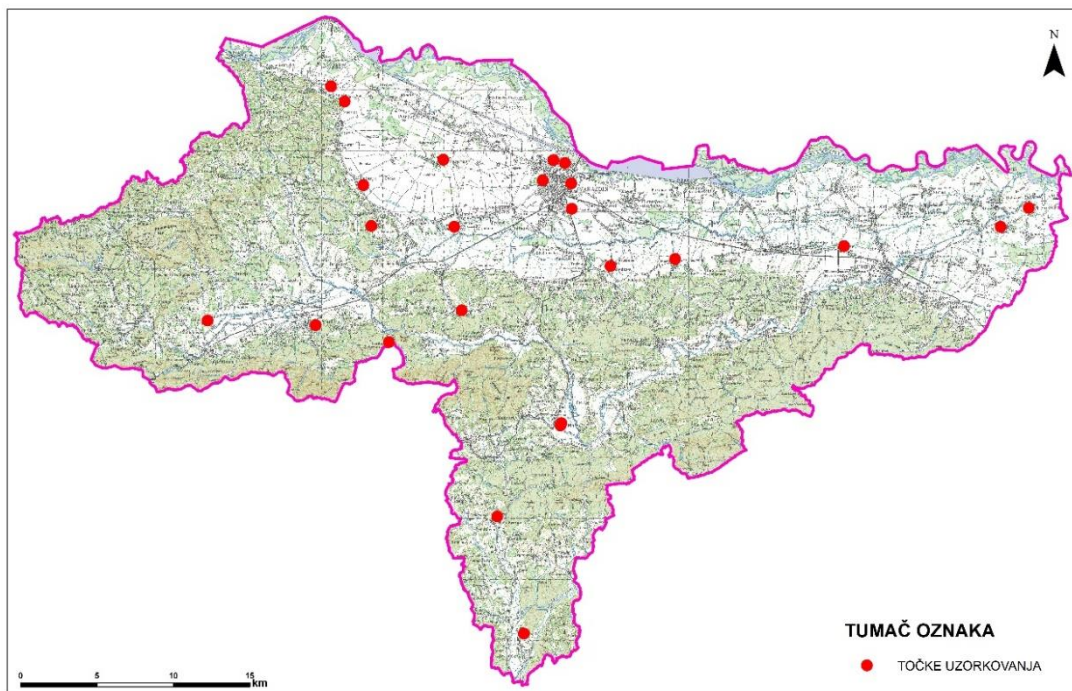
Analiza plodnosti tla daje „krvnu sliku“ zemljišta. Stoga je važno prilikom analize poljoprivrednog zemljišta pridržavati se zakonske regulative. Temeljem raspoloživih hranjivih tvari u tlu izračunava se potrebna količina organskih i mineralnih gnojiva koja se moraju dodati tlu u procesima proizvodnje kako bi se zadovoljila potreba biljaka i zemljišta i poštivala zakonska regulativa [23]:

- Zakon o poljoprivrednom zemljištu (NN 39/13)
- Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 009/2014)
- Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 043/2014)
- Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla (NN 015/2013)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Opis lokacija

Varaždinska županija smještena je na sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Najveću rasprostranjenost zauzima nizinski reljef od kojeg su najniži dijelovi građeni od pijeska i šljunka, a nešto viši dijelovi izgrađeni su od lesa, dok je brežuljkasti reljef građen od gline. Najveći dio zemljišta koristi se za poljoprivredu, a nakon poljoprivrede najveći dio zauzimaju šume [24]. Uzorkovanje tla provedeno je na 24 lokacije Varaždinske županije. Karta sa lokacijama uzoraka izrađena je u GIS-u (Geografski informacijski sustav) i prikazana je na slici 7, a popis lokacija u tablici 12.

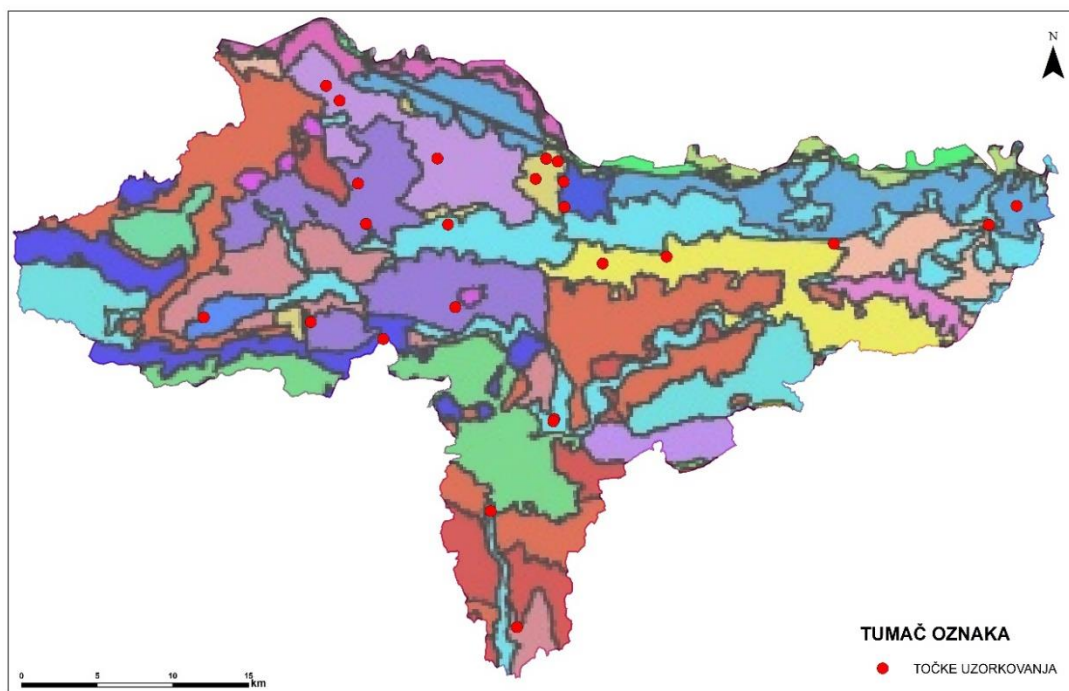


Slika 7. Karta lokacija uzoraka

Tablica 12. Popis lokacija uzoraka

Uzorak	Oznaka	Lokacija
1	V1	Varaždin
2	V2	Varaždin
3	V3	Varaždin
4	V4	Varaždin
5	V5	Varaždin
6	I1	Ivanec
7	I2	Ivanec
8	MB1	Mali Bukovec
9	MB2	Mali Bukovec
10	NM1	Novi Marof
11	NM2	Novi Marof
12	BH	Breznički Hum
13	C	Cestica
14	M1	Maruševac
15	M2	Maruševac
16	B	Borenc
17	Vi	Vidovec
18	S	Stažnjevec
19	Lu	Ludbreg
20	P	Petrijanec
21	K	Kelemen
22	L	Lepoglava
23	DV	Donje Vratno
24	GK	Gornji Knežinec

Prostorna distribucija tala područja Varaždinske županije prikazana je kao isječak pedološke karte Republike Hrvatske sa točkama uzorkovanja. (Slika 8). Pomoću pedološke karte Republike Hrvatske i lokacija točaka uzoraka izrađena je tablica točaka uzorkovanja smještenih u pojedine skupine tala Varaždinske županije (Tablica 13).



Slika 8. Pedološka karta Varaždinske županije sa točkama uzorkovanja

Tablica 13. Prikaz vrsta tala pojedinih točaka uzorkovanja

Oznaka lokacije	Oznaka tla	Agregirano	Tip tla
MB2	4	Močvarno glejno	Aluvijalno livadno (humofluvisol)
MB1	26	Pseudoglej-glej, Lesivirano na praporu, Močvarno glejno, Ritska crnica	Pseudoglej na zaravni
L	8	Pseudoglej, Euterično smeđe, Močvarno glejno, Kolvij	Lesivirano na praporu
K			
GK			
V1	3	Lesivirano, Aluvijalno livadno, Močvarno glejno	Euterično smeđe
V3			
V2	999	Veća naselja	Veća naselja
V4			
V5			
P	36	Kiselo smeđe tlo, Smeđe podzolasto	Humusno silikatno
DV			
C			
M1	10	Lesivirano tipično, Pseudoglej, Močvarno glejno, Kiselo smeđe na praporu	Lesivirano pseudoglejno na praporu
M2			
I1			
S			
Vi	46	Močvarno glejno vertično, Aluvijalno livadno	Močvarno glejna, djelomično hidromeliorirana
Lu	65	Glejna, Tresetna	Močvarno glejno vertično
I2	24	Ranker regolitični, Lesivirano, Pseudoglej, Smeđe podzolasto	Kiselo smeđe na slatitima
NM1	43	Kolvij s prevagom sitnice, Rendzina na proluviju, Pseudoglej na zaravni, Pseudoglej-glej	Močvarno glejna, djelomično hidromeliorirana
NM2			
BH			
B	28	Pseudoglej na zaravni, Lesivirano na praporu, Kiselo smeđe, Močvarno glejno, Kolvij	Pseudoglej obronačni

3.2. Uzorkovanje tla

Uzorkovanje tla ovisi o vrsti kulture koja se uzgaja na određenom poljoprivrednom zemljištu. Uzorci su uzeti na različitim dubinama odnosno na dubinama od 0-30 cm i 30-60 cm. U tablici 14 prikazane su dubine uzorkovanja tla na navedenim lokacijama.

Tablica 14. Dubina uzorkovanja

Oznaka	Kultura	Dubina uzorkovanja [cm]	
		0-30	30-60
V1	Vrt	+	
V2	Konoplja	+	
V3	Vinova loza	+	
V4	Borovnica	+	
V5	Orah	+	+
I1	Kruška Williams	+	+
I2	Kesten	+	+
MB1	Ruža	+	+
MB2	Ruža	+	+
NM1	Aronija	+	+
NM2	Orah i jabuka		+
BH	Suncokret	+	
C	Kukuruz	+	
M1	Jabuka	+	+
M2	Kukuruz	+	
B	Orah	+	+
V	Paprika i rajčica	+	
S	Zelje	+	
L	Tagetes (cvijet)	+	
P	Razno	+	
K	Pšenica	+	
Lu	Lješnjak	+	+
DV	Lješnjak	+	+
GK	Kesten	+	+

Nakon uzorkovanja, uzorci su dopremljeni u laboratorij u sirovom obliku (Slika 9a) te se pripremaju za analizu. Uzorak se prostire u plitku posudu (koja ne smije apsorbirati vlagu iz tla i uzrokovati onečišćenje) u sloj koji nije deblji od 15 mm i suši se na zraku čija temperatura nije viša od 40°C. Nakon sušenja se odvajaju biljni ostaci, a zatim se uzorak prosijava kroz sito promjera 2 mm, homogenizira i dio se odvaja za analizu (Slika 9b) [25].



Slika 9. a) sirovi uzorak , b) obrađeni uzorak

3.3. Određivanje pH vrijednosti tla u vodi i otopini KCl

Reakcija tla (pH) određena je volumnom ekstrakcijom 1:5 (v/v), sukladno normi HRN ISO 10390:2005 (određivanje pH u H₂O i 1 M KCl). Za određivanje pH vrijednosti tla u vodi pripremljen je vodeni eluat. U 5 ml uzorka zrakosuhog tla dodano je 25 ml destilirane vode [26]. Zatim se pripremljeni vodeni eluat miješa na miješalici otprilike 1 sat te se nakon toga mjeri pH svakog uzorka. Na sličan način mjeri se pH vrijednost u otopini KCl-a. Pripremi se eluat tla pomoću 1 M otopine KCl-a. Zatim se 5 ml uzorka prelije sa 25 ml otopine KCl, miješa 1 sat na miješalici i nakon toga se mjeri pH [12]. pH vrijednost tla u vodi i u otopini kalijeva klorida određena je pomoću pH metra HACH Sension 156 (Slika 10). Uređaj se prije korištenja kalibrira standardnim otopinama poznate pH vrijednosti.



Slika 10. Mjerenje pH eluata tla sa pH metrom HACH Sension 156

3.4. Određivanje humusa

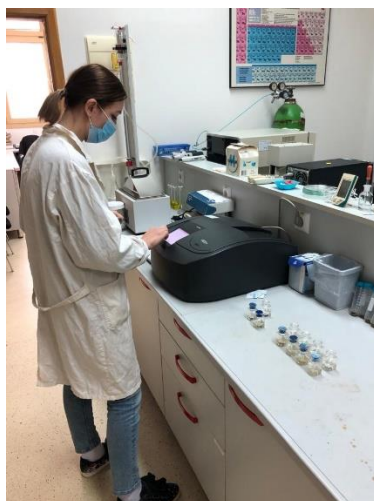
Određivanje humusa temelji se na pripremi osnovnog standarda na način da se 10 g dehidrirane glukoze otopi na 100 mL destilirane vode te se tako dobije 10 %-tna otopina dehidrirane glukoze.

U uzorak, standarde i slijepu probu dodaje se 30 ml 0,33 M otopine kalijeva dikromata (Slika 11) i 20 ml koncentrirane sumporne kiseline. Tako vruće uzorke, standarde i slijepu probu stavlja se u sušionik na otprilike 100°C 90 minuta.



Slika 11. Priprema uzoraka

Nakon sušenja slijedi hlađenje i dodatak 80 ml destilirane vode. Zatim se uzorci, standardi i slijepa proba ostavljaju da odstoje 24 sata. Za određivanje humusa korišten je spektrofotometar HACH DR 5000 (Slika 12), a mjerenja su provedena pri valnoj duljini 585 nm [12].



Slika 12. Određivanje humusa na spektrofotometru HACH DR 5000

Standardi se obrađuju istovremeno i identično uzorcima tla. Na osnovu očitavanja standarda, konstruira se kalibracijska krivulja iz koje se izračuna količina C u uzorcima tla. Za određivanje postotka humusa u tlu primjenjuje se dikromatna metoda koja predstavlja oksidaciju organske tvari kalijevim dikromatom, a može se prikazati jednačinom [12]:



3.5. Određivanje ukupnog dušika

Određivanje ukupnog dušika temelji se na pripremi vodenog eluata, 10 g uzorka sušenog tla prelije se s 25 ml destilirane vode. Uzorci se zatim miješaju na miješalici 15 minuta, centrifugiraju na 3500-4500 rpm također 15 minuta te filtriraju kroz filter od 0,45 µm.

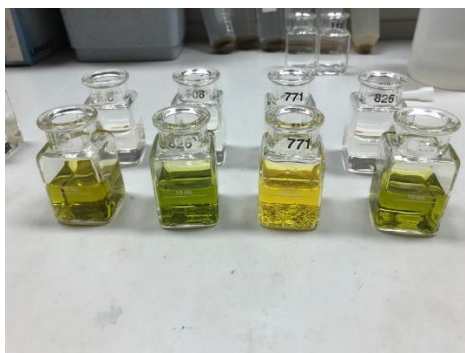
Određivanje NO_3^- započinje dodavanjem praškastog reagensa NitraVer 5 uzorku. Uzorak bez reagensa je slijepa proba. Nakon isteka reakcijskog vremena pristupilo se mjerenju uzorka na spektrofotometru.



Slika 13. Pripremljeni uzorci za određivanje NO_3^-

Određivanje NO_2^- započinje dodavanjem praškastog reagensa NitriVer3 Nitrite Reagens unaprijed pripremljenom uzorku u kiveti, koji se nakon toga promućka i ostavi mirovati 20 minuta. Uzorak bez reagensa je slijepa proba.

Određivanje NH_4^+ započinje dodavanjem praškastog reagensa amonijeva salicilata unaprijed pripremljenom uzorku u kiveti, promućka se i ostavi 3 minute. Nakon toga dodaje se praškasti reagens amonijev cijanurat, također se promućka i ostavi mirovati 15 minuta (Slika 14). Slijepa proba je ovdje deionizirana voda u koju se također dodaju reagensi. [12].



Slika 14. Pripremljeni uzorci za određivanje NH_4^+

Za određivanje ukupnog dušika korišten je spektrofotometar HACH DR 5000 (Slika 15), a mjerenja su provedena prema programu 353 Nitrate, MR, Cadmium Reduction Method pri valnoj duljini od 400 nm za NO_3^- , prema programu 371 N Nitrite LR PP za NO_2^- i prema programu 385 N Ammonia, Salic za NH_4^+ [27].



Slika 15. Spektrofotometar HACH DR 5000

3.6. Određivanje fosforovog (V) oksida i kalijeva oksida

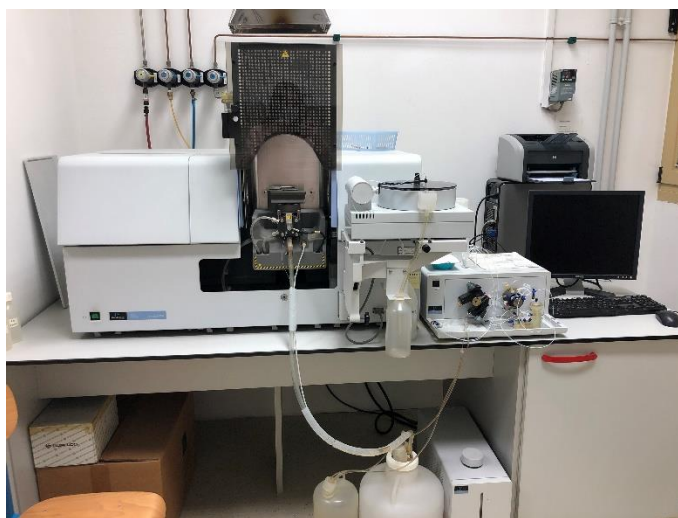
Određivanje fosfora i kalija temelji se na AL metodi. AL-metoda temelji se na ekstrakciji fosfora i kalija iz tla pufernom otopinom amonijevog laktata čiji pH iznosi 3,75 [12]. Otopina AL pripremi se tako da se 1 kg mliječne kiseline razrijedili sa 2 l destilirane vode, hidratizira u sušioniku na 95°C 48 sati te titrira sa 1 N NaOH uz dodatak fenolftaleina da bi se utvrdila točna množina tvari u smjesi. Hidratizirana mliječna kiselina se dodaje u 1785 g 96 %-tne octene kiseline i 770 g amonijeva acetata. Razrjeđivanjem priređene otopine destiliranom vodom u omjeru 1:9 dobije se ekstrakcijska AL otopina.

5 g uzorka tla prelije se sa 100 ml ekstrakcijske AL otopine i mućka na mućkalici 2 sata. Ukoliko je uzorak mutan potrebno ga je centrifugirati 15 minuta te profiltrirati. Standardi se pripremaju dodavanjem 0,1917 g KH_2PO_4 i 0,534 g KCl u 1000 ml ekstrakcijske AL otopine. Od ovako pripremljenog osnovnog standarda, pripremaju se radni standardi. U svrhu određivanja koncentracije fosfora odpipetira se 10 ml ekstrakta uzorka tla u tikvicu od 100 ml. Paralelno sa pripremom uzorka, pripremaju se i radni standardi te slijepa proba (čista ekstrakcijska AL otopina). U svaku od tikvica dodaje se po 9 ml 4 M sumporne kiseline, do pola se dopune destiliranom vodom te zagrijevaju u vodenoj kupelji (Slika 16). Nakon toga dodaje se u tikvice 10 ml 1,44 %-tne otopine amonijevog heptamolibdata i 2 ml 2,5 %-tne otopine askorbinske kiseline (). Tikvice se zagrijevaju još 30 minuta, ohlade se i dopune destiliranom vodom do oznake te promućkaju.



Slika 16. Zagrijavanje uzorka u vodenoj kupelji

Za određivanje koncentracije fosfora korišten je spektrometar HACH DR 5000, a mjerenja su provedena pri valnoj duljini 680 nm, dok se koncentracija kalija određivala pomoću spektrometra Perkin Elmer Analyst 800 (Slika 17).



Slika 17. Određivanje kalija na spektrometru Perkin Elmer Analyst 800

3.7. Određivanje ukupnih karbonata sukladno normi HRN ISO 10693:2004

Prije analiziranja uzoraka izvrši se preliminarno ispitivanje tla. U malo uzorka doda se nekoliko kapi HCl i na osnovu trajanja šuma (pjenjenja) procijeni se sadržaj karbonata u tlu prema tablici 15.

Tablica 15. Tablica procjene karbonata u tlu prema intenzitetu šuma

Intenzitet šuma	Sadržaj karbonata [g/kg]	Masa uzorka za analizu [g]
Slab	<20	10
Jasan	20 – 80	5
Jak	80 – 160	2,5
Jako snažan	>160	<1

Određivanje ukupnih karbonata temelji se na pripremi radnog standarda dodavanjem odgovarajuće mase uzorka s obzirom na rezultat preliminarnog ispitivanja i prelije se sa 20 ml destilirane vode, a slijepa proba je 20 ml destilirane vode. Kivete se napune sa 7 ml 4 M HCl i stave u reakcijsku tikvicu tako da ne dolazi do kontakta, a čep aparature se prije zatvaranja ovlaži i kod zatvaranja se očita razina vode u cijevi aparature. Naginjanjem tikvice dolazi do kontakta HCl-a i uzorka te se razvije CO₂ koji zatim promijeni razinu vode u aparaturi. Nakon toga se tikvica mučka 5 minuta dokle god se plin ne prestane razvijati. Na kraju se očita volumen razvijenog CO₂, a količina CaCO₃ se izračuna se prema sljedećoj formuli [4]:

$$\% \text{CaCO}_3 = (\text{ml CO}_2 \times F \times 2,274 \times 100) / \text{mg tla.}$$

Mjerenje ukupnih karbonata u tlu izvodilo se na Scheiberovom kalcimetru (Slika 18).



Slika 18. Mjerenje karbonata Scheiblerovim kalcimetrom

3.8. Određivanje hidrolitičke kiselosti

Hidrolitička kiselost određuje se tako da se u tikvicu odvagne 40 g uzorka tla i prelije sa 100 ml otopine 1 N kalcijevog ili natrijevog acetata. Tako pripremljen uzorak mućka se 1 sat, zatim se profiltrira i od bistrog filtrata se odvoji 50 ml te dodaje nekoliko kapi fenolftaleina. Zatim se uzorak titrira (Slika 19) sa 0,1 N NaOH do pojave ružičaste boje. Prema utrošenom volumenu NaOH izračuna se hidrolitička kiselost prema formuli:

$$H = \text{ml } 0,1\text{N NaOH} \times \text{normalitet } 0,1 \text{ N} \times 10 \times 2,5$$

Reakcijom tla i 1 N otopine natrijevog acetata, kationi natrija zamjenjuju vodikove ione iz adsorpcijskog kompleksa prilikom čega nastaje octena kiselina koja se zatim određuje titracijom sa 0,1 N otopinom NaOH [12].



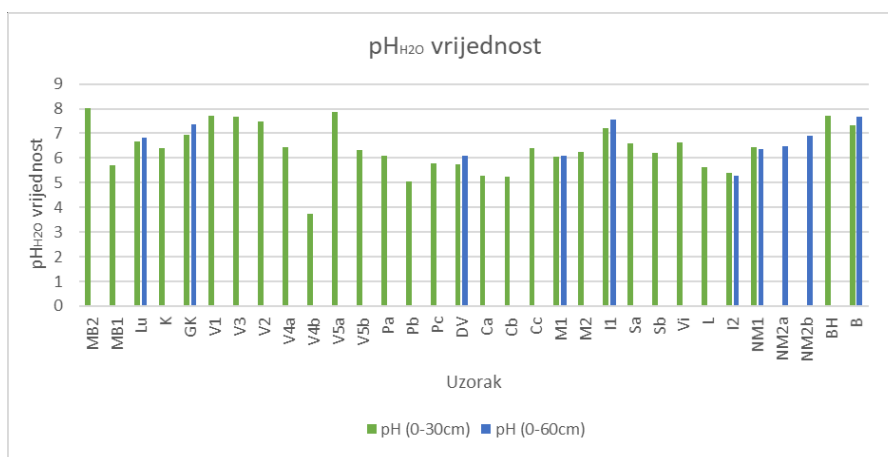
Slika 19. Titracija eluata tla s NaOH [12]

4. REZULTATI I RASPRAVA

Tlo sadrži veliku količinu nepristupačne hrane za bilje te je stoga važno doprinijeti boljoj raspodjeli gnojiva. Analiza tla ključna je kod učinkovite i profitabilne primjene agrotehnike, osobito gnojidbe, ali i kod drugih agrotehničkih zahvata kao što su sjetva, obrada i žetva. Uzorkovanje tla za analize radi se nakon žetve na način da se uzme reprezentativni uzorak koji dobro reprezentira proizvodno zemljište. Učinkovit sustav kontrole plodnosti tla doprinosi boljem rasporedu mineralnih i organskih gnojiva, uklanjanju deficita hranjiva, boljoj proizvodnji te općenito podizanju efektivne plodnosti. U cilju boljeg razumijevanja tla koristi se čitav niz metoda kao što je kemijska analiza biljaka i tla, mikrobiološka metoda, poljski pokusi i drugo. Korištenjem rezultata analize tla moguće je utvrditi potrebu za gnojidbom poljoprivrednog tla [28].

4.1. Rezultati određivanja pH_{H_2O} vrijednosti

pH vrijednost tla daje najviše informacija o kakvoći tla. Na slici 20 prikazani su rezultati određivanja pH_{H_2O} vrijednosti. Općenito se pH_{H_2O} vrijednost tala u Hrvatskoj kreće u intervalima od 4,10 do 9 [29]. Iz rezultata je vidljivo da se pH vrijednost uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u intervalima od 3 do 8 dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću u intervalima od 5 do 8. Niže pH vrijednosti na dubini do 30 cm mogu biti posljedica antropogene obrade tla. U tlima sa višim pH vrijednostima, hidroliza bazičnih kationa održava stabilni pH sa razrjeđivanjem. Čimbenik koji uvelike utječe na pH tla je sadržaj soli u otopini tla [30].



Slika 20. Rezultati pH_{H_2O} vrijednosti

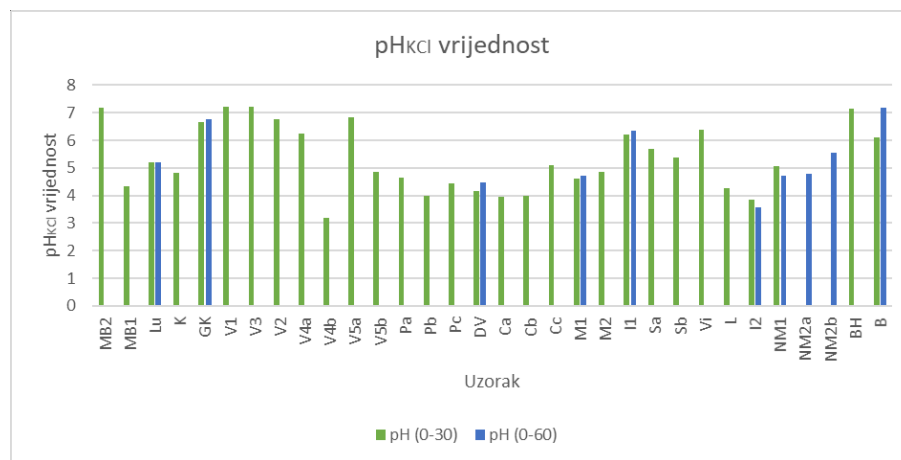
U tablici 16 prikazani su rezultati pH_{H_2O} vrijednosti tla svrstanih u odgovarajuće klase prema tablici 5. Iz rezultata je vidljivo da se pH vrijednosti uzoraka tla kreću od ekstremno kiselih do jako alkalnih tala. Ekstremno kiselo tlo na dubini 0-30 cm ima uzorak V4 koji se, prema pedološkoj karti na slici 8, nalazi u većem naselju te se može zaključiti da je razlog tome obrada tla u poljoprivredne svrhe. Jako kiselo, umjereno kiselo i slabo kiselo tlo na dubini od 30 cm imaju uzorci P, C, I2, MB1, DV, L, K, V4, V5, M1, M2, S, NM1 i NM2 koji su prema pedološkoj karti smješteni na kiselom smeđem tlu i pseudogleju. Tu vrstu tla karakterizira kisela reakcija te su i dobiveni rezultati očekivani. Uzorci Lu, GK, I1, Sa i Vi uzeti na 30 cm dubine pripadaju skupini neutralnih tala, prema pedološkoj karti smješteni su kao močvarna glejna tla kojem je reakcija tla rijetko ispod 6 što odgovara dobivenim rezultatima analize. Uzorci V1, V2, V3, BH i B na dubini od 30 cm spadaju u skupinu slabo alkalnih tala, a nalaze se na lesiviranom tlu i pseudogleju koji su obično kiseli te se povišena pH vrijednost može pripisati obradi tla na tom području. Jako alkalnim tlima spadaju uzorci MB2 i V5 uzeti na dubini od 30 cm, a prema pedološkoj karti smješteni su u močvarna glejna tla koja obično imaju povišen pH. Uzorci uzeti na dubini 30-60 cm imaju povišeni pH u usporedbi sa uzorcima uzetima na dubini 0-30 cm.

Tablica 16. Uzorci tla svrstani u kategorije pH_{H_2O} vrijednosti

Kategorija pH_{H_2O} vrijednosti	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Ekstremno kiselo	V4b	-
Jako kiselo	Pb, Ca, Cb, I2	I2
Umjereno kiselo	MB1, DV, Pc, L	-
Slabo kiselo	K, V4a, V5b, Pa, Cc, M1, M2, Sb, NM1	DV, M1, NM1, NM2a
Neutralno	Lu, GK, I1, Sa, Vi	Lu, NM2b
Slabo alkalno	V1, V2, V3, BH, B	GK, I1, B
Jako alkalno	MB2, V5a	-

4.2. Rezultati određivanja pH_{KCl} vrijednosti

pH vrijednost tla daje najviše informacija o kakvoći tla i ima značajan utjecaj na biološke, kemijske i fizikalne procese u tlu, ishranu bilja i djelovanje gnojiva [12]. Općenito se pH_{KCl} vrijednosti tala u Hrvatskoj kreću u rasponu od 3 do 8 [29]. Na slici 21 prikazani su rezultati određivanja pH_{KCl} vrijednosti. Iz rezultata je vidljivo da se pH vrijednost uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u intervalima od 3 do 8 kao i vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm.



Slika 21. Rezultati pH_{KCl} vrijednosti

U tablici 17 prikazani su rezultati pH_{KCl} vrijednosti tla svrstanih u odgovarajuće klase prema tablici 6. Iz rezultata je vidljivo da se pH vrijednosti uzoraka tla kreću od jako kiselih do alkalnih tala. Jako kiselo i kiselo tlo na dubini od 0-30 i 30-60 cm imaju uzorci MB1, V4, P, DV, C, L, I2, K, Lu, V5, M1, M2, NM1, NM2 koji su prema pedološkoj karti na slici 8, smješteni na kiselom smeđem tlu i pseudogleju, koje karakterizira niža pH vrijednost. U kiselu tla spada i uzorak Lu koji spada u močvarno glejno tlo, koje rijetko ima pH ispod 6 te se taj rezultat može pripisati poljoprivrednoj obradi tla. Slabo kiselim tlima pripadaju uzorci V4, S, B koji spadaju u kiselu smeđa tla, no uzorci I1 i Vi također spadaju u skupinu slabo kiselih tala, a nalaze se u pedološkoj karti na močvarnim glejnim tlima čiji pH ne pada ispod 6. Skupini neutralnih tla na dubini 0-30 cm pripadaju uzorci MB2, GK, V2 i V5 koji su prema pedološkoj karti močvarna glejna tla, no u skupinu neutralnih tla pripada i uzorak BH koji spada u pseudoglej, koji je obično kiseo te se povišen pH može pripisati antropogenom utjecaju. Alkalnoj skupini tla pripadaju uzorci V1 i V3 koji se nalaze na lesiviranom tlu koje je obično umjereno kiselo. Ukoliko bi se

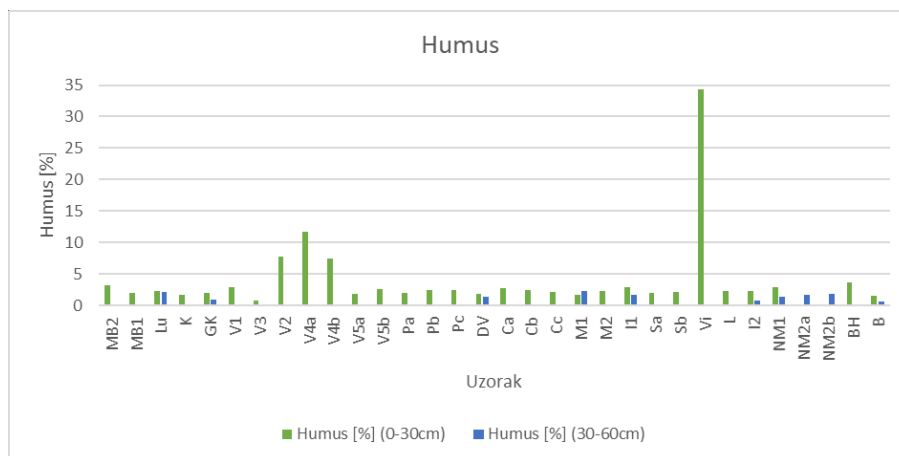
na tim tlima uzgajale kulture koje zahtijevaju alkalno tlo, bilo bi potrebno neutralizirati tlo dodavanjem CaCO_3 .

Tablica 17. Uzorci tla svrstani u kategorije pH_{KCl} vrijednosti

Kategorija pH_{KCl} vrijednosti	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Jako kiselo	MB1, V4b, Pb, Pc, DV, Ca, Cb, L, I2	DV, I2
Kiselo	Lu, K, V5b, Pa, Cc, M1, M2, NM1	Lu, M1, NM1, NM2a
Slabo kiselo	V4a, I1, Sa, Sb, Vi, B	I1, NM2b
Neutralno	MB2, GK, V2, V5a, BH	GK, B
Alkalno	V1, V3	-

4.3. Rezultati određivanja humusa

Na slici 22 prikazani su rezultati određivanja humusa. Općenito se količina humusa u tlu po pojedinim županija u Hrvatskoj kreće od 1,5 % do 3,3 % [31]. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednost humusa uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u rasponu od 1 do 35 % dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću u rasponu od 0,5 do 2,5 %. Više vrijednosti humusa na dubini 0-30 cm vjerojatno su posljedica obrade površine zemljišta gnojidbom. Humus je ključan čimbenik u modernom konceptu održivog upravljanja zemljištem zbog njegove uloge u održavanju kvalitete tla. Sadržaj humusa ukazuje na način gospodarenja zemljištem i utječe na mogućnost rasta biljaka [12]. Viši udio humusa, odnosno organske tvari u tlu, ima povoljan učinak na opskrbu biljaka hranjivim tvarima, strukturu tla i kapacitet zadržavanja vode [32]. Problematika količine organske tvari na ljestvici je prioriteta pri planiranju održivog korištenja zemljišta [31].



Slika 22. Rezultati određivanja humusa u tlu

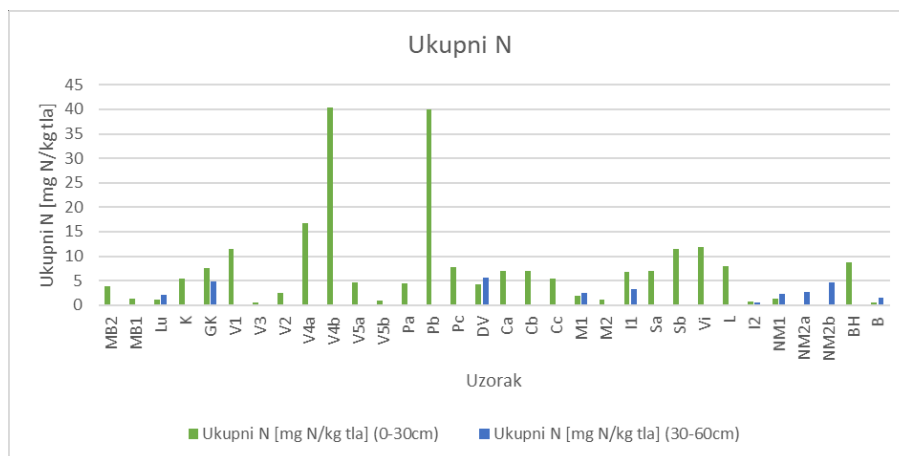
U tablici 18 prikazani su rezultati vrijednosti humusa svrstani u odgovarajuće kategorije prema tablici 7. Iz rezultata je vidljivo da se humoznost tla kreće od ekstremno slabo humoznog do tresetnog tla. Vrlo slabo humoznom tlu na dubini 0-30 cm pripada uzorak V3 koji se, prema pedološkoj karti na slici 8, svrstava u lesivirano tlo kod kojeg je obično postotak humusa visok. Slabo humoznim tlima na dubini 0-30 cm pripadaju uzorci MB1, K, GK, V5, M1, S i B i oni spadaju u skupinu pseudogleja koji ima slabu opskrbljenost humusom te stoga rezultati odgovaraju stvarnim uvjetima tla, a P i DV spadaju u kiselu smeđa tla koja imaju pretežito dobru opskrbljenost humusom te se može zaključiti da je na tom području došlo do smanjenja humoznosti tla. Srednje humoznim tlima na dubini 0-30 cm pripadaju uzorci Lu, V1, V5, M2, I1, S, L, I2 i NM1 spadaju u pseudoglejna ili močvarno glejna tla koja obično imaju slab do pretežno dobru opskrbljenost, a P i C pripadaju kiselu smeđem tlu koja imaju pretežito dobru humoznost. Dosta, jako i vrlo jako humoznom tlu pripadaju uzorci MB2, BH, V2, V4 koji pripadaju pseudoglejnom i močvarno glejnom tlu, koja obično imaju slabu opskrbljenost humusom te je povećani postotak humusa vjerojatno posljedica gnojidbe površina. Tresetnom tlu na dubini 0-30 cm pripada uzorak Vi koji pripada močvarno glejnom tlu. Iz uzoraka na dubini 30-60 cm može se vidjeti smanjena humoznost, odnosno može se zaključiti da dodatkom gnojiva na površini zemljišta dolazi do povećanja humoznosti koje uvjetuju povećani rast kultura.

Tablica 18. Uzorci tla svrstani u kategorije humoznosti tla

Kategorija humoznosti	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Ekstremno slabo humuzno	-	B
Vrlo slabo humuzno	V3	GK, I2
Slabo humuzno	MB1, K, GK, V5a, Pa, DV, M1, Sa, B	DV, I1, NM1, NM2a, NM2b
Srednje humuzno	Lu, V1, V5b, Pb, Pc, Ca, Cb, Cc, M2, I1, Sb, L, I2, NM1	Lu, M1
Dosta humuzno	MB2, BH	-
Jako humuzno	V2, V4b	-
Vrlo jako humuzno	V4a	-
Tresetno	Vi	-

4.4. Rezultati određivanja ukupnog dušika

Na slici 23 prikazani su rezultati određivanja ukupnog dušika u tlu. Količina dušika u tlima sjeverne Hrvatske općenito se kreće od 0,3 do 29 mg N/kg tla [33]. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednost ukupnog dušika uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u intervalima od 0,5 do 40,5 dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću u intervalima od 0,5 do 6. Više vrijednosti dušika na dubini 0-30 cm vjerojatno su posljedica obrade zemljišta gnojdbom. U prirodnim uvjetima, dušik nastaje fiksiranjem elementarnog dušika od strane mikroorganizama i iz kišne vode koja sadrži amonijak i nitrate, a gubici nastaju uklanjanjem usjeva i ispiranjem [34]. Najveći izvor dušika su dušična gnojiva koja povećavaju prinos usjeva, no povećana količina dušika može imati negativne posljedice na podzemne vode. Sadržaj dušika u tlu se mijenja te je važno dobro izbalansirati gnojdbu jer se na taj način može i uštedjeti i pozitivno djelovati na okoliš [12].



Slika 23. Rezultati ukupnog dušika u tlu

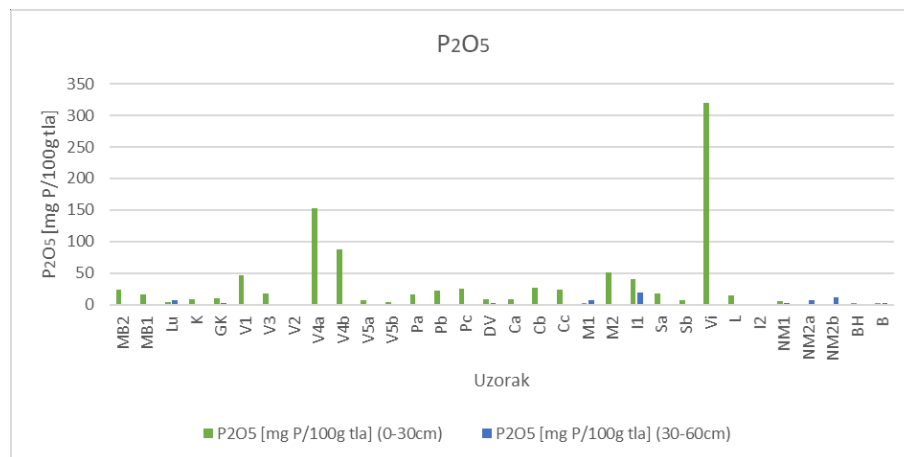
U tablici 19 prikazani su rezultati vrijednosti dušika svrstanih u odgovarajuće klase prema tablici 8. Iz rezultata je vidljivo da se opskrbljenost dušikom kreće od slabe do vrlo bogate. Slabu opskrbljenost dušikom ima najviše uzoraka i oni spadaju u pseudoglej, močvarno glejna i glejna tla te bi se na takvim tlima trebala pojačano provoditi gnojidba dušikom. Umjerenu do dobru opskrbljenost dušikom imaju uzorci GK, P, C, L, BH, V1, V4, S i Vi koji spadaju u močvarno glejna i kisela smeđa tla. Vrlo bogatu opskrbljenost dušikom imaju tla V4 i P, a spadaju u veća naselja i kiselo smeđe tlo. Vrlo bogata opskrbljenost dušikom može se povezati sa gnojidbom u poljoprivredne svrhe.

Tablica 19. Uzorci tla svrstani u kategorije opskrbljenosti dušikom

Opskrbljenost	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Slaba	MB2, MB1, Lu, K, V3, V2, V5a, V5b, Pa, DV, Cb, Cc, M1, M2, I1, Sa, I2, NM1, B	Lu, GK, M1, I1, I2, NM1, NM2a, NM2b, B
Umjerena	GK, Pc, Ca, L, BH	-
Dobra	V1, V4a, Sb, Vi	-
Vrlo bogata	V4b, Pb	-

4.5. Rezultati određivanja fosfor (V) oksida

Na slici 24 prikazani su rezultati određivanja koncentracije fosfora u tlu. Količina fosfora u tlima Hrvatske kreće se u rasponu od 3,44 do 292,55 mg P/100g tla [35]. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednost pristupačnog fosfora uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću od 0,7 do 320 mg P/100g tla dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću od 0,2 do 19 mg P/100g tla. Više vrijednosti fosfora na dubini 0-30 cm vjerojatno su posljedica obrade zemljišta gnojidbom. Analiza fosfora obavezna je agrokemijska analiza za procjenu plodnosti i za preporuku gnojidbe. Smanjeni udio fosfora odražava se na rast biljke, odgađa cvatnju i to može stvoriti štete u proizvodnji, a dobra opskrbljenost fosforom povećava prinos [36].



Slika 24. Rezultati određivanja fosfora u tlu

U tablici 20 prikazani su rezultati vrijednosti fosfora svrstanih u odgovarajuće kategorije opskrbljenosti tla fosforom prema tablici 9. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednosti opskrbljenosti fosforom kreću od vrlo slabe do vrlo bogate opskrbljenosti. Vrlo slabu, slabu i umjerenu opskrbljenost na dubini 0-30 cm imaju uzorci Lu, V2, V5, M1, I2, BH, B, K, DV, C, S, NM1, GK i L i oni spadaju, prema pedološkoj karti na slici 8, u pseudoglejna, močvarno glejna i kiselo smeđa tla koja često nemaju dobru opskrbljenost te se dodaju mineralna i organska gnojiva u tlo. Dobru, bogatu i vrlo bogatu opskrbljenost fosforom imaju uzorci MB1, V3, P, S, MB2, C, V1, V4, M2, I1 i Vi koja pripadaju skupinama glejnih, močvarno glejnih i kiselih tla. Može se zaključiti da povećana

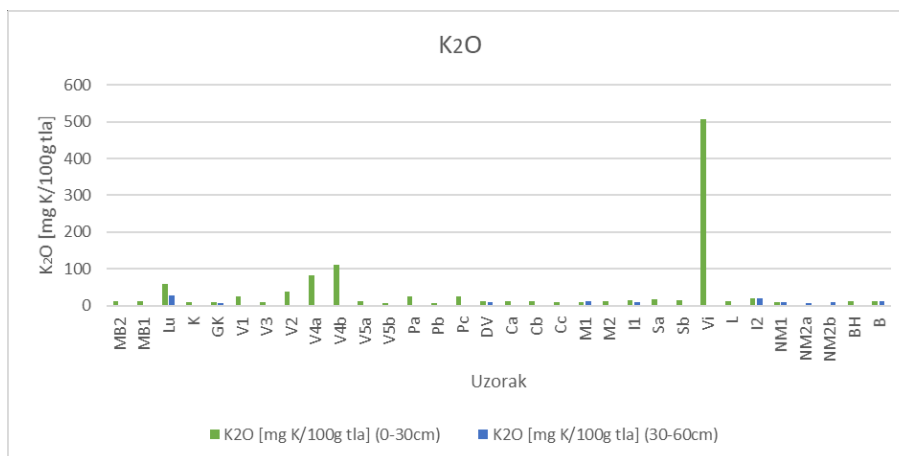
opskrbljenost fosforom u tim uzorcima dolazi iz obrade površina gnojivom. Uzorci na dubini 30-60 cm imaju smanjeni udio fosfora u tlu.

Tablica 20. Uzorci tla svrstani u kategorije opskrbljenosti fosforom

Opskrbljenost	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Vrlo slaba	Lu, V2, V5b, M1, I2, BH, B	GK, DV, I2,, NM1, B
Slaba	K, V5a, DV, Ca, Sb, NM1	Lu, M1, NM2a
Umjerena	GK, L	NM2b
Dobra	MB1, V3, Pa, Sa	I1
Bogata	MB2, Pb, Pc, Cc	-
Vrlo bogata	V1, V4a, V4b, Cb, M2, I1, Vi	-

4.6. Rezultati određivanja kalija

Na slici 25 prikazani su rezultati određivanja koncentracije kalija u tlu. U Hrvatskoj se vrijednost kalija kreće u tlu od 0,15 do 2,84 mg K/100 g tla[37]. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednosti pristupačnog kalija uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u intervalima od 6 do 505 dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću u intervalima od 6 do 30. Više vrijednosti kalija na dubini 0-30 cm vjerojatno su posljedica obrade zemljišta gnojidbom. Kalij je u tlu potreban u velikim količinama kako bi usjev postigao svoj maksimalan prinos. Kod malih količina kalija u tlu biljke će imati slab razvoj korijena i rasta, a sjeme će postati manje i doći će do manjih prinosa. U većini tla, oko 90-98 % ukupnog kalija postoji u relativno nedostupnim mineralima kao što je feldspat i ortoklas [38].



Slika 25. Rezultati određivanja kalija u tlu

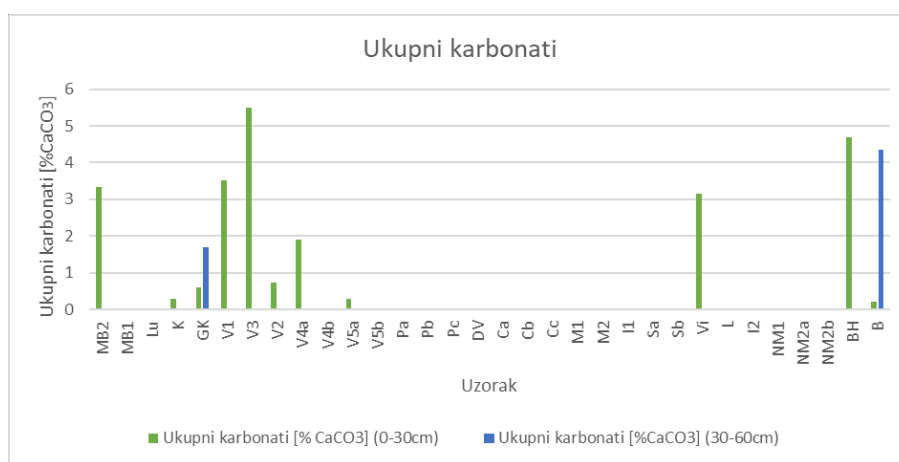
U tablici 21 prikazani su rezultati vrijednosti kalija svrstanih u odgovarajuće kategorije opskrbljenosti tla kalijem prema tablici 9. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednosti opskrbljenosti kalijem kreću od slabe do vrlo bogate opskrbljenosti. Slabu i umjerenu opskrbljenost kalijem na dubini 0-30 cm imaju uzorci K, GK, V5, P, C, NM1, MB2, MB1, V3, DV, M1, M2, I1, L, BH i B i oni spadaju u pseudoglejna, glejna i kiselo smeđa tla. Većina tla ima malo vezanog kalija, a on većinom i potječe od organskih gnojiva. Dobru, bogatu i vrlo bogatu opskrbljenost imaju uzorci S, I2, P, Lu, V1, V2, V4 i Vi te se može zaključiti da ta opskrbljenost kalijem potječe iz gnojiva ili od zaoravanja žetvenih ostataka. Uzorci uzeti na dubini 30-60 cm približno su jednaki kao i kod uzoraka uzetih na dubini 0-30 cm. Većina uzoraka 30-60 cm ima slabu ili umjerenu opskrbljenost kalijem.

Tablica 21. Uzorci svrstani u kategorije opskrbljenosti kalijem

Opskrbljenost	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Vrlo slaba	-	-
Slaba	K, GK, V5b, Pb, Cc, NM1	GK, NM1, NM2a, NM2b
Umjerena	MB2, MB1, V3, V5a, DV, Ca, Cb, M1, M2, I1, L, BH, B	DV, M1, I1, B
Dobra	Sa, Sb, I2	-
Bogata	Pc	I2
Vrlo bogata	Lu, V1, V2, V4a, V4b, Pa, Vi	Lu

4.7. Rezultati određivanja ukupnih karbonata

Na slici 26 prikazani su rezultati određivanja ukupnih karbonata u tlu. Postotak kalcijevog karbonata u Hrvatskoj kreće se od 1,8 do 8,9 % [39]. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednosti uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u intervalima od 0,2 do 5 % dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću u intervalima od 1,7 do 4,4 %. Karbonati su vrlo važni za plodnost tla te za razvoj i rast biljaka. Također, neutraliziraju pH vrijednost i utječu na dostupnost biljnih hranjiva pa se iz tog razloga udio CaCO_3 u tlu redovno analizira [40].



Slika 26. Vrijednosti ukupnih karbonata u tlu

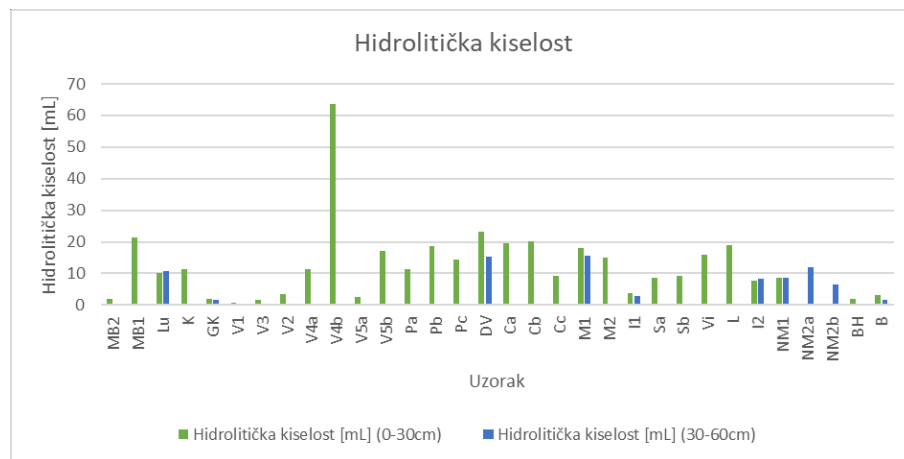
U tablici 22 prikazani su rezultati vrijednosti ukupnih karbonata svrstanih u odgovarajuće kategorije opskrbljenosti tla kalcijevim karbonatom prema tablici 10. Iz rezultata je vidljivo da su vrijednosti opskrbljenosti kalcijevim karbonatom slabe za sve uzorke. Kod većine uzoraka je postotak kalcijevog karbonata bio manji od detekcijskog limita, a kod ostalih uzoraka je postotak opskrbljenosti vrlo slab.

Tablica 22. Uzorci svrstani u kategorije postotka CaCO_3

Opskrbljenost CaCO_3	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Slabo karbonatno	K, GK, V2, V4a, V5a, B, MB2, V1, V3, Vi, BH	GK, B

4.8. Rezultati određivanja hidrolitičke kiselosti

Na slici 27 prikazani su rezultati određivanja hidrolitičke kiselosti u tlu. Općenito se hidrolitička kiselost tala Hrvatske kreće u rasponu od 1,49 do 5,66 [41]. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednosti uzoraka uzetih na 30 cm dubine kreću u intervalima od 1,5 do 64 dok se vrijednosti uzoraka uzetih na dubini 60 cm kreću u intervalima od 1,5 do 16. Otprilike 40 % svjetskih poljoprivrednih zemljišta limitirane je plodnosti upravo zbog povećane kiselosti tla koja se neutralizira kalcizacijom. Potreban intenzitet kalcizacije računa se na temelju različitih svojstava tla, a jedan od najvažnijih je hidrolitička kiselost [42].



Slika 27. Vrijednosti hidrolitičke kiselosti tla

U tablici 23 prikazani su rezultati vrijednosti hidrolitičke kiselosti svrstanih u odgovarajuće kategorije potrebom za kalcifikacijom prema tablici 11. Iz rezultata je vidljivo da se vrijednosti kreću od potrebe za visokom dozom kalcifikacije do tla gdje nije potrebna kalcifikacija. Uzorci na dubini 0-30 cm gdje nije potrebna ili nije nužna kalcifikacija su MB2, GK, V1, V3, V2, V5, I1, BH, B, I2 jer se kod njih hidrolitička kiselost kreće u rasponu od 0-8 ml. Potrebu za niskom i umjerenom dozom kalcifikata imaju uzorci Lu, K, V4, P, C, M2, S, NM1, MB1, V5, DV, M1, Vi, L jer se kod njih hidrolitička kiselost kreće u rasponu od 8-24 ml. Uzorak kod kojeg je potrebna visoka doza kalcifikata je V4. Uzorak V4 spada u veća naselja te se može zaključiti da su potrebne velike doze kalcifikata upravo zbog antropogenog djelovanja na površine takvih

područja. Može se zaključiti da je kod većine uzoraka potrebna niska ili umjerena doza kalcifikata.

Tablica 23. Uzorci svrstani prema potrebi za kalcizacijom

Potreba kalcifikacije	Uzorak	
	0-30 cm	30-60 cm
Nije potrebna	MB2, GK, V1, V3, V2, V5a, I1, BH, B	GK, I1, B
Nije nužna	I2	NM2b
Potrebne niske doze	Lu, K, V4a, Pa, Pc, Cc, M2, Sa, Sb, NM1	Lu, DV, M1, I2, NM1, NM2a
Potrebne umjerene doze	MB1, V5b, Pb, DV, Ca, Cb, M1, Vi, L	-
Potrebne visoke doze	V4b	-

5. ZAKLJUČAK

Tlo je neobnovljivi resurs te je stoga važno očuvati ga za sigurnost hrane i održivu budućnost. Temeljna je komponenta ekološke održivosti, poljoprivrednog razvoja i zemljišnih resursa te je osnova za proizvodnju hrane [43]. Određivanje kakvoće tla neophodno je kako bi se dobio što kvalitetniji proizvod i bolji prinos. Analiza tla može ukazati na postojeće probleme koji se javljaju uslijed nepovoljne pH vrijednosti tla, kod nedostatka humusa i drugih potrebnih svojstava. Na temelju rezultata može se zaključiti da većina uzoraka pripada skupini kiselih tala što je i očekivano s obzirom na to da većina uzoraka pripada skupini kiselo smeđih tala ili pseudogleju, koje karakterizira kisela reakcija tla. Nadalje, više od polovice uzoraka pripada slabo ili srednje humusnim tlima što se podudara sa prosječnom vrijednošću humusa u tlima Varaždinske županije. Iz rezultata određivanja ukupnog dušika vidi se da velik dio uzoraka ima slabu opskrbljenost dušikom te bi se takva tla prije poljoprivredne proizvodnje morala obogatiti dušičnim gnojivom. S druge strane, opskrbljenost tla fosforom i kalijem vrlo je raznolika što je posljedica različite upotrebe organskih i mineralnih gnojiva na tim područjima. Karbonati su vrlo važni za plodnost tla te za razvoj i rast biljaka, a analizirani uzorci imaju nisku ili umjerenu opskrbljenost kalcijevim karbonatom. Na temelju rezultata određivanja hidrolitičke kiselosti može se zaključiti da su tlima na području Varaždinske županije potrebne niske ili umjerene doze kalcifikacije.

Redovitim analizama kakvoće tla daje se odgovor na pitanja za očuvanje zdravlja tla, a pravilnom analizom uzoraka utvrđuje se kakvoća tla, čiji pokazatelji definiraju pravilno korištenje zemljišta za različite namjene.

6. LITERATURA

- [1] Mutavdžić Pavlović, D., Kemijski i biokemijski procesi u tlu i sedimentu. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2014.
- [2] Priroda Hrvatske, Tlo, dostupno na: <http://prirodahrvatske.com/tlo/> [04.03.2021.].
- [3] Vučemilo, M., Tofant, A., Okoliš i higijena držanja životinja. Jastrebarsko: Naklada Slap, 2009.
- [4] Čoga, L., Slunjski, S., Dijagnostika tla u ishrani bilja. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2018.
- [5] Vujnovac, B. Sustav nadzora i ocjene kakvoće tla i uvjeta za uzgoj bilja. Osijek: Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija; 2018.
- [6] NN, Pravilnik o agrotehničkim mjerama, 2019., dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_03_22_452.html [15.04.2021.].
- [7] Špoljar, A., Tloznanstvo i popravak tla. Križevci: Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, 2007.
- [8] Felja, I., Tla i padinski procesi, erozija, desertifikacija (3), dostupno na: <http://docplayer.rs/187951166-Tla-i-padinski-procesi-erozija-desertifikacija-3.html> [17.03.2021.] .
- [9] Završki J., Ispitivanje tla, Upute za mjerenja, dostupno na: <https://www.globe.gov/documents/10157/36350278/tlo.PDF/19656cd1-5e4a-461c-b17d-9d75106280f4> [17.03.2021.].
- [10] Osnovna škola Antuna Kanižlića Požega, Klasifikacija tala Hrvatske, dostupno na: <http://os-akanizlica-pozega.skole.hr/upload/os-akanizlica-pozega/images/static3/3017/File/KLASIFIKACIJA%20TALA%20HRVATSKE.pdf> [17.03.2021.].
- [11] Blog.coloursofistria, Neispričana priča o 4 zemlje i 4 vina Brtonigle, dostupno na: <https://blog.coloursofistria.com/hr/neispričana-prica-o-4-zemlje-4-vina-brtonigle/> [15.04.2021.].
- [12] Đurđević, B. Praktikum iz ishrane bilja. Osijek: Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku; Poljoprivredni fakultet u Osijeku; 2014.
- [13] Miklavčić, D. Uzorkovanje tla za kemijske i fizikalne analize. Osijek: Fakultet agrotehničkih znanosti Osijek; 2020.

- [14] Agroklub, Kako i kada pravilno uzeti uzorak za analizu tla, dostupno na: <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/kako-i-kada-pravilno-uzeti-uzorak-za-analizu-tla/54300/> [20.04.2021.].
- [15] Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osnovne značajke tla, dostupno na: http://www.fazos.unios.hr/upload/documents/OBsK_07%20Osnovne%20znacajke%20tla.pdf [07.04.2021.].
- [16] Vukadinović V., Vukadinović V., pH vrijednost tla, dostupno na: http://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/pH_tla.pdf [07.04.2021.].
- [17] Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu, Tehnološke upute za tumačenje rezultata analiza tla za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta, dostupno na: <https://www.hapih.hr/wp-content/uploads/2020/03/Tehnolo%C5%A1ke-upute-14022020.pdf> [07.04.2021.].
- [18] Agroklub, Optimalan sadržaj humusa-garancija plodnosti tla, dostupno na: <https://www.agroklub.com/ratarstvo/optimalan-sadrzaj-humusa-garancija-plodnosti-tla/13184/> [07.04.2021.].
- [19] Vukadinović, V., Status dušika u tlu, dostupno na: http://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/Status_N_u_tlu.pdf [07.04.2021.].
- [20] Vukadinović, V., Vukadinović, V., Ishrana bilja. Osijek: Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 2011.
- [21] Đurđević, B., Praktikum iz ishrane bilja. Osijek: Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 2014.
- [22] NN, Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta, 2010., dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_05_60_1944.html [20.04.2021.].
- [23] Agroklub, Analiza tla: Nove zakonske odredbe za korisnike državnog i privatnog zemljišta, dostupno na: <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/analiza-tla-nove-zakonske-odredbe-za-korisnike-drzavnog-i-privatnog-zemljista/54400/> [13.04.2021.].
- [24] Tomić, F., Bašić, F., Husnjak S. Značajke i uloge tala Varaždinske županije sa smjericama održivog gospodarenja poljoprivrednim zemljištem, 2014, pp. 25-68.
- [25] Agencija za zaštitu okoliša, Priručnik za trajno motrenje tala Hrvatske, dostupno na: https://bib.irb.hr/datoteka/789584.Prirucnik_za_trajno_motrenje_tala_Hrvatske.pdf [21.04.2021.].
- [26] Crnogorac, J. Određivanje kemijskih karakteristika različitih vrsta tla. Split: Kemijsko-tehnološki fakultet; 2019.

- [27] HACH DR 5000, User Manual. HACH Company, 2007-2008.
- [28] Vukadinović V. Kako pravilno protumačiti kemijsku analizu tla?. Osijek: Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 2017.
- [29] Čapka, D., Kisić, I., Zgorelec, Ž., Mesić, M., Jurišić, A. Determination of Soil pH in Dominant Soil Types in the Republic of Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2009; vol. 74, pp. 13-19.
- [30] Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., & Thomas, G. W. Soil pH and Soil Acidity, *Methods of soil Analysis part 3 – Chemical Methods*, 1996; pp. 475-490.
- [31] Biško, A., Milinović, B., Savić, S., Jurkić, V., Slunjski, S., Čoga, L. Količina humusa u tlima za podizanje trajnih nasada u Hrvatskoj. *Pomologia Croatia*, 2017; vol. 21, pp. 159-170.
- [32] Piccolo, A. Humus and soil conservation, *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*, Elsevier science B.V, 1996, pp. 225-264.
- [33] Bubalo, M., Romić, D., Zovko, M., Kuspilić, N. Agricultural Impact on Groundwater Vulnerability to Nitrate in Northern Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2014; vol. 79, pp. 23-29.
- [34] Bartholomew, W. V., Clark, F. E., & Stevenson, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. University of Illinois, 1965; pp. 1-42.
- [35] Popović, P., Lončarić, Z., Karalić, K., Ivezić, V. Total and organic phosphorus in soil of eastern Croatia. IV International Symposium „Agrosym 2013“, 2013; pp. 481-485.
- [36] Popović, B. Usporedba metoda za određivanje pristupačnog fosfora u tlu. *Poljoprivreda*, 2010; Vol.16, pp. 78-78.
- [37] Tomašić, M., Zgorelec, Ž., Jurišić, A., Kisić, I. Cation exchange capacity of dominant soil types in the Republic of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*, 2013; vol. 14 (3), pp. 84-98.
- [38] Bahadur, I., Maurya, B. R., Kumar, A., Meena, V. S., Raghuwanshi, R. *Towards the Soil Sustainability and Potassium-Solubilizing Microorganisms*. Springer India, 2016; pp. 255-266.
- [39] Miloš, B., Bensa, A. Estimation of calcium carbonate in Anthropogenic soils on flysch deposits from Dalmatia (Croatia) using vis-nir spectroscopy. *Agriculture & Forestry*, 2017; vol. 63, pp. 121-130.
- [40] Jakopec, M., Usporedba terenske procjene i laboratorijske analize udjela ukupnih karbonata u tlu. Zagreb: Agronomski fakultet Zagreb. Dostupno na: <https://www.bib.irb.hr/1023644?rad=1023644> [03.05.2021.].

- [41] Lončarić, Z., Kristek, S., Ivezić, V., Popović, B., Jović, J., Rašić, S. Plosnost tala i gospodarenje organskim gnojivima. Osijek: Faluktete agrobiotehničkih znanosti Osijek; 2019.
- [42] Lončarić, Z., Hefer, H., Rukavina, I., Dugalić, K., Rašić, D., Andrišić, M., Mitrović, M., Rastija, D. Kalibracija i validacija linearnih modela procjene hidrolitičke kiselosti tla. Crosby, 2019; pp. 63-63.
- [43] Folnović, T., Tlo - izvor života, dostupno na: <https://blog.agrivi.com/hr/post/tlo-izvor-%C5%BEivota> [23.05.2021.]

7. Popis slika

Slika 1. Sastav tla [3].....	2
Slika 2. Genetski horizonti tla [8]	4
Slika 3. Prikaz osnovnih boja tla [11]	5
Slika 4. Frakcije tla različitih promjera [12]	5
Slika 5. Načini uzorkovanja tla [14].....	8
Slika 6. Humus [18].....	11
Slika 7. Karta lokacija uzoraka.....	16
Slika 8. Pedološka karta Varaždinske županije sa točkama uzorkovanja	18
Slika 9. a) sirovi uzorak , b) obrađeni uzorak	21
Slika 10. Mjerenje pH eluata tla sa pH metrom HACH Sension 156	22
Slika 11. Priprema uzoraka	22
Slika 12. Određivanje humusa na spektrofotometru HACH DR 5000	23
Slika 13. Pripremljeni uzorci za određivanje NO_3^-	24
Slika 14. Pripremljeni uzorci za određivanje NH_4^+	24
Slika 15. Spektrofotometar HACH DR 5000	25
Slika 16. Zagrijavanje uzorka u vodenoj kupelji.....	26
Slika 17. Određivanje kalija na spektrometru Perkin Elmer Analyst 800.....	26
Slika 18. Mjerenje karbonata Scheiblerovim kalcimetrom	28
Slika 19. Titracija eluata tla s NaOH [12]	28
Slika 20. Rezultati $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ vrijednosti	29
Slika 21. Rezultati pH_{KCl} vrijednosti	31
Slika 22. Rezultati određivanja humusa u tlu.....	33
Slika 23. Rezultati ukupnog dušika u tlu.....	35
Slika 24. Rezultati određivanja fosfora u tlu	36
Slika 25. Rezultati određivanja kalija u tlu	38
Slika 26. Vrijednosti ukupnih karbonata u tlu.....	39
Slika 27. Vrijednosti hidrolitičke kiselosti tla	40

8. Popis tablica

Tablica 1. Vrste trošenja matične stijene	3
Tablica 2. Klasifikacija mehaničkih frakcija tla	6
Tablica 3. Klasifikacija tala Hrvatske [10]	7
Tablica 4. Osnovna svojstva tla [15].....	9
Tablica 5. Kategorije trenutne pH vrijednosti tla [16].....	10
Tablica 6. pH vrijednosti tla u KCl otopini [17].....	10
Tablica 7. Vrijednosti za humoznost tla [17].....	11
Tablica 8. Vrijednosti za sadržaj ukupnog dušika [17].....	12
Tablica 9. Klasifikacija tala prema sadržaju fosfora i kalija po AL metodi [17].....	13
Tablica 10. Vrijednosti za karbonate [17].....	14
Tablica 11. Vrijednosti za tumačenje potrebe za kalcizacijom [12].....	15
Tablica 12. Popis lokacija uzoraka	17
Tablica 13. Prikaz vrsta tala pojedinih točaka uzorkovanja	19
Tablica 14. Dubina uzorkovanja	20
Tablica 15. Tablica procjene karbonata u tlu prema intenzitetu šuma	27
Tablica 16. Uzorci tla svrstani u kategorije pH_{H_2O} vrijednosti	30
Tablica 17. Uzorci tla svrstani u kategorije pH_{KCl} vrijednosti	32
Tablica 18. Uzorci tla svrstani u kategorije humoznosti tla.....	34
Tablica 19. Uzorci tla svrstani u kategorije opskrbljenosti dušikom.....	35
Tablica 20. Uzorci tla svrstani u kategorije opskrbljenosti fosforom.....	37
Tablica 21. Uzorci svrstani u kategorije opskrbljenosti kalijem.....	38
Tablica 22. Uzorci svrstani u kategorije postotka $CaCO_3$	39
Tablica 23. Uzorci svrstani prema potrebi za kalcizacijom.....	41