

**UTJECAJ NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA I NAGIBA
TERENA NA SVOJSTVA TLA - PRIMJER PSEUDOGLEJA
NA OBRONKU U DONJOJ ZELINI**

**INFLUENCE OF LAND USE AND INCLINATION
ON SOIL PROPERTIES - EXAMPLE OF PSEUDOGLEY
ON SLOPE AT DONJA ZELINA**

V. Rubinić, Martina Šipek, Aleksandra Bensa, S. Husnjak, B. Lazarević

SAŽETAK

Svojstva poljoprivrednih tala su pod dominantnim utjecajem agrotehničkih zahvata. Provedbom tih zahvata, neka se svojstva tla dugoročno pogoršavaju. Prenamjenom prirodnog tla u poljoprivredno, često dolazi i do pojačane erozije. Erozijom može doći do promjena u strukturi i teksturi tla, zbog kojih se mogu mijenjati i brojna druga svojstva tla. Stoga je cilj ovog rada bio istražiti u kojoj mjeri način korištenja zemljišta i nagib terena od 12% utječu na značajke pseudogleja obronačnog na obiteljskom gospodarstvu Šipek u Donjoj Zelini. Dodatni cilj bio je ispitati da li su svojstva pseudogleja na oranici izmijenjena u tolikoj mjeri, da se to tlo može svrstati u oranično semiterestrično tlo (*sensu* Husnjak, 2014). Sondiranjem su istražena četiri profila tla, od čega dva na gornjem, a dva na donjem dijelu padine (udaljenost između gornjeg i donjeg dijela padine bila je 50 m). Pritom je, na svakom dijelu padine, jedan profil istražen na prije tridesetak godina napuštenom poljoprivrednom zemljištu (livada), a drugi na oranici. Utvrđena su temeljna svojstva tla (morfologija tla, mehanički sastav tla, reakcija tla i parametri adsorpcijskog kompleksa tla, sadržaj humusa, sadržaj fiziološki aktivnog fosfora i kalija). Utvrđeno je da se, unatoč različitim načinima korištenja zemljišta, istražena tla međusobno razlikuju samo u ograničenoj mjeri (ponajprije u različitom sadržaju hraniva). Zaključeno je da, nakon što se tlo prestane koristiti za biljnu proizvodnju, njegova svojstva vrlo sporo dolaze u ravnotežu s prirodnim faktorima pedogeneze, tj. uvjetima okoliša. Stoga se i tlo na oranici i tlo na livadi mogu svrstati u oranično semiterestrično tlo. Zbog odnošenja materijala tijekom pedogeneze, nagib terena je uvjetovao povećanje ekološke dubine tla duž istražene padine. Naime, na gornjem dijelu obronka, na dubini tla 80-110 cm, utvrđen je stariji, znatno glinovitiji i zbijeniji horizont, u odnosu na horizonte

iznad njega. Recentni tokovi materijala niz padinu općenito su neznatno utjecali na istražena svojstva tla. Stoga se može zaključiti da, u uvjetima humidne klime, na padinama dužine do oko 50 m i nagiba do oko 12%, erozija na praškasto ilovastim tlima nema uvijek značajan utjecaj na svojstva tla. Ipak, potrebno je provesti istraživanje s većim brojem opažanja (kako duž padine, tako i unutar pojedinih segmenata padine), i to na padinama različitih dužina. Također, utjecaj erozije tla treba procjenjivati pri raznovrsnim načinima korištenja zemljišta, odnosno pri različitim sustavima obrade tla.

Ključne riječi: pseudoglej obronačni, oranično tlo, antropogena tla, erozija

ABSTRACT

Properties of agricultural soils are dominantly affected by agro-technical interventions. These interventions lead to deterioration of some soil properties in the long run. Conversion of natural soil into agricultural soil also often leads to enhanced erosion. Erosion may induce changes in soil structure and texture, thus affecting a number of other soil properties. Hence, the aim of this study was to assess the extent to which both land use and 12% slope inclination affect properties of Pseudogley on slope at the Šipek family farm in Donja Zelina. Additional aim was to investigate whether, on ploughland, the properties of the studied Pseudogley changed to the extent that this soil could be systemized as Ploughland semi-terrestrial soil (*sesu* Husnjak, 2014). Four soil profiles were investigated by auger. Two of these profiles were on the upper part of the slope, and two were on the lower part of the slope (the distance between the two parts of the slope was 50 m). On both parts of the slope, one profile was on an agricultural land abandoned some 30 years ago (meadow), and the other was on a ploughland. Basic soil properties were determined (soil morphology, particle size distribution, pH and parameters of the adsorption complex, humus content, physiologically active phosphorus and potassium) contents. It was noted that the different land uses caused the soils to differ one from the other only to a limited extent (most notably, in soil nutrients contents). It was inferred that, once soil stopped being used as a ploughland, it regained balance with natural soil-forming factors (i.e., with environmental conditions) very slowly. Hence, both the soil on the ploughland and the soil on the meadow may be systemized as Ploughland semi-terrestrial soils. Inclination caused the increase of the ecological soil depth along the slope. Namely, due to washout during pedogenesis, on the upper part of the slope, at the depth of 80-110 cm, we

observed an older, more clayey and more compacted horizon, compared with the above-lying horizons. Recent flows of material down the slope affected soil properties only slightly. It appears that, in humid climate, on slopes that are up to about 50 m long and up to about 12% inclined, erosion on silt loam soils does not always significantly impact soil properties. However, this should be confirmed by using a higher number of observations (both along the slope and within the slope segments) on slopes with differing lengths. Further, soil erosion should be assessed across various land uses, i.e., across different soil tillage systems.

Keywords: Pseudogley on slope, Arable soil, Anthropogenic soils, Erosion.

UVOD

Iako se tla formiraju pod utjecajem svih pedogenetskih faktora, svojstva poljoprivrednih tala su dominantno pod utjecajem čovjeka, odnosno agrotehničkih zahvata. Zato neki autori (Husnjak, 2014) izdvajaju ljudsku aktivnost kao zaseban pedogenetski faktor. Obrada, kalcifikacija i gnojidba često imaju ključni utjecaj na poljoprivredno tlo, zbog čega im se pridaje velika važnost u istraživanjima (Mesić, 2001; Butorac i sur., 2005; Rastija i sur., 2009; Kizilkaya i Dengiz, 2010). Nažalost, dugotrajnim i intenzivnim korištenjem tla za biljnu proizvodnju, neka njegova svojstva se nerijetko pogoršavaju. Zbog toga se intenzivno istražuju promjene kemijskih i fizikalnih parametara tla. Danas su posebno aktualni problemi zbivanja poljoprivrednog tla (Hamza i Anderson, 2005; Bogunović i sur., 2014) te smanjenja sadržaja organske tvari u poljoprivrednim tlima (Celik, 2005; Haghghi i sur., 2010; Kizilkaya i Dengiz, 2010).

Utjecaj reljefa na svojstva tla proučavali su mnogi istraživači (Daniels i sur., 1971; Griffiths i sur., 2009; Alaoui i sur., 2011; Rubinić i sur., 2015b). Duž obronka, brojna svojstva tla su velikim dijelom uvjetovana lateralnim tokovima vode, posebno ako oni uzrokuju eroziju. Obično se sadržaj vode u tlu povećava od vrha prema dnu padine (Venkatesh i sur., 2011; Yang i sur., 2012), i to kako zbog lateralnog otjecanja vode pod djelovanjem sile teže, tako i zbog moguće prisutnosti podzemne vode (Jenny, 1994).

Prenamjenom prirodnog tla u poljoprivredno, često dolazi do pogoršanja fizikalnih svojstava tla i pojačane erozije (Celik, 2005). Erozijski prvenstveno utječe na gubitak gornjeg sloja tla, koji u pravilu sadrži najveće količine hranjivih tvari (Jurišić i sur., 2012; Ritter, 2012). Zbog toga, erodirane nakupine

obično imaju povećane sadržaje organske tvari i hraniva (Kisić i sur., 2002b), pa se najveći prinos usjeva nerijetko ostvaruje u donjem dijelu padine (Verity i Anderson, 1990; Changere i Lal, 1997).

Glavna hipoteza ovog istraživanja je da nagib terena i način korištenja zemljišta utječu na značajke pseudoglejnog tla. Dodatna hipoteza je da su svojstva pseudogleja na oranicama značajno izmijenjena djelovanjem čovjeka, zbog čega se većina takvih tala može svrstavati u oranična semiterestrična tla (*sensu* Husnjak, 2014). Kako bi se gore navedene hipoteze ispitale, u radu su utvrđena temeljna svojstva četiri profila pseudogleja. Uzorci tla uzeti su na gornjem i na donjem dijelu padine, odnosno na napuštenom poljoprivrednom zemljištu (livada) i na oranici.

Pseudoglej je odabran za istraživanje iz više razloga. Ovaj tip tla se nalazi u klimaks stadiju svog razvoja, te ga definira izrazita teksturna diferenciranost profila i uravnoteženost značajki tla s uvjetima okoliša (Rubinić i sur., 2014; 2015a; 2015b). S obzirom da su površinski slojevi pseudoglejnog tla teksturno lakši (u pravilu praškasti) od potpovršinskih, skloni su intenzivnoj eroziji vodom na nagnutim terenima (Kisić i sur., 2002a). Nadalje, utjecaj čovjeka (prvenstveno obrade tla) na svojstva pseudogleja (posebno na građu njegovog profila) je posebno izražen (Husnjak, 2014). Naposljetku, pseudoglej je drugo najrasprostranjenije tlo u Hrvatskoj, rašireno većinom unutar agroekosustava na području kontinentalnog dijela države (Bogunović i sur., 1998; Husnjak, 2014).

MATERIJALI I METODE

Istraženo zemljište

Istražen je obronak na proizvodnoj površini obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva (ARKOD ID 2539628, katastarska čestica 323/3) u Donjoj Zelini, u Zagrebačkoj županiji (Slika 1a). Navedena površina se iskorištava za poljoprivrednu proizvodnju oko 80 godina. Pomoću programa Google Earth Pro (2007), dužina padine je procijenjena na 80 m, dok je nadmorska visina na gornjem i na donjem dijelu obronka procijenjena na, redom, 150 m i 140 m nm. S obzirom na dužinu padine i visinsku razliku, izračunat je nagib obronka od 12%. Ekspozicija obronka je sjeveroistočna, a oblik obronka je ravan. Veći dio zemljišta predstavlja oranicu pod povrtlarskom proizvodnjom, a manji dio predstavlja prije tridesetak godina napušteno poljoprivredno (oranično) tlo, koje je danas pod prirodnim vegetacijskim pokrovom (livada) (Slika 1b).



Slika 1. A: Položaj istražene lokacije na karti. B: Satelitska snimka istraženog zemljišta. Oranica je označena bijelim, a livada plavim crtama. O-G: profil tla na oranici, gornji dio padine; O-D: profil tla na oranici, donji dio padine; L-G: profil tla na livadi, gornji dio padine; L-D: profil tla na livadi, donji dio padine.

Figure 1. A: Position of the investigated location on the map. B: Satellite photograph of the investigated area. Ploughland is marked with the white lines; meadow is marked with the blue lines. O-G: soil profile on ploughland, upper part of the slope; O-D: soil profile on ploughland, lower part of the slope; L-G: soil profile on meadow, upper part of the slope; L-D: soil profile on meadow, lower part of the slope.

Klimatski uvjeti opisuju se prema Zaninović i sur. (2008), a odnose se na meteorološku postaju Zagreb-Maksimir (klimatološko razdoblje 1971-2000). Prosječna godišnja temperatura zraka iznosi 10,7 °C, a prosječna godišnja oborina 840 mm. Prosječna godišnja potencijalna evapotranspiracija (PET) je 699 mm, a prosječna godišnja evapotranspiracija (ET) je 671 mm. U prosjeku, ET je manja od PET od svibnja do listopada, što je posebno izraženo u srpnju i kolovozu.

Matični supstrat na kojem se tlo na istraženom zemljištu razvilo su pleistocenske ilovine, odnosno lesni derivati (u skladu s Rubinićem, 2015b). Prema klasifikaciji zemljišta (Škorić i sur., 1985), istraženo tlo se svrstava u pseudoglej (obronačni, distrični). Prema klasifikaciji tala Hrvatske (Husnjak, 2014), radi se o oraničnom semiterestičkom tlu (nastalom iz pseudogleja, plitko obrađenom, agromelioriranom).

Osnovna obrada provodi se u jesen oranjem do dubine 30 cm, a predstjetvena obrada provodi se u proljeće tanjuranjem i sjetvospremačem. Sjetva se provodi duž oranice, odnosno niz padinu. Na gornjem dijelu oranice se uzgajaju povrtne kulture za prehranu ljudi, dok se na donjem dijelu oranice uzgajaju krmne kulture za hranidbu stoke. Biljna proizvodnja ne uključuje

ozimine, dok je od jarina uglavnom zastupljen kukuruz. Duž čitave površine oranice, redovito se primjenjuje jesenska gnojidba zrelim stajskim gnojem (oko 20 t ha⁻¹). Za prihranu se koriste KAN i UREA, i to split-aplikacijom (ciljano uz biljku) prema potrebama uzgajanih kultura. Svake dvije godine provodi se kalcifikacija hidratiziranim vapnom u količini od 4 t ha⁻¹, koje se unosi na dubinu od 15 cm.

Uzorkovanje i opis tla

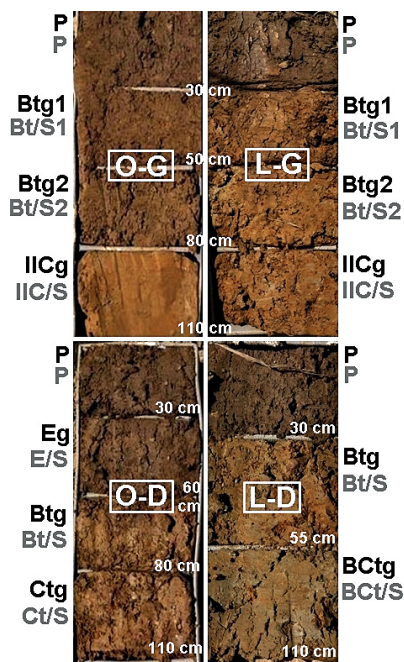
Uzorci tla su prikupljeni na gornjem i na donjem dijelu padine, kako na oranici, tako i na livadi, i to iz četiri različita profila tla: oranica-gore (O-G), oranica-dolje (O-D), livada-gore (L-G) i livada-dolje (L-D) (Slika 1b). Udaljenost između O-G i O-D profila, odnosno između L-G i L-D profila, iznosila je 50 m. Udaljenost između O-G i L-G profila, odnosno između O-D i L-D profila, bila je 20 m (Slika 1b).

Svaki profil tla je istražen pedološkom sondom, i to do dubine od 110 cm. Nakon opisa tla i utvrđivanja pedogenetskih horizonata, iz svakog je horizonta uzet uzorak tla. Ti su uzorci korišteni za laboratorijske analize, ali i za izradu mikromonolita tla (Slika 2). Opis i uzorkovanje tla provedeni su u skladu s FAO (2006). Pritom je boja suhog tla opisana prema *Munsellovom* atlasu boja. Horizonti tla su označeni prema Škoriću i sur. (1985), ali i prema Husnjaku (2014) (Slika 2).

Laboratorijski rad

Uzorci tla su osušeni na zraku, a nakon toga usitnjeni i prosijani kroz sito promjera 2 mm (HRN ISO 11464, 2006). Tako dobivena sitnica tla korištena je za daljnje analize. Mehanički sastav tla određen je metodom prosijavanja i sedimentacije (HRN ISO 11277, 2011), dok je teksturna oznaka određena prema FAO (2006). Reakcija tla određena je pH-metrom u 1M KCl, i to u 1:5 omjeru sitnica: KCl (HRN ISO 10390, 2005). Kako bi se odredio stupanj zasićenosti tla bazama (V), određeni su hidrolitski aciditet tla (Y1) te parametri adsorpcijskog kompleksa tla (prikazani su rezultati samo za V). Y1 je utvrđen otapanjem sitnice u 1M otopini CH₃COONa i titriranjem filtrata s 0,1M NaOH (metoda po Kappenu; JDPZ, 1966). Parametri adsorpcijskog kompleksa tla određeni su otapanjem sitnice u 0,1M otopini HCl i titracijom filtrata s 0,1M NaOH (metoda po Kappenu; JDPZ, 1966).

U uzorcima površinskih i podpovršinskih horizonata tla, dodatno su utvrđeni sadržaji humusa te fiziološki aktivnih oblika kalija (K₂O) i fosfora (P₂O₅). Sadržaj humusa utvrđen je dodatkom 0.4M K₂Cr₂O₇ i kuhanjem uzorka, te hlađenjem i titracijom otopinom 0,1M Mohrove soli (metoda po Tjurinu; JDPZ, 1966). Sadržaj fiziološki aktivnih hranjiva određen je AL-metodom (JDPZ, 1966). Pritom je koncentracija P₂O₅ očitana spektrofotometrijski pri valnoj duljini od 620 nm, dok je koncentracija K₂O izračunata temeljem vrijednosti dobivenih plamen-fotometrijom filtrata.



Slika 2. Mikromonoliti istraženih profila pseudogleja. Bijele oznake horizonata date su prema Škorić i sur. (1985); sive oznake horizonata date su prema Husnjaku (2014).

O-G: profil tla na oranici, gornji dio padine; O-D: profil tla na oranici, donji dio padine; L-G: profil tla na livadi, gornji dio padine;

L-D: profil tla na livadi, donji dio padine.

Figure 2. Micro-monoliths of the the investigated Pseudogley profiles. Soil horizons are labeled both according to Škorić et al. (1985) (white letters) and according to Husnjak (2014) (gray letters). O-G: soil profile on ploughland, upper part of the slope; O-D: soil profile on ploughland, lower part of the slope; L-G: soil profile on meadow, upper part of the slope; L-D: soil profile on meadow, lower part of the slope.

REZULTATI I RASPRAVA

Morfologija tla

U skladu s činjenicom da je pseudoglej u Hrvatskoj izrazito isprano i zakiseljeno tlo (Škorić, 1986; Husnjak, 2014; Rubinić, 2015b), svaki istražen profil tla je bio nekarbonatan čitavom dubinom. Svi istraženii profili imali su antropogeni horizont (P horizont) i iluvijalni pseudoglejni horizont (Btg horizont) (Slika 2). Prvi je dijagnostički za antropogena, a drugi za pseudoglejna tla (Škorić, 1986).

Antropogeni P horizont je dominantno stvoren obradom, pa je njegova dubina u svakom profilu tla bila 30 cm (Slika 2). Struktura antropogenog P horizonta bila je dobro izražena (primarno poliedrična, a sekundarno granularna), s jasno vidljivim agregatima. Boja tog horizonta bila je blijedo-smeđa unutar vrijednosti *hue* 10YR (Slika 2). Činjenica da je i na neobrađenom dijelu zemljišta utvrđen P horizont, ukazuje na umjerenost intenziteta pedogenetskih procesa u istraženom tlu, ali i na važnost utjecaja čovjeka na tlo. Obradom pseudogleja u pravilu dolazi do miješanja humusno akumulativnog, eluvijalnog pseudoglejnog, a najčešće i dijela iluvijalnog pseudoglejnog horizonta (Husnjak, 2014). Zbog toga, ali i zbog provođenja kalcifikacije i gnojidbe tla, prirodna evolucija izvornog pseudogleja se prekida, a P horizont dobiva tehnički karakter i značajno izmijenjena svojstva u odnosu na genetske horizonte iz kojih je nastao (Husnjak, 2014).

Osim u O-D profilu, neposredno ispod P horizonta nalazio se Btg (ili Btg1) horizont (Slika 2). Struktura Btg horizonta bila je umjereno izražena i poliedrična. Zbog svoje slabe propusnosti za vodu i izmjene aerobnih i anaerobnih uvjeta u tlu tijekom godine, taj horizont je bio prošaran kombinacijama različitih boja (mramoriran), koje su se uglavnom nalazile unutar vrijednosti *hue* 10YR (Slika 2). Pritom su zone redoks koncentracija (uglavnom necementirane željezno-manganske mase) imale boje s vrijednostima *value* i *chroma* >4 (Slika 2). Podređeno su, unutar zona redoks osiromašenja (uglavnom dijelovi tla osiromašeni glinom i/ili željezom), zabilježene boje gleja (vrijednosti *hue* GLEY2) (Slika 2). U profilima na gornjem dijelu padine, utvrđena su po dva iluvijalna pseudoglejna horizonta, jedan ispod drugog (Btg2 ispod Btg1 horizonta). Pritom je Btg2 horizont bio glinovitiji i intenzivnije mramoriran, u odnosu na Btg1 horizont (Slika 2).

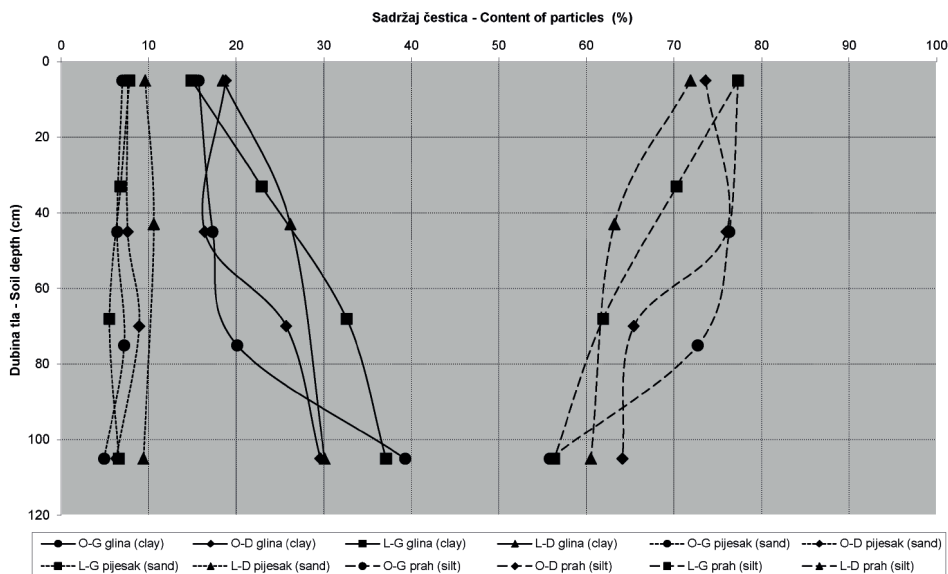
Najdublji istraženi horizont tla imao je različita svojstva, s obzirom na položaj profila na padini. Na donjem dijelu padine, morfologija tog horizonta bila je jako slična morfologiji Btg2 horizonta iznad njega (Slika 2). Osim toga, na donjem dijelu padine, najdublji horizont je bio nešto glinovitiji, nego horizont iznad njega. Takva su opažanja u skladu s Rubinićem i sur. (2014; 2015a; 2015b), koji ističu da su pleistocenske ilovine (kao najznačajniji matični supstrati pseudogleja kontinentalne Hrvatske) zapravo pedogenetskim procesima (najviše lesivažom i pseudooglejavanjem) izrazito izmijenjeni derivati lesa. Stoga je najdublji horizont tla na donjem dijelu padine označen kao Ctg u profilu O-D (na dubini 80-110 cm), odnosno kao BCtg u profilu L-D (na dubini 55-110 cm).

Na gornjem dijelu padine (O-G i L-G profili tla), najdublji horizont u profilu nalazio se na dubini 80-110 cm. On je također bio mramoriran, ali i izrazito glinovitiji od horizonta iznad njega te izrazito koherentan i zbijen (Slika 2). Zbog toga je označen kao IICg horizont. Padinski procesi koji su se odvijali tijekom razvoja tla prouzročili su odnošenje površinskog dijela teksturno lakšeg materijala s gornjeg dijela padine, te njegovu akumulaciju na donjem dijelu padine. Time su se stariji glinovitiji slojevi našli bliže recentnoj površini tla na gornjem dijelu padine. Posljedično je ekološka dubina tla na gornjem dijelu padine smanjena na oko 80 cm.

Mehanički sastav tla

U skladu s opažanjima na terenu, rezultati analize mehaničkog sastava tla (Slika 3) pokazali su da je tekstura Ctg, BCtg i IICg horizonata praškasto glinasto ilovasta, dok je tekstura svih ostalih horizonata praškasto ilovasta. Prah je predstavljao dominantnu frakciju mehaničkog sastava u svim horizontima svakog profila tla (Slika 3), što je u skladu s postankom pseudogleja iz lesnog matičnog supstrata (Rubinić i sur., 2014; 2015a; 2015b).

Sadržaj pijeska bio je općenito ujednačen, kako između, tako i unutar profila. Naime, pijeska je utvrđeno 5-7% (O-G profil), 6-9% (O-D profil), 6-8% (L-G profil), te 9-11% (L-D profil). Ujednačene vertikalne distribucije sadržaja pijeska u istraženim profilima ukazuju na izostanak litološki diskontinuiranih slojeva u tlu, odnosno na dominantno normalni tijek pedogeneze (od vrha prema dolje) (Rubinić i sur., 2014; 2015a).



Slika 3. Mehanički sastav istraženih profila pseudogleja.

Pijesak: 2-0,063 mm; prah: 0,063-0,002 mm; glina: <0,002 mm. O-G: profil tla na oranici, gornji dio padine; O-D: profil tla na oranici, donji dio padine; L-G: profil tla na livadi, gornji dio padine; L-D: profil tla na livadi, donji dio padine.

Figure 3. Particle size distribution of the investigated Pseudogley profiles.

Sand: 2-0,063 mm; silt: 0,063-0,002 mm; clay: <0,002 mm. O-G: soil profile on ploughland, upper part of the slope; O-D: soil profile on ploughland, lower part of the slope; L-G: soil profile on meadow, upper part of the slope; L-D: soil profile on meadow, lower part of the slope.

Gline je utvrđeno 16-39% (O-G profil), 19-30% (O-D profil), 15-37% (L-G profil), te 19-30% (L-D profil). U skladu s normalnom pedogenezom, zbog descendentnog premještanja gline u profilu tla, općenito je dolazilo do povećanja sadržaja gline s dubinom tla (Slika 3). Slične su vertikalne trendove sadržaja gline u prirodnim pseudoglejima kontinentalne Hrvatske utvrdili i Rubinić i sur. (2015b).

U IICg horizontima profila O-G i L-G zabilježeni su izrazito veliki sadržaji gline (redom 39% i 37%), koji nisu rezultat isključivo lesivaže (posebno u profilu O-G). Posljedično, dok je najdublji horizont u profilima na donjem dijelu padine imao omjer gline i praha 0,5, najdublji horizont u profilima na gornjem dijelu padine imao je taj omjer 0,7. Ovakvi rezultati ukazuju na

sljedeće: a) označavanje najdubljeg horizonta u profilima O-G i L-G kao IICg je opravdano, b) IICg horizont ne treba smatrati *sensu stricto* matičnim supstratom profila O-G i L-G, c) iako u istraženim profilima tla prevladava normalna pedogeneza, utjecaj erozijsko-sedimentacijske pedogeneze je također prisutan.

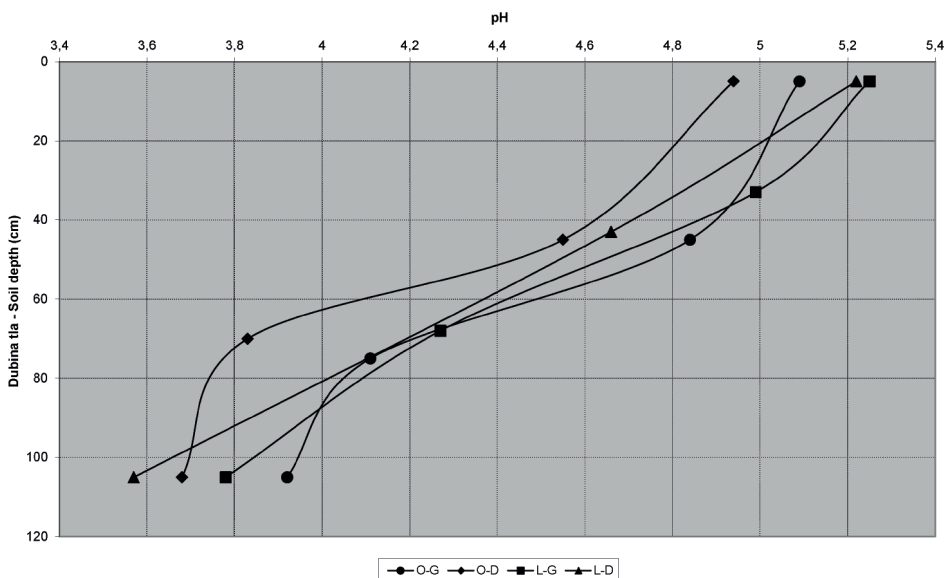
U skladu s gore istaknutim, općenito je sadržaj praha u P horizontu bio neznatno veći (a sadržaj pijeska neznatno manji) u profilima na gornjem dijelu padine, nego u profilima na donjem dijelu padine (Slika 3). Iako se, zbog erozije, količina praha i gline u tlu često povećava tijekom padine (Bašić i sur., 2002), Moqes i Holden (2008) su utvrdili manje praha (i više pijeska) u tlu na donjem dijelu padine, nego na gornjem dijelu padine. U našem slučaju, sadržaj praha u tlu duž padine je manjim dijelom rezultat recentne erozije, a većim dijelom rezultat padinskih procesa koji su se odvijali tijekom postanka istraženih profila tla. Tim padinskim procesima je velik dio praškastog materijala tla odnesen s vršnih dijelova obronka, te akumuliran na donjim dijelovima obronka.

Recentna erozija nije značajno utjecala na transport čestica tla niz obronak, vjerojatno zbog male dužine istražene padine, koja je uvjetovala malu brzinu površinskog toka slivene vode. Činjenica da način korištenja zemljišta također nije značajno utjecao na mehanički sastav tla (Slika 3) ne iznenađuje, s obzirom da se agrotehničkim zahvatima to svojstvo tla generalno ne mijenja (osim pri miješanju teksturno različitih horizonata tla obradom). Kizilkaya i Dengiz (2010) su također utvrdili da distribucija čestica kroz profil tla ostaje jednaka, neovisno o načinu korištenja zemljišta.

Kemijska svojstva tla

Reakcija tla (pH_{KCl}) i zasićenost adsorpcijskog kompleksa tla

Reakcija tla bila je kisela do jako kisela u svakom profilu (Slika 4). Pritom se pH smanjivao s dubinom tla, kako slijedi: od 5,1 do 3,9 (O-G profil), od 4,9 do 3,7 (O-D profil), od 5,3 do 3,8 (L-G profil), te od 5,2 do 3,6 (L-D profil). U prirodnim pseudoglejima kontinentalne Hrvatske, zbog normalne pedogeneze od vrha prema dubljim slojevima, reakcija tla općenito raste s dubinom tla (Rubinić i sur., 2015b). Obrnuti pH trend u ovdje istraženim profilima tla je posljedica kalcifikacije površinskih slojeva tla, te upućuje na antropogenu prirodu istraženog tla (kako na oranici, tako i na livadi). To potvrđuju i vrijednosti pH u najdubljim horizontima istraženih profila tla, koji odgovaraju onima koje su Rubinić i sur. (2015b) utvrdili u najdubljim horizontima prirodnih pseudogleja zapadne Hrvatske.

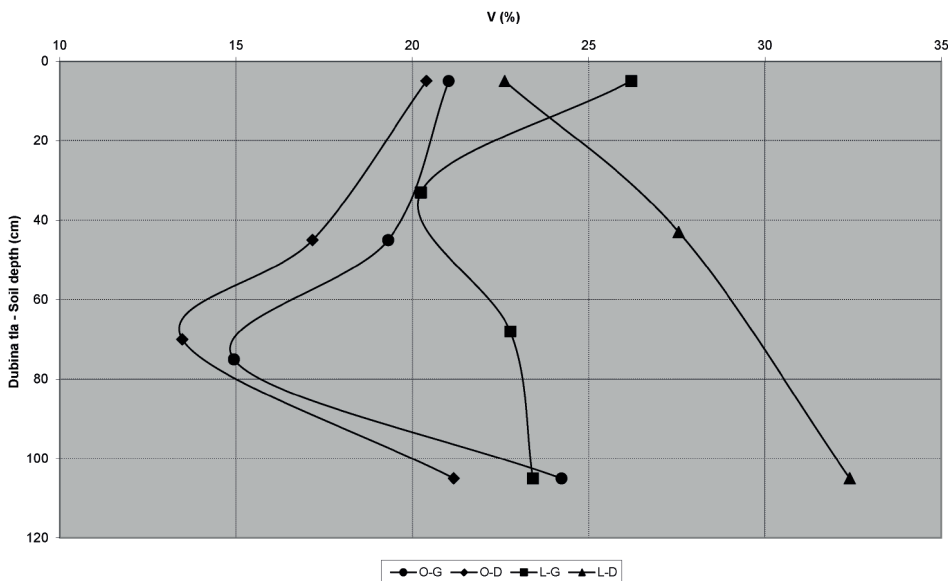


Slika 4. Reakcija tla (pHKCl) u istraženim profilima pseudogleja. O-G: profil tla na oranici, gornji dio padine; O-D: profil tla na oranici, donji dio padine; L-G: profil tla na livadi, gornji dio padine; L-D: profil tla na livadi, donji dio padine.

Figure 4. Values for pH_{KCl} in the investigated Pseudogley profiles. O-G: soil profile on ploughland, upper part of the slope; O-D: soil profile on ploughland, lower part of the slope; L-G: soil profile on meadow, upper part of the slope; L-D: soil profile on meadow, lower part of the slope.

Reakcija tla često značajno raste duž padine (Kisić i sur., 2002b; Jurišić i sur., 2012). U ovom slučaju, reakcija tla je, uglavnom, bila neznatno veća na gornjem, nego na donjem dijelu padine (kako na oranici, tako i na livadi) (Slika 4). Razlog zbog kojeg položaj profila duž padine nije značajno utjecao na pH tla je prvenstveno taj što istražena padina ne predstavlja kontinuiranu toposekvencu odgovarajuće dužine. Zbog sličnog razloga, niti Rubinić i sur. (2015b) nisu potvrdili utjecaj reljefne pozicije profila pseudogleja na reakciju tla.

Utjecaj načina korištenja zemljišta na reakciju tla također se nije pokazao značajnim. Iako se tlo koje je danas pod livadom ne kalcificira već oko 30 godina, njegov je pH uglavnom bio neznatno veći od pH tla na oranici (Slika 4). To je posljedica primjene mineralnih gnojiva i iznošenja hranjiva iz tla prinosima na oranici.



Slika 5. Stupanj zasićenosti bazama (V) u istraženim profilima pseudogleja.
O-G: profil tla na oranici, gornji dio padine; O-D: profil tla na oranici, donji dio padine; L-G: profil tla na livadi, gornji dio padine; L-D: profil tla na livadi, donji dio padine.

Figure 5. Base saturation percentage (V) in the investigated Pseudogley profiles.
O-G: soil profile on ploughland, upper part of the slope; O-D: soil profile on ploughland, lower part of the slope; L-G: soil profile on meadow, upper part of the slope; L-D: soil profile on meadow, lower part of the slope.

U skladu s izmjerenim vrijednostima reakcije tla, svaki je profil tla imao nisku zasićenost bazama čitavom svojom dubinom (Slika 5). Po profilima, vrijednosti V su varirale kako slijedi: 14,9-24,2% (O-G), 13,5-21,2% (O-D), 20,2-26,2% (L-G), te 22,6-32,4% (L-D). Način korištenja zemljišta i položaj profila tla duž padine nisu značajno utjecali na zasićenost bazama (Slika 5). Ipak, zbog kalcifikacije, na oranici se V pravilno smanjivao s dubinom tla (da bi opet porastao u najdubljem horizontu) (Slika 5). S druge strane, ako se izuzme P horizont profila L-G, na livadi je V uglavnom rastao s dubinom tla (Slika 5). Trendovi V s dubinom tla uglavnom ovise o promjenama u sadržaju i sastavu gline i humusa s dubinom tla (Škorić, 1986; Rubinić i sur., 2014; 2015a).

Sadržaj humusa u tlu

U površinskim horizontima je izmjereno 2,7% humusa (osim u profilu O-D, gdje je izmjereno 2,6% humusa). Iako je, u svakom profilu tla, površinski horizont imao više humusa od podpovršinskog horizonta, oba su horizonta bila slabo humozna (Tablica 1). Općenito, pretvaranjem tla iz prirodnog u poljoprivredno, sadržaj humusa se s vremenom smanjuje (Celik, 2005; Kizilkaya i Dengiz, 2010; Haghghi i sur., 2010). Međutim, zbog intenzivne primjene stajskog gnojiva na oranici, to u našem istraživanju nije bilo izraženo (Tablica 1). Štoviše, s obzirom da se obradom tla organska gnojiva inkorporiraju dublje u tlo, potpovršinski horizonti tla imali su neznatno veći sadržaj humusa na oranici, nego na livadi (Tablica 1).

Tablica 1. Sadržaji humusa i fiziološki aktivnog fosfora (P_2O_5) i kalija (K_2O) u površinskim i podpovršinskim horizontima istraženih profila pseudogleja. O-G: profil tla na oranici, gornji dio padine; O-D: profil tla na oranici, donji dio padine; L-G: profil tla na livadi, gornji dio padine; L-D: profil tla na livadi, donji dio padine.

Table 1. Contents of humus and physiologically active forms of phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O) in the surface and subsurface horizons of the investigated Pseudogley profiles. O-G: soil profile on ploughland, upper part of the slope; O-D: soil profile on ploughland, lower part of the slope; L-G: soil profile on meadow, upper part of the slope; L-D: soil profile on meadow, lower part of the slope.

Profil tla Soil profile	Dubina tla Soil depth cm	Sadržaj - Content		
		Humus %	P_2O_5	K_2O
O-G	0-30	2,7	16,6	29,5
	30-50	2,1	6,3	15,0
O-D	0-30	2,6	6,4	17,0
	30-60	1,7	2,3	8,4
L-G	0-30	2,7	2,4	14,0
	30-55	1,3	0,8	9,8
L-D	0-30	2,7	2,2	18,4
	30-55	1,1	0,7	11,8

Iako ponekad dolazi do premještanja čestica organske tvari s gornjih na donje dijelove padine (Ritter, 2012), sadržaj humusa u P horizontima nije se razlikovao duž padine (Tablica 1). U potpovršinskim horizontima tla, tek neznatno veći sadržaj humusa uglavnom je zabilježen na gornjem dijelu padine (Tablica 1). Nepostojanje utjecaja nagiba terena na sadržaj humusa u tlu u skladu je s rezultatima Rubinića i sur. (2015b), a može se pripisati ograničenoj dužini istražene padine.

Opskrbljenost tla fiziološki aktivnim fosforom i kalijem

Prema očekivanjima, površinski horizonti istraženih profila tla bili su znatno bolje opskrbljeni fosforom i kalijem, nego potpovršinski horizonti (Tablica 1). Unatoč tome, jedino je površinski horizont O-G profila bio dobro opskrbljen fosforom (16,6 mg na 100 g tla), dok su svi ostali površinski (i potpovršinski) horizonti bili vrlo slabo do slabo opskrbljeni tim hranivom (0,7-6,4 mg na 100 g tla). Također, jedino je površinski horizont O-G profila bio bogato opskrbljen kalijem (29,5 mg na 100 g tla), dok su svi ostali horizonti bili slabo do dobro opskrbljeni tim hranivom (8,4-18,4 mg na 100 g tla). S obzirom da se tlo pod livadom više ne gnoji i ne kalcificira, sadržaji P_2O_5 i K_2O su, općenito, bili veći na oranici, nego na livadi (Tablica 1). Razmjerno velik sadržaj K_2O u tlu na livadi (Tablica 1) odraz je prirodno velikog sadržaja tog elementa u tlima Hrvatske (Škorić, 1986).

Obično se, zbog erozije vodom, hranjive tvari tla ispiru s gornjeg dijela padine i akumuliraju na donjem dijelu padine (Verity i Anderson, 1990; Ritter, 2012; Kisić i sur., 2002b). Međutim, na oranici, općenito je manje P_2O_5 i K_2O utvrđeno na donjem, nego na gornjem dijelu padine (Tablica 1). Ovakav rezultat proizlazi iz neznatnog premještanja mineralnih i organskih čestica tla niz istraženu padinu, ali i iz intenzivnog iznošenja hraniva prinosima krmnih kultura na donjem dijelu oranice. Naime, poznato je da krmne kulture stvaraju veću biomasu od povrtnih kultura, čime iznose značajno veće količine hraniva iz tla. Sukladno tome, na livadi nisu utvrđene značajne razlike u sadržaju P_2O_5 , s obzirom na položaj profila tla duž padine (Tablica 1). Činjenica da je količina K_2O bila veća u L-D profilu, nego u L-G profilu (Tablica 1), proizlazi iz znatno veće mobilnosti kalija od fosfora u tlu. Naime, čak 20% kalija u tlu kreće se masenim strujanjem (Barber, 1984). Sukladno tome, u istraživanju Verity i Andersona (1990), erozija vodom je utjecala na ispiranje svih analiziranih hraniva niz padinu, osim fosfora.

ZAKLJUČAK

Utvrđeno je da su različiti načini korištenja zemljišta uvjetovali da se istražena tla međusobno razlikuju tek u ograničenoj mjeri. Naime, i na oranici i na livadi, prirodna svojstva tla su značajno izmijenjena djelovanjem čovjeka. Velikim dijelom, to je posljedica činjenice da se tlo na livadi do prije tridesetak godina koristilo za oraničnu proizvodnju, zbog čega je zadržalo antropogeni površinski horizont. To pokazuje da, nakon što se tlo prestane koristiti kao

oronica, ono vrlo sporo ponovo dolazi u ravnotežu s prirodnim pedogenetskim faktorima. Stoga se i tlo na oranici i tlo na livadi mogu svrstati u oranično semiterestrično tlo (*sensu* Husnjak, 2014). Iako se na oranici provodi kalcifikacija, oranično tlo, zbog primjene mineralnih gnojiva, nije imalo veći pH od tla na livadi. Ipak, kalcifikacija je uvjetovala da se zasićenost bazama s dubinom tla na oranici smanjuje, a na livadi povećava. Zbog organske gnojidbe na oranici, oranično tlo nije imalo manji sadržaj humusa od tla na livadi. S druge strane, intenzivna mineralna gnojidba oranice rezultirala je većim sadržajem fiziološki aktivnih oblika fosfora i kalija u oraničnom tlu, nego u tlu na livadi.

Nagib terena je utjecao prvenstveno na stratigrafsku građu istraženog tla. Naime, odnošenjem tla tijekom pedogeneze, dio površinskog praškastog materijala je premještan s gornjeg na donji dio obronka. Posljedično, na gornjem dijelu obronka, na dubini tla 80-110 cm, utvrđen je stariji, znatno glinovitiji i zbijeniji horizont, u odnosu na horizonte iznad njega. S obzirom da na donjem dijelu obronka takav horizont u profilu tla nije utvrđen, može se ustvrditi da je nagib terena uvjetovao ekološku dubinu tla duž istražene padine. Recentni tokovi vode i čestica tla niz padinu neznatno su utjecali na istražena svojstva tla. Stoga se može zaključiti da, u uvjetima humidne klime i padina dužine do oko 50 m te nagiba do oko 12%, erozija na praškasto ilovastim tlima (koja nisu zaštićena vegetacijskim pokrovom) nema uvijek značajan utjecaj na svojstva tla. Kako bi se takav zaključak potvrdio, potrebno je, u sličnim ekološkim uvjetima, provesti istraživanje duž padina različitih dužina, te koristiti veći broj opažanja (kako duž padine, tako i unutar pojedinih segmenata padine). Povrh toga, utjecaj erozije tla potrebno je pratiti pri raznovrsnim načinima korištenja zemljišta, odnosno pri različitim sustavima obrade tla.

LITERATURA

1. Alaoui, A., Caduff, U., Weingartner, R. (2011): Preferential flow effects on infiltration and runoff in grassland and forest soils. *Vadose Zone J.* 10, 367-377.
2. Barber, S.A. (1984): *Soil bionutrient availability*. John Wiley and Sons. New York.
3. Bašić, F., Kisić, I., Nestroy, O., Mesić, M., Butorac, A. (2002): Particle size distribution (texture) of eroded soil material. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 188/5, 311-322.
4. Bogunović, I., Kisić, I., Jurišić, A. (2014): Soil compaction under different tillage system on Stagnic Luvisols. *Agriculturae Conspectus Scientificus.* 79/1, 57-63.
5. Bogunović, M., Vidaček, Ž., Husnjak, S., Sraka, M. (1998): Inventory of soils in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus.* 63/3, 105-112.
6. Butorac, A., Butorac, J., Bašić, F., Mesić, M., Kisić, I. (2005): Utjecaj gnojidbe na zalihu fosforom i kalijem na prinos korijena šećerne repe i neka kemijska svojstva tla u plodoredu kukuruz-soja-ozima pšenica-šećerna repa. *Agronomski glasnik.* 1, 3-16.
7. Celik, I. (2005): Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research.* 83/2, 270-277.
8. Changere, A., Lal, R. (1997): Slope position and erosional effects on soil properties and corn production on a Miamain soil of central Ohio. *Journal of Sustainable Agriculture.* 11/1, 5-21.
9. Daniels, R.B., Gamble, E.E., Cady, J.G. (1971): The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Advances in Agronomy.* 23, 51-88.
10. FAO (2006): *Guidelines for soil description*. Fourth ed. FAO. Rome.
11. Griffiths, R.P., Madritch, M.D., Swanson, A.K., (2009): The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management.* 257, 1-7.
12. Haghghi, F., Gorji, M., Shorafa, M. (2010): A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land degradation and development.* 21/5, 496-502.

13. Hamza, M.A., Anderson, W.K. (2005): Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. 82/2, 121-145.
14. HRN ISO 10390 (2005): Soil quality - Determination of pH (ISO 10390:2005)
15. HRN ISO 11277 (2011): Soil quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation (ISO 11277:2009)
16. HRN ISO 11464 (2006): Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analysis (ISO 11464:2006)
17. Husnjak, S. (2014): *Sistematika tala Hrvatske*. Hrvatska Sveučilišna naklada. Zagreb.
18. JDPZ (1966): *Hemijske metode istraživanja zemljišta*. JDPZ. Beograd.
19. Jenny, H. (1994): *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Dover Publications, Inc., NY (first published by the McGraw-Hill Book Company, Inc., 1941).
20. Jurišić, A., Kisić, I., Zgorelec, Ž., Kvaternjak, I. (2012): Influence of water erosion on copper and sulphur distribution in vineyard soils. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 13/2A, 880-889.
21. Kisić, I., Bašić, F., Nestroy, O., Mesić, M., Butorac, A. (2002a): Soil erosion under different tillage methods in central Croatia. *Die Bodenkultur*. 53/4, 199-206.
22. Kisić, I., Bašić, F., Nestroy, O., Mesić, M., Butorac, A. (2002b): Chemical properties of eroded soil material. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 188/5, 323-334.
23. Kizilkaya, R., Dengiz, O. (2010): Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristic and soil enzyme activity. *Zemdirbyste-Agriculture*. 97/2, 15-24.
24. Mesić, M. (2001): Korekcija suvišne kiselosti tla različitim vapnenim materijalima. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 66/2, 75-93.
25. Moqes A., Holden, N.M. (2008): Soil fertility in relation to slope position and agricultural land use: a case study of Umbulo Catchment in southern Ethiopia. *Environmental management*. 42/5, 753-763.
26. Rastija, D., Lončarić, Z., Škripek, Ž., Japundžić-Palenić, B., Varoščić, A. (2009): Utjecaj kalcizacije i gnojidbe na promjene kemijskih svojstva tla i prinos kukuruza. *Zbornik radova 44. hrvatskog i 4. međunarodnog simpozija agronoma*. Opatija. Ur: Lončarić, Z.; Marić, S. 83-88.

27. Ritter, J. (2012): Soil erosion - Causes and effects. Factsheet. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario.
28. Rubinić, V., Durn, G., Husnjak, S., Tadej, N. (2014): Composition, properties and formation of Pseudogley on loess along a precipitation gradient in the Pannonian region of Croatia. *Catena*. 113, 138-149.
29. Rubinić, V., Galović, L., Husnjak, S., Durn, G. (2015a): Climate vs. parent material - Which is the key of Stagnosol diversity in Croatia? *Geoderma*. 241/242, 250-261.
30. Rubinić, V., Lazarević, B., Husnjak, S., Durn, G. (2015b): Climate and relief influence on particle size distribution and chemical properties of Pseudogley soils in Croatia. *Catena*. 127C, 340-348.
31. Škorić, A. (1986): Postanak, razvoj i sistematika tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Sveučilište u Zagrebu.
32. Škorić, A.; Filipovski, G., Ćirić, M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije. Akademija nauka i umjetnosti BiH. Sarajevo.
33. Verity, G.E., Anderson, D.W. (1990): Soil erosion effects on soil quality and yield. *Canadian Journal of Soil Science*. 70/3, 471-484.
34. Venkatesh, B., Nandagiri Lakshman, Purandara, B.K. Reddy, V.B. (2011): Analysis of observed soil moisture patterns under different land covers in Western Ghats, India. *Journal of Hydrology*. 397, 281-294.
35. Yang, L., Wei, W., Chen, L., Jia, F., Mo, B. (2012): Spatial variations of shallow and deep soil moisture in the semi-arid Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16, 3199-3217.
36. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i sur. (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate Atlas of Croatia 1961-1990, 1971-2000. DHMZ, Zagreb.

Adresa autora - Authors' address

Dr. sc. Vedran Rubinić
Sveučilište u Zagrebu - Agronomski fakultet,
Zavod za pedologiju
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
e-mail: vrubinic@agr.hr

Primljeno-received:

15.03.2015.

Martina Šipek
Sveučilište u Zagrebu - Agronomski fakultet (studentica)
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb

Izv. Prof. Aleksandra Bensa; Red. Prof. Stjepan Husnjak
Sveučilište u Zagrebu - Agronomski fakultet, Zavod za pedologiju
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb

Dr. sc. Boris Lazarević
Sveučilište u Zagrebu - Agronomski fakultet, Zavod za ishranu bilja
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb