

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Rok TURNIŠKI

**PEDOLOŠKE, MINERALNE IN GEOKEMIČNE
LASTNOSTI IZPRANIH TAL V SLOVENIJI**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij - 2. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Rok TURNIŠKI

**PEDOLOŠKE, MINERALNE IN GEOKEMIČNE LASTNOSTI
IZPRANIH TAL V SLOVENIJI**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij - 2. stopnja

**PEDOLOGICAL, MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL
CHARACTERISTIC OF LEACHED SOILS IN SLOVENIA**

M. SC. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrsko delo je zaključek Magistrskega študijskega programa 2. stopnje – agronomija. Delo je bilo opravljeno na Katedri za pedologijo in varstvo okolja.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico magistrskega dela imenovala prof. dr. Heleno GRČMAN in za somentorico izr. prof. dr. Nino ZUPANČIČ.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Helena GRČMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: izr. prof. dr. Nina ZUPANČIČ
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo

Član: doc. dr. Marjetka SUHADOLC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je magistrsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Rok Turniški

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 631.4:550.4(043.2)
KG	pedologija/geokemija/izprana tla/eluvijalno-iluvijalni procesi/Slovenija
AV	TURNIŠKI, Rok
SA	GRČMAN, Helena (mentorica) / ZUPANČIČ, Nina (somentorica)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2016
IN	PEDOLOŠKE, MINERALNE IN GEOKEMIČNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL V SLOVENIJI
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij - 2. stopnja)
OP	XI, 55, [18] str., 13 pregl., 30 sl., 9 pril., 67 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	V zmerno vlažnem podnebjju Slovenije so pri razvoju tal ključni eluvijalno-iluvijalni procesi, ki sodelujejo pri nastanku izpranih tal, ki v Sloveniji pokrivajo 2,3 % površine. Izprana tla pri nas še niso bila podrobno proučevana, zato nas je v tej nalogi zanimalo, kakšne so njihove pedološke, mineralne in geokemične lastnosti. Posebej nas je zanimalo, ali mineraloške in geokemijske analize prispevajo k razumevanju procesov izpiranja in h klasifikaciji tal. Pedološke značilnosti smo ovrednotili na podlagi analitskih in opisnih podatkov izpranih tal iz pedološke baze Talnega informacijskega sistema Slovenije. Mineralne in geokemične lastnosti smo ugotavljali na primeru izpranih tal na apnencu in dolomitu v Leskovi dolini ter na konglomeratu na savskih terasah v Hrašah in Prebačevem. Rezultati so pokazali, da je za izprana tla značilno izpiranje glinenih mineralov, Al, Fe oksidov in hidroksidov ter bazičnih kationov iz E horizonta v B _t horizont. Eluvijalni horizont ima običajno nižjo pH vrednost ter svetlejšo barvo. Na podlagi mineraloške analize smo ugotovili, da E horizont vsebuje največ kremena. Med glinenimi minerali v tleh prevladuje muskovit/illit, sledi klinoklor. V tleh na apnencu in dolomitu smo potrdili tudi kaolinit in hematit. Opazno je kopičenje glinenih mineralov v iluvijalnih horizontih. Geokemijske analize so potrdile kopičenje Al ₂ O ₃ in Fe ₂ O ₃ v spodnjih horizontih. Razlike med horizonti se kažejo tudi v vertikalni razporeditvi slednih prvin, zlasti tistih, vezanih na glinene minerale ali na obstojne primarne minerale. Na podlagi izračunanih indeksov preperavanja smo ugotovili, da so izprana tla zelo preperela, predvsem B _t horizonti. Izprana tla na apnencu in dolomitu ter na konglomeratu smo med seboj ločili na podlagi pedoloških, mineralnih in geokemičnih lastnosti.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du2
 DC UDC 631.4:550.4(043.2)
 CX pedology/geochemistry/leached soils/eluvial-illuvial processes/Slovenia
 AU TURNIŠKI, Rok
 AA GRČMAN, Helena (supervisor) / ZUPANČIČ, Nina (co-advisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
 PY 2016
 TI PEDOLOGICAL, MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL
 CHARACTERISTIC OF LEACHED SOILS IN SLOVENIA
 DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
 NO XI, 55, [18] p., 13 tab., 30 fig., 9 ann., 67 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB In humid temperate climate of Slovenia eluvial-illuvial processes plays key role in pedogenesis, especially in development of leached soils, which covers 2,3 % of territory. Because of lack of researches on leached soils in Slovenia (according to WRB: Luvisols, Acrisols ...) we were interested in studying of their pedological, mineralogical and geochemical properties. Especially we were interested in finding out if mineralogical and geochemical analysis contribute to understanding the processes of illuviation and soil classification. We evaluated pedological properties on the base of analytical and descriptive data of leached soils from the pedological base of Soil information system of Slovenia. Our results show that illuviation of clay fraction and base cations from E to B_t horizon is typical for leached soils. Eluvial horizon has lower pH values and a brighter color. Mineral and geochemical properties of leached soils were evaluated in a case study of soils on limestones and dolomites in Leskova dolina and soils on conglomerate terraces of Sava in Hraše and Prabačevo. Mineralogical analysis revealed that quartz is most abundant in E horizon, while clay minerals are accumulated in illuvial horizon. Clay fraction is dominated by muscovite/illite followed by clinocllore. In soils on limestones and dolomites was determined also kaolinite and hematite and in leached soils on a younger conglomerate terrace occurred feldspars. Geochemical analysis showed that Al₂O₃ and Fe₂O₃ as part of clay minerals accumulate in illuvial horizon. The differences between the horizons was also found in vertical distribution of trace elements, especially of those which are bound to clay minerals or to weathering-resistant primary minerals. Indices of weathering confirmed a high rate of weathering in leached soils, especially for illuvial horizons.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD	1
1.1 DELOVNE HIPOTEZE	1
1.2 NAMEN RAZISKAVE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 TLOTVORNI DEJAVNIKI	2
2.1.1 Matična podlaga	3
2.1.2 Relief	3
2.1.3 Podnebje	4
2.1.4 Živi organizmi	4
2.1.5 Čas	5
2.2 PROCESI NASTAJANJA TAL	6
2.3 MINERALNE IN GEOKEMIČNE LASTNOSTI TAL	7
2.3.1 Mineralogija izpranih tal	8
2.3.2 Geokemične lastnosti izpranih tal	9
2.3.2.1 Geokemija izpranih tal	9
2.3.2.2 Indeksi preperevanja (CIA, CIW in ICV)	9
2.4 KLASIFIKACIJA IZPRANIH TAL	10
2.4.1 Izprana tla po WRB klasifikaciji	11
2.4.2 Opredelitev iluvijalnega B horizonta v različnih klasifikacijah tal	13
3 MATERIALI IN METODE	14
3.1 PRIDOBITEV PODATKOV ZA ANALIZO IN IZRIS KARTE IZPRANIH TAL	14
3.2 IZBOR IN PRIPRAVA PODATKOV ZA ANALIZO PEDOLOŠKIH ZNAČILNOSTI IZPRANIH TAL V SLOVENIJI	14
3.3 OPIS OBMOČIJ	15
3.3.1 Leskova dolina	15
3.3.2 Hraše in Prebačevo	16
3.4 LABORATORIJSKE METODE	16
3.4.1 Standardna pedološka analiza	16
3.4.2 Priprava vzorcev za mineraloške in geokemijske analize	16
3.4.3 Mineraloška analiza	16

3.4.4	Geokemijska analiza	17
3.4.4.1	Točnost analitike	17
3.4.4.2	Natančnost analitike	17
3.5	STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	18
4	REZULTATI	19
4.1	RAZŠIRJENOST IZPRANIH TAL V SLOVENIJI	19
4.2	PEDOLOŠKE LASTNOSTI IZPRANIH TAL	21
4.2.1	Pedološke lastnosti tal na primeru izpranih tal Leskove doline in zgornjesavskih teras (Hraše, Prebačevo)	31
4.3	MINERALNA SESTAVA IZPRANIH TAL (LESKOVA DOLINA, HRAŠE, PREBAČEVO)	32
4.4	GEOKEMIČNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL (LESKOVA DOLINA, HRAŠE, PREBAČEVO)	34
4.4.1	Glavni oksidi	34
4.4.1.1	Razlike med horizonti A, E in B _t v vsebnostih glavnih oksidov	37
4.4.1.2	Geokemični indikatorji	37
4.4.1.3	A-CN-K diagram	39
4.4.2	Sledne prvine	40
4.4.3	Primerjava med tlemi v Leskovi dolini in tlemi na savskih terasah	41
5	RAZPRAVA	42
5.1	RAZŠIRJENOST IZPRANIH TAL	42
5.2	PEDOLOŠKE ZNAČILNOSTI IZPRANIH TAL	42
5.2.1	Pedološke lastnosti izpranih tal Leskove doline, Hraš in Prebačevega	45
5.3	MINERALNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL	45
5.4	GEOKEMIČNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL	46
5.4.1	Glavni oksidi	46
5.4.2	Geokemični indikatorji, A-CN-K diagram	47
5.4.3	Sledne prvine	48
5.4.4	Primerjava med lokacijama	48
6	SKLEPI	49
7	POVZETEK	50
8	VIRI	52
	ZAHVALE	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Diagnostični kriteriji za posamezno RTS (World ..., 2015)	12
Preglednica 2: Diagnostični kriteriji za Bt horizont	13
Preglednica 3: Ponovljivost analize za posamezen parameter	18
Preglednica 4: Površina izpranih tal na posameznih območjih Slovenije (PK25)	20
Preglednica 5: Prevladujoči teksturni razredi in mediane (min–max) za delež peska, melja in gline za posamezen horizont	23
Preglednica 6: Povprečne vrednosti $\pm$ standardna napaka ter mediane (min–max) vsebnosti izmenljivih bazičnih kationov in H- po horizontih (mmolc/100 g tal); enaka črka (a, b, c, d) v stolpcu pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$)	27
Preglednica 7: Podatki o organskem ogljiku (%), dušiku (%), C/N razmerju in izmenljivem fosforju in kaliju (mg/100 g tal) po horizontih; povprečje $\pm$ standardna napaka, mediana (min–max)	28
Preglednica 8: Barva horizontov po Munsell barvni karti (tehtano)	29
Preglednica 9: Povprečne vrednosti pH in V vrednosti v izpranih tleh do globine 30 cm pod gozdno in kmetijsko rabo $\pm$ standardna napaka; črki a in b v vrstici prikazujeta statistično značilne razlike med rabama ($p < 0,05$)	29
Preglednica 10: Kvantitativna mineralna sestava 17 horizontov (%)	33
Preglednica 11: Vrednosti oksidov in žaroizgube po horizontih v izpranih tleh (%)	36
Preglednica 12: Povprečne vrednosti glavnih oksidov (%) po horizontih A, E in Bt $\pm$ standardna napaka (A: n = 10, E: n = 10, Bt: n = 17); razlike med horizonti označenimi z enakimi črkami niso statistično značilne ($p < 0,05$)	37
Preglednica 13: Tehtana povprečna vrednost indeksa za posamezen profil (utež je globina)	38

KAZALO SLIK

Slika 1:	Hipotetičen potek razvoja posamezne talne lastnosti v času (Birkeland, 1999: 147)	5
Slika 2:	Posplošena povezava med velikostjo delcev in njihovo mineralno sestavo (Shaetzel in Anderson, 2005: 11)	7
Slika 3:	Primer tipične zgradbe profila zelo globokih izpranih tal (A-E-Bt1-Bt2-C/R)	10
Slika 4:	Območja v Evropi, kjer prevladujejo luvisoli (Soil Atlas of Europe, 2005: 31)	12
Slika 5:	Lokacije pedoloških profilov izpranih tal v Sloveniji, Leskove doline ter savskih teras (Hraše, Prebačevo)	15
Slika 6:	Zastopanost izpranih tal v Sloveniji po posameznih pedokartografskih enotah pedološke karte 1 : 25 000	19
Slika 7:	Pojavnost izpranih tal na različnih matičnih podlagah (PK25)	20
Slika 8:	Matične podlage na katerih se pojavljajo izprana tla v Sloveniji; pedološka karta 1 : 25 000	21
Slika 9:	Frekvenčna porazdelitev in okvir z ročaji za skupno globino 49 izpranih tal	21
Slika 10:	Frekvenčne porazdelitve debelin horizontov; Oh in Ah (n =21), A (n = 50), E (n = 58) in Bt skupaj s BC (n =84) (skupaj 214 horizontov, 49 talnih profilov)	22
Slika 11:	Prikaz profilov izpranih tal (razporejeni po globini) in okvir z ročaji za skupno debelino istovrstnih horizontov znotraj talnega profila (brez vrednosti za Bt s 389 cm)	23
Slika 12:	Primerjava deležev peska, melja in gline med horizonti A, E, Bt in BC (brez Oh in Ah) (okvir z ročaji); razlike med horizonti označenimi z enakimi črkami niso statistično značilne ($p < 0,05$)	24
Slika 13:	Teksturni podatki horizontov izpranih tal prikazani na ternarnem diagramu (pesek-glina-melj)	24
Slika 14:	Razmerje v vsebnosti gline med E in Bt1 horizontom (n = 49, levo) in vsebnost gline v njiju (n=96, desno); črki a in b na desni sliki prikazujeta statistično značilne razlike med horizontoma ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost	25
Slika 15:	Razporeditev finega melja po horizontih (levo) in povezava med odstotkom gline in odstotkom finega melja (desno) ($r = -0,74$, $p < 0,05$, n = 179); razlike med horizonti označenimi z enakimi črkami niso statistično značilne ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost	25
Slika 16:	pH vrednosti po horizontih, * - povprečna vrednost	26

Slika 17: Delež organske snovi po horizontih; razlike med horizonti označenimi z enakimi črkami niso statistično značilne ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost	26
Slika 18: Vsebnost Ca^{2+} (levo) in skupne vsote baz (desno) v horizontih izpranih tal ($\text{mmolc}/100 \text{ g tal}$); razlike med horizonti označenimi z enakimi črkami niso statistično značilne ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost	27
Slika 19: Kationska izmenjalna kapaciteta ($\text{mmolc}/100 \text{ g tal}$) (levo) ter delež bazičnih kationov (sredina) po horizontih in povezava med pH vrednostjo tal ter deležem bazičnih kationov (desno) ($r = 0,84$, $p < 0,05$, $n = 199$); razlike med horizonti označenimi z enakimi črkami niso statistično značilne ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost	28
Slika 20: Struktura po matični podlagi za referenčne talne skupine tal z argic horizontom (luvisoli, akrisoli, alisoli in lisisoli)	30
Slika 21: Shematski prikaz pedoloških profilov izpranih tal iz Leskove doline (P01 - P05), Hraš (P11) in Prebačevega (P12); po globini, s prikazom barv po Munsell barvni karti ter z relativno vsebnostjo skeleta (črne pike)	31
Slika 22: Rentgenski difraktogrami za horizonte profila P05 (skale na y osi so različne)	33
Slika 23: Razporeditev SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 in CaO po globini	34
Slika 24: Povezava med CaO in CaCO_3 (levo) ter med organsko snovjo in žaroizgubo (desno)	35
Slika 25: Povezave med glino in oksidi SiO_2 , Al_2O_3 ter Fe_2O_3	35
Slika 26: Indeksa preperevanja (CIA in CIW) po globini za posamezen profil (molarna razmerja)	38
Slika 27: Indeks kompozitne variabilnosti (ICV) po globini za posamezen profil (molarno razmerje)	38
Slika 28: Razmerja $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ in Zr/Hf po globini za posamezen profil	39
Slika 29: A-CN-K diagram za proučevane profile (molarna razmerja)	39
Slika 30: Dendrogram za 51 spremenljivk - Wardova metoda (mera razdalje: 1-Pearson r)	41

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Grafični prikaz točnosti analitike, ki se za posamezen analitski parameter izraža kot procentualno odstopanje izmerjene vrednosti od dejanske. Meritve so bile opravljene na standardnih vzorcih z znanimi vrednostmi prvin (AcmeLabs Canada)
- Priloga B: Opisne statistike za geokemične spremenljivke iz 37 vzorcev tal (Leskova dolina, Hraše, Prebačevo)
- Priloga C: Opisne statistike za pedološke spremenljivke iz 37 vzorcev tal (Leskova dolina, Hraše, Prebačevo)
- Priloga D: Primerjave med horizonti (podatki izpranih tal iz pedološke baze podatkov)
- Priloga E: Pojavnost posameznega odtenka po horizontih (Munsell barvni atlas)
- Priloga F: Morfološki podatki za pedološke profile izpranih tal (P01 - P05, P11, P12)
- Priloga G: Podatki standardne pedološke analize profilov izpranih tal (P01–P05, P11, P12)
- Priloga H: Primerjave med horizonti (podatki izpranih tal Leskove doline (LD), Hraš in Prebačevega(ST))
- Priloga I: Primerjave med lokacijama (Leskova dolina in Hraš ter Prebačevo) ($\alpha = 0,05$)

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

COLE	(coefficient of linear extensibility); linearni koeficient raztezanja tal
GGE	gozdnogospodarska enota
ICP-ES	(inductively coupled plasma emission spectroscopy); emisijska spektroskopija z induktivno sklopljeno plazmo
ICP-MS	(inductively coupled plasma mass spectrometry); induktivno sklopljena plazma z masno spektrometrijo
KIK	kationaska izmenjalna kapaciteta
LOI	(loss on ignition); žaroizguba
PKE	pedokartografska enota
PSE	pedosistematska enota
REE	(rare earth elements); prvine redkih zemelj
RTS	referenčna talna skupina
sumREE	(sum of rare earth elements); vsota redkih zemelj
TOT/C	skupen ogljik
TOT/S	skupen fosfor
XRD	(X-ray diffraction); rentgenska difrakcija

1 UVOD

V zmerno toplem vlažnem okolju so pri razvoju tal ključni eluvijalno-iluvijalni procesi. Slovenija v povprečju prejme razmeroma veliko padavin, zato so ti procesi v naših tleh pogosti, kar potrjujejo izprana tla, ki jih v razpršenem vzorcu najdemo na območju večjega dela ozemlja (Vidic in sod., 2015). Izprana tla imajo izraženo teksturno diferenciacijo med horizonti in prisotnost značilnega eluvijalnega horizonta, iz katerega se poleg glinenih mineralov izpirajo tudi bazični kationi, topna organska snov ter drugi koloidi.

V Sloveniji po podatkih pedološke karte 1 : 25 000 izprana tla pokrivajo 2,3 % ozemlja. Največkrat se pojavljajo v kombinaciji z rjavimi pokarbonatnimi tlemi na apnencih in dolomitih. Sorazmerno veliko izpranih tal je tudi na konglomeratnih terasah reke Save, ki so bila proučevana že v preteklosti (Vidic, 1989). S slovenskim klasifikacijskim sistemom izprana tla klasificiramo na osnovi teksturne difference (Prus in sod., 2015). Mednarodni WRB sistem vključuje tudi vrednosti kationske izmenjalne kapacitete in delež bazičnih kationov v iluvijalnih horizontih (World ..., 2015).

Pedogenetske procese lahko proučujemo tudi z mineraloški in geokemijski analizami. Spremenljivost matične podlage oziroma heterogenost tal znotraj profila se lahko spremlja s pomočjo razmerij med prvinami (Muhs in sod., 2010; Jaworska in sod., 2014). Razporeditev prvin po horizontih lahko dodatno pojasnjuje procese premeščanja in akumulacije (Gregorauskienė in Kadūnas, 2006), medtem ko različna razmerja med glavnimi oksidi kažejo stopnjo preperelosti tal (Nesbitt in Young, 1982; Harnois, 1988; Cox in sod., 1995). Ker se pedogenetski procesi močno odražajo v mineralni sestavi tal, je mineraloška analiza pomemben pristop k proučevanju procesov v tleh (Constantini in Damiani, 2004).

1.2 NAMEN RAZISKAVE

V okviru naloge smo želeli ugotoviti pedološke lastnosti izpranih tal in predstaviti njihovo prostorsko razporeditev na osnovi baze podatkov pedološke karte 1 : 25 000. Na primeru izpranih tal na apnencu in dolomitu smo želeli ugotoviti povezave med pedološkimi, mineralnimi in geokemičnimi parametri in jih primerjati z izpranimi tlemi na konglomeratu. Zanima nas, ali lahko z mineraloški in geokemijski analizami dodatno pojasnimo eluvijalno-iluvijalne procese.

1.1 DELOVNE HIPOTEZE

V okviru naloge smo si zastavili naslednji delovni hipotezi:

- predvidevamo, da mineralna sestava tal ugotovljena s kvalitativno rentgensko difrakcijo v manjši meri prispeva k prepoznavanju izpranih tal;
- domnevamo, da se izpranost tal odraža v geokemičnih lastnostih tal, predvsem v razmerju med prvinami.

2 PREGLED OBJAV

„Tla imajo svojo zgodovino, tako kot reke, gore, gozdovi ali katerakoli druga naravna stvar. Njihovo trenutno stanje je odraz vplivov mnogih preteklih dejavnikov in dogodkov.”

(Charles Kellogg)

Na Zemljinem površju so kot produkt tlotvornih dejavnikov nastala tla, izjemna tridimenzionalna tvorba, sestavljena iz mineralnih delcev, organske snovi, živih organizmov ter vode in plinov, ki se nahajajo v talnih porah (Shaetzel in Anderson, 2005). Govorimo o anizotropnem fizičnem sistemu – talne lastnosti se v odvisnosti od smeri v prostoru značilno spreminjajo (vertikalno in horizontalno). Naravno ima vsaka talna lastnost svoj vertikalni vzorec razporeditve oz. svojo specifično funkcijo odvisnosti od globine (Jenny, 1941). V procesu nastanka in razvoja tal se v njih formirajo horizonti, ki so bolj ali manj vzporedni s talnim površjem in so nastali v medsebojni odvisnosti. Gre za zapleten prostorsko-časoven pojav, v katerem sodelujejo številni tlotvorni dejavniki in procesi.

2.1 TLOTVORNI DEJAVNIKI

Dokučajeve je konec 19. stoletja kot eden prvih znanstvenih pedologov opredelil dejavnike in procese nastanka in razvoja tal. Spoznal je, da so tla v največji meri funkcija matične podlage, klime, reliefa, organizmov in časa. Po številnih znanstvenih razpravah je Hans Jenny leta 1941 objavil zapis formule tlotvornih dejavnikov (1), ki je splošno uveljavljen koncept v pedologiji še danes (Bockheim in sod., 2005).

$$S(s) = f(cl, o, r, p, t) \quad \dots (1)$$

S (soils) = tla (s = katerakoli talna lastnost), cl (climate) = podnebje, o (organisms) = organizmi, r (relief) = relief, p (parent material) = matična podlaga, t (time) = čas. S temi zvezami pojasnujemo odvisnosti med posamezno neodvisno spremenljivko in odvisno spremenljivko, kjer so tla neodvisna, tlotvorni dejavniki pa odvisna spremenljivka. Takšna formula poenostavlja kompleksnost povezav med tlotvornimi dejavniki in nudi predvsem osnovo za opis vpliva posameznega dejavnika na talne lastnosti. Tlotvorni dejavniki z medsebojnimi kompleksnimi interakcijami poganjajo tlotvorne procese, ki v odvisnosti od trajanja in intenzitete značilno vplivajo na razvoj specifičnih talnih lastnosti. Tako lahko na podlagi aktualnih lastnosti tal sklepamo, kateri procesi so imeli v preteklosti osrednjo vlogo ter kateri dejavniki so bili pri nastanku tal najpomembnejši. Za razvoj tal pri nas imata matična podlaga in relief ključni vlogi.

2.1.1 Matična podlaga

Slovenija je zelo pestro geološko območje z izrazito morfologijo terena, zato ima matična podlaga na tem območju zelo velik vpliv na razvoj in raznolikost tal. V Sloveniji prevladujejo sedimentne kamnine, najpogostejši matični podlagi sta apnenec (33 %) in dolomit (11 %), pogosto se pojavljajo tudi klastične kamnine, kot so breča, konglomerat, peščenjak, meljevec, glinavec (laporovec) ter nevezane sedimentne kamnine. V manjšem deležu se pojavljajo tudi magmatske in metamorfne kamnine, ki jih najdemo na Pohorju, v Zgornji Savinjski dolini in na Koroškem (Vidic in sod., 2015).

Matična podlaga je pomemben tlotvorni dejavnik, saj predstavlja vir mineralne komponente tal. Ima pomemben vpliv na različne lastnosti tal: tip glinenih mineralov, teksturo, založenost s hranili, pH tal, barvo in drugo. Od nje je odvisen tudi razvoj reliefa. Predstavlja ključen dejavnik, predvsem na regionalni skali. Matično podlago si lahko predstavljamo kot začetno stanje sistema oz. procesa tvorbe tal. Gre za tlotvorni dejavnik, katerega vpliv na tla se s časom zmanjšuje, povečuje pa se vpliv reliefa in klime.

Apnenec in dolomit, ki sta najbolj pogosti matični podlagi v Sloveniji, sta zaradi svoje mineralne sestave močno podvržena preperevanju. Kalcit, ki predstavlja glavni mineral v apnencu, se v talni vodi raztaplja in nato izpira iz tal, kalcijev ion pa se lahko veže na sorptivni del tal. Na splošno velja, da tla na apnencu nastajajo iz netopnega ostanka kamnine (nekarbonatni del), čeprav se v zadnjih desetletjih za izvor *terra rosse* in nekaterih globokih tal na karbonatnih podlagah uveljavlja teorija o poligenetskem nastanku, pri katerem naj bi na razvoj tal vplivali eolski procesi (Yaalon, 1997; Durn in sod., 1999; Šušteršič in sod., 2009; Galovič in Peh, 2014). Tovrstne pedogenetske raziskave se dotikajo predvsem nastanka globljih tal na apnencih (običajno *terra rosse*) in so večinoma vezane na mediteranski kras, na katerem se pojavljajo tudi izprana tla.

2.1.2 Relief

Relief v Sloveniji štejemo med ključne tlotvorne dejavnike. Tektonski procesi v preteklosti so slovensko ozemlje močno preoblikovali, kar se kaže v zelo razgibanem reliefu (Vidic in sod., 2015). Gre za tlotvorni dejavnik, ki ga opredeljujejo nadmorska višina, nagib, izpostavljenost in oblika površine. Nadmorska višina v splošnem vpliva na temperaturni in padavinski režim, povprečna letna temperatura zraka z višino pada, hkrati pa se povečuje količina padavin. Najpomembnejša elementa sta izpostavljenost in naklon. Izpostavljenost uravnava mikroklimo, naklon pa predvsem intenziteto pobočnih procesov. Z večanjem nagiba se povečuje potencial premeščanja delcev z vodo po pobočju navzdol. Kadar so ti procesi hitrejši od nastajanja tal, se tla na pobočju pomlajujejo. Nagib vpliva tudi na zmanjšanje infiltracije padavinske vode, saj se s povečevanjem nagiba povečuje potencial površinskega odtoka (Brady in Weil, 2008). Tla na grebenih in zgornjih delih pobočij so zaradi erozijskih procesov običajno razvojno mlajša, medtem ko se v spodnjih delih pojavljajo bolj razvita globlja tla. Ob vznožjih zaradi akumulacije finega materiala večinoma najdemo teksturno težja tla, ki so zaradi delovanja podtalne vode pogosto tudi oglejena (Birkeland, 1999). Podobno je tudi v primerih, ko se fini talni delci spirajo v vrtače in druge konkavne oblike (lokalno najnižje točke). Na teh mestih so tla običajno bolj vlažna in višje razvita.

2.1.3 Podnebje

Podnebje je v sklopu tlotvornih dejavnikov eden od pomembnejših dejavnikov, saj posredno in neposredno močno vpliva na nastanek in razvoj tal. Je snovno-energetski dejavnik, ki preko vodnega in temperaturnega režima močno vpliva na talne lastnosti – voda sodeluje pri večini fizikalnih, kemičnih in biokemičnih procesih v tleh, temperatura odreja njihovo intenziteto (Birkeland, 1999). Pomemben vpliv podnebja na tla se kaže tudi posredno prek živih organizmov (Stritar, 1991; Brady in Weil, 2008).

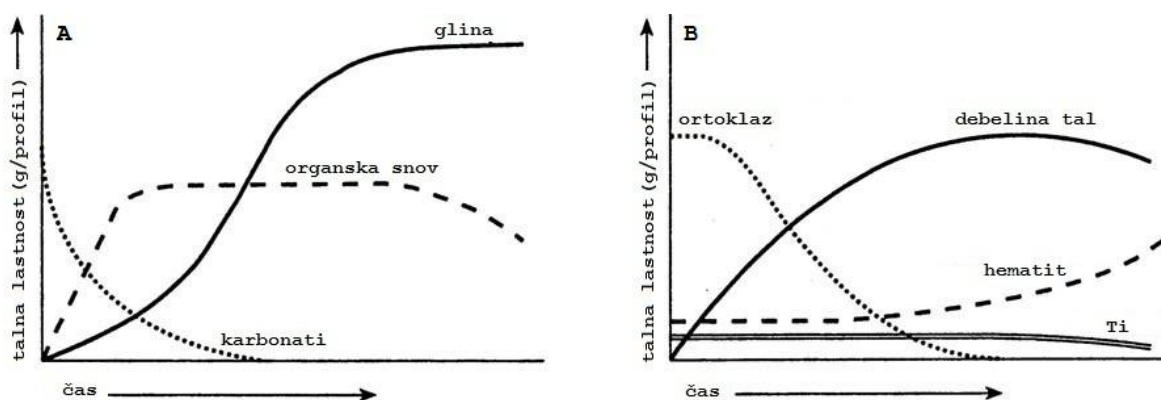
Slovenija ima zelo pestro podnebje (Hočevar in Petkovšek, 1984), saj so prostorska porazdelitev padavin in temperaturne razmere močno povezane z njenim razgibanim reliefom. V Primorju v povprečju pade med 1100 in 1200 mm padavin. Od morja proti notranjosti Slovenije, se zaradi orografskega učinka količina padavin povečuje, nato se proti severovzhodu zopet začne zmanjševati. V Prekmurju tako pade manj kot 900 mm padavin, medtem ko je največja količina letnih padavin dosežena v Julijskih Alpah, kjer presega 3200 mm. Prostorska porazdelitev povprečne letne temperature je prav tako razgibana. Povprečna letna temperatura niha od 12 °C v Primorju do 0 °C v Julijskih Alpah. Z nadmorsko višino se povprečna letna temperatura na vsakih 1000 m zniža za 5,3 °C (Podnebne razmere ..., 2006). Pestrost podnebnih razmer v Sloveniji v širšem kontekstu ostaja v okviru zmerno vlažnega podnebnega pasu, za katerega je značilno nastajanje, kopičenje in premeščanje glinenih mineralov po profilu navzdol. Za površinske dele tal je značilna tudi humifikacija in skladiščenje organske snovi. Tla v Sloveniji so bogata s humusom in v humusno-akumulativnem horizontu pogosto vsebujejo več kot 5 % organske snovi. Izjema je zahodna Slovenija, kjer je zaradi sredozemskega vpliva mineralizacija organske snovi močnejša (Vidic in sod., 2015). Na splošno velja, da se večja količina učinkovitih letnih padavin odraža v povečanju vsebnosti glinene frakcije ter organske snovi v tleh in v zmanjšanju pH tal. Zmanjša se tudi razmerje Si/Al, kar je znak za preperevanje primarnih mineralov (Brady in Weil, 2008). Zaradi večje količine padavin so v zahodni Sloveniji iluvijalno-eluvijalni procesi bolj intenzivni kot v vzhodni (Vidic in sod., 2015). Ključni vpliv na procese v tleh ima tudi temperatura. V grobem velja, da se ob zvišanju temperature za 10 °C hitrost reakcije podvoji (Shaetzel in Anderson, 2005).

2.1.4 Živi organizmi

Med žive organizme, ki so pomembni za nastanek in razvoj tal, prištevamo organizme vseh kraljestev. V tleh in nad njimi najdemo številne bakterije, arheje, glive in živali kot tudi rastline. Živi organizmi vplivajo na akumulacijo organske snovi, biokemično preperevanje, mešanje tal, kroženje hranil in stabilnost agregatov. Vegetacijski pokrov je pomemben tudi za zmanjševanje vpliva erozije tal in utrjevanje stabilnosti pobočij. Živi organizmi so v močni korelaciji z ostalimi dejavniki, predvsem s podnebjem in reliefom. 58,4 % površine Slovenije pokriva gozd, pretežno listnati (O gozdovih ..., 2016), ki ima vpliv na razvoj specifičnih tal. Eden od najmočnejših dejavnikov iz sklopa živih organizmov je človek. Novejša literatura človeka obravnava kot samostojen dejavnik, saj je njegov vpliv na tla v primerjavi z ostalo živo naravo nesorazmerno velik. Njegov vpliv na tla se močno odraža neposredno preko kmetijstva in urbanizacije, kot tudi posredno preko daljinskega onesnaževanja.

2.1.5 Čas

Čas kot dejavnik predstavlja dolžino trajanja razvoja tal od njihovega začetka naprej. Govorimo o evolucijski poti tal, o trajanju pedogeneze, ki je razmeroma počasen proces. V splošnem velja, da se s starostjo tal število horizontov in njihova globina ter skupna globina tal povečuje. Slika 1 prikazuje, kakšen je trend razvoja izbranih talnih lastnosti v odvisnosti od časa. Pri specifičnih razmerah vsaka lastnost doseže svoje ravnovesno stanje, ki pa seveda ni končno stanje sistema, saj lahko v dolgem časovnem obdobju s spremembo razmer pride do spreminjanja lastnosti (Birkeland, 1999).



Slika 1: Hipotetičen potek razvoja posamezne talne lastnosti v času (Birkeland, 1999: 147)

Količina organske snovi v tleh najhitreje doseže ravnovesno stanje, vendar se ta lahko tudi hitro spremeni. Iz tal se počasi izperejo karbonati, sočasno pa se zaradi preperevanja primarnih mineralov povečuje delež glinenih mineralov, z nadaljnjimi procesi nastajajo tudi oksidi in hidroksidi. Za nekatera območja je značilno rdečenje tal (Birkeland, 1999), še posebej za območja z mediteranskim podnebjem (Vidic, 1998).

Na gozdnatih območjih, v vlažnem, zmerno toplem podnebnem pasu, gre razvoj tal v smeri tvorbe globokih profilov z izrazitim E in B_t horizontom. Takšna izprana tla so lahko stara od nekaj 1000 do več 100 000 let (Brady in Weil, 2008). Birkeland (1999) navaja, da diagnostičen A horizont nastane v manj kot 5 000 letih, kambični horizont v 10 000 letih, medtem ko iluvijalni horizont (B_t) nastaja med 10 000 do 100 000 let, v ekstremnih primerih tudi do 1 000 000 let.

Na primeru tal na rečnih terasah reke Save, Vidic (1989) ugotavlja, da s starostjo narašča debelina soluma tal, debelina B horizontov, količina gline, količina Fe in Mn konkracij in prevlek ter debelina in nepretrganost glinenih prevlek. S starostjo se zmanjšuje pH in pada količina peska in melja ter količina bazično delujočih kationov.

2.2 PROCESI NASTAJANJA TAL

Pod vplivom tlotvornih dejavnikov se odvijajo številni tlotvorni procesi, ki so odgovorni za nastanek in razvoj tal. Te procese v grobem delimo na procese dodajanja, odvzemanja, premeščanja in transformacije. Združujemo jih lahko tudi na procese značilne za posamezen talni tip. Vsaka tla so produkt interakcije mnogih procesov. Poleg preperevanja kamnin in primarnih mineralov ter akumulacije in transformacije organske snovi so za naše okolje ključni še izpiranje, dekarbonacija, braunifikacija, rubifikacija, acidifikacija, oglejevanje in psevdoglejevanje. Vsi ti procesi so vključeni v razvoj kambičnih tal, iz katerih se kasneje lahko razvijejo izprana tla. Ta nastanejo šele po intenzivnem in dolgotrajnem izpiranju, zato je izpiranje ključni tlotvorni proces v njihovem razvoju. S staranjem tal postajajo ti procesi vse intenzivnejši.

Izraz izpiranje (ang.: *leaching*) se v tuji literaturi uporablja za poimenovanje procesa izpiranja v vodi raztopljenih hranil in baz iz profila v podtalje (Shaetzel in Anderson, 2005). Pri nas je uporaba izraza vezana tako na proces izpiranja iz profila kot tudi na proces premeščanja snovi iz zgornjih delov tal v globlje dele. Kadar govorimo o izpiranju (premeščanju) gline lahko uporabimo tudi izraze lesivacija, ilimerizacija ali argiluvicija.

Snov se po profilu navzdol premešča s pomočjo vode v obliki suspenzije in/ali raztopine, ki se po končanem transportu odloži v nižje ležeči horizont. Procese takšnega premeščanja in odlaganja imenujemo eluvijalno-iluvijalni procesi. Na takšen način se premeščajo glineni minerali, oksidi in hidroksidi, ioni, organska snov ter druge v vodi topne snovi. V splošnem gre za tri osnovne procese – mobilizacijo, transport in imobilizacijo (Birkeland, 1999).

Prve inicialne faze izpiranja se pojavijo že v kambičnih tleh. Iz sorptivnega dela tal se najprej začnejo izpirati bazični kationi, na prosta vezavna mesta se vežejo vodikovi ioni. Povečan delež monovalentnih ionov v adsorpcijskem sloju koloidov povzroči disperzijo delcev, kar se odraža v slabljenju stabilnosti mikroagregatov in strukturnih agregatov. Sočasno se znižuje tudi pH tal (acidifikacija). Dispergirani koloidni delci (predvsem minerali glin) in soli hidratiziranih oksidov železa in aluminija se z infiltrirano vodo prenašajo v globlje dele talnega profila. Pri pH 4,5 do 6,5 je tovrstno izpiranje najbolj intenzivno. V spodnjem delu tal se pronicanje vode zmanjšuje, zviša se koncentracija bazičnih kationov (predvsem Ca^{2+}), kar povzroči koagulacijo koloidnih delcev. Ti se odlagajo na stene por ali na robove strukturnih agregatov, kjer tvorijo glinene prevleke. Pojav prevlek v B_t horizontu je pomemben identifikacijski znak za klasifikacijo izpranih tal (Prus in sod., 2015; World ..., 2015). V primerih, ko tla nastajajo na karbonatnih kamninah, spodnji horizonti na sorptivnem delu tal običajno vsebujejo več kot 50 % baz.

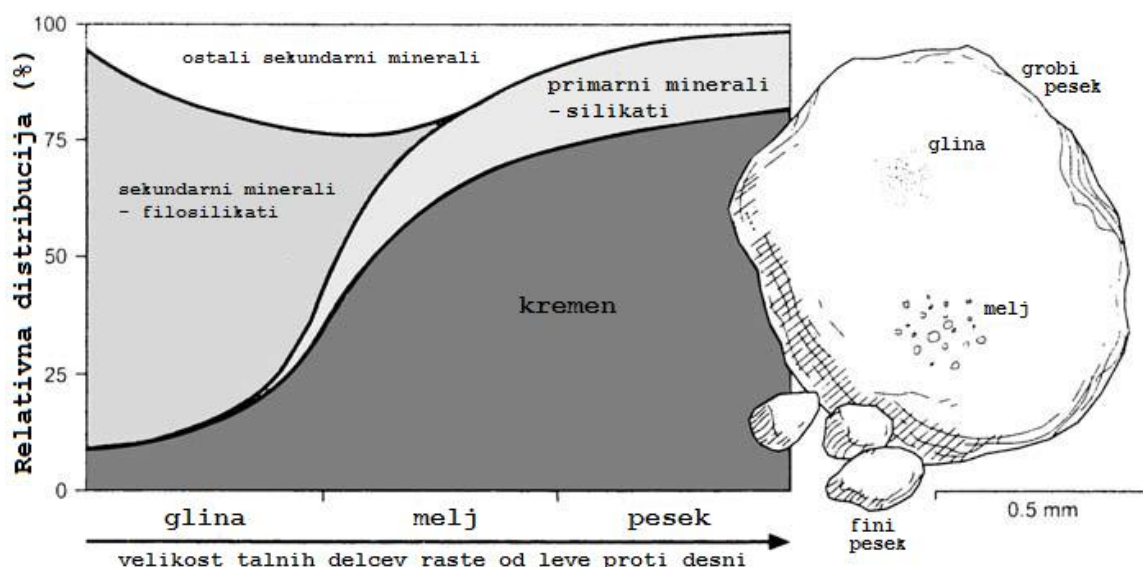
Izpiranje glinenih mineralov v talnem profilu vodi do teksturne razdvojitve. Zgornji eluvijalni horizont je teksturno lažji, iluvijalni horizont pa zaradi nakopičene gline težji. V dobro razvitih izpranih tleh (A-E-B_t-BC-C/R) je razporeditev gline znotraj profila dokaj jasna – v A, E in BC horizontih je gline manj kot v B_t horizontu.

Birkeland (1999) ugotavlja, da je gline običajno največ v zgornjem delu B_t horizonta, ki leži neposredno pod eluvijalnim horizontom. Kot razlog za povečanje gline v B_t horizontu poleg izpiranja navaja še tri dodatne možne procese: a) translokacija eolsko prinešene gline v iluvijalni horizont, b) *in situ* preperevanje melja in peska ter c) *in situ* sinteza gline (neoformacija).

Pri proučevanju tal na savskih terasah je Vidic (1989) identificirala distrična rjava tla z znaki izpiranja in nepopolno razvitim E horizontom. V tleh ni bilo zaznati večje teksturne diferenciacije, kar je pripisala eroziji E horizonta v preteklosti in/ali razpadu glinenih mineralov v iluvijalnem horizontu. Med drugim je ugotovila, da lastnosti tal ne kažejo sledi eolskih procesov.

2.3 MINERALNE IN GEOKEMIČNE LASTNOSTI TAL

Mineralne in geokemične značilnosti tal so v prvi vrsti odraz vpliva matične podlage, ki je vir mineralne komponente. Matična podlaga fizikalno in kemično prepereva; kamnina najprej razpade na manjše dele, pri čemer se njihova sestava ne spremeni, sočasno pa se poveča izpostavljenost kemičnemu preperevanju, ki vodi do razpada kamninskih mineralov in v končni fazi do tvorbe sekundarnih mineralov. Gre za proces spremembe kamnin in mineralov v obstojnejše oz. stabilnejše produkte, ki kljubujejo spremenljivim razmeram v okolju (Birkeland, 1999). Mineralni del tal sestavljajo posamezni kosi preperelih ali delno preperelih kamnin in posamezni primarni ter sekundarni minerali. Shaetzel in Anderson (2005) to prikazujeta z generalizirano sliko o povezavi med velikostjo posamezne teksturne frakcije in njihovo mineralno sestavo (slika 2). Primarni minerali prevladujejo v večjih bolj grobih frakcijah (pesek, grobi melj), sekundarni minerali pa v finejših talnih delcih.



Slika 2: Posplošena povezava med velikostjo delcev in njihovo mineralno sestavo (Shaetzel in Anderson, 2005: 11)

V vlažnih okoljih je kemično preperevanje zelo intenzivno, zato se delež primarnih mineralov v tleh zmanjšuje, povečuje pa se količina produktov preperevanja. V različnih okoljskih pogojih in na različnih matičnih podlagah v tleh nastajajo značilne oblike sekundarnih mineralov. V zmerno vlažnih podnebnih razmerah se v tleh običajno pojavljajo glineni minerali tipa illit, vermikulit, klorit, montmorillonit in kaolinit. Nastajajo tudi Al, Fe, Mn oksidi in hidroksidi ter topni produkti (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Si-kislina) (Kočevar in Jaecks Vidic, 2003).

Največ mineraloških raziskav tal pri nas je bilo izvedenih v jugozahodnem delu Slovenije na flišu, na apnencih in dolomitih ter na konglomeratnih terasah reke Save na Gorenjskem. Od glinenih mineralov se v tleh najpogosteje pojavljata skupini muskovit/illit ter vermikulit/klorit, ponekod tudi montmorillonit ter kaolinit. Kot ostanek primarnih mineralov v tleh prevladuje kremen, na nekaterih lokacijah najdemo manjše količine plagioklazov, na karbonatnih matičnih podlagah tudi kalcit (Vidic, 1989; Zupančič in Pirc, 1999; Prus in sod., 2015; Grčman in sod., 2015; Koren, 2016). V *terra rossa* poleg glinenih mineralov najdemo še hematit (Šušteršič in sod., 2009), ki tlom daje značilno rdečkasto barvo (rubifikacija). Vidic (1997) ugotavlja, da se hematit pojavlja tudi v nekaterih tleh osrednje Slovenije in da je njegova prisotnost najverjetneje odraz preteklih klimatskih razmer. Hematit prvenstveno nastaja v toplejših in bolj suhih razmerah ter v tleh z manj organske snovi, saj organske kisline reagirajo z železom in s tem zmanjšujejo možnost kristaljenja v hematit (Schwertmann in sod., 1982).

2.3.1 Mineralogija izpranih tal

Koren (2016) je na obeh preučevanih terasah zgornjega toka reke Save (starejša in mlajša terasa) skupaj obravnavala štiri profile tal. Za tri talne profile (2x distrična rjava tla, izprana in 2x izprana tla) je ugotovila, da se med zgornjimi izpranimi in iluvijalnimi horizonti odraža razlika v razmerju kremen/glineni minerali. V eluvijalno-iluvijalnih tleh se relativni delež kremen in drugih obstojnih mineralov v E horizontih običajno povečuje na račun preperevanja neobstoječnih primarnih mineralov (Birkeland, 1999) ter izpiranja produktov preperevanja v nižje plasti (Constantini in Damiani, 2004; Drewnik in sod., 2014).

Kot prikazuje slika 2, se večina primarnih mineralov v tleh nahaja v meljasti in peščeni frakciji, manj v glini. Poleg kremen so med obstojnimi primarnimi minerali zastopani tudi cirkon, rutil, turmalin, anastaz in drugi (Birkeland, 1999). Ti predstavljajo stabilno (obstojno) in slabo mobilno komponento tal, zato so uporabni pri študijah homogenosti tal ter pri preučevanju nekaterih tlotvornih procesov (preperevanje, ilimerizacija). Ker jih je s pomočjo mineraloških metod v tleh težko določevati, se njihova prisotnost spremlja prek geokemičnih indikatorjev (cirkonij, titan, REE in drugi). Element cirkonij se nahaja skoraj izključno v cirkonu, medtem ko se titan na primer nahaja v sfenu (titanitu), rutilu, anatazu in ilmenitu (Shaetzl in Anderson, 2005).

2.3.2 Geokemične lastnosti izpranih tal

Geokemijske analize tal se uporabljajo za geokemično kartiranje (Salminen in sod., 2005), ugotavljanje onesnaženosti tal (Šajn in sod., 2000) ter pri proučevanju geneze (Durn in sod., 1999) in variabilnosti tal (Grčman in sod. 2015; Gregorauskienė in Kadūnas, 2006, Qiao in sod., 2011). Geokemična slika tal po posameznih horizontih podaja informacijo o razporeditvi glavnih oksidov, slednih prvin in redkih zemelj – geokemična sestava tal je v največji meri odvisna od mineralne sestave (Birkeland, 1999).

2.3.2.1 Geokemija izpranih tal

Zgornji horizonti imajo zaradi izpiranja običajno večje vsebnosti peska in melja. Ti vsebujejo več kremenca, kar se odraža v vsebnosti SiO_2 , ki se z globino zmanjšuje (Jaworska in sod., 2014). V zgornjih horizontih, predvsem v eluvijalnih, se zaradi relativnega povečanja vsebnosti obstojnih mineralov (cirkon, rutil) pojavljajo povečane vsebnosti Zr in TiO_2 . Vezani na obstojne minerale se v eluvijalnih horizontih kopičijo tudi Ba, Hf, Nb in Ta (Kabata-Pendias, 2011). Gregorauskienė in Kadūnas (2006) v svoji raziskavi ugotavljata, da se v E horizontih povečuje relativna vsebnost Zr, Ba in Nb, v humusno akumulativnih horizontih pa se zaradi bioakumulacije ali antropogenih vzrokov kopičijo Ag, Pb, Sn in Mn. A horizonti peščene teksture v primerjavi s spodnjimi B horizonti vsebujejo tudi več P, Zn, Yb in Sc. Elementi kot so Fe, Al, Li, V, Cu, Ni, Ga, Zn in redke zemlje so vezani na glinene minerale, zato se premeščajo v iluvijalni horizont (Tyler, 2004). Razporeditev elementov znotraj profila med različnimi tlemi lahko variira, saj je stopnja izpiranja specifičnega elementa odvisna od mineralne sestave, stopnje preperelosti, pH, Eh, organske snovi, bioakumulacije ter količine padavinske vode (Kabata-Pendias, 2011).

2.3.2.2 Indeksi preperevanja (CIA, CIW in ICV)

Indeksi preperevanja se uporabljajo za določanje stopnje preperevanja in primerjanje intenzivnosti med različnimi tlemi ali horizonti. Kemični indeks spremenjenosti (CIA – *chemical index of alteration*), ki sta ga predlagala Nesbitt in Young (1982), odraža razlike v razmerju med glinenci in različnimi glinenimi minerali (2). Predpostavka je, da je Al_2O_3 nemobilni element, medtem ko so ostali mobilni. Večja kot je vrednost CIA, višja je stopnja preperelosti. V tleh so vrednosti indeksa nad 55, v močno preperelih tleh doseže vrednosti blizu 100.

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100 \quad \dots (2)$$

Podoben CIA je kemični indeks preperevanja (CIW – *chemical index of weathering*) (3), ki pri izračunu ne upošteva deleža K_2O (Harnois, 1988). Z višanjem stopnje preperelosti tal se indeks povečuje.

$$\text{CIW} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})] \times 100 \quad \dots (3)$$

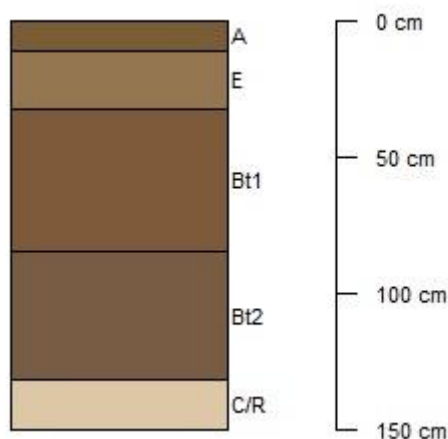
Uporaben je tudi indeks kompozitne spremenljivosti (ICV – *index of compositional variability*), ki daje informacijo o relativni količini Al_2O_3 v primerjavi z ostalimi glavnimi oksidi (4). Glineni minerali in Al-oksidi, ki so značilni za glineno frakcijo, vsebujejo relativno več Al_2O_3 , kar se odraža v nizkih vrednostih ICV. V močno preperelih tleh z veliko gline pričakujemo vrednosti pod 1 (Cox in sod., 1995).

$$ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3] \quad \dots (4)$$

2.4 KLASIFIKACIJA IZPRANIH TAL

Po Slovenski klasifikaciji tal spadajo izprana tla v razred eluvijalno-iluvijalnih tal avtomorfnega oddelka (Prus in sod., 2015). V literaturi se zanje pogosto uporablja ime lesivirana tla, kar izhaja iz francoske besede *lessivage*, ki v prevodu pomeni luženje, izpiranje. Izraz *lessivage* se v tuji literaturi uporablja za poimenovanje pedogenetskega procesa izpiranja tal (Shaetzel in Anderson, 2005; Quénard in sod., 2011). Imenujemo jih tudi ilimerizirana tla.

Diagnostični horizont za razred eluvijalno-iluvijalnih tal je E horizont. Ta je zaradi izpiranja svetlejše barve, lažje teksture, slabše izražene strukture in z manjšim deležem bazičnih kationov. Minerali glin in druge snovi se iz E horizonta premeščajo v spodaj ležeč iluvijalni B horizont. Tipičen iluvijalni horizont izpranih tal ima v primerjavi z zgornjim E horizontom močno povečano vsebnost gline (20 %), zato ga označujemo z oznako B_t . Kadar se v njem akumulira organska snov ali seskvioksidi, ga označujemo kot B_h ali B_{fe} . Tipična zgradba profila se zapiše kot zaporedje horizontov A-E- B_t / B_h / B_{fe} -C/R (Prus in sod., 2015).



Slika 3: Primer tipične zgradbe profila zelo globokih izpranih tal (A-E- B_t - B_{t2} -C/R)

Tla so dodatno opredeljena glede na pedogenetske ter kemijske in fizikalne lastnosti. Po pedogenetskih lastnostih ločimo tipična, psevdooglejena in oglejena izprana tla. Tlem, ki na sorptivnem delu vsebujejo manj kot 35 % bazičnih kationov, glede na višino pH pripišemo stopnjo akričnosti: zmerno akrična (pH 5,6 – 6,5), akrična (pH 4,6 – 5,5) in močno akrična. (pH < 4,6). Opredelimo jih še na podlagi vsebnosti organske snovi, globine, antropogenosti in matične podlage (Prus in sod., 2015).

Izprana tla se v Sloveniji pojavljajo razpršeno. Manjša območja se nahajajo po celotni Sloveniji, medtem ko večja območja izpranih tal najdemo na konglomeratnih terasah na Gorenjskem in v Beli Krajini. Razmeroma veliko izpranih tal je tudi v Dolenjskem in Ribniško-Kočevskem podolju (Vidic in sod., 2015). Večinoma se pojavljajo na položnih pobočjih, ravninah, starejših rečnih terasah in dolinah z globljimi tlemi, največkrat v združbi s kambičnimi tlemi (Urbančič in sod., 2005).

2.4.1 Izprana tla po WRB klasifikaciji

WRB je mednarodni klasifikacijski sistem za poimenovanje tal in izdelavo legend za pedološko kartiranje. Predstavlja krovni dokument za klasifikacijo tal in omogoča primerjavo in komunikacijo med različnimi državami. Temelji na lastnostih tal, ki jih definiramo v okviru diagnostičnih horizontov. Klasificiranje poteka na dveh nivojih; najprej določimo referenčno talno skupino (RTS), ki jo s pomočjo kvalifikatorjev v obliki predpon in zapon dodatno opišemo (World ..., 2015).

Diagnostičen horizont za izprana tla po WRB klasifikaciji je argičen horizont (*argilla* [lat.]: bela glina), ki je nastal predvsem kot posledica izpiranja. Argični horizont je mineralen horizont ilovnato peščene ali težje teksture, ki vsebuje vsaj 8 % gline. Nad njim se nahaja teksturno lažji horizont – običajno govorimo o eluvialnem horizontu iz katerega se izpirajo glina in druge snovi.

Teksturna diferenciacija med njima ne sme biti posledica sprememb v matični podlagi. Kadar eluvijalni horizont leži neposredno nad argičnim horizontom, ta ne sme biti del obdelovalnega horizonta. V nekaterih primerih se med eluvijalnim in argičnim horizontom pojavi prehodni horizont, ki ne sme biti debelejši od 15 cm. Če ima eluvijalni horizont manj kot 10 % gline, jo mora imeti argični horizont vsaj 4 % več (primer: 8 % proti 12 %). Kadar eluvijalni horizont vsebuje med 10 % in 50 % gline, mora biti razmerje med glino v argičnem in eluvijalnim horizontom vsaj 1,4 (primer: 20 % proti 28 %). V primerih, ko eluvijalni horizont vsebuje več kot 50 % gline, jo mora argični horizont vsebovati vsaj 20 % več. Kot dodatni kriterij za diagnosticiranje argičnega horizonta se uporabljajo še drugi znaki izpiranja; pojavljanje glinenih prevlek, koeficient linearnega raztezanja ($COLE > 0,04$), razmerje med fino glino in glino ter globina horizonta (World ..., 2015).

WRB na podlagi argičnega horizonta in njegovih lastnosti loči pet RTS: akrisoli, alisoli, liksisoli, luvisoli in retisoli. V vseh se argični horizont pojavi v globini do 100 cm. Za ustrezno uvrstitev tal v prve štiri RTS preverimo dve diagnostični lastnosti: velikost kationske izmenjalne kapacitete (KIK) v argičnem horizontu ali znotraj zgornjih 50 cm argičnega horizonta in delež bazičnih kationov v pretežnem delu tal med 50 in 100 cm globine, v primeru plitvih tal v spodnji polovici mineralnega dela tal. Kadar so v zgornjem delu argičnega horizonta prisotne retične¹ lastnosti, tla uvrstimo med retisole. Preglednica 1 prikazuje kriterije, ki veljajo za posamezno RTS.

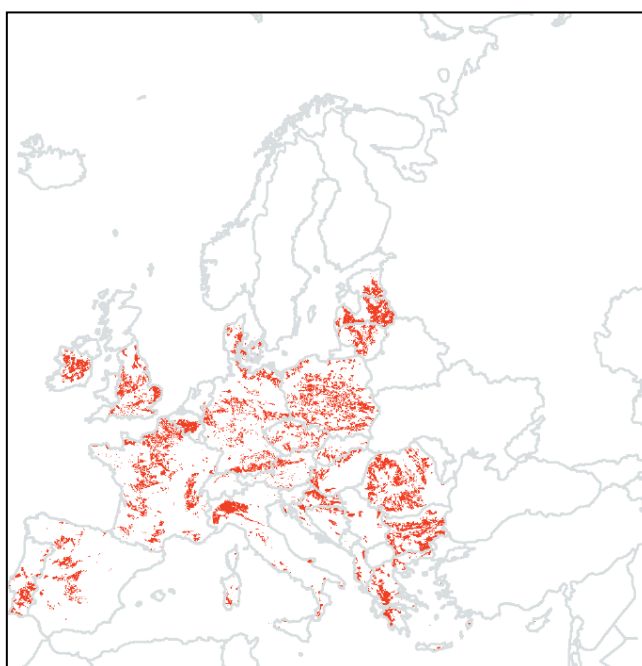
¹ *retic* lastnosti: WRB kvalifikator (World ..., 2015: 70): teksturno lažji in svetlejši material se vrinja v spodnji *argic* ali *natric* horizont in tvori jezičaste ali mrežaste vzorce; opazno kot horizontalne ali vertikalne svetle lise znotraj iluvijalnega horizonta.

Preglednica 1: Diagnostični kriteriji za posamezno RTS (World ..., 2015)

RTS (RSG)	Diagnostičn i horizont	KIK (mmol./100 g tal)	Delež bazičnih kationov (V)	Dodatne lastnosti
akrisoli (Acrisols)	argic	< 24 (mestoma znotraj argic hor.)	< 50 %	-
alisoli (Alisols)	argic	> 24 (po celotnem argic hor.)	< 50 %	-
likisoli (Lixisols)	argic	< 24 (mestoma znotraj argic hor.)	> 50 %	-
luvisoli (Luvisols)	argic	> 24 (po celotnem argic hor.)	> 50 %	-
retisoli (Retisols)	argic	-	-	retic

Blume in sod. (2016) navajajo, da se luvisoli lahko razvijejo na različnih matičnih podlagah. Na apnencih in dolomitih ter na laporju se razvijejo v večini iz kambisolov, ki so bogati z glineno frakcijo. Takšni luvisoli imajo visoko kationsko izmenjalno kapaciteto ter velik delež baz. Z nadaljnjim izpiranjem in intenzivnim preperevanjem se razvoj lahko nadaljuje v smeri likisolov, za katere je značilna nizka kationska kapaciteta tal, ali v alisole, ki imajo nizek delež baz. Slednji se pogosto razvijejo iz kambisolov na peščenjakih. V tleh na silikatnih kamninah ali v luvisolih z močno preperelimi glinami nadaljnje preperevanje vodi do nastanka akrisolov z nizko kationsko kapaciteto in z nizkim deležem baz. Likisoli so značilni za topla območja z glinenim in močno preperelim ter izpranim substratom. Tudi alisoli se pojavljajo v toplih območjih, vendar so bolj značilni za razgiban relief (World ..., 2015).

V Evropi so od vseh petih najbolj razširjeni retisoli, saj pokrivajo kar 15 % površine. Sledijo luvisoli s 6 % (slika 4). Pojavljajo se na različnih matičnih podlagah na območju zmerno toplega pasu, kar se kaže v njihovi veliki pestrosti. V vlažnejših predelih Mediterana so luvisoli pogosto povezani z akrisoli in alisoli, ki v Evropi ne presegajo 1 % (Soil Atlas of Europe, 2005). V Sloveniji glavnino izpranih tal lahko uvrstimo med luvisole (Urbančič in sod., 2005) in akrisole, v posameznih primerih celo med alisole (Kralj, 2008).



Slika 4: Območja v Evropi, kjer prevladujejo luvisoli (Soil Atlas of Europe, 2005: 31)

2.4.2 Opredelitev iluvijalnega B horizonta v različnih klasifikacijah tal

V večini klasifikacijskih sistemov je iluvijalni horizont, v katerem se kopičijo glina in druge snovi, glavni diagnostični horizont. Kriteriji za identifikacijo iluvijalnega horizonta v večini temeljijo na podlagi razlik v teksturi med eluvijalnim in iluvijalnim horizontom. V preglednici 2 so prikazane razlike med klasifikacijskimi sistemi.

Preglednica 2: Diagnostični kriteriji za B_t horizont

Klasifikacija	Glavni kriterij (teksturna diferenciacija) za iluvialni B horizont	Vir
Jugoslovanska klasifikacija tal	Razlika v vsebnosti gline med horizontoma mora biti s prstnim poskusom zaznavna v prid B _t horizonta.	Škorič in sod., 1973 Škorič in sod., 1985
Slovenska klasifikacija tal	V iluvialnem horizontu mora biti najmanj 20 % več gline kot v E horizontu.	Prus in sod., 2015
WRB	Če ima E horizont manj kot 10 % gline, jo mora imeti argic horizont vsaj 4 % več. Če ima E horizont med 10 in 50 % gline, mora imeti argic horizont vsaj za 1,4x več gline. Če ima E horizont več kot 50 % gline, mora imeti argic horizont vsaj 20 % več gline.	World ..., 2015
nemška klas.	Če je v B _t horizontu manj kot 17 % gline in manj kot 50 % melja, mora biti razlika med B _t in E vsaj 3 % v prid B _t . Če je v B _t horizontu manj kot 17 % gline in več kot 50 % melja ali pa je gline med 17 in 45 %, mora biti razlika med B _t in E vsaj 5 % v prid B _t . Če je v B _t horizontu več kot 45 % gline, mora biti razlika med B _t in E vsaj 8 % v prid B _t .	Arbeitskreis für Bodensystematik ..., 1998
avstrijska klas.	B _t horizont mora vsebovati vsaj 25 % gline in za najmanj 15 % (relativno) več gline od E horizonta.	Nestroy in sod. 2011
USDA Soil Taxonomy	Če ima E horizont manj kot 15 % gline, jo mora imeti argillic horizont vsaj 3 % več. Če ima E horizont med 15 in 40 % gline, mora imeti argillic horizont vsaj za 1,2x več gline. Če ima E horizont več kot 40 % gline, mora imeti argillic horizont vsaj 8 % več gline.	Keys to Soil ..., 2014

3 MATERIALI IN METODE

V magistrskem delu smo obravnavali pedološke, mineralne in geokemične lastnosti izpranih tal. Za prvi del (karta in pedološke lastnosti) smo uporabili podatke izpranih tal iz Talnega informacijskega sistema (Talni informacijski ..., 2016). Za drugi del, ki je vključeval mineraloške in geokemijske analize, smo na Gozdarskem inštitutu Slovenije pridobili vzorce izpranih tal, ki jih je v svoji doktorski disertaciji obravnaval Kobal (2011). V nabor mineralnih in geokemičnih podatkov smo vključili tudi dva profila izpranih tal na savskih terasah, ki ju je v svoji diplomski nalogi proučevala Koren (2016).

3.1 PRIDOBITEV PODATKOV ZA ANALIZO IN IZRIS KARTE IZPRANIH TAL

Karto izpranih tal 1 : 25 000 smo izrisali na podlagi podatkov, pridobljenih iz baze Talnega informacijskega sistema Slovenije (CPVO). Iz atributne tabele Pedološke karte Slovenije smo izvozili le podatke tistih pedokartografskih enot (v nadaljevanju PKE), ki vključujejo pedosistematske enote (v nadaljevanju PSE) izpranih tal, ter ustvarili nov podatkovni sloj. Za vsako PKE smo izračunali površino, ki jo pokrivajo izprana tla (celotna površina PKE pomnožena z deležem PSE izpranih tal). Karto izpranih tal smo izrisali za celotno Slovenijo. Iz atributnih podatkov smo pridobili tudi podatke o zastopanosti izpranih tal po posameznih območjih (Bela krajina, Dolenjsko podolje, Gorenjska, Ribniško-Kočevsko podolje in ostala območja). Izračunali smo tudi deleža izpranih tal glede na matično podlago in izrisali karto matičnih podlag izpranih tal v Sloveniji. Prostorsko analizo in izris karte smo izvedli s pomočjo računalniškega programa ArcGIS 10.2.2 for Desktop (ESRI, 2014).

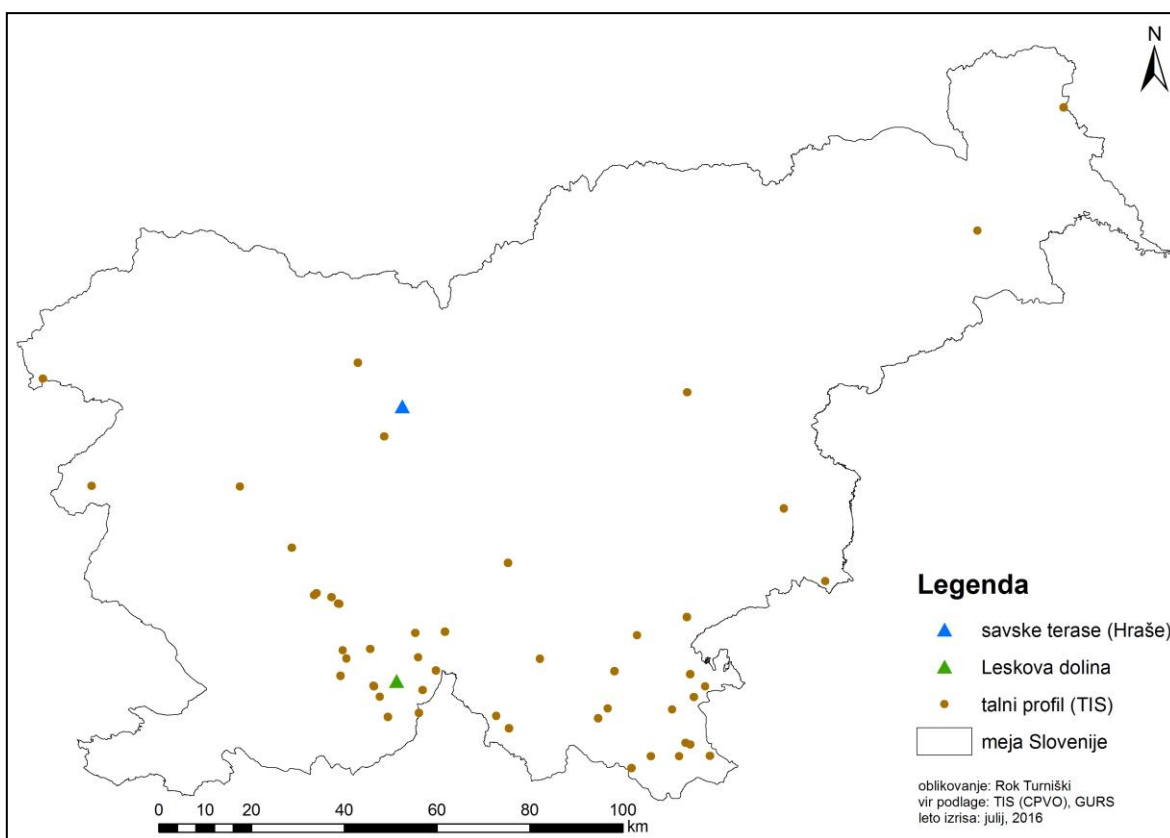
3.2 IZBOR IN PRIPRAVA PODATKOV ZA ANALIZO PEDOLOŠKIH ZNAČILNOSTI IZPRANIH TAL V SLOVENIJI

Iz baze pedoloških profilov (TIS) na Centru za pedologijo in varstvo okolja smo pridobili podatke za 49 profilov izpranih tal. Talni profili so bili izkopani v sklopu pedološkega kartiranja Slovenije ali drugih raziskav tal v obdobju od 1974 do 1998. Za vsak horizont znotraj talnega profila so na voljo podatki standardne pedološke analize in opisni podatki, ki so prostorsko opredeljeni z X in Y koordinatami ter z nadmorsko višino. Lokacije talnih profilov izpranih tal so prikazane na sliki 5. Opisne in analitske podatke smo združili v *excel* preglednico, ki smo jo uporabljali za nadaljnje statistične analize. Imena horizontov smo generalizirali v 5 glavnih skupin horizontov (O_h/A_h , A, E, B_t in BC). Med O_h/A_h smo uvrstili organske in humusno akumulativne horizonte z več kot 15 % organske snovi. Humusno akumulativne horizonte z manj kot 15 % organske snovi smo uvrstili med A horizonte, med katere smo vključili tudi prehodne horizonte AB ali AE, kjer so prevladovala lastnosti A horizonta. Med E horizonte smo uvrstili vse eluvijalne horizonte in prehodne horizonte, kjer so prevladovala lastnosti izpranega horizonta. Iluvijalne horizonte smo uvrstili med B_t horizonte, prehodne BC ali CB horizonte pa v skupino BC horizontov. Za grafični prikaz podatkov smo uporabili program ArcGIS 10.2.2 for Desktop (ESRI, 2014) in program R (R core team, 2016). V R smo za izris profilov in analizo barv uporabili paket aqp (Beaudete in sod., 2013).

3.3 OPIS OBMOČIJ

3.3.1 Leskova dolina

Mineraloške in geokemijske analize izpranih tal smo izvedli na vzorcih tal iz gozdnogospodarske enote Leskova dolina, ki leži v jugozahodni Sloveniji, na severovzhodnem delu gorskega masiva Snežnik (slika 5). Razgibano območje se nahaja na tektonsko prelomljeni visoko-kraški planoti s karbonatno matično podlago, ki jo sestavljajo jurski in kredni apnenci z vložki dolomita (Buser in sod., 1970). Nadmorska višina GGE Leskova dolina variira med 750 m in 1796 m (Gozdnogospodarski načrt ..., 2004). Območje je pod vplivom sredozemskega, celinskega in atlantskega podnebja. Padavine so razporejene skozi celo leto s karakteristikami spomladanskega in jesenskega maksimuma. Povprečna letna količina padavin znaša 2150 mm (Meteo portal, 2016). Kraško razgiban teren ima vpliv na mikroklimo, ki se v prostoru zelo spreminja. Povprečna letna temperatura zraka je 6,5 °C, značilne so spomladanske in jesenske pozebe. V konkavnih reliefnih oblikah se pojavljajo mrazišča. Za območje so značilna pokarbonatna tla in rendzine. Površina GGE Leskova dolina je pretežno pokrita z dinarskim jelovo bukovim gozdom, v višjih legah proti vrhu Snežnika pa se pojavlja višinski bukov gozd (Gozdnogospodarski načrt ..., 2004). Talni profili so bili izkopani na severnem delu GGE Leskova dolina v oddelku 34 (GKX: 56280, GKY: 457190). Nadmorska višina oddelka sega od 820 m do 880 m, nakloni terena so med 5° in 10°.



Slika 5: Lokacije pedoloških profilov izpranih tal v Sloveniji, Leskove doline ter savskih teras (Hraše, Prebačevo)

3.3.2 Hraše in Prebačevo

Profila Hraše in Prebačevo ležita na savskih terasah v zgornjem toku reke Save. To je območje osrednje Slovenije, natančneje Ljubljanske kotline (severozahodno od Ljubljane). Proučevana tla se nahajajo na konglomeratnih terasah različnih starosti, ki ležijo na območju Kranjsko-Sorškega polja (Buser in sod., 1976). Velik del območja je pod kmetijsko rabo, ostalo pa je pokrito z gozdom. Območje je pod vplivom zmerno celinskega podnebja. Zaradi reliefa in lege med gorami so pogosti temperaturni obrati in megla. Na meteorološki postaji Letališča Jožeta Pučnika Ljubljana (364 m. n. v.) je bila v obdobju od leta 1981 do 2010 povprečna letna temperatura 9 °C, povprečna količina padavin pa 1363 mm, z največ padavinami v juliju, avgustu, septembru, oktobru in novembru (Meteo portal, 2016). Profil P11 je bil izkopen na starejši terasi v okolici Hraš (Plana gmajna) (GKX: 115654, GKY: 458201, profil P12 na mlajši terasi v okolici Prebačevega med Kranjem in Smlednikom GKX: 119341, GKY: 454321 (Koren, 2016). Tla na starejši mindelski terasi so stara do 400 000 let, medtem ko so na mlajši würmski terasi stara približno 36 000 let (Vidic, 1989).

3.4 LABORATORIJSKE METODE

3.4.1 Standardna pedološka analiza

Standardna pedološka analiza tal iz Leskove doline je bila izvedena v letu 2008 v sklopu doktorskega dela (Kobal, 2011) v Laboratoriju za gozdno ekologijo na gozdarskem inštitutu Slovenije. Vzorci tal so bili zračno posušeni in presejani skozi 2 mm sito. pH je bil izmerjen v kalcijevem kloridu na avtomatskem pH metru Metrohm Titrino (SIST ISO 10390). Vsebnost organskega ogljika in dušika je bila določena s suhim sežigom na napravi Leco CNS-2000 (SIST ISO 10694, ISO 13878), vsebnost karbonatov s Scheiblerjevim kalcimetrom Eijkelkamp (SIST ISO 10693) in tekstura tal s sedimentacijsko pipetno metodo (SIST ISO 11277).

3.4.2 Priprava vzorcev za mineraloške in geokemijske analize

Iz arhiva Laboratorija za gozdno ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo pridobili 41 vzorcev tal. Vzorci so bili že presejani (< 2 mm) in zračno suhi. Za mineralne analize smo vzorce le pretresli (5–10 g) ter jih poslali v analizo na Naravoslovnotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani. Vzorce za geokemijske analize smo zmleli v ahatni terilnici ter jih presejali na 160 µm situ.

3.4.3 Mineraloška analiza

Kvalitativna in semikvantitativna mineralna analiza 13 vzorcev iz treh talnih profilov je bila izvedena na Naravoslovnotehniški fakulteti, na Oddelku za geologijo, z rentgenskim difraktometrom Philips PW3710. Pogoji snemanja so bili anoda Cu_{Kα}, pri napetosti 40 kV in toku 30 mA. Snemanje je bilo zvezno, v območju kota 2°–70° 2Θ, s korakom 3° 2Θ/min. Mineralno sestavo smo določili s pomočjo računalniškega orodja X'Pert HighScore (2008).

Tip glinenih mineralov smo potrdili na podlagi mineraloške analize orientiranih vzorcev. Glinena frakcija za pripravo orientiranih vzorcev je bila odpipetirana po sedimentacijsko pipetni metodi. Snemanje orientiranih vzorcev je potekalo v območju kota 2° – 50° 2Θ , s korakom 3° $2\Theta/\text{min}$.

3.4.4 Geokemijska analiza

Geokemijske analize so bile opravljene v laboratoriju Bureau Veritas Minerals v Kanadi v Vancouvru. Vzorci so bili analizirani z metodo induktivno vezane plazme, z emisijsko spektrometrijo (ICP-ES) so bili določeni glavni oksidi, z masno spektrometrijo (ICP-MS) ostale sledne prvine. Skupni ogljik in žveplo sta bila določena s suho oksidacijo na instrumentu Leco (LECO, USA), žaroizguba (LOI) pa z izračunom razlike v masi vzorca pred in po sežigu na 1000°C (Schedule ..., 2015).

Skupaj je bilo določenih 11 glavnih oksidov (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO in Cr_2O_3), 46 slednih prvin (Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Zr, Zn, Ce, Er, Eu, Gd, Ho, Dy, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Yb, Y), TOT/C, TOT/S in LOI.

Iz nabora podatkov smo najprej izločili spremenljivke, ki so imele visok delež cenzuriranih vrednosti; Ag ter Se ($> 30\%$), TOT/S ($> 29\%$) in Au ($> 19\%$).

3.4.4.1 Točnost analitike

Za preverjanje točnosti analitike smo uporabili podatke standardov, ki jih je posredoval laboratorij Bureau Veritas Minerals. Iz laboratorija so nam poslali analitske rezultate standardov STD SO-18 STD SO-19, STD DS10, STD OREAS45EA, STD GS311-1 in STD GS910-4, ki smo jih primerjali z njihovimi referenčnimi vrednostmi ter tako izračunali, za koliko te vrednosti odstopajo od dejanskih.

Oksidi, sledne prvine (Ba, Be, Co, Ni, Pb, Sc, V, Zr, Zn) ter redke zemlje (Ce, Gd, La, Tm) in TOT/S so odstopali za največ 5% . Do 10% so odstopali Cu, Hf, Hg, Mo, Nb, Rb, Sn, Th, Tl, Y ter redke zemlje (Pr, Nd, Eu, Dy, Ho, Er, Yb, Lu) in TOT/C, med 10 in 15% pa Bi, Cd, Cs, Ga, Sr, Ta, U, W ter redki zemlji Sm in Tb. Ag, As in Se so odstopali nad 15% , Au in Se celo nad 30% , zato smo slednji izključili iz nadaljnjih analiz. V prilogi A je prikazana kontrolna karta za vse spremenljivke.

3.4.4.2 Natančnost analitike

Natančnost analitike je stopnja njene ponovljivosti in nam pove, kako se izmerjene vrednosti istega vzorca ujemajo. Natančnost smo ocenili na podlagi primerjave ponovljenih analiz vzorcev RT3, RT10, RT33, RT39 in RT41. Podatki so razvrščeni v skupine glede na velikost medsebojnega odstopanja (preglednica 3).

Preglednica 3: Ponovljivost analize za posamezen parameter

Odstopanje	Geokemični parametri
< 5 %	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, TiO ₂ , MnO, LOI, As, Ba, Cd, Ga, Ni, Nb, Pb, Rb, Sn, Tl, U, V, Y, Zn, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Tm, Yb, TOT/C, TOT/S
med 5 in 10 %	Cr ₂ O ₃ , Co, Cs, Cu, Hf, Hg, Mo, Sc, Sr, Ta, Th, Zr, Eu, Tb, Ho, Er, Lu
med 10 in 30 %	P ₂ O ₅ , Bi, Sb, W
> 30 %	Au, Be

89,6 % vseh geokemičnih parametrov je bilo v območju odstopanja med 0 % in 10 %, kar je zadovoljivo. P₂O₅, Bi, Sb in W so bili na intervalu med 10 in 30 %. Največje odstopanje med vrednostma sta kazala Au in Be, ki sta preseгла 30 %, zaradi česar nista primerna za nadaljnje analize

V geokemičnem naboru podatkov so tako ostali vsi oksidi (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO in Cr₂O₃), prvine (As, Ba, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Zn, Zr, Ce, Er, Eu, Gd, Ho, Dy, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Yb, Y), TOT/C in LOI. Opisna statistika za vse parametre je prikazana v prilogi X.

3.5 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

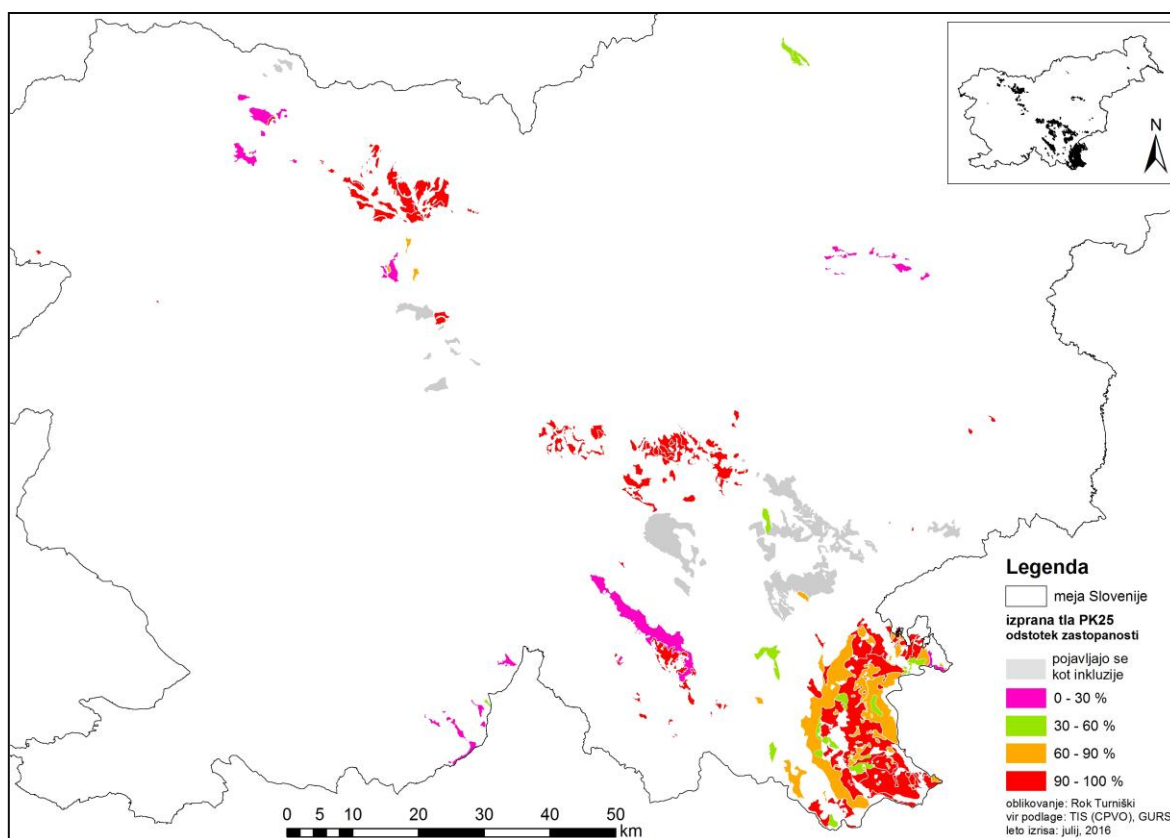
Za osnovno urejanje in shranjevanje podatkov smo uporabili MS Excel 2013. Statistične analize in grafične izrise smo izdelali s pomočjo programa R (R core team, 2016). Pedološke podatke 49 izpranih tal (skupno 213 horizontov) smo v večini predstavili z opisno statistiko. Za potrebe nadaljnjih analiz smo preverili porazdelitev podatkov ter izvedli Levenov test homogenosti varianc po obravnavanjih. Ocenjevanje normalnosti porazdelitve podatkov je pokazalo, da so v večini asimetrični, zato smo jih poskušali transformirati. Podatke, ki so bili po transformaciji normalno razporejeni in so prestali Levenov test, smo lahko uporabili pri analizi variance. V primerih, ko je analiza variance pokazala statistično značilne razlike ($p < 0,05$), smo izvedli HSD test mnogoterih primerjav. Kjer uporaba analize variance ni bila upravičena smo uporabili neparametrične metode: Kruskal-Wallisov test, Mann-Whitney test in test mnogoterih primerjav (R paket 'pgirmess', ukaz *kruskalmc*). Linearno povezanost dveh spremenljivk smo ovrednotili s Pearsonovim koeficientom korelacije. Za izris ternarnega diagrama smo uporabili orodje GCDkit 4.0 (Janousek in sod., 2006).

4 REZULTATI

V naslednjih poglavjih so predstavljene prostorske, pedološke, mineralne in geokemične značilnosti izpranih tal v Sloveniji. Najprej smo na podlagi pedološke karte prikazali prostorsko razširjenost izpranih tal ter vrste matičnih podlag, na katerih so nastale. Sledi pregled pedoloških lastnosti 49 talnih profilov iz baze pedoloških profilov. Tretje in četrto poglavje predstavljata rezultate mineraloških in geokemijskih analiz izbranih talnih profilov.

4.1 RAZŠIRJENOST IZPRANIH TAL V SLOVENIJI

Pregled pedološke karte je pokazal, da izprana tla pokrivajo 2,31 % površine Slovenije. Skupaj obsegajo 467,5 km² površin. Na sliki 6 je prikazana njihova prostorska razporeditev po posameznih pedokartografskih enotah (PKE), v katerih se izprana tla v različnih razmerjih prepletajo z rendzinami in kambičnimi tlemi. Karta prikazuje PKE-je, v katerih se pojavljajo izprana tla. Z rdečo barvo so prikazani tisti, ki jih v celoti sestavljajo izprana tla. V oranžnem območju izprana tla predstavljajo med 60 in 90 % površine PKE, v zelenem območju med 30 in 60 % in v vijoličnem območju do 30 %. S sivo barvo so označena območja pojavljanja inkluzij, kjer izprana tla običajno predstavljajo le nekaj odstotkov (Pedološka karta 1 : 25 000).



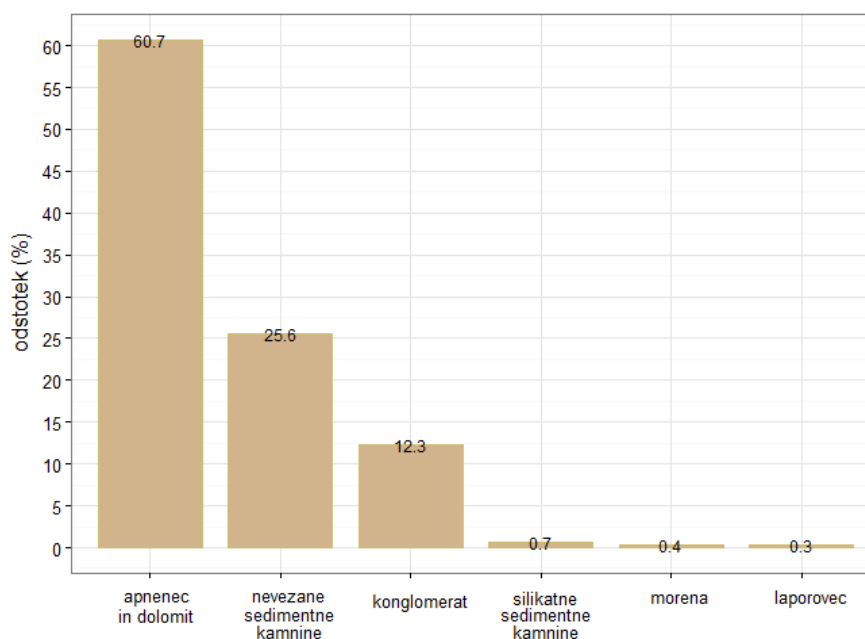
Slika 6: Zastopanost izpranih tal v Sloveniji po posameznih pedokartografskih enotah pedološke karte 1 : 25 000

V Beli krajini se nahaja 280,6 km² (60 %) izpranih tal, sledi območje Dolenjskega podolja s 71,4 km² (15,3 %) ter Gorenjska s 66 km² (14,1 %). 6,4 % jih najdemo v Ribniško-Kočevskem podolju in okolici. Drugod po Sloveniji se posamezne manjše površine izpranih tal pojavljajo v okolici Snežnika in Celja ter na območju Slovenj Gradca, Kobarida, Tolmina, Krškega, Šentjerneja, Novega mesta in Mirne Peči. Te skupaj predstavljajo 19,7 km² (4,2 %). Podatki so prikazani v preglednici 4.

Preglednica 4: Površina izpranih tal na posameznih območjih Slovenije (PK25)

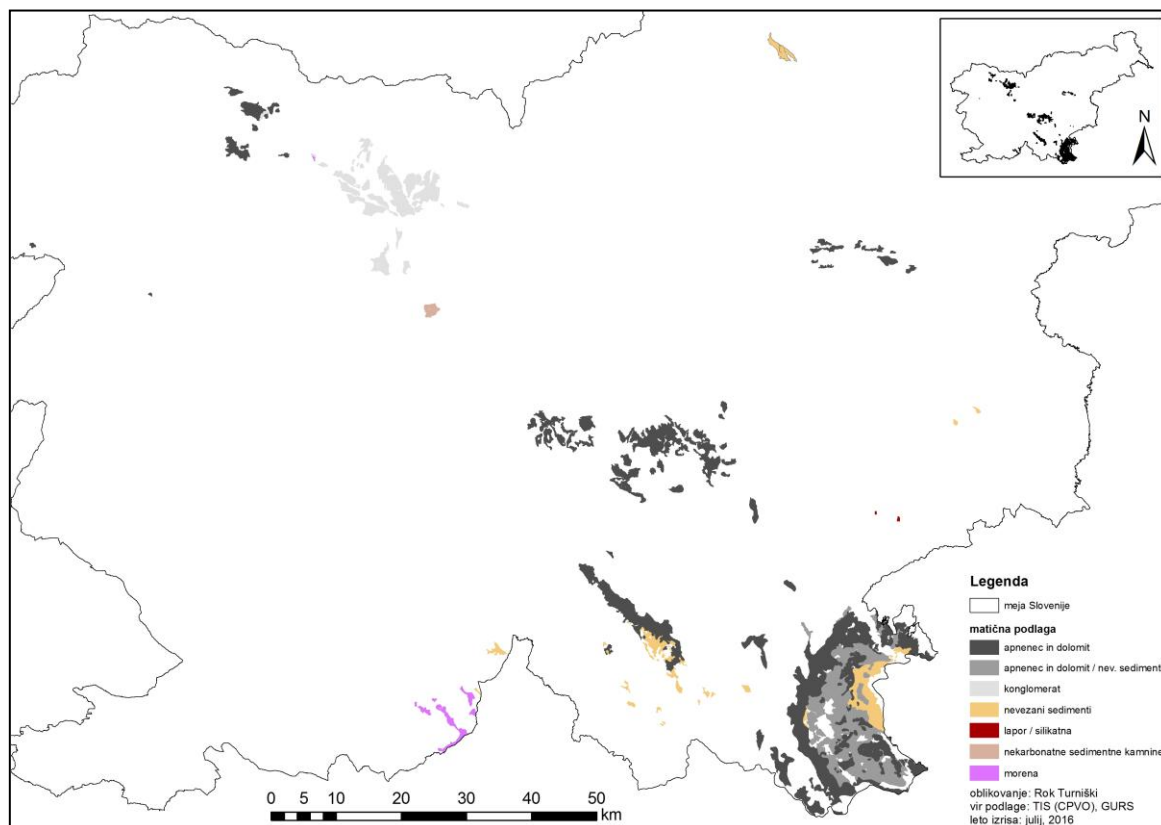
Območje	Površina (km ²)	Odstotek od skupne površine (%)
Bela krajina	280,6	60,0
Dolenjsko podolje	71,4	15,3
Gorenjska (savske terase, Pokljuka, ...)	66,0	14,1
Ribniško-Kočevsko podolje	29,9	6,4
ostalo (Snežnik, območje Celja in Slov. Gradca ter drugod + inkluzije)	19,7	4,2
skupaj (Slovenija)	467,5	100,0

Slika 7 prikazuje kakšna je pojavnost izpranih tal na različnih matičnih podlagah. Največ, kar 60,8 %, se jih pojavlja na apnencu in dolomitu. 25,7 % jih leži na nevezanih sedimentih ter 12,4 % na konglomeratih. Na laporovcu, moreni in silikatnih sedimentnih kamninah skupno leži le 1,4 % izpranih tal.



Slika 7: Pojavnost izpranih tal na različnih matičnih podlagah (PK25)

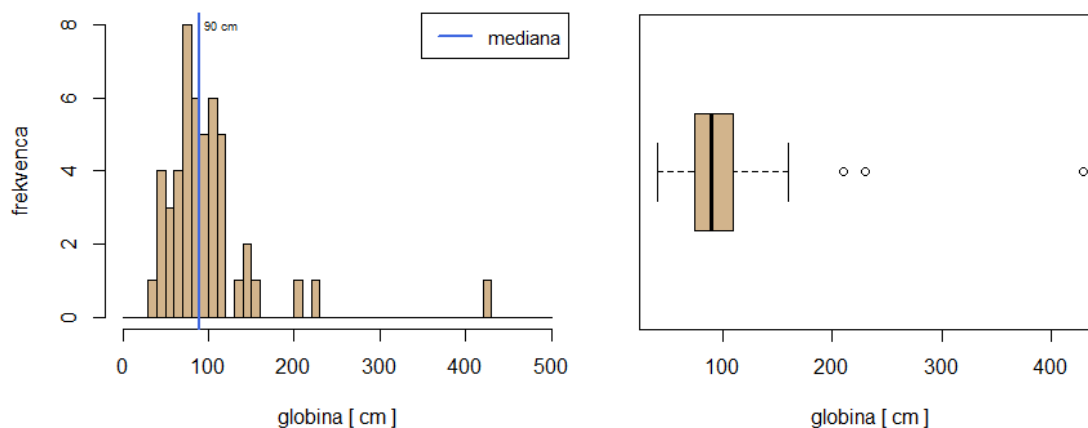
Največ izpranih tal na apnencih in dolomitih najdemo v Beli krajini, Dolenjskem ter Ribniško-Kočevskem podolju. V Slovenj Gradcu, v Ribniško-Kočevskem podolju ter v Beli krajini se izprana tla pojavljajo tudi na različnih nevezanih sedimentih. Na Gorenjskem na terasah reke Save prevladuje konglomeratna, severozahodno od Bleda med Pokljuko in Mežaklo apnenčasta matična podlaga. Na Notranjskem, predvsem na območju Snežnika, se izprana tla nahajajo na karbonatni moreni, ponekod po Sloveniji še na laporovcu in na silikatnih sedimentnih kamninah (slika 8).



Slika 8: Matične podlage na katerih se pojavljajo izprana tla v Sloveniji; pedološka karta 1 : 25 000

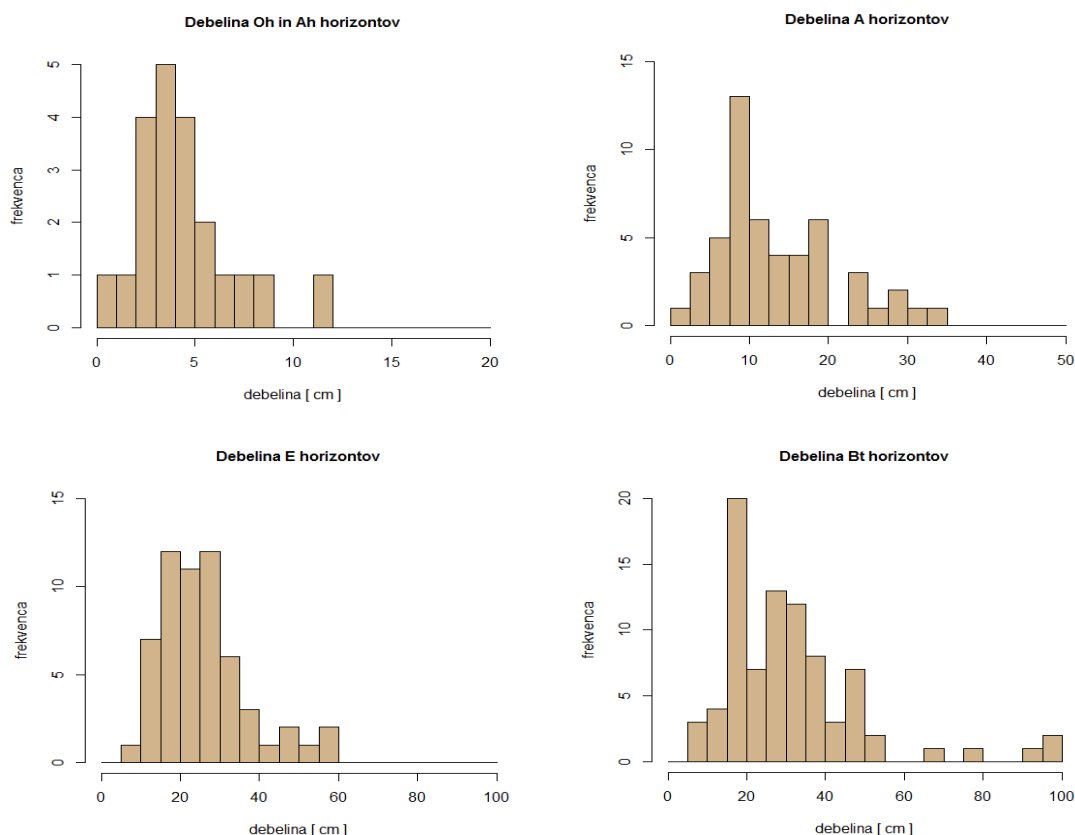
4.2 PEDOLOŠKE LASTNOSTI IZPRANIH TAL

V nadaljevanju so predstavljene pedološke lastnosti izpranih tal. Iz slike 9 lahko razberemo, da je razpon globine tal zelo širok. Najbolj plitva tla so globoka 40 cm, najgloblja 429 cm. 25 % tal je plitvejših od 75 cm, polovico jih je med 75 in 110 cm, preostala med 110 in 160 cm. Izjema so trije zelo globoki talni profili, ki so prikazani kot osamelci. Njihove globine so 210 cm, 230 cm in 429 cm. Najgloblji je bil izkopen na konglomeratnih terasah reke Save, ostala dva v Beli krajini.



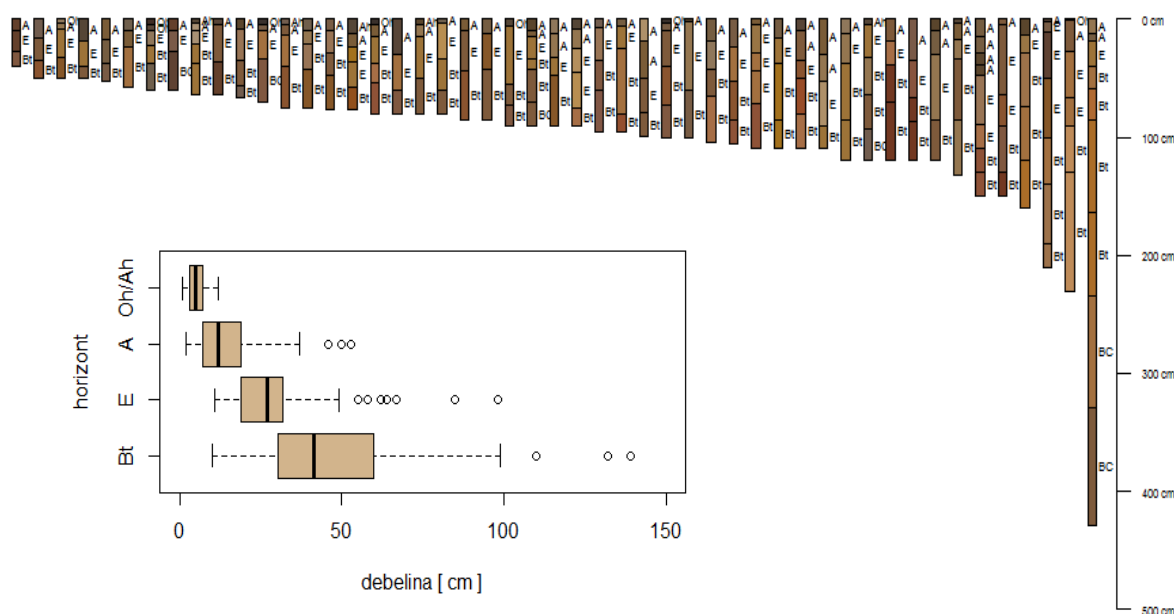
Slika 9: Frekvenčna porazdelitev in okvir z ročaji za skupno globino 49 izpranih tal

Znotraj vseh proučevanih talnih profilov smo skupno obravnavali 213 horizontov. Ločili smo jih v 5 skupin oziroma horizontov (generalizacija), ki se med seboj značilno razlikujejo; a) O_h in A_h , b) A, c) E, d) B_t in e) BC. Slika 10 prikazuje frekvenčne porazdelitve njihovih debelin. BC horizont je v tem primeru pridružen B_t horizontom. O_h ali A_h horizont sta prisotna v 20 talnih profilih. Njuna debelina v povprečju znaša 4,9 cm. Pojavljata se izključno v tleh, ki jih prekriva gozd. Humusno akumulativen horizont z manj kot 15 % organske snovi je prisoten v vseh izpranih tleh, s povprečno debelino 14 cm. 75 % A horizontov je tanjših od 18 cm. E horizont je v povprečju debel 26,4 cm z obsegom v intervalu od 9 cm do 59 cm. Debelina B_t horizonta je v razponu od 9 cm do 100 cm s srednjo vrednostjo 32,2 cm. Le 10 % B_t horizontov je debelejših od 50 cm.



Slika 10: Frekvenčne porazdelitve debelin horizontov; O_h in A_h ($n=21$), A ($n=50$), E ($n=58$) in B_t skupaj s BC ($n=84$) (skupaj 214 horizontov, 49 talnih profilov)

Slika 11 prikazuje profile izpranih tal razporejene po globini od najbolj plitvega do najglobljega. Kot je razvidno iz slike se zaporedno znotraj profila lahko pojavi več A, E ali B_t horizontov. Okvir z ročaji prikazuje, kakšna je njihova skupna debelina. Največja debelina A horizontov znotraj profila znaša 53 cm, pri E horizontih 98 cm in pri B_t horizontih 139 cm ali v izjemnem primeru celo 389 cm. Iz slike 11 je razvidno, da so iluvijalni horizonti najdebelejši (mediana = 41,5 cm), sledijo eluvijalni (mediana = 27 cm) in A horizonti (mediana = 12 cm). Kot najtanjši sloji se pojavljajo A_h in O_h horizonti z mediano 5 cm.



Slika 11: Prikaz profilov izpranih tal (razporejeni po globini) in okvir z ročaji za skupno debelino istovrstnih horizontov znotraj talnega profila (brez vrednosti za B_t s 389 cm)

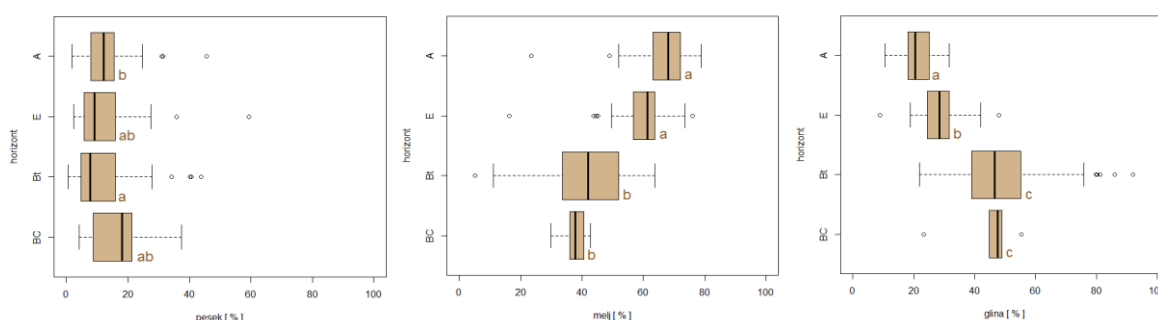
B_t in E horizont imata v večini poliedrično strukturo (E_{poliedr.}: 71,9 %, B_t_{poliedr.}: 91,5 %). V iluvijalnih horizontih se pojavlja še oreškasta struktura (8,5 %), v eluvijalnih horizontih oreškasta in grudičasta (10,5 %, 17,6 %). Strukturni agregati se proti površini tal zmanjšujejo in imajo sferične oblike. V A horizontih prevladujeta oreškasta in grudičasta struktura, medtem ko imata A_h in O_h horizont v večini mrvičasto strukturo. Spodnji B_t horizont je običajno gost in/ali zbit. Manj gost in bolj drobljiv je E horizont. Humusno akumulativni horizont je rahel in/ali drobljiv, redko gost, organski horizont predvsem rahel.

Proučevana izprana tla se uvrščajo med srednje težka do težka tla. 55,1 % tal je ilovnatih, 36,7 % glinastih in 8,2 % meljastih (klasifikacija po Prus in sod., 2015). Večina spodnjih iluvijalnih horizontov je uvrščenih v teksturne razrede meljasto glinaste ilovice, meljaste gline in gline, zgornji horizonti v razrede meljasto glinaste ilovice, meljaste ilovice in glinaste ilovice. Vsebnost peska v izpranih tleh je v razponu od 1 do 59 %, vsebnost melja od 5 do 79 % in vsebnost gline od 9 do 92 % (preglednica 5).

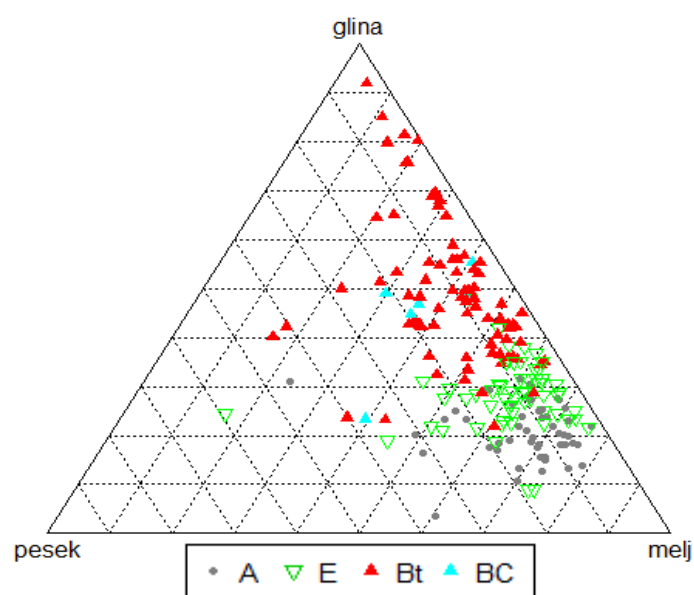
Preglednica 5: Prevladujoči teksturni razredi in mediane (min–max) za delež peska, melja in gline za posamezen horizont; enaka črka (a,b,c) pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$)

Horizont	Prevladujoči teksturni razredi	Mediana (min - max)		
		pesek (%)	melj (%)	gline (%)
A (n = 49)	MI, MGI	12,1 (1,7–45,6) b	68,1 (23,4–78,9) a	20,4 (10,6–31,7) a
E (n = 58)	MI, MGI, GI	9,1 (2,3–59,3) ab	61,4 (16,3–76,0) a	28,4 (8,90–48,1) b
B _t (n = 78)	MGI, MG, G	7,8 (0,5–43,7) a	42,0 (5,2–63,7) b	46,6 (21,8–92,0) c
BC (n = 6)	MG, G	18,2 (4,2–37,4) ab	37,8 (29,9–42,7) b	47,7 (23,3–55,3) c

Znotraj talnega profila se z globino kaže trend naraščanja deleža gline in upadanja melja. Med horizonti A, E in B_t (skupaj z BC) obstajajo statistično značilne razlike v relativni vsebnosti gline ($p < 0,05$). Mediana odstotka gline v A horizontu je 20,4 %, v E horizontu 28,4 % ter v B_t horizontu 46,6 %, podobno tudi v BC horizontu s 47,7 % gline. Obratna slika je pri melju. V zgornjih A in E horizontih ga je največ, z globino se njegova vsebnost zmanjšuje. Zgornja (A,E) se od spodnjih (B_t, BC) horizontov značilno razlikujeta. V A in E horizontih je mediana odstotka melja nad 60 %, v B_t horizontu se zmanjša na 42 %. Delež peska se znotraj profila malo spreminja, značilna razlika obstaja le med horizontoma A in B_t. Rezultati so prikazani v preglednici 5 ter na slikah 12 in 13.

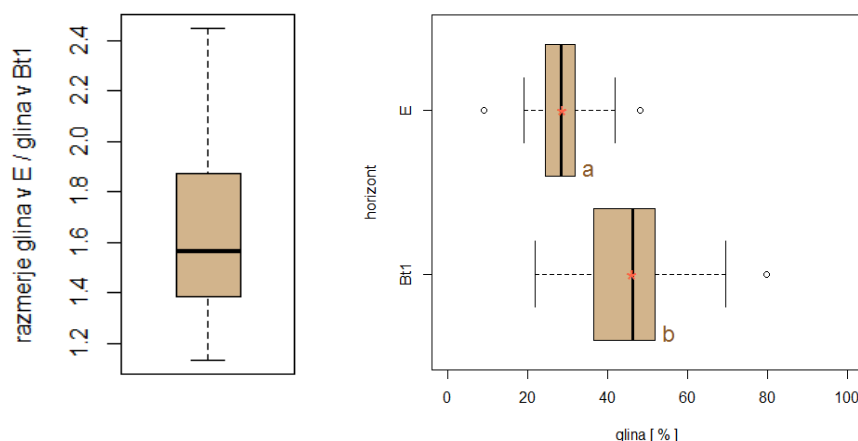


Slika 12: Primerjava deležev peska, melja in gline med horizonti A, E, B_t in BC (brez O_h in A_h) (okvir z ročaji); enaka črka (a,b,c) pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$)



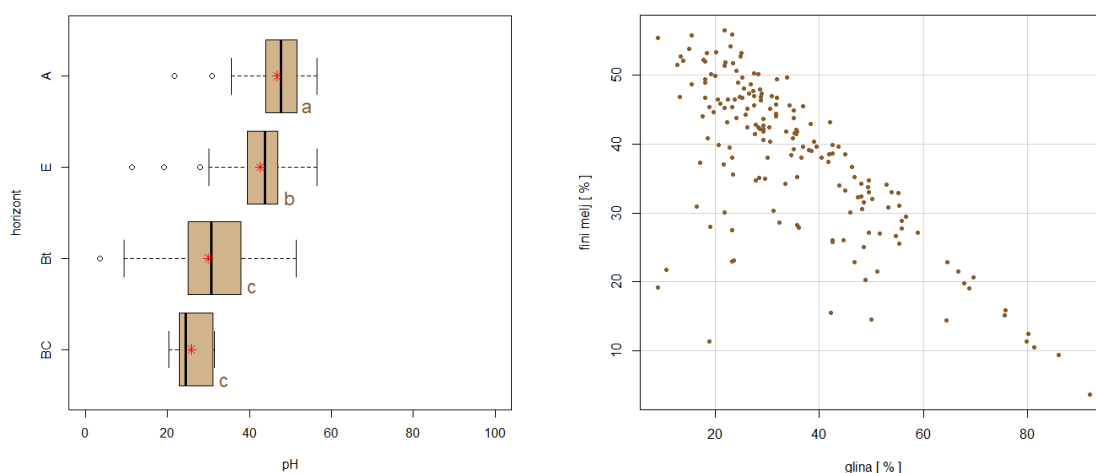
Slika 13: Teksturni podatki horizontov izpranih tal prikazani na ternarnem diagramu (pesek-glina-melj)

Teksturna diferenciacija se najbolj odraža na prehodu iz eluvijalnega v iluvijalni horizont. B_{t1} horizont, ki leži neposredno pod E horizontom, ima v povprečju za 1,63-krat več gline. V 25 % talnih profilov se razmerje med B_{t1} in E horizontom nahaja na intervalu med 1,13 in 1,38, medtem ko ima ostalih 75 % tal količnik večji od 1,38. V E horizontu neposredno nad iluvijalnim horizontom je povprečna vsebnost gline 28,5 %, v B_{t1} 46,1 % (slika 14).



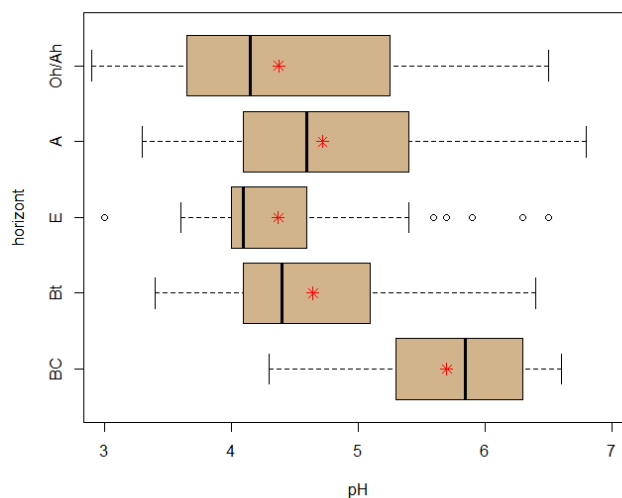
Slika 14: Razmerje v vsebnosti gline med E in B_{t1} horizontom (n = 49, levo) in vsebnost gline v njiju (n=96, desno); črki a in b na desni sliki prikazujeta statistično značilne razlike med horizontoma ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost

Po horizontih od zgoraj navzdol se značilno zmanjšuje odstotek finega melja, ki ga je v A horizontu v povprečju 47 %, v E horizontu 43 %, v Bt 30 % in v BC 26 %. Fini melj je v negativni korelaciji z glino, $r = -0,74$. Z zmanjševanjem vsebnosti finega melja se povečuje vsebnost gline; povezava je statistično značilna (slika 15).



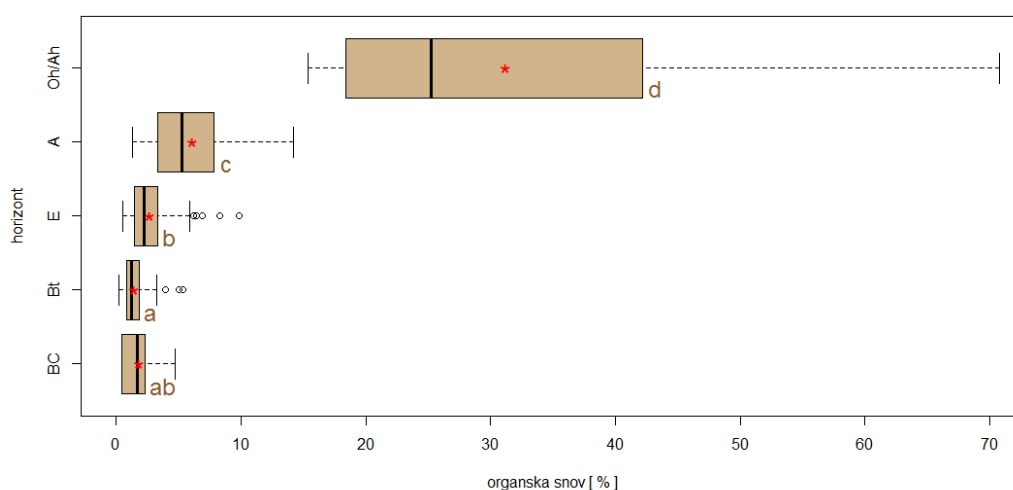
Slika 15: Razporeditev finega melja po horizontih (levo) in povezava med odstotkom gline in odstotkom finega melja (desno) ($r = -0,74$, $p < 0,05$, $n = 179$); enaka črka (a, b, c) na levi sliki pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost

pH vrednost horizontov je v razponu od 2,9 do 6,8. Najmanjša vrednost je bila izmerjena v O_h, največja v A horizontu. V vseh horizontih je razpon pH vrednosti precej velik. Najmanjše srednje vrednosti pH so v O_h/A_h in E horizontih (pH = 4,4). Povprečna vrednost pH v A horizontih je 4,7 in v B_t horizontih 4,6. BC horizonti imajo v povprečju najvišji pH (5,7) in se značilno razlikujejo le od E horizontov ($p < 0,05$). Med ostalimi ni statistično značilnih razlik. Podatki o pH po horizontih so prikazani na sliki 16.

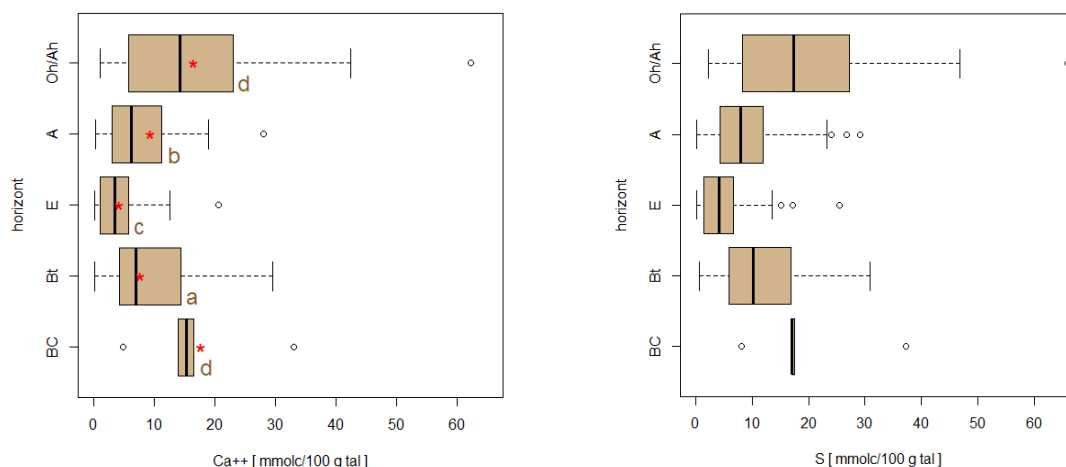


Slika 16: pH vrednosti po horizontih, * - povprečna vrednost

Vsebnost organske snovi se z globino po horizontih zmanjšuje. Največja vsebnost je izmerjena v O_h horizontu s 70,8 %, najmanjša v spodnjem B_t horizontu z 0,2 %. V O_h in A_h horizontih je v povprečju 31,2 % organske snovi, v A horizontih 6,1 %, v E horizontih 2,7 % in v B_t horizontih manj kot 2 %. Med O_h/A_h , A, E in B_t horizonti obstajajo statistično značilne razlike (slika 17).

Slika 17: Delež organske snovi po horizontih; enaka črka (a, b, c, d) pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost

Med izmenljivimi bazičnimi kationi je v tleh največ Ca^{2+} , ki je v razponu od 0,1 do 62,3 mmol_c/100 g tal. Največ ga je v O_h/A_h (17,7 mmol_c/100 g tal) in BC horizontih (16,5 mmol_c/100 g tal), najmanj v E horizontih, kjer je povprečna vrednosti 4,2 mmol_c/100 g tal (slika 17). Podoben trend po horizontih se kaže tudi v razporeditvi ostalih izmenljivih bazičnih kationov. V zgornjih organskih in humusno akumulativnih horizontih so vsebnosti baz majhne, v E horizontih v povprečju najmanjše, v B_t in BC horizontih se zopet povečajo. V eluvijalnih horizontih so vsebnosti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ in K^+ značilno manjše od vsebnosti v B_t horizontih (slika 18 in preglednica 6).



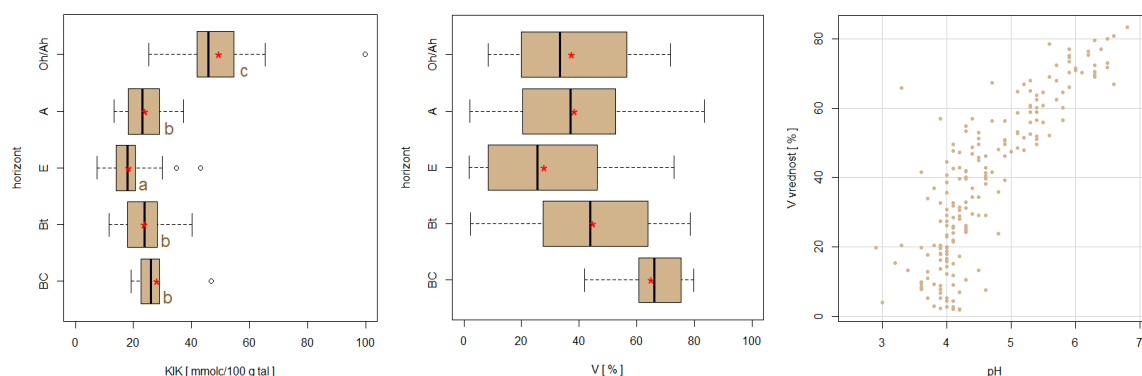
Slika 18: Vsebnost Ca^{2+} (levo) in skupne vsote baz (desno) v horizontih izpranih tal ($\text{mmol}_c/100 \text{ g tal}$); enaka črka (a, b, c, d) pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost

Preglednica 6: Povprečne vrednosti $\pm$ standardna napaka ter mediane (min–max) vsebnosti izmenljivih bazičnih kationov in H^+ po horizontih ($\text{mmol}_c/100 \text{ g tal}$); enaka črka (a, b, c, d) v stolpcu pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$)

Horizont	Ca^{2+} ($\text{mmol}_c/100 \text{ g}$)	Mg^{2+} ($\text{mmol}_c/100 \text{ g}$)	K^+ ($\text{mmol}_c/100 \text{ g}$)	Na^+ ($\text{mmol}_c/100 \text{ g}$)	H^+ ($\text{mmol}_c/100 \text{ g}$)
$\text{O}_h + \text{A}_h$ ($n = 18$)	$17,7 \pm 3,8 \text{ d}$ 14,25 (0,96–62,3)	$2,24 \pm 0,4 \text{ d}$ 1,94 (0,59–7,7)	$0,54 \pm 0,05 \text{ b}$ 0,54 (0,12–0,94)	$0,16 \pm 0,03 \text{ b}$ 0,13 (0,07–0,57)	$28,75 \pm 1,87 \text{ b}$ 28,85 (12,4–41,2)
A ($n = 46$)	$7,7 \pm 0,86 \text{ b}$ 6,16 (0,20–28,07)	$1,55 \pm 0,26 \text{ ab}$ 0,88 (0,06–7,40)	$0,18 \pm 0,02 \text{ ac}$ 0,16 (0,04–0,57)	$0,08 \pm 0,01 \text{ a}$ 0,07 (0,01–0,33)	$14,5 \pm 0,96 \text{ a}$ 12,93 (5,7–32,7)
E ($n = 55$)	$4,2 \pm 0,54 \text{ a}$ 3,42 (0,09–20,63)	$0,99 \pm 0,18 \text{ a}$ 0,56 (0,07–6,4)	$0,10 \pm 0,006 \text{ c}$ 0,10 (0,07–6,4)	$0,06 \pm 0,004 \text{ c}$ 0,05 (0,01–0,20)	$13,1 \pm 0,79 \text{ a}$ 12,65 (3,2–33,4)
B_t ($n = 74$)	$9,4 \pm 0,85 \text{ c}$ 6,97 (0,10–29,47)	$1,86 \pm 0,24 \text{ c}$ 1,04 (0,13–9,15)	$0,19 \pm 0,01 \text{ a}$ 0,17 (0,06–0,4)	$0,09 \pm 0,005 \text{ a}$ 0,09 (0,01–0,19)	$12,4 \pm 0,51 \text{ a}$ 12,17 (4,8–32,1)
BC ($n = 6$)	$16,5 \pm 3,74 \text{ d}$ 15,33 (4,76–33)	$2,2 \pm 0,47 \text{ bcd}$ 2,15 (0,78–3,85)	$0,26 \pm 0,02 \text{ ab}$ 0,26 (0,18–0,3)	$0,1 \pm 0,01 \text{ ab}$ 0,1 (0,08–0,17)	$9,2 \pm 0,86 \text{ a}$ 9,33 (5,55–11,35)

Kationska izmenjalna kapaciteta (KIK) tal je v razponu od 7,4 do 99,9 $\text{mmol}_c/100 \text{ g tal}$. Najmanjša povprečna vrednost KIK je v E horizontu z 18,4 $\text{mmol}_c/100 \text{ g tal}$, medtem ko se v B_t horizontu statistično značilno poveča na 23,9 $\text{mmol}_c/100 \text{ g tal}$. Največja povprečna vrednost KIK je v O_h/A_h horizontih (49,4 $\text{mmol}_c/100 \text{ g tal}$), kjer je izmerjena tudi največja vrednost. Nasičenost z bazičnimi kationi oziroma V vrednost je največja v B_t in BC horizontih (44,7 in 65 %), najmanjša v E horizontih (28,1 %). Povprečna V vrednost v zgornjih z organsko snovjo bogatih horizontih je 37,4 % (O_h/A_h) in 38,4 % (A). V vrednost je v pozitivni korelaciji s pH vrednostjo tal ($r = 0,84$, $p < 0,05$). S povečevanjem deleža bazičnih kationov na sorptivnem delu tal se povečuje njihov pH. Podatki so prikazani na sliki 19.

Med 199 horizonti, ki vključujejo podatke za V vrednost, je 65,8 % distričnih in 34,2 % evtričnih. Distričnih je 66,6 % O_h/A_h horizontov, 63 % A horizontov, 78,2 % E horizontov, 62,2 % B_t horizontov in 16,7 % BC horizontov.



Slika 19: Kationska izmenjalna kapaciteta (mmolc/100 g tal) (levo) ter delež bazičnih kationov (sredina) po horizontih in povezava med pH vrednostjo tal ter deležem bazičnih kationov (desno) ($r = 0,84$, $p < 0,05$, $n = 199$); enaka črka (a, b, c) na levi sliki pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$), * - povprečna vrednost

Vsebnosti organskega ogljika, dušika ter izmenljivega fosforja in kalija se z globino po horizontih zmanjšujejo (preglednica 7). Razpon vsebnosti dušika je od 0,03 do 1,68 %. Največje vsebnosti so v O_h/A_h horizontih (mediana 0,78 %) in v A horizontih (mediana 0,22 %), najmanjše v E, B_t in BC horizontih (mediana $< 0,11$ %). Temu trendu sledi tudi CN razmerje, ki se z globino prav tako zmanjšuje. O_h/A_h horizonti imajo najvišje CN razmerje, v povprečju 26,8, medtem ko je v E horizontih CN razmerje 13,1 ter v B_t horizontih 9,36 (preglednica 7). Vsebnost izmenljivega fosforja (P_2O_5) v izpranih tleh je majhna. Večje vsebnosti fosforja, nad 10 mg/100 g tal, so prisotne le v O_h/A_h in A horizontih, kjer so vrednosti v razponu od 0,3 do 44,5 mg/100 g tal. 85 % horizontov ima manj kot 6,55 mg P_2O_5 /100 g tal, v E horizontu povprečno 1,8 mg P_2O_5 /100 g tal in v B_t horizontu 1 mg/100 g tal. Vsebnost izmenljivega kalija (K_2O) je večja; vrednosti so v razponu od 1,2 do 71,1 mg/100 g tal z mediano 7,5 mg/100 g tal. Najmanjše vsebnosti kalija so v povprečju v E horizontu (5,4 mg/100 g tal) in v B_t horizontu (6,74 mg/100 g). V organskih horizontih so vrednosti precej večje, v povprečju 27,55 mg/100 g tal, v A horizontih 10,5 mg/100 g tal (preglednica 7).

Preglednica 7: Podatki o organskem ogljiku (%), dušiku (%), C/N razmerju in izmenljivem fosforju in kaliju (mg/100 g tal) po horizontih; povprečje $\pm$ standardna napaka, mediana (min–max)

Horizont	C _{org.} (%)	N (%)	C/N	Fosfor * (mg/100 g tal)	Kalij ** (mg/100 g tal)
$O_h + A_h$ (n = 17)	18,52 $\pm$ 2,4 15,04 (8,9–40,99)	0,82 $\pm$ 0,1 0,78 (0,15–1,68)	26,84 $\pm$ 4,88 21,2 (15,5–100,2)	12 $\pm$ 2,76 10,95 (1,3–44,5)	27,55 $\pm$ 4,04 23,8 (8,6–71,1)
A (n = 44)	3,5 $\pm$ 0,30 3,23 (0,75–8,22)	0,24 $\pm$ 0,02 0,22 (0,07–0,6)	15,2 $\pm$ 0,6 14,6 (3,8–24,6)	4,04 $\pm$ 0,96 3,15 (0,3–31,8)	10,5 $\pm$ 1,1 8,65 (1,4–34,2)
E (n = 46)	1,7 $\pm$ 0,18 1,34 (0,29–5,7)	0,13 $\pm$ 0,01 0,11 (0,03–0,6)	13,1 $\pm$ 0,74 12,6 (0,58–28,3)	1,8 $\pm$ 0,20 1,8 (0,1–4)	5,4 $\pm$ 0,48 5 (1,2–12,9)
B_t (n = 48)	0,89 $\pm$ 0,1 0,77 (0,12–3,1)	0,09 $\pm$ 0,006 0,08 (0,04–0,22)	9,36 $\pm$ 0,56 9,5 (1,93–19,3)	1 $\pm$ 0,17 0,95 (0,83–1,5)	6,74 $\pm$ 0,53 6,75 (4,5–9,0)
BC (n = 6)	1,09 $\pm$ 0,38 1 (0,24–2,73)	0,1 $\pm$ 0,38 0,09 (0,06–0,22)	9,25 $\pm$ 2,07 9,45 (3,96–16,28)	0,9 $\pm$ 0,4 0,9 (0,5–1,3)	10,7 $\pm$ 0,5 10,45 (10,2–11,2)

* $O_h + A_h$ (n = 16), A (n = 32), E (n = 28), B_t (n = 8), BC (n = 2)

** $O_h + A_h$ (n = 16), A (n = 42), E (n = 33), B_t (n = 8), BC (n = 2)

V preglednici 8 so prikazani barvni odtenki horizontov (tehtani glede na pojavnost in skupno globino). Zgornji horizonti imajo temnejše odtenke kot spodnji mineralni horizonti. O_h , A_h , A in E horizonti imajo v večini rumeno rjave odtenke (10YR), medtem ko so odtenki B_t in BC horizontov bolj rdečkasti (5YR). Najsvetlejši je rumeno-rjavi eluvijalni horizont s stopnjo svetlosti 5 in intenziteto 5. V prilogi E so prikazane frekvence posameznega barvnega odtenka po horizontih.

Preglednica 8: Barva horizontov po Munsell barvni karti (tehtano)

Horizont	Barvna oznaka horizonta po Munsell Color Chart	Barva (Munsell barvni diagram)
$O_h + A_h$	10YR 3/2	zelo temna sivkasto rjava 
A	10YR 4/3	rjava 
E	10YR 5/5	rumenkasto rjava 
B_t	5YR 4/5	rdeče rjava 
BC	5YR 4/4	rdeče rjava 

34 profilov izpranih tal (69,4 %) se nahaja v gozdu, ostalih 15 profilov (30,6 %) na kmetijskih površinah (nasad, njiva, travnik, pašnik, košenica). Izprana tla (zgornjih 30 cm) se glede na rabo statistično značilno razlikujejo po pH vrednosti in deležu bazičnih kationov. Tla v gozdu imajo v zgornjih horizontih do globine 30 cm višjo pH vrednost in večji delež bazičnih kationov kot tla pod kmetijsko rabo. Podatki so prikazani v preglednici 9.

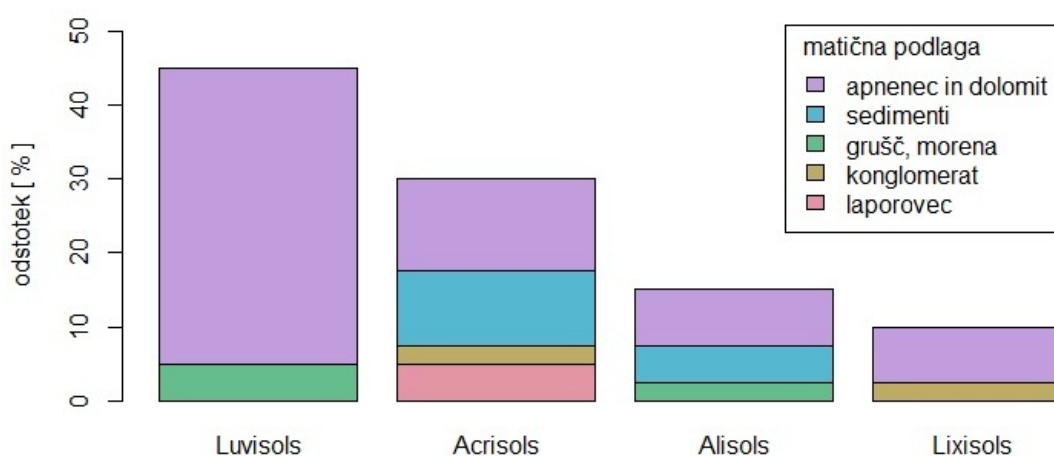
Preglednica 9: Povprečne vrednosti pH in V vrednosti v izpranih tleh do globine 30 cm pod gozdno in kmetijsko rabo $\pm$ standardna napaka; črki a in b v vrstici prikazujeta statistično značilne razlike med rabama ($p < 0,05$)

Lastnost	Gozd (n = 34)	Kmetijska raba (n = 15)
pH	$4,3 \pm 0,1$ a	$4,95 \pm 0,2$ b
V vrednost	$25,5 \pm 3,2$ a	$43,30 \pm 5,3$ b

Skelet se večinoma pojavlja v spodnjih B_t horizontih, v nekaterih primerih tudi v horizontih E in A. Prisoten je v 26 profilih (53 %) v razponu od 1 do 34 % (vol. % v profilu – tehtano). Največ skeleta (> 20 %) se nahaja v spodnjih B_t horizontih na apnencu in dolomitu, na konglomeratu in na flišu. Velikost skeleta je v razponu od 1 do 70 cm. Največji kosi skeleta (> 30 cm) se pojavljajo v izpranih tleh na apnencu in dolomitu, razmeroma velik skelet (10 do 20 cm) se pojavlja tudi v tleh na moreni in na konglomeratu. V ostalih primerih gre za delce velikosti od enega do petih cm.

Novotvorbe so prisotne v 30 talnih profilih (61 %) in se večinoma pojavljajo v spodnjih B_t horizontih. V večini se pojavljajo Fe, Mn konkrecije in prevleke ter glinene prevleke. Kjer se pojavlja psevdoglejevanje (2 horizonta), je izražena lisavost.

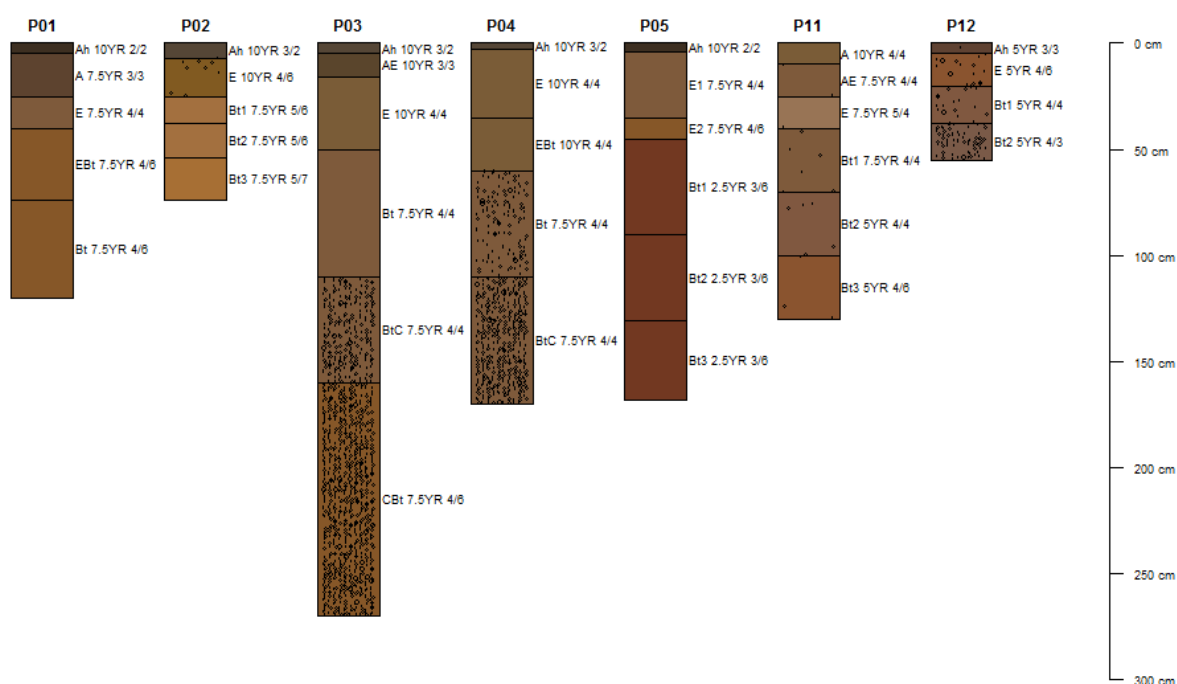
Le 40 od skupno 49 profilov izpranih tal ima argičen horizont. Glede na WRB klasifikacijo (World ..., 2015) so uvrščeni v štiri referenčne talne skupine (RTS): luvisoli, akrisoli, alisoli in liksisoli. Osnovna imena RTS najpogosteje dopolnjujejo kvalifikatorji za barvo (predpona: Chromic/Rhodic) in teksturo (zaponi: clayic/loamic). Najpogostejši so luvisoli ($n = 18$), sledijo akrisoli ($n = 12$), alisoli ($n = 6$) in liksisoli ($n = 4$). Luvisoli se v večini pojavljajo na apnencu in dolomitu ($n = 12$), v dveh primerih na grušču. Akrisoli se pojavljajo na apnencu in dolomitu ($n = 5$), na nevezanih sedimentih ($n = 4$), na laporovcu ($n = 2$) ter na konglomeratu ($n = 1$). Alisoli so se razvili na apnencu in dolomitu ($n = 3$), na nevezanih sedimentih ($n = 2$) ter na moreni ($n = 1$). Lixisoli, ki so najmanj pogosti, se pojavljajo na apnencu in dolomitu ($n = 3$) ter na konglomeratu ($n = 1$) (slika 20).



Slika 20: Struktura po matični podlagi za referenčne talne skupine tal z argičnim horizontom (luvisoli, akrisoli, alisoli in liksisoli)

4.2.1 Pedološke lastnosti tal na primeru izpranih tal Leskove doline in zgornjesavskih teras (Hraše, Prebačevo)

V tem poglavju so predstavljene fizikalne in kemične lastnosti petih izpranih tal iz Leskove doline, na katerih smo izvedli mineraloške in geokemijske analize. Podane so tudi pedološke lastnosti dveh profilov izpranih tal na savskih terasah, katerih podatke mineraloških in geokemijskih analiz smo uporabili v tej nalogi; pedološka profila je popisala in vzorčila Koren (2016). Na sliki 21 so prikazani profili izpranih tal, ki so obravnavani v nadaljevanju; P01–P05 (Leskova dolina) in P11 ter P12 (Hraše, Prebačevo).



Slika 21: Shematski prikaz pedoloških profilov izpranih tal iz Leskove doline (P01 - P05), Hraš (P11) in Prebačevega (P12); po globini, s prikazom barv po Munsell barvni karti ter z relativno vsebnostjo skeleta (črne pike)

Pedološki profili iz Leskove doline (P01–P05) so bili izkopani na nadmorski višini med 800 in 880 m, profila savskih teras (P11 in P12) med 408 m in 416 m. Vsi profili so bili izkopani v gozdu. Njihova globina je v razponu od 55 do 270 cm, z mediano 130 cm. Morfološki podatki za posamezen profil so podani v prilogi F. Opisni podatki izpranih tal iz Leskove doline so nepopolni. Zgradba profilov je tipična za izprana tla; A-E-B_t-BC/C/R. Teksturno so zgornji horizonti lažji od spodnjih B_t horizontov. Spodnji mineralni horizonti izkazujejo poliedrično strukturo, medtem ko je struktura E horizontov oreškasta do poliedrična. Strukturni agregati v A horizontih so mrvičasti do grudičasti, v profilu P11 z manj organske snovi so oreškasti. Konsistenca je v zgornjih horizontih (A, E) drobljiva, v spodnjih B_t bolj gosta in trda, ponekod drobljiva. Skelet se nahaja v profilih P02, P03, P04, P11 in P12. V P02 in P11 je skeleta manj kot 2 %. V profilu P03 je v B_tC horizontu 50 %, v CB_t 70 % skeleta. V P04 je v B_t horizontu 50 % in v B_tC 65 % skeleta. Veliko ga je tudi v profilu P12, kjer ga je v E in B_{t1} horizontu do 10 % ter v B_{t2} 40 %. Proučevana tla kažejo tipične znake izpranosti. Rezultati standardne pedološke analize za posamezen talni profil so podani v prilogi G.

4.3 MINERALNA SESTAVA IZPRANIH TAL (LESKOVA DOLINA, HRAŠE, PREBAČEVO)

Mineralno sestavo smo preverili trem talnim profilom iz Leskove doline, skupno 13 vzorcem (horizontom). Kvalitativna analiza je v vseh vzorcih potrdila prisotnost kremenca, muskovita/illita, klinoklora in kaolinita, medtem ko je bil hematit določen le v B_t horizontih profila P05. Muskovit in illit z XRD težko nedvoumno ločimo, ker se le nekoliko razlikujeta v količini kalija in strukturi (Velde, 1992), zato mineral navajamo kot muskovit/illit. Tip glinenih mineralov smo potrdili z analizo orientiranih vzorcev. Semikvantitativna ocena sestave je podana v preglednici 10.

Prevladujoči mineral v vseh vzorcih je kremen. V A_h in E horizontih ga je največ, v povprečju 63 %. Z globino se njegova vsebnost zmanjšuje, najmanjše vsebnosti so v B_t horizontih izpranih tal (od 20 do 53 %). V izpranih tleh (P05) je v E₂ horizontu 64 % kremenca, medtem ko se njegova vsebnost v B_{t1} horizontu zmanjša na 40 %. Od glinenih mineralov v tleh prevladuje muskovit/illit, katerega vsebnost je v razponu od 17 do 28 %. Kot drugi najbolj zastopan filosilikat v tleh je klinoklor (med 6 in 30 %). Z globino se njegova vsebnost povečuje, v A_h horizontih je v razponu med 8 in 9 %, v E horizontih med 6 in 12 %, ter v B_t horizontih med 12 in 30 %. Tudi vsebnost kaolinita se z globino povečuje, vrednosti so v razponu od 4 do 17 %. V profilu P05 je v B_t horizontih prisoten tudi hematit (do 7 %).

Trend povečevanja vsebnosti filosilikatov od vrhnjega proti spodnjemu horizontu je zelo jasen. Skupna vsebnost glinenih mineralov je v B_t horizontih večja kot v A_h in E horizontih. Največja razlika v vsebnosti glinenih mineralov je med horizontoma E in B_t v profilu P05; v B_{t1} jih je 24 % več kot v E₂ horizontu. V profilu P04 se razlika kaže med horizontoma E in EB_t.

V preglednici 10 so prikazani tudi podatki semikvantitativne ocene sestave za profila P11 in P12, ki ju je analizirala Koren (2016). V P11 so bili analizirani horizonti A, E, B_{t2} in B_{t3}, v P12 horizonta E in B_{t2}. V obeh profilih je prevladoval kremen. V profilu P11 (Hraše) je največ kremenca v spodnjem B_{t3} horizontu, najmanj v E horizontu. Muskovit/illit je v razponu od 13 do 20 %. Najmanj ga je v B_{t3}, največ v B_{t2} horizontu. Razpon vsebnosti klorita/vermikulita je od 10 do 16 %. V zgornjem delu tal so vsebnosti večje kot v spodnjem delu. V profilu P12 (Prebačevo) je kremenca največ v eluvijalnem horizontu. V B_t horizontu je 28 % muskovita/illita (5 % več kot v E hor.). Klorita/vermikulita je 8 oziroma 9 %. Prisotni so tudi glinenci, ki jih je v tleh 10 %. Očitna razlika v skupni vsebnosti glinenih mineralov med zgornjim delom tal in B_t horizonti je opazna le v profilu P12. V profilu P11 je največ glinenih mineralov v E, najmanj v B_{t3} horizontu.

Slika 22 prikazuje rentgenske difraktograme za profil P05. Kremen prevladuje v zgornjih horizontih (A, E₁ in E₂), kar je razvidno iz intenzitete vrhov kremenca. V iluvijalnih horizontih je opazna slaba kristaliničnost glinenih mineralov, kar nakazuje na neoformacijo.

Preglednica 10: Kvantitativna mineralna sestava 17 horizontov (%)

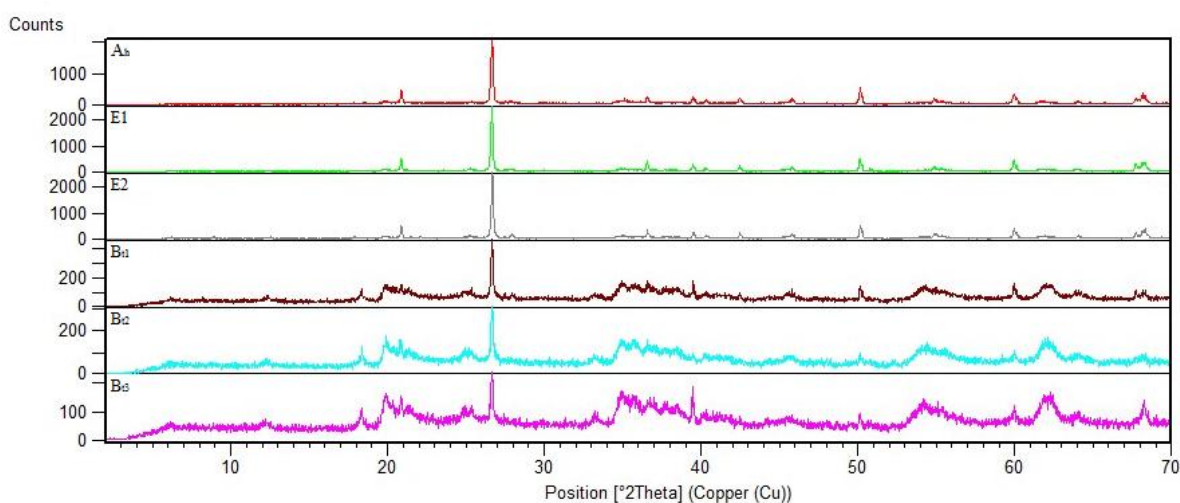
Profil	Tip tal	Hor.	Globina	kr	mu/il	kk	ka	hem	gl	Vsota g. mineralov
P04	izprana tla	A _h	0–3	64	24	8	4	-	-	36
		E	3–35	62	27	6	5	-	-	38
		EB	35–60	54	22	12	12	*	-	46
		B _t	60–110	53	18	12	17	*	-	47
		B _t C	110–170	47	28	12	13	-	-	53
P05	izprana tla	A _h	0–4	69	20	9	2	-	-	31
		E1	4–35	66	20	8	7	-	-	35
		E2	35–45	64	17	10	9	-	-	36
		B _{t1}	45–90	40	19	22	15	4	-	60
		B _{t2}	90–131	30	26	26	11	7	-	70
		B _{t3}	131–168	21	28	30	14	7	-	79
P11	izprana tla	A	0–10	70	15	15	-	-	-	30
		AE	10–25	n	n	n	n	n	n	n
		E	25–40	66	18	16	-	-	-	34
		B _{t1}	40–70	n	n	n	n	n	n	n
		B _{t2}	70–100	70	20	10	-	-	-	30
		B _{t3}	100–130	75	13	11	-	-	-	24
P12	izprana tla	A _h	0–5	n	n	n	n	n	n	n
		E	5–20	59	23	8	-	-	10	31
		B _{t1}	20–38	n	n	n	n	n	n	n
		B _{t2}	38–55	55	28	9	-	-	10	37

Legenda:

kr = kremen; mu/il = muskovit/illit; kk = klinoklor; hem = hematit; gl = glinenci

n - ni podatka

* - v sledovih

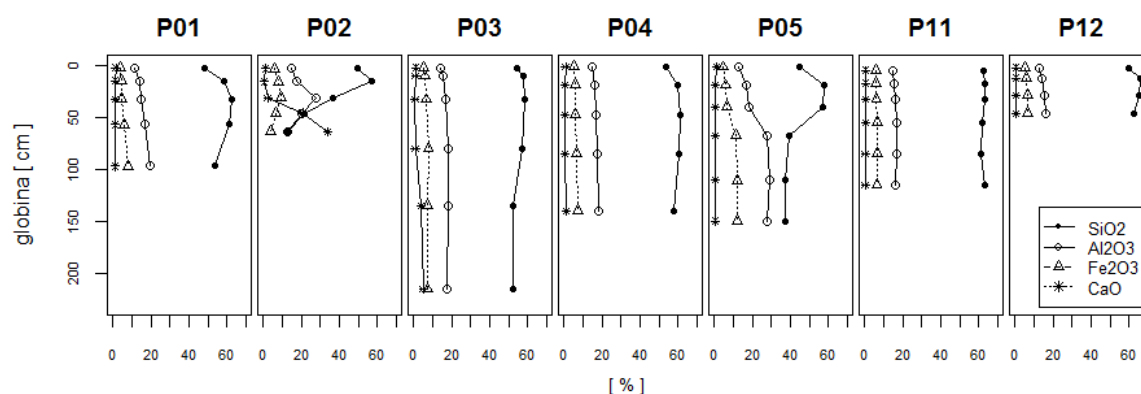


Slika 22: Rentgenski difraktogrami za horizonte profila P05 (skale na y osi so različne)

4.4 GEOKEMIČNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL (LESKOVA DOLINA, HRAŠE, PREBAČEVO)

4.4.1 Glavni oksidi

V preglednici 11 so podane vsebnosti oksidov in žaroizguba za posamezen horizont v talnem profilu. Vsebnost SiO_2 je v razponu od 12,97 do 65,93 %, z mediano 57,41 %. Najmanjše vrednosti so določene v B_t horizontih profila P02, kjer je povečana vsebnost CaO . Al_2O_3 v vseh talnih profilih kaže trend naraščanja z globino. Vrednosti so v razponu med 11,63 in 28,94 %, z mediano 16,5 %. Posebej veliko Al_2O_3 je v B_t horizontih profila P05 ($> 27\%$). Tudi v B_{t1} horizontu profila P02 je vsebnost velika (27,67 %), vendar se ta v B_{t2} in B_{t3} zmanjša. Podoben trend povečevanja z globino kaže tudi Fe_2O_3 , ki ga je največ v spodnjih horizontih. Vsebnost Fe_2O_3 je v razponu od 3,69 do 12,29 % (mediana = 6,31). Z vrednostmi nad 10 % izstopajo vsi B_t horizonti v profilu P05. Velika vsebnost Fe_2O_3 je prisotna tudi v B_{t1} horizontu profila P02 (9,45 %), ki se z globino v horizontih B_{t2} in B_{t3} zopet zmanjša. Delež CaO v horizontih je majhen (0,16–1,5 %), razen v profilih P02 in P03, kjer je v B_t horizontih med 2,25 in 33,69 % CaO . V večini primerov se s prehodom iz A horizonta vsebnost zmanjša, nato se proti najglobljemu horizontu zopet povečuje. Izjema so tla na starejši savski terasi (P11), v katerih se z globino kaže močno zmanjšanje količine CaO (v spodnjem B_t horizontu ga je le 0,16 % (preglednica 11 in slika 23).

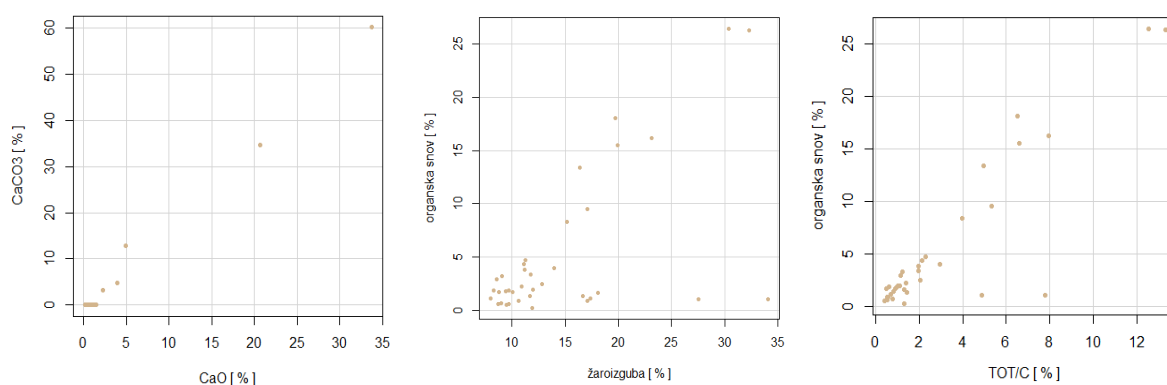


Slika 23: Razporeditev SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 in CaO po globini

Tudi vsebnost MgO se z globino povečuje, vrednosti so v obsegu od 0,77 do 2,1 %, z mediano 1,35 %. V profilu P02 je največja vsebnost v B_{t1} horizontu (1,57 %), a se globlje v horizontu, ki je v stiku z matično kamnino, zmanjša na 0,77 %. Izjema je tudi profil P11, pri katerem se vsebnost MgO iz A_h v E horizont povečuje, nato se proti najglobljemu B_t horizontu zopet zmanjšuje (preglednica 11).

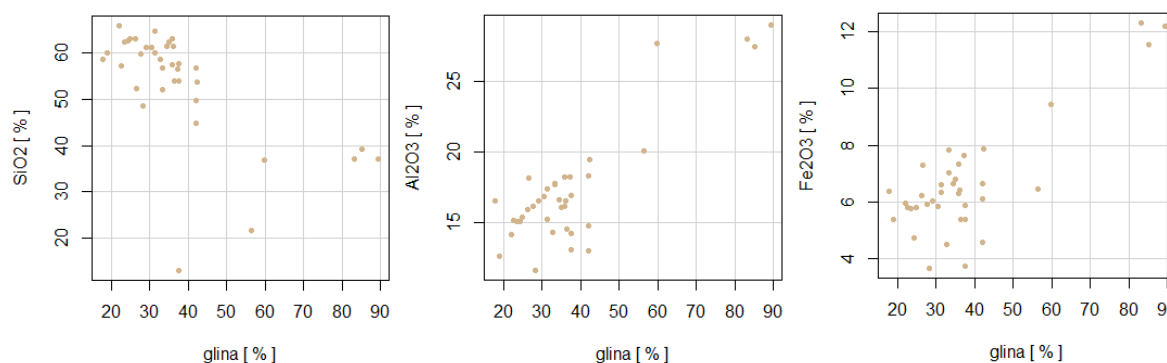
Vrednosti Na_2O so majhne, med 0,04 in 1,19 % (mediana = 0,76 %). Vsebnost Na_2O se od A proti E horizontu rahlo povečuje, potem pa se v B_t horizontih zmanjšuje. V posameznem profilu so največje vsebnosti določene v E horizontih, najmanjše v spodnjih B_t horizontih. Vsebnost K_2O v horizontih je v razponu med 0,63 in 2,34 % (mediana = 1,71 %). V profilih P01, P03, P04 in P12 se vsebnost K_2O z globino povečuje, le v profilih P02, P05 in P11 se v B_t horizontih prične zmanjševati (preglednica 11).

V eluvijalnih horizontih se kopiči TiO_2 , katerega vsebnost se z globino v B_t horizontih zmanjšuje. Vrednosti TiO_2 so v razponu od 0,75 do 2,07 % (mediana = 1,16 %). Vrednosti P_2O_5 so v večini največje v zgornjih humusno akumulativnih horizontih. P_2O_5 je v razponu od 0,05 do 0,16 %, z mediano 0,1 %. Tudi MnO je v tleh malo; med 0,02 in 0,28 (mediana = 0,11 %). V šestih proučevanih profilih vsebnost MnO z globino narašča, le v profilu P02 je trend obrnjen. Pomemben podatek pri geokemijskih analizah je vrednost žaroizgube (LOI), ki daje informacijo o tem, koliko snovi je med visokotemperaturnim segrevanjem izhlapelo iz vzorca; CO_2 iz organske snovi in karbonatov ter H_2O . Vrednost žaroizgube v splošnem pada z globino. Delež LOI je med 8 in 31,4 %, z mediano 11,8 %. V A horizontih je delež največji, saj je v njih tudi največ organske snovi. Izjemi sta profila P02 in P05, kjer se LOI v spodnjih horizontih poveča. V P02 je v B_{t3} horizontu delež LOI večji kot v A horizontu, kar sovпада s povečanimi vrednostmi CaCO_3 . Korelacija med LOI in CaO ter CaCO_3 je statistično značilna ($r = 0,58$ oz. $0,55$). Značilna je tudi korelacija med TOT/C in organsko snovjo ($r = 0,9$). Žaroizguba (LOI) je v pozitivni korelaciji z organsko snovjo ($r = 0,63$). Velike vsebnosti CaO so povezane s prisotnostjo kalcijevega karbonata (slika 24).



Slika 24: Povezava med CaO in CaCO_3 (levo) ter med organsko snovjo in žaroizgubo (desno)

SiO_2 je statistično značilno obratnosorazmerno povezan z glineno frakcijo ($r = -0,63$) ter K_2O ($r = 0,76$). Al_2O_3 je močno povezan z glino ($r = 0,86$) ter obratnosorazmerno s finim meljem ($r = -0,72$), podobno tudi Fe_2O_3 (slika 25).



Slika 25: Povezave med glino in oksidi SiO_2 , Al_2O_3 ter Fe_2O_3

Preglednica 11: Vrednosti oksidov in žaroizgube po horizontih v izpranih tleh (%)

Ped. prof.	Hor.	Globina [cm]	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Na ₂ O [%]	K ₂ O [%]	TiO ₂ [%]	P ₂ O ₅ [%]	MnO [%]	LOI [%]
P01	A _h	0–5	48,49	11,63	3,69	1,50	1,05	0,76	1,23	0,96	0,10	0,06	30,4
	A	15–25	58,71	14,32	4,53	0,99	1,25	0,90	1,43	1,18	0,07	0,04	16,4
	E	25–40	62,58	15,05	4,76	0,98	1,32	0,98	1,52	1,24	0,05	0,04	11,3
	EB _t	40–74	61,24	16,81	5,83	1,07	1,51	0,94	1,64	1,20	0,05	0,06	9,4
	B _t	74–120	53,73	19,40	7,88	1,26	1,74	0,73	1,77	1,09	0,06	0,10	12,0
P02	A _h	0–7	49,70	14,78	6,11	1,05	1,02	0,75	1,31	1,73	0,13	0,09	23,1
	E	7–25	56,88	17,78	7,84	0,65	1,18	0,83	1,46	2,07	0,09	0,06	10,9
	B _{t1}	25–38	36,81	27,67	9,45	2,25	1,57	0,24	1,45	1,90	0,10	0,05	18,1
	B _{t2}	38–54	21,47	20,03	6,47	20,62	1,23	0,07	1,02	1,25	0,07	0,03	27,5
	B _{t3}	54–74	12,97	13,03	3,76	33,69	0,77	0,04	0,63	0,79	0,05	0,02	34,1
P03	A _h	0–5	53,97	14,24	5,40	1,04	1,35	0,95	1,55	1,14	0,11	0,11	19,9
	AE	5–16	57,37	15,15	5,80	0,87	1,41	0,98	1,62	1,21	0,10	0,10	15,2
	E	16–50	58,61	16,53	6,39	0,72	1,58	1,03	1,71	1,24	0,07	0,09	11,8
	B _t	50–110	56,68	18,21	7,65	0,82	1,88	0,98	1,96	1,18	0,08	0,16	10,1
	BC	110–160	52,40	18,14	7,31	3,95	1,94	0,87	2,08	1,09	0,12	0,16	11,7
	CB	160–270	52,10	17,70	7,03	4,94	1,85	0,73	2,07	1,12	0,14	0,14	11,9
P04	A _h	0–3	53,89	14,55	5,38	0,82	1,36	1,00	1,71	1,09	0,12	0,12	19,7
	E	3–35	59,96	16,13	5,92	0,62	1,57	1,14	1,93	1,19	0,09	0,10	11,1
	EB	35–60	61,33	16,49	6,04	0,63	1,63	1,19	2,00	1,21	0,07	0,11	9,1
	B _t	60–110	60,21	17,34	6,62	0,67	1,90	1,19	2,14	1,16	0,07	0,12	8,3
	B _{tC}	110–170	57,41	18,23	7,34	1,08	2,10	1,17	2,34	1,06	0,10	0,15	8,8
P05	A _h	0–4	44,92	12,97	4,60	1,11	0,97	0,45	1,15	1,12	0,14	0,12	32,3
	E1	4–35	57,74	16,86	5,90	0,50	1,22	0,57	1,42	1,46	0,07	0,06	14,0
	E2	35–45	56,75	18,27	6,66	0,47	1,32	0,52	1,47	1,41	0,06	0,07	12,8
	B _{t1}	45–90	39,27	27,39	11,55	0,65	1,34	0,14	1,16	1,30	0,10	0,13	16,7
	B _{t2}	90–131	37,00	28,94	12,19	0,39	1,35	0,10	1,16	1,28	0,10	0,14	17,1
	B _{t3}	131–168	37,08	27,94	12,29	0,57	1,38	0,10	1,18	1,35	0,09	0,28	17,4
P011	A	0–10	62,35	15,02	5,76	0,32	1,32	0,58	1,87	1,14	0,10	0,10	11,2
	AE	10–25	63,28	15,35	5,80	0,33	1,38	0,61	1,96	1,17	0,09	0,11	9,7
	E	25–40	63,12	15,92	6,23	0,31	1,51	0,59	2,06	1,16	0,08	0,11	8,7
	B _{t1}	40–70	61,57	16,57	6,64	0,23	1,41	0,42	1,93	1,13	0,10	0,12	9,7
	B _{t2}	70–100	61,42	16,53	6,43	0,18	1,17	0,32	1,81	1,14	0,12	0,12	10,6
	B _{t3}	100–130	63,07	16,12	6,31	0,16	1,16	0,30	1,84	1,14	0,11	0,13	9,5
P12	A _h	0–5	60,03	12,58	5,40	0,24	0,93	1,03	1,55	0,76	0,16	0,05	17,1
	E	5–20	65,93	14,10	5,97	0,25	1,10	1,10	1,75	0,82	0,11	0,14	8,6
	B _{t1}	20–38	64,89	15,19	6,36	0,23	1,17	1,02	1,86	0,80	0,11	0,12	8,0
	B _{t2}	38–55	62,39	16,02	6,80	0,33	1,28	1,03	1,97	0,75	0,12	0,18	9,0

4.4.1.1 Razlike med horizonti A, E in B_t v vsebnostih glavnih oksidov

V preglednici 12 so prikazane povprečne vrednosti glavnih oksidov po horizontih A, E in B_t. SiO₂ je s povprečno vrednostjo 60,4 % največ v E horizontu, najmanj v B_t horizontu z 48,9 %. Med horizonti ni statistično značilnih razlik. Al₂O₃ je v povprečju najmanj v A horizontu, medtem ko sta njegovi vrednosti v E in B_t horizontih značilno večji. Tudi Fe₂O₃ je najmanj v A, največ v B_t horizontu. Vrednost Fe₂O₃ v E horizontu ni statistično značilno različna od vrednosti v A in B_t horizontih. CaO je v zgornjih horizontih v povprečju pod 1 %, medtem ko je v B_t njegovo povprečje 4,2 % (ni statistično značilnih razlik). MgO je v E in B_t horizontih značilno več kot v A horizontu, kjer ga je v povprečju 1,2 %. Na₂O je v zgornjem delu tal (A, E) povprečno nad 0,8 % in se značilno razlikuje od B_t horizonta (0,56 %). Pri K₂O in TiO₂ med horizonti ni statistično značilnih razlik. Vsebnost P₂O₅ v tleh je zelo nizka, med horizonti obstajajo značilne razlike. MnO je največ v B_t horizontu, najmanj v E horizontu (med E in B_t obstajajo značilne razlike). Žaroizguba je v A horizontih statistično značilno večja kot v E in B_t horizontih (priloga H).

Preglednica 12: Povprečne vrednosti glavnih oksidov (%) po horizontih A, E in B_t ± standardna napaka (A: n = 10, E: n = 10, B_t: n = 17); enaka črka (a, b, c) v stolpcu pomeni, da med pripadajočima horizontoma ni statistično značilnih razlik (p < 0,05)

Horizont	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]
A (n = 10)	55,3 ± 3,7 a	14,1 ± 0,4 a	5,2 ± 0,2 a	0,8 ± 0,1 a	1,2 ± 0,2 a
E (n = 10)	60,4 ± 0,9 a	16,4 ± 0,4 b	6,2 ± 0,2 ab	0,6 ± 0,1 a	1,4 ± 0,2 b
B _t (n = 17)	48,9 ± 1,9 a	19,7 ± 1,2 b	7,8 ± 0,6 b	4,2 ± 2,2 a	1,5 ± 0,4 b

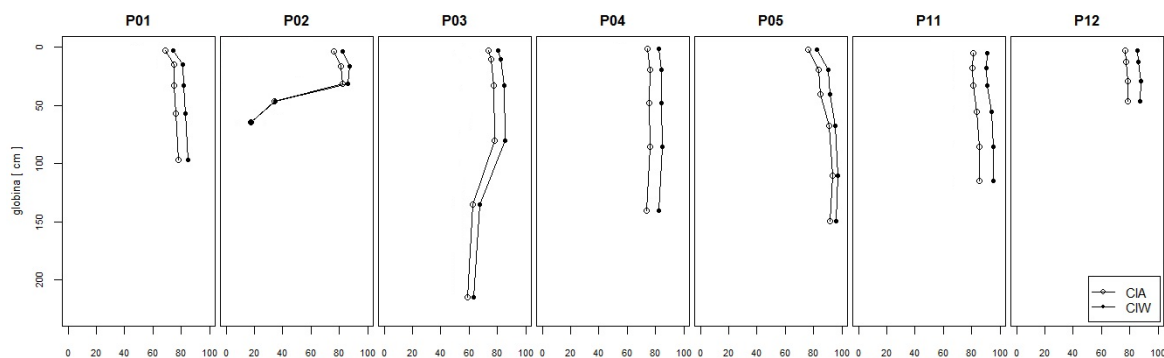
Horizont	Na ₂ O [%]	K ₂ O [%]	TiO ₂ [%]	P ₂ O ₅ [%]	MnO [%]
A (n = 10)	0,81 ± 0,06 b	1,54 ± 0,08 a	1,15 ± 0,08 a	0,11 ± 0,008 c	0,09 ± 0,01 ab
E (n = 10)	0,89 ± 0,08 b	1,70 ± 0,07 a	1,30 ± 0,10 a	0,07 ± 0,006 a	0,08 ± 0,01 a
B _t (n = 17)	0,56 ± 0,10 a	1,67 ± 0,12 a	1,15 ± 0,06 a	0,09 ± 0,006 b	0,12 ± 0,01 b

4.4.1.2 Geokemični indikatorji

Na sliki 26 sta prikazani vrednosti indeksa CIA in CIW po globini za vsak pedološki profil posebej. Indeksa preperevanja sta najmanjša v spodnjih horizontih profila P02 (< 35), kar je povezano z velikimi vsebnostmi CaO oziroma s prisotnostjo CaCO₃. Podobna situacija je tudi v profilu P03, vendar manj izrazita. Brez upoštevanja horizontov iz P02 so razlike v povprečni vrednosti CIA indeksa med horizonti zelo majhne. Vrednosti v tleh so v razponu od 58,7 do 93,1, s povprečjem 78,3 (brez B_{t2} in B_{t3} iz P02).

Pri CIW indeksu se v profilu P02 kaže enaka anomalija: vrednosti v B_{t2} in B_{t3} sta pod 35. Vrednosti indeksa so večje kot pri CIA, saj CIW ne vključuje K₂O (Harnois, 1988). Vrednosti so v razponu med 63,4 in 97, s povprečno vrednostjo 85,7 (brez B_{t2} in B_{t3} iz P02). Razlike med horizonti A, E in B_t so zelo majhne, kar je razvidno iz slike 26.

Najbolj preperela sta profila P05 in P11 s povprečnimi CIW vrednostmi nad 90 (B_t horizonti nad 95). Profila P02 in P03 imata nizke indekse, saj vrednosti CaO niso korigirane z vsebnostjo prostih karbonatov v tleh. Profil P12 (mlajša terasa) ima v primerjavi s profilom P11 (starejša terasa) manjši indeks preperelosti. Profila P04 in P01 sta si podobna, s CIW vrednostjo okoli 83 (preglednica 13 in slika 26).

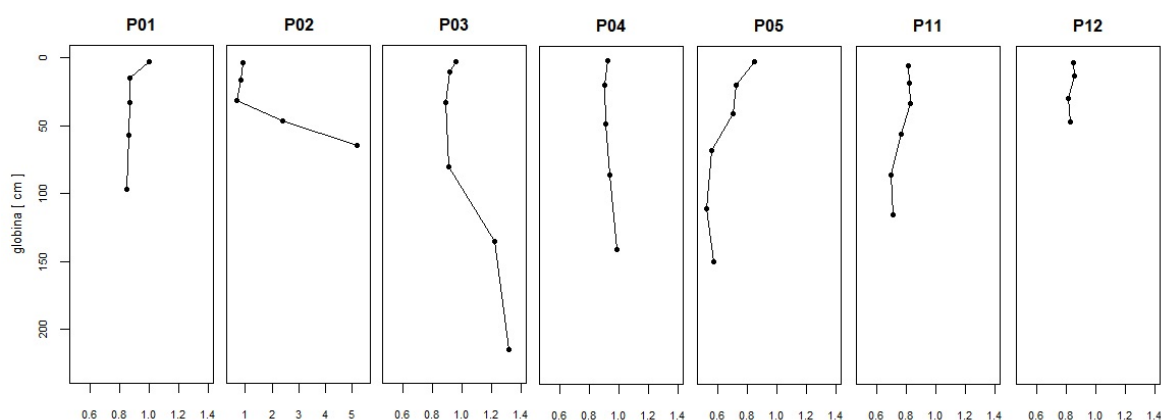


Slika 26: Indeks preperavanja (CIA in CIW) po globini za posamezen profil (molarna razmerja)

Preglednica 13: Tehtana povprečna vrednost indeksa za posamezen profil (utež je globina)

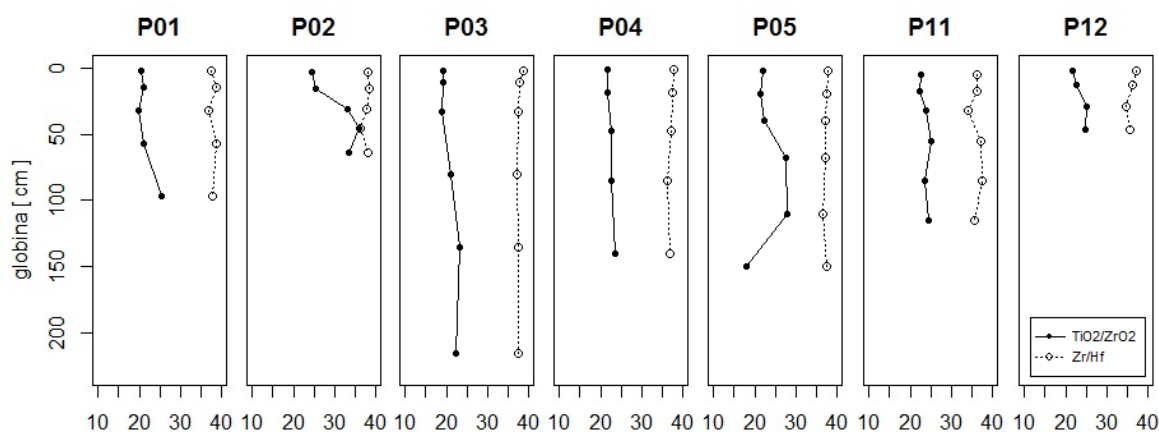
Indeks	P01	P02	P03	P04	P05	P11	P12
CIA	76,2	53	66,9	75,2	89,6	83,6	78
CIW	82,8	56	72,9	83,6	94,3	93,5	87
ICV	0,86	2,3	1,13	0,94	0,6	0,75	0,8

Indeks kompozitne spremenljivosti se v profilih P01, P05, P11 in P12 z globino zmanjšuje, kar pomeni, da se relativna vsebnost Al_2O_3 z globino povečuje. Nasprotno se v P02, P03 in P04 vrednosti ICV z globino povečujejo. Profil P12 ima v primerjavi s profilom P11 večjo vrednost ICV. Najmanjši indeks kompozitne variabilnosti je v profilu P05 z vrednostjo 0,6 ter v P11 z vrednostjo 0,75 (slika 27).



Slika 27: Indeks kompozitne spremenljivosti (ICV) po globini za posamezen profil (molarno razmerje)

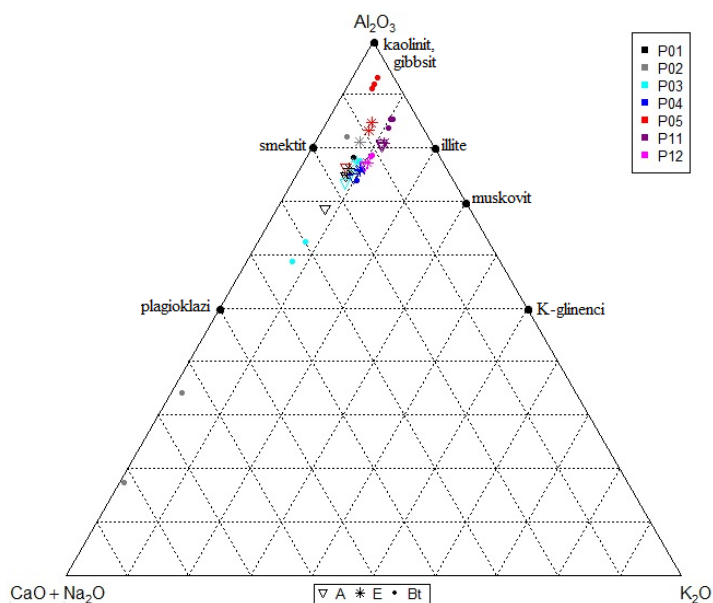
Razmerje $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ po globini v profilih niha. V profilih P02 in P05 so razlike najbolj očitne. Z globino se razmerje v P01, P03, P04, P11 in P12 rahlo poveča, medtem ko je v P02 razlika relativno velika. Glede na zgornje horizonte, se v horizontih B_{t1} in B_{t2} v profilu P05 razmerje $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ poveča, nato se v B_{t3} horizontu zopet zmanjša. Vrednosti razmerja Zr/Hf so v razponu od 34 do 39 in so z globino razmeroma konstantne. Manjši skok je opazen v profilih P11 in P12, ki se nahajata na konglomeratu (slika 28).



Slika 28: Razmerja $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ in Zr/Hf po globini za posamezen profil

4.4.1.3 A-CN-K diagram

A-CN-K diagram prikazuje trend preperevanja za posamezen proučevani talni profil (Nesbitt in Young, 1984) (slika 29). Najbolj preperel je profil P05, katerega horizonti ležijo na območju med smektitom in kaolinitom/gibbsitom. Močno preperel je tudi profil P11, ki je pomaknjen proti illitu/muskovitu. Glavnina horizontov kaže trend smektita proti kaolinitu/gibbsitu, vendar so nekoliko pomaknjeni proti osi muskovit/illit. B_t horizonti so v primerjavi z E horizonti večinoma pomaknjeni bolj proti oglišču Al_2O_3 .



Slika 29: A-CN-K diagram za proučevane profile (molarna razmerja)

4.4.2 Sledne prvine

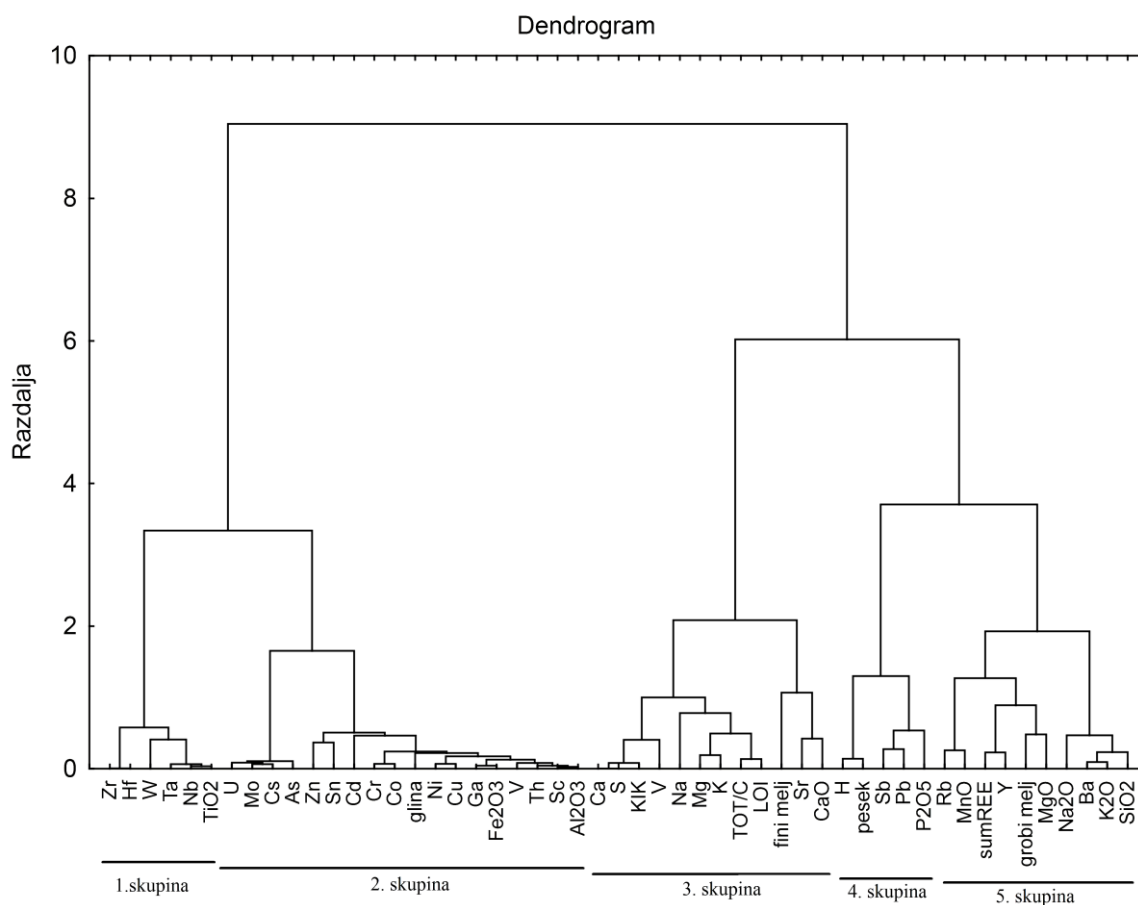
V tleh smo določili vsebnosti 40 slednih elementov, od tega 14 redkih zemelj. Pri večini je opazen trend kopičenja v B_t horizontih. Statistično značilno pozitivno povezanost z glineno frakcijo ($r > 0,7$) kažejo Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Mo, Ni, Sc, Th in V. Z Al_2O_3 so pozitivno korelirani As, Cr, Cs, Cu, Sn, Zn ($r > 0,7$) ter močno korelirani Co, Ga, Ni, Sc, Th in V ($r > 0,9$). Z Fe_2O_3 so pozitivno korelirani Cr, Ni, Sn, V, Zn ($r > 0,7$) in Co, Cu, Ga, Sc in Th ($r > 0,9$) (priloga H). Primerjava horizontov (A, E, B_t) je pokazala, da med zgornjima (A, E) in spodnjim (B_t) horizontom obstajajo statistično značilne razlike v vsebnosti slednih prvin (priloga H).

Vsebnosti Ni in Sc se z globino povečujejo, med A-E, E- B_t in A- B_t obstajajo statistično značilne razlike. Pri As, Cs, Cu in Rb obstajajo značilne razlike med zgornjim (A,E) in spodnjim delom tal (B_t). Vsebnost Co, Cr, Ga, Ni in Y se značilno razlikuje le med A in B_t horizonti, medtem ko so pri Cd in Zn razlike značilne le med E in B_t (priloga H). Vsebnost posameznega elementa se povečuje v smeri od zgornjega proti spodnjemu horizontu.

Pri Ba, Mo, Nb, Sn, Sr, Ta in W ni statistično značilnih razlik med horizonti (priloga H). Ba je pozitivno povezan s K_2O ($r = 0,91$). Zr kaže povezanost s Hf ($r = 0,99$), s TiO_2 ($r = 0,79$), z Nb ($r = 0,79$) in s Ta ($r = 0,74$). S TiO_2 sta močno korelirana predvsem Nb ($r = 0,96$) in s Ta ($r = 0,94$). Tudi W kaže povezanost z TiO_2 , Hf, Nb, Ta in Zr. Vsebnost Zr in Hf v E horizontu je značilno večja kot v B_t horizontu (priloga H).

Na sliki 30 so prikazane spremenljivke združene v skupine po principu podobnosti. Hierarhično drevo prikazuje pet skupin spremenljivk, ki so medsebojno povezane. V prvo skupino so razvrščene prvine Zr, Hf, W, Ta, Nb in TiO_2 , ki jih povezujemo z obstojnimi minerali. V drugo skupino so razvrščeni U, Mo, Cs, As, Zn, Sn, Cd, Cr, Co, glina, Ni, Cu, Ga, Fe_2O_3 , V, Th, Sc, Al_2O_3 – zanje je značilno premeščanje v iluvijalni horizont. Ca^{2+} , S vrednost, KIK, V vrednost, Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , TOT/C, LOI, fini melj, Sr, CaO so razvrščeni v tretjo skupino, ki je vezana na karbonat oziroma njegovo raztapljanje. H⁺, pesek, Sb, Pb in P_2O_5 so uvrščeni v četrto skupino (povezani z organskimi in humusno akumulativnimi horizonti). V peto skupino (prvine povezane z glinenci) so razvrščeni Rb, MnO, sumREE, Y, grobi melj, MgO, Na_2O , Ba, K_2O in SiO_2 .

Vsebnost Pb v A horizontu je statistično značilno večja od vsebnosti v E in B_t horizontu. Vsebnost Sb je najmanjša v E horizontu, medtem ko je v A in B_t horizontih značilno večja. Redke zemlje (razen Lu) so koncentrirane v B_t horizontih v katerih so določene največje vsebnosti. Najmanjše vsebnosti so v A horizontih in so tudi značilno različne od B_t horizontov (priloga H).



Slika 30: Dendrogram za 51 spremenljivk - Wardova metoda (mera razdalje: 1-Pearson r)

4.4.3 Primerjava med tlemi v Leskovi dolini in tlemi na savskih terasah

Razlike med skupinama tal smo preverjali z Mann-Whitney testom pri stopnji značilnosti 0,05 (priloga I). Primerjava med skupinama izpranih tal iz Leskove doline in s savskih teras je pokazala razlike v vsebnostih nekaterih glavnih oksidov in slednih prvin ter razlike v pedoloških lastnostih tal.

Izprana tla v Leskovi dolini imajo statistično značilno višji pH, več organske snovi in višje CN razmerje, več melja in gline, večje vsebnosti Ca^{2+} , Mg^{2+} in Na^+ , višjo S in V vrednost, večji delež SiO_2 , CaO , TiO_2 in LOI, večje koncentracije Cd, Co, Cr, Cs, Hf, Mo, Nb, Ni, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zr in redkih zemelj, višji ICV indeks ter razmerje Zr/Hf. Nasprotno imajo izprana tla na savskih terasah več peska, H^+ , K_2O , P_2O_5 in višja indeksa (CIA, CIW) (priloga I).

5 RAZPRAVA

5.1 RAZŠIRJENOST IZPRANIH TAL

Po podatkih pedološke karte 1 : 25 000 izprana tla v Sloveniji pokrivajo dobrih 2,3 % ozemlja. Največ jih je v Beli krajini, kjer so znana tudi kot steljniška tla (Stritar, 1991), ter v Dolenjskem podolju in na Gorenjskem, predvsem na konglomeratnih terasah reke Save. Pojavljajo se tudi v Ribniško-Kočevskem podolju ter razpršeno po Sloveniji. Ugotovili smo, da se izprana tla pretežno pojavljajo na apnencih in dolomitih. V tretjini primerov matično podlago predstavlja konglomerat ali nevezane sedimentne kamnine, v manj kot 1,5 % laporovec, karbonatna morena ali silikatne sedimentne kamnine. Velika večina izpranih tal se pojavlja v pasu med Belo krajino in Jesenicami (slika 6), kar je povsem v skladu z razporeditvijo padavin v Sloveniji. V zahodni Sloveniji z več padavinami je intenziteta izpiranja višja kot v tleh severovzhodne Slovenije.

5.2 PEDOLOŠKE ZNAČILNOSTI IZPRANIH TAL

V prvem delu naloge smo pregledali in statistično analizirali 49 profilov izpranih tal, ki so dostopni v pedološki bazi podatkov. Pri globini tal je potrebno upoštevati, da večino profilov ni bilo izkopanih do matične podlage, zato spodnje globine brez C ali R horizonta niso zanesljiv podatek. Pri globokih tleh se za potrebe klasifikacije običajno izkoplje le od 100 do 150 cm globine. Ugotovili smo, da je 75 % izpranih tal globljih od 75 cm, kar jih uvršča med globoka tla (Prus in sod., 2015). Kot osamelci so se pojavili trije profili, ki so globlji od 210 cm. Najgloblji, ki ga je pri svojih raziskavah proučevala Vidic (1989), presega 4 m globine in je bil izkopen na starejši mindelski terasi. V večini izpranih tal si horizonti sledijo v tipičnem zaporedju A-E-B_t. Tla imajo lahko tudi znotraj enega profila več horizontov z identičnimi pedogenetskimi znaki (npr.: A-E₁-E₂-B_{t1}-B_{t2}). Znotraj izpranih tal se kot najdebelejši pojavljajo B_t horizonti (mediana = 41,5 cm), sledijo E (mediana = 27 cm), A (mediana = 12 cm) in O_h/A_h horizonti (mediana = 5 cm). Izprana tla so razvojno starejša, kar se kaže tudi v večji debelini B_t horizontov v primerjavi z debelino E in A horizontov. Kot je ugotovila Vidic (1989), se B horizonti s starostjo debelijo, hkrati pa se povečuje tudi skupna globina tal.

V O_h/A_h horizontih prevladuje mrvičasta struktura, kar je značilno za gozdna tla z veliko vsebnostjo organske snovi, medtem ko se v A pojavljata oreškasta in grudičasta struktura. E horizonti imajo pretežno poliedrično strukturo, pojavljata se tudi grudičasta in oreškasta. Zaradi izpiranja bazičnih kationov, predvsem dvovalentnega Ca iona, so strukturni agregati v E horizontih običajno slabše izraženi in manj obstojni. V B_t horizontih se v večini pojavlja poliedrična struktura, ki je značilna za kambične horizonte, predvsem na apnencih in dolomitih (Grčman in Zupan, 2008). Zaradi izpiranja glinenih mineralov so spodnji horizonti gosti in/ali zbiti.

Glede na teksturo so izprana tla po SKT (Prus in sod., 2015) v večini uvrščena med ilovnata (n = 27) ali glinasta (n = 18) tla, v štirih primerih med meljasta. Zgornji horizonti so v primerjavi s spodnjimi teksturno lažji, kar je posledica premeščanja glinenih mineralov. V B_t in BC horizontih je mediana vsebnosti gline 47 oz. 48 %. V eluvijalnem horizontu je mediana vsebnosti gline 28 %, v A horizontu 20 %.

Med horizonti A, E in B_t ter BC obstajajo statistično značilne razlike v vsebnosti gline. V prehodnem delu iz eluvijalnega horizonta v prvi iluvijalni horizont so razlike največje.

Na račun povečevanja deleža gline v spodnjih horizontih je v zgornjem delu profila (A, E) statistično značilno več melja kot v spodnjih B_t ali BC horizontih. Razmerja med meljem in glino so v zgornjih A in E horizontih zaradi izpiranja gline višja, v B_t in BC horizontih nižja. Povezava med finim meljem in glino za vse podatke skupaj je linearna ($r = -0,74$), kar v B_t horizontih kaže na možnost prehajanja finega melja v glino (Vidic, 1989). V izpranih tleh je delež peska v A, E in B_t horizontih majhen (mediana < 12 %), med E in B_t horizonti tako ni statistično značilnih razlik.

Slovenska klasifikacija tal (Prus in sod., 2015) in Atlas gozdnih tal (Urbančič in sod., 2005) za razred eluvijalno-iluvijalnih tal predvidevata, da mora imeti iluvijalni v primerjavi z eluvijalnim horizontom vsaj 20 % več gline. Nikjer ni mogoče zaslediti ali je s tem mišljena relativna ali absolutna razlika v odstotkih. Kadar imamo na primer v E horizontu 25 % gline, jo mora imeti B_t horizont vsaj 45 %, kar je za 1,8-krat več. Če bi upoštevali ta kriterij, bi morali iz nabora podatkov izključiti kar 25 profilov (51 %), ki so določeni kot izprana tla. Ti so bili klasificirani v obdobju med letoma 1974 in 1998 na podlagi stare Jugoslovanske klasifikacije tal, ki je za izprana tla določala, da mora biti razlika v vsebnosti gline v prid B_t horizonta zaznavna s prstnim poskusom (Škorič in sod., 1985). V povprečju imajo B_t horizonti, ki ležijo neposredno pod E horizonti, za 1,6-krat več gline. Kar 75 % izpranih tal dosega količnik večji od 1,38, tako da tudi na podlagi WRB klasifikacije (World ..., 2015) lahko večino tal uvrstimo v eno od referenčnih talnih skupin z argičnim horizontom. Večino proučevanih talnih profilov bi med izprana tla uvrstili tudi po nemški (Arbeitskreis für Bodensystematik ..., 1998), avstrijski (Nestroy in sod., 2011) ali ameriški (Keys to Soil ..., 2014) klasifikaciji tal. Razporeditev gline po horizontih kaže na očiten proces ilimerizacije oz. premeščanja, kar potrjujejo tudi glinene prevleke v B_t horizontih.

Izprana tla imajo v zgornjem delu tal običajno nizek pH. Vrednost pH je najnižja v organskih in A_h horizontih, saj se v zgornjem sloju akumulira organska snov. Podoben pH je tudi v E horizontu, kar pripisujemo izpiranju bazičnih kationov. Kopičenje baz in/ali vpliv karbonatne matične podlage je vzrok za večje vrednosti v spodnjih B_t in BC horizontih. Statistično značilne razlike obstajajo med O_h/A_h in BC ter med E in BC horizonti. Vsebnost organske snovi je pričakovano najmanjša v O_h/A_h horizontih, saj se na površju gozdnih tal akumulira veliko organske snovi. V A horizontih je povprečna vsebnost še vedno velika, a se z globino zmanjšuje. V nekaterih spodnjih horizontih so določene relativno velike vsebnosti, kar pripisujemo prisotnosti karbonatov v tleh ali odvzemu vzorca skupaj z organsko snovjo po rovih korenin.

Izmed bazičnih kationov je v izpranih tleh največ Ca²⁺, sledijo Mg²⁺, K⁺ in Na⁺. Njihova razporeditev po profilu je značilna za izprana tla. Zaradi biološkega kroženja je največ baz v organskih in humusno akumulativnih horizontih bogatih z organsko snovjo (Čirič, 1984). Izpiranje baz se ponekod kaže že v A horizontih, najvišjo stopnjo pa doseže v E horizontih, kjer so vrednosti statistično značilno manjše kot v horizontih nad in pod njim. Trend razporeditve z globino po horizontih je za vse bazične katione podoben. Vzrok za razmeroma visoke vrednosti v BC horizontih je vpliv matične podlage.

Kationska izmenjalna kapaciteta (KIK) je v največji meri odvisna od vsebnosti in vrste glinenih mineralov, vsebnosti organske snovi in vrednosti pH (Blume in sod., 2016). Zaradi vpliva organske snovi so vrednosti KIK največje v O_h/A_h horizontih in so statistično značilno večje od vrednosti v vseh drugih horizontih. Zaradi nizkega pH in premeščanja gline v nižje plasti je KIK v eluvijalnih horizontih najmanjša. Povečanje KIK v B_t in BC horizontih razlagamo s povečanjem glinene frakcije in/ali z dvigom pH. Horizonti v izpranih tleh so večinoma distrični, saj so njihove V vrednosti pod 50 %. Statistično značilna najmanjša povprečna V vrednost je izračunana za E horizont, kar je v skladu s pričakovanji. Razmeroma visoke V vrednosti v BC horizontih pripisujemo vplivu matične podlage.

Vsebnosti organskega ogljika in dušika se z globino profilov zmanjšujejo. CN razmerje v zgornjih O_h/A_h horizontih je v povprečju nad 20, kar je značilno za gozdna tla s prhninastim ali surovim humusom. Z globino se razmerje zmanjšuje in v B_t horizontih znaša povprečno 9,4. Tudi vsebnosti izmenljivega fosforja (P_2O_5) in kalija (K_2O) se z globino po profilu zmanjšujejo. S stališča kmetijske stroke so njune koncentracije v izpranih tleh izjemno majhne.

Po SKT (Prus in sod., 2015) je barva eden od ključnih znakov za identifikacijo eluvijalnega horizonta, ki predstavlja diagnostičen horizont za razred eluvijalno-iluvijalnih tal. Analiza barv horizontov je pokazala, da so E horizonti svetlejši od ostalih, in da pri B_t horizontih prevladujejo rdeče-rjavi barvni odtenki, kar lahko razlagamo s prisotnostjo Fe oksidov, ki se kopičijo v iluvijalnih horizontih.

Preverili smo, ali obstajajo razlike med izpranimi tlemi v gozdu in tistimi pod kmetijsko rabo. Kot statistično značilne so se pokazale razlike v pH in V vrednosti. V zgornjih 30 cm izpranih tal pod kmetijsko rabo so vrednosti pH in zasičenosti z bazičnimi kationi višje kot pri tleh v gozdu. Večje vrednosti so lahko posledica gnojenja ali apnenja. Izprana tla v kmetijski rabi v večini preraščajo travniki, saj s stališča kmetijstva izprana tla veljajo za slabša tla (Stritar, 1991), zato njivska raba ni pogosta. Večje vrednosti v zgornjem delu »travniških tal« so lahko tudi posledica višje stopnje biološke migracije.

Skelet ali kamninski drobir je prisoten v polovici izpranih tal. Največ ga je v B_t horizontih tal na apnencu in dolomitu, na konglomeratu in na flišnih kamninah. Kot posledica tlotvornih dejavnikov predvsem v B_t horizontih nastajajo novotvorbe: glinene prevleke in Fe, Mn prevleke ter konkrecije.

Po WRB klasifikaciji smo argični horizont določili le 40 profilom izpranih tal iz pedološke baze. Ostalih 9 profilov ne zadošča kriteriju stopnje teksturne diferenciacije, ki predvideva da je v iluvijalnem v primerjavi z eluvijalnim horizontom vsaj za količnik 1,4-krat več gline. Pregled je pokazal, da v Sloveniji prevladujejo luvisoli in akrisoli, pojavljajo se tudi alisoli in liksisoli. Luvisoli se v večini pojavljajo na apnencih in dolomitih kot tudi na grušču ter so se razvili iz kambičnih tal. Večja vsebnost glinene frakcije vpliva na visoko vrednost KIK in velik delež bazičnih kationov v argičnem horizontu. Akrisoli se pojavljajo na različnih matičnih podlagah, in imajo v argičnem horizontu majhno KIK in majhen delež bazičnih kationov.

Po Blume in sod. (2016) se akrisoli razvijejo na silikatnih kamninah ali iz luvisolov z močno preperelimi glinami, kar bi lahko potrdili tudi za naša tla. Na apnencih in dolomitih, na sedimentih ter na moreni se pojavljajo tudi alisoli, katerih argični horizont je v primerjavi z luvisoli distričen. Alisoli nastajajo na silikatnih matičnih podlagah ali pa se razvijejo iz močno izpranih luvisolov, kjer B_t horizonti še niso močno prepereli. Kot zadnji se pojavljajo še liksisoli, ki imajo nizko vrednost KIK in visok delež bazičnih kationov.

5.2.1 Pedološke lastnosti izbranih tal Leskove doline, Hraš in Prebačevega

Skupna lastnost proučevanih izpranih tal na apnencu in dolomitu je nizek delež peska in relativno visok delež melja. V tleh se kažejo tipični znaki izpranosti: a) teksturna diferenciacija, b) izpiranje bazičnih kationov iz E horizontov in kopičenje v B_t horizontih, c) nizek pH v zgornjem delu tal, d) višji pH v B_t in BC horizontih zaradi kopičenja baz in vpliva matične podlage. V nekaterih tleh je še prisoten CaCO₃. Po WRB klasifikaciji smo le dva profila tal (P01, P02) uvrstili med luvisole. Ostali trije (P03, P04, P05) imajo v diagnostičnih B_t horizontih velik delež baz, vendar nizko KIK, zato so uvrščeni med liksisole. Ti so značilni za območja z intenzivnim izpiranjem in preperevanjem ter imajo običajno večje količine kaolinita (Blume in sod., 2016), katerega prisotnost smo v profilih P04 in P05 potrdili tudi z mineraloško analizo.

Talna profila P11 in P12, ki se nahajata na terasah reke Save, imata relativno visoke deleže peska, kar gre pripisati vplivu matične podlage. Tla so izjemno kislja (pH med 3,8 in 4,6) ter močno izprana, kar se še posebej odraža v tleh na starejši terasi (P11). Talna profila sta tipična predstavnika akrisolov, ki imajo v diagnostičnih B_t horizontih nizko KIK in nizko V vrednost. Podobno kot liksisoli so akrisoli močnejše preperela izprana tla. Značilni so za območja humidne klime, medtem ko se liksisoli običajno pojavljajo na območju dinarskega krasa v Mediteranu (Blume in sod., 2016).

5.3 MINERALNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL

Na podlagi semikvantitativne analize smo ugotovili, da izprana tla Leskove doline vsebujejo največ kremenca, nato sledijo glineni minerali muskovit/illit, klinoklor, kaolinit ter hematit. Razmerje kremen proti glinenim mineralom se po profilu z globino zmanjšuje, kar nakazuje na izpiranje in kopičenje glinenih mineralov v spodnjih horizontih. Posledica premeščanja je relativno povečanje vsebnosti kremenca v zgornjih A in E horizontih. Od glinenih mineralov v profilu P04 prevladuje muskovit/illit nad klinoklorom in kaolinitom, medtem ko v profilu P05 v B_t horizontih prevlada klinoklor. V profilu izpranih tal (P05) je prisoten tudi hematit, kar se odraža v rdečkasti barvi tal (2.5 YR). Raziskovalci pogosto povezujejo intenzivno rdečo barvo tal s tvorbo hematita, ki naj bi bil vezan na preteklo obdobje tople in suhe klime. V takšnih razmerah je v tleh manj organske snovi, ki bi ovirala proces kristaljenja v hematit, obenem je izpolnjen glavni pogoj; dehidracija (Schwertmann in sod., 1982). V ostalih dveh profilih je hematit določen le v sledovih.

Poleg paleoklimatskih razmer bi v naših primerih k pojavu hematita v iluvijalnih horizontih lahko prispevalo tudi spiranje železovih oksidov in suhe razmere zaradi odtekanja vode (apnenčasta podlaga).

V primeru profila P05, kjer so iluvijalni horizonti zelo slabo kristalinični, sklepamo, da prihaja do sekundarne tvorbe glinenih mineralov iz spranih in že preperelih silicijevih in aluminijevih oksidov (neoformacija).

Tudi v izpranih tleh na savskih terasah, ki jih je opisala Koren (2016), prevladuje kremen. V profilu P12 na mlajši terasi je kremen več v E kot v B_t horizontu pod njim. V iluvijalnem horizontu je določila tudi večje vsebnosti glinenih mineralov (muskovit/ilit, klinoklor) in prisotnost plagioklazov. Na starejši terasi v profilu P11 je kremen največ v spodnjem delu profila, najmanj v E horizontu – najverjetneje zaradi vpliva matične podlage. Prisotni so enaki glineni minerali kot v profilu na mlajši terasi. Mineraloška slika kaže, da se tudi v profilih P11 in P12 glineni minerali kopičijo v B_t horizontih. Med terasama je razlika le v prisotnosti plagioklazov v mlajših tleh, kar pripisujejo manjši stopnji preperelosti ali razlikam v matični podlagi.

5.4 GEOKEMIČNE LASTNOSTI IZPRANIH TAL

5.4.1 Glavni oksidi

V tleh običajno prevladuje SiO₂, kar velja tudi za izprana tla. Z globino po profilu se vsebnost SiO₂ zmanjšuje in sledi vsebnosti kremenca ter deležu grobe frakcije tal. Podobno so za izprana tla ugotavljali Jaworska in sod. (2014), kjer se je SiO₂ kopičil v zgornjih A in E horizontih. Vsebnosti Al₂O₃ in Fe₂O₃ po profilu z globino naraščajo. Oba oksida sta v pozitivni korelaciji z glino. Kot del glinene frakcije se iz zgornjih horizontov premeščata v B_t horizonte. CaO in MgO sta se tekom razvoja že močno izprala iz tal (koncentracija pod 2 %), kar je značilno za razvita tla v humidni klimi (Škorič, 1986).

Izstopajo profili P01, P02 in P03, kjer je v B_t horizontih zaradi vpliva matične podlage še prisoten CaCO₃. V profilu z največ karbonati so spodnji horizonti relativno mladi in neprepereli (niso dekarbonirani), medtem ko pri ostalih dveh v B_t horizontih obstaja verjetnost za stalen dotok karbonatov iz skeleta ali iz kamnine, ki obdaja tla v žepu.

Na₂O je statistično značilno več v zgornjem delu tal kot v B_t horizontih, medtem ko pri K₂O in TiO₂ ni značilnih razlik med horizonti A, E in B_t. Na podlagi metode razvrščanja enot v skupine sklepamo, da sta pesek in grobi melj bogata z Na₂O, K₂O, TiO₂ in SiO₂, ki verjetno predstavljajo ostanke primarnih mineralov (kremen, K-glinenci, Na-plagioklazi, rutil ...). Vsa proučevana tla se nahajajo v gozdu, zato so vsebnosti P₂O₅ nizke. Zaradi bioakumulacije ga je največ v A horizontih (Stritar, 1991). MnO se kopiči v B_t horizontih, kar lahko vodi do nastanka manganovih prevlek ali konkrecij. Mn prevleke so bile identificirane le v spodnjem horizontu profila P05 z relativno visoko vsebnostjo MnO. Delež žaroizgube je največji v horizontih z več organske snovi in v B_t horizontih s CaCO₃.

5.4.2 Geokemični indikatorji, A-CN-K diagram

S pomočjo indeksov CIA (Nesbitt in Young, 1982) in CIW (Harnois, 1988) smo določili stopnjo preperelosti izpranih tal. V izračunih so uporabljeni molarni deleži oksidov. Rezultati so pokazali, da CIW indeks podaja nekoliko večje vrednosti, saj v izračunu, za razliko od indeksa CIA, ne upošteva vsebnosti K_2O . Vrednosti indeksov v tleh so običajno nad 50 in se s preperevanjem povečujejo.

V močno preperelih tleh, kjer na primer prevladujeta klorit in kaolinit, se lahko indeks CIA približa vrednostim blizu 100 (Nesbitt in Young, 1982). V našem primeru vrednosti potrjujejo visoko stopnjo preperelosti izpranih tal. V B_t horizontih se kaže večja preperelost, kar je povezano s kopičenjem glinenih mineralov. Povprečne vrednosti CIW indeksa za izprana tla so visoke (nad 80). Zaradi prisotnosti karbonatov in s tem večje vsebnosti CaO kažeta profila P02 in P03 nižjo stopnjo preperevanja. Kot najbolj preperela sta profila P05 in P11. Tudi ICV indeks s povprečnimi vrednostmi med 0,6 in 1,16 (brez P02) kaže na višjo stopnjo razvitosti izpranih tal (Cox in sod., 1995).

Za preverjanje uniformnosti talnih profilov in ugotavljanje morebitnih litoloških diskontinuitet smo uporabili razmerja TiO_2/ZrO_2 in Zr/Hf , ki se uporabljajo v tovrstnih študijah (Muhs in sod., 2010; Wagner, 2009; Qiao in sod., 2011). Razmerje TiO_2/ZrO_2 z globino po profilu niha, kar lahko razložimo z variacijami v sestavi matične podlage in/ali s selektivnim izpiranjem TiO_2 , ki za razliko od ZrO_2 , očitno ni popolnoma nemobilen. Nihanje TiO_2/ZrO_2 v izpranih tleh na savskih terasah (P11 in P12) razlagamo z variacijami v matični podlagi, saj konglomerat sestavljajo različne kamnine. V večini primerov se razmerje z globino rahlo povečuje, kar povezujemo z izpiranjem TiO_2 , ki sledi izpiranju Fe oksidov (Sudom in Arnaud, 1971; Cornu in sod., 1999). V profilu P05 se razmerje TiO_2/ZrO_2 z globino povečuje (sledi izpiranju), nato se v spodnjem horizontu zaradi vpliva matične podlage zopet zmanjša. Razmerje Zr/Hf je z globino v profilu bolj konstanten, saj sta Zr in Hf v večini vezana na obstojen mineral cirkon, ki je v tleh zelo obtojen in nemobilen. Nihanje Zr/Hf v tleh na konglomeratnih terasah reke Save je najverjetneje posledica variabilnosti v konglomeratni sestavi. Zr/Hf ni odvisen od eluvijalno-iluvijalnih procesov, temveč odraža stopnjo radioaktivnega razpada Zr/Hf v cirkonu in s tem različno poreklo minerala.

A-CN-K diagram, podobno kot CIA in CIW indeksa, podaja informacijo o stopnji preperevanja v tleh. Diagram prikazuje trend preperevanja (Nesbitt in Young, 1984). Večina horizontov je v območju med smektitom in illitom, kar kaže na razvita tla. To smo predhodno lahko potrdili tudi z indeksi preperevanja. V profilu P05 se opazi velika diferenciacija med zgornjim delom tal in B_t horizonti, ki so pomaknjeni proti osi Al_2O_3 , kar nakazuje na visoko stopnjo preperelosti. V primeru profila P02 sta spodnja B_t horizonta pomaknjena v območje plagioklazov, saj vrednosti CaO niso bile korigirane s $CaCO_3$.

5.4.3 Sledne prvine

Vertikalna razporeditev več slednih elementov kaže na znake izpiranja. V B_t horizontih se kopičijo sledne prvine As, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ni, Rb, Sc, Th, U, V, Y, Zn in REE, ki so korelirane z glino, Al₂O₃ in Fe₂O₃. Sklepamo, da se te prvine v nižje sloje izpirajo skupaj z glinenimi minerali in oksidi ter hidroksidi. Obratno je pri Zr in Hf, ki sta vezana na cirkon (Muhs in sod., 2010) in se kopičita v E horizontih.

Na obstojne minerale so vezani tudi TiO₂ (rutil, sfen), Nb (cirkon, niobit) in Ta. Med njimi obstajajo močne povezave, kar nakazuje na njihovo skupno pojavljanje v mnogih odpornih mineralih. Podobne trende razporeditve prvin v izpranih tleh na Poljskem sta našla tudi Gregorauskienė in Kadūnas (2006).

Pri Ba, Mo, Nb, Sn, Sr, Ta in W med horizonti A, E in B_t ni zaznati statistično značilnih razlik v koncentracijah. Ba je močno koreliran z K₂O, kar gre pripisati njegovemu izomorfemu nadomeščanju K⁺ v primarnih mineralih (Salminen in sod., 2005). Pb je edini element, ki ga je v A horizontu v povprečju več kot v B_t horizontu. Veže se v organsko snov in je najverjetneje antropogenega izvora.

5.4.4 Primerjava med lokacijama

Izprana tla na apnencu in dolomitu ter izprana tla na konglomeratu (predvidevamo, da gre za karbonatni konglomerat) lahko med seboj ločimo na podlagi pedoloških in geokemičnih lastnosti. Izprana tla na apnencu in dolomitu imajo večji delež bazičnih kationov, višji pH, več melja in gline, medtem ko imajo tla na savskih terasah večje vsebnosti peska. Med lokacijama obstajajo statistično značilne razlike v večini geokemičnih parametrov, s čimer se izprana tla na apnencu in dolomitu očitno ločijo od tal na konglomeratu. Vsebnosti večine prvin so večje v tleh na apnencu in dolomitu, razen vsebnosti K₂O, kar povezujemo s prisotnostjo glincev. Vrednosti indeksov CIA, CIW in ICV so med lokacijama statistično značilno različne; izprana tla na konglomeratu so bolj preperela. Razlike v pedoloških in geokemičnih lastnostih lahko pojasnimo z razlikami v matični podlagi in v starosti tal.

6 SKLEPI

Cilj naloge je bil določitev pedoloških, mineralnih in geokemičnih lastnosti izpranih tal v Sloveniji. Preučili smo pedološke lastnosti 49 profilov izpranih tal iz baze pedoloških profilov in pedološke, geokemične in mineralne lastnosti petih profilov izpranih tal na območju Leskove doline in dveh profilov na savskih terasah. Preverili smo ali se izpranost tal odraža v geokemičnih lastnostih tal, predvsem v razmerju med prvinami. Predvidevali smo, da v primerjavi z geokemičnimi lastnostmi, mineralna sestava tal s kvalitativno rentgensko difrakcijo v manjši meri prispeva k prepoznavanju tal. Na podlagi dobljenih rezultatov lahko podamo naslednje sklepe:

- V izpranih tleh je razmerje v deležu gline med B_t in E horizontom v povprečju 1,63. Eluvijalni imajo primerjavi z iluvijalnimi horizonti nižjo pH vrednost, svetlejšo barvo, manjšo količino bazičnih kationov ter manjšo KIK.
- Glede na Slovensko klasifikacijo tal (Prus in sod., 2015) se proučevana tla uvrščajo v razred eluvijalno-iluvijalnih tal, v talni tip izpranih tal. Klasifikacijski sistem sicer opredeljuje, da mora biti v B_t horizontu najmanj 20 % več gline kot v E horizontu, vendar ni pojasnjeno ali gre za absolutno ali relativno razliko v vsebnosti gline. Za diagnosticiranje iluvijalnega horizonta bi bilo smiselno določiti natančna merila, kot jih na primer določa WRB klasifikacija.
- Izprana tla se po WRB klasifikaciji uvrščajo med luvisole in akrisole, v manjšem obsegu tudi med alisole in lisisole. Razlike med njimi se kažejo v pedoloških, mineralnih in geokemičnih parametrih.
- Proučevana tla so zelo preperela, kar potrjujejo vrednosti indeksov CIA, CIW in ICV. Predvsem B_t horizonti, v katere se izpirajo glineni minerali in Al, Fe oksidi ter hidroksidi. Vrednosti indeksov sledijo trendom izpiranja.
- Spremenljiva razmerja med pari prvin ne pomenijo nujno drugačnega izvora (eolski doprinos, spremenljivost matične podlage). V primeru razmerja TiO_2/ZrO_2 se je izkazalo, da je TiO_2 deloma mobilni in pri izpiranju sledi železu, ki ga v nekaterih mineralih izomorfno nadomešča. TiO_2 , vezan v oksidih, je nemobilni in enako kot cirkonij ni podvržen izpiranju. Razmerje Zr/Hf med eluvijalno-iluvijalnimi procesi ostaja nespremenjeno.
- Sledne prvine As, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ni, Rb, Sc, Th, U, V, Y, Zn in REE so najverjetneje vezane na glinene minerale in okside ter hidrokside, zato se izpirajo in kopičijo v B_t horizontih. Geokemija tako glavnih kot slednih prvin kaže procese izpiranja.
- Izprana tla na apnencu in dolomitu ter na konglomeratu se med seboj razlikujejo po pedoloških, mineralnih in geokemičnih lastnostih.
- Pedološki parametri omogočajo klasifikacijo tal, medtem ko mineralna sestava in geokemične lastnosti dopolnjujejo razumevanje pedogenetskih procesov in omogočajo razločevanje med avtohtonim in alohtonim materialom.

7 POVZETEK

V zmerno toplem vlažnem okolju so pri razvoju tal ključni eluvijalno-iluvijalni procesi. Slovenija v povprečju prejme razmeroma veliko padavin, zato so ti procesi v naših tleh pogosti. Najpogostejši talni tip z izraženo teksturno diferenciacijo med horizonti so izprana tla z značilnim eluvijalnim horizontom, iz katerega se poleg glinenih mineralov izpirajo tudi bazični kationi, topna organska snov ter drugi koloidi. V Sloveniji po podatkih pedološke karte 1 : 25.000 izprana tla pokrivajo 2,3 % ozemlja. S slovenskim klasifikacijskim sistemom izprana tla klasificiramo na osnovi teksturne difference (Prus in sod., 2015). Mednarodni WRB sistem pa vključuje tudi vrednosti KIK in V vrednost v iluvijalnih horizontih (World ..., 2015).

Namen raziskave je bil določitev pedoloških, mineralnih in geokemičnih lastnosti izpranih tal v Sloveniji. Na podlagi podatkov iz baze pedoloških profilov smo analizirali 49 profilov izpranih tal. Na primeru petih profilov izpranih tal na apnencu in dolomitu iz Leskove doline ter na dveh profilih na konglomeratu na savskih terasah (Hraše, Prebačevo) smo izvedli mineraloške in geokemijske analize. Mineralno sestavo smo določali z rentgensko difrakcijo na Naravoslovnotehniški fakulteti, na Oddelku za geologijo, geokemijska analiza pa je bila opravljena v laboratoriju Bureau Veritas v Kanadi, z metodo induktivno sklopljene plazme (ICP – MS/ES).

Izprana tla se pojavljajo razpršeno po celotni Sloveniji, največ jih najdemo v pasu med Belo krajino in Jesenicami. Pojavnost izpranih tal se proti severovzhodni Sloveniji zmanjšuje, podobno tudi v smeri proti Primorski. Pretežno se pojavljajo na apnencih in dolomitih, veliko jih najdemo tudi na konglomeratih savskih teras in na drugih sedimentnih kamninah. S pedološko analizo 49 profilov izpranih tal iz pedološke baze podatkov smo ugotovili, da imajo vsa tla izraženo teksturno diferenciacijo med E in B_t horizontom, ki je posledica izpiranja talnih koloidov v iluvijalni horizont. Na račun izpiranja gline ima E horizont več melja. Bazični kationi se iz E horizonta izpirajo v B_t horizont, kar je poleg vpliva matične podlage glavni razlog za večje koncentracije Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ in Na⁺ v spodnjih horizontih. Migracija bazičnih kationov v iluvijalen horizont vpliva na nižje pH vrednosti v E horizontu ter na večje vrednosti v iluvijalnem horizontu. V močno izpranih tleh, predvsem na silikatnih matičnih podlagah, so spodnji B_t horizonti pogosto distrični. Največ organske snovi je v organskih in humusno akumulativnih horizontih, z globino po profilu pa se vsebnost zmanjšuje. Visok KIK v zgornjih horizontih je posledica organske snovi, medtem ko je v iluvijalnih horizontih vzrok kopičenje glinenih mineralov in Al, Fe oksidov ter hidroksidov. E horizont ima v povprečju najmanjšo KIK. Barva E horizonta je svetlejša in bolj intenzivna, zato se E horizont od A in B_t horizontov običajno loči po barvi. Večja vsebnost gline vpliva na večjo gostoto B_t horizontov, ki imajo zaradi večje vsebnosti Ca²⁺ običajno poliedrično strukturo. Glede na Slovensko klasifikacijo tal (Prus in sod.) se proučevana tla uvrščajo v razred eluvijalno-iluvijalnih tal, v talni tip izpranih tal. Klasifikacijski sistem sicer opredeljuje, da mora biti v B_t horizontu najmanj 20 % več gline kot v E horizontu, vendar ni pojasnjeno, ali gre za absolutno ali relativno razliko v vsebnosti gline.

Mineraloška analiza izpranih tal iz Leskove doline, Hraš in Prebačevega je pokazala, da v vseh izpranih tleh prevladuje kremen. Kot najpogostejši glineni mineral se v izpranih tleh pojavlja muskovit/illit. V tleh Leskove doline smo zaznali še prisotnost klinoklora, kaolinita ter hematita, v tleh savskih teras pa sledi klinoklora in glinence. Eluvijalni horizonti vsebujejo več kremenca in manj glinenih mineralov, z izjemo profila Hraše.

Geokemijska analiza glavnih oksidov je pokazala, da v tleh prevladuje SiO_2 , sledita Al_2O_3 in Fe_2O_3 , ki sta del glinene frakcije in se kopičita v B_t horizontih. CaO in MgO sta že močno izprana, kar je značilno za bolj razvita tla. V treh profilih izpranih tal iz Leskove doline je zaradi vpliva matične podlage še vedno prisoten CaCO_3 . Na_2O , K_2O , TiO_2 in SiO_2 so vezani na pesek in grobi melj oziroma na ostanek primarnih mineralov v tleh. Na_2O je največ v zgornjem delu tal, medtem ko pri K_2O , TiO_2 in SiO_2 med horizonti A, E in B_t ni statistično značilnih razlik. Vrednost žaroizgube je največja v horizontih z največ organske snovi ter v B_t horizontih, kjer se pojavlja CaCO_3 . Geokemija tako glavnih kot slednih prvin kaže procese izpiranja. S pomočjo indeksov CIA, CIW in ICV smo potrdili, da so izprana tla močno preperela. Predvsem B_t horizonti, v katere se izpirajo glineni minerali in Al, Fe oksidi ter hidroksidi.

Ugotovili smo, da so mineraloške in geokemijske analize zelo uporabne pri pojasnjevanju pedogenetskih procesov. Omogočajo širši vpogled v stanje v tleh in posledično omogočajo natančnejšo klasifikacijo in ločevanje tal med seboj.

8 VIRI

- Arbeitskreis für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. 1998. Systematik der Böden und der Bodenbildenden Substrate Deutschlands. Göttingen, Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft: 180 str.
- Beaudette D. E., Roudier P., O'Geen A. T. 2013. Algorithms for quantitative pedology: A toolkit for soil scientists. *Computers and Geosciences*, 25: 258-268
- Birkeland P. W. 1999. *Soils and geomorphology*. New York, Oxford university press: 430 str.
- Blume H. P., Brümmer G. W., Fleige H., Horn R., Kandeler E., Kögel-Knabner I., Kretzschmar R., Stahr K., Wilke BM. 2016. *Scheffer/Schachtschabel soil science*, Berlin, Springer: 618 str.
- Bockheim J. G., Gennadiyev A. N., Hammer R. D., Tandarich J. P. 2005. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, 124: 23-36
- Brady N. C., Weil R. R., 2014. *The nature and properties of soils*. Harlow, Pearson education limited: 1046 str.
- Buser S., Ferjančič L., Grad K., Kerčmar Turnšek D., Mencej Z., Orehek S., Pavlovec R., Pleničar M., Prestor M., Rijavec I., Šribar L. 1970. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 - Tolmač za list Postojna : L 33 - 77. Beograd, Zvezni geološki zavod: 62 str.
- Buser S., Cimerman F., Dozet S., Ferjančič L., Grad K., Mioč P., Premru U., Vujić D., Žlebnik L., Žnidarčič M. 1976. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 - Tolmač za list Kranj: L 33 - 65. Beograd, Zvezni geološki zavod: 70. str
- Constantini E. A. C., Damiani D. 2004. Clay minerals and the development of Quaternary soils in central Italy. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 21, 1: 144-159
- Cornu S., Lucas Y., Lebon E., Ambrosi J. P., Luizao F., Rouiller J., Bonnay M., Neal C. 1999. Evidence of titanium mobility in soil profiles, Manaus, central Amazonia. *Geoderma*, 91: 281-295
- Cox R., Lowe D. R., Cullers R. L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 14: 2919-2940
- Ćirić M. 1984. *Pedologija*. Sarajevo, Svjetlost: 312 str.
- Drewnik M., Skiba M., Szymanski W., Zyla M. 2014. Mineral composition vs. soil forming processes in loess soils – A case study from Krakow (Southern Poland). *Catena*, 119: 166-173
- Durn G., Ottner F., Slovenec D. 1999. Mineralogical and geochemical of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. *Geoderma*, 91: 125-150
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. 2014. *ArcGIS 10.2.2 for Desktop* (programsko orodje)
- Galović L., Peh Z. 2014. Eolian contribution to geochemical and mineralogical characteristics of some soil types in Medvenica Mountain, Croatia. *Catena*, 117: 145-156

- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Leskova dolina 2004-2013. OE Postojna, Zavod za gozdove Slovenije (interno gradivo)
- Grčman H., Volf B., Imeri S., Prus T., Zupančič N. 2015. Variabilnost tal nastalih na različnih formacijah apnencev. V: Geološki zbornik. Razprave - poročila. 22. posvetovanje slovenskih geologov. Rožič B. (ur.). Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo: 49-54
- Gregorauskienė V., Kadūnas V. 2006. Vertical distribution patterns of trace and major elements within soil profile in Lithuania. *Geological Quarterly*, 50, 2: 229-237
- Harnois L. 1988. The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55: 319-322
- Hočevar A., Petkovšek Z. 1984. *Meteorologija: Osnove in nekatere aplikacije*. Ljubljana. Partizanska knjiga: 219 str.
- Imeri S. 2014. Mineralne, geokemične in pedološke značilnosti tal na Divaškem krasu. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo: 83 str.
- World Reference Base for Soil Resources. 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports No. 106. Rome, FAO: 192 str.
- Janousek V., Farrow C. M., Erban V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47, 6: 1255-1259
- Jaworska H., Dabakowska-Naskret H., Kobierski M. 2014. The influence of litho- and pedogenic processes on Luvisols formation of selected area of Vistula Glaciation. *Geological Quarterly*, 58: 685-694
- Jenny H. 1941. *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology*. New York, McGraw-Hill: 271 str.
- Kabata-Pendias A. 2001. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, CRC press: 413 str.
- Kobal M. 2011. Vpliv sestojnih, talnih in mikrorastiščnih razmer na rast in razvoj jelke (*Abies alba* Mill.) na visokem krasu Snežnika Doktorsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 151 str.
- Kočevar H., Jaecks Vidic N. 2003. Izbrana poglavja iz osnov geologije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 164 str.
- Koren S. 2016. Lastnosti tal na rečnih terasah Save v okolici Smlednika. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo: 49 str.
- Keys to soil taxonomy. 2014. Washington, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service: 359 str.
- Kralj T. 2008. Harmonizacija v Sloveniji rabljene klasifikacije tal z WRB klasifikacijo. Interno gradivo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 22 str.
- O gozdovih Slovenije. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.
http://www.zgs.si/slo/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/index.html (15. 6. 2016)

- Meteo portal. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.meteo.si/met/sl/archive/> (22. 3. 2016)
- Muhs D. R., Badahn J., Avila A., Skipp G., Freeman J., Patterson D. 2010. The role of African dust in the formation of Quaternary soils on Mallorca, Spain and implications for the genesis of Red Mediterranean soils. *Quaternary Science Reviews*, 29: 2518-2543
- Munsell soil color charts. 2010. Grand Rapids, Munsell Color (barvni atlas)
- Nessbit H. W., Young G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717
- Nessbit H. W., Young G. M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1532-1534
- Nestroy O., Aust G., Blum W.E.H., Englisch M., Hager H., Herzberger E., Kilian W., Nelhiebel P., Ortner G., Pecina E., Pehamberger A., Schneider W., Wagner J. 2011. Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Wien, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft: 98 str.
- X'Pert HighScore v 2.2d. 2008. PANalitical B.V. (programsko orodje)
- Podnebne razmere v Sloveniji (Obdobje od 1971 – 2000). 2006. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 27 str.
- Prus T., Kralj T., Vrščaj B., Zupan M., Grčman H. 2015. Slovenska klasifikacija tal. Ljubljana, UL, Biotehniška fakulteta in Kmetijski inštitut Slovenije: 52 str.
- Prus T., Zupančič N., Grčman H. 2015. Soil of the lower valley of the Dragonja river (Slovenia). *Acta Agriculturae Slovenica*, 105: 61-72
- Qiao Y., Qingzhen H., Peng S., Wang Y., Jingwei L., Zongxiu L. 2011. Geochemical characteristics of the eolian deposits in southern China, and their implications for provenance and weathering intensity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308: 513-523
- Quenard L., Samouelian A., Laroche B., Cornu S. 2011. Lessivage as a major process of soil formation: A revisitation of existing data. *Geoderma*, 167-168: 135-147
- R Development Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (5. 5. 2016)
- Schedule of services and fees (CAD) V.4. 2015. Vancouver, Bureau Veritas Minerals: 41 str.
- Schwertmann, U., Murad, E., Schulze D. G. 1982. Is there Holocene reddening (hematite formation) in soils of axeric temperate areas? *Geoderma*, 27: 209-223
- Shaetzel R., Anderson S. 2005. Soils - Genesis and geomorphology. Cambridge, Cambridge university press: 817 str.
- Soil atlas of Europe. 2005. Luxembourg, European Soil Bureau Network, European Commission: 128 str.

- Stritar A. 1991. Pedologija (Kompendij). Ljubljana, UL, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 126 str.
- Sudom M. D., Arnaud R. J. ST. 1971. Use of quartz, zirconium and titanium as indices in pedological studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 51, 3: 385-396
- Šajn R., Gosar M., Bidovec M. 2000. Geokemične lastnosti tal, poplavnega sedimenta ter stanovanjskega in podstrešnega prahu na območju Mežice. *Geologija*, 43, 2: 235-245
- Šušteršič F., Rejšek K., Mišič M., Eichler F. 2009. The role of loamy sediment (terra rossa) in the context of steady state karst surface lowering. *Geomorphology*, 106: 35-45
- Škorič A., Filipovski G., Čirič M. 1985. Klasifikacija zemljišta Jugoslavije. Sarajevo, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine: 72 str.
- Škorič A. 1986. Postanak, razvoj i sistematika tla. Zagreb, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu: 172 str.
- Talni informacijski sistem Slovenije (baza podatkov). 2016. Ljubljana, Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja.
- Tyler G. 2004. Vertical distribution of major, minor, and rare elements in a Haplic Podzol. *Geoderma*, 119: 277-290
- Urbančič M., Simončič P., Prus T., Kutnar L. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 100 str.
- Velde B. 1992. Introduction to clay minerals. London, Chapman and Hall: 198 str.
- Vidic N. 1989. Geokemija tal na terasah reke Save. Magistrsko delo. Ljubljana, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, VTO Montanistika, Odsek za geologijo: 58 str.
- Vidic N. 1997. Rates of soil development of the chronosequence in the Ljubljana Basin, Slovenia. *Geoderma*, 76: 35-64
- Vidic N., Vrščaj B., Lobnik F., Prus T., Zupan M. 1998. Genesis of Slovenian soils. V: 16. World congress of soil science, Montpellier, 20. - 26. August 1998. <http://natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp15/578-t.pdf> (24. 5. 2016)
- Vidic N., Prus T., Grčman H., Zupan M., Lisec A., Kralj T., Vrščaj B., Ruprecht J., Šporar M., Suhadolc M., Mihelič R., Lobnik F. 2015. Tla Slovenije s pedološko karto v merilu 1:250.000. Luksemburg, Publications office of the European Union: 152 str.
- Yaalon D. H. 1997. Soils in Mediterranean region: what makes them different? *Catena*, 28: 157-169
- Zupančič N., Pirc S. 1999. Calcium distribution in soils and stream sediments in Istria (Croatia) and the Slovenian littoral. *Journal of Geochemical Exploration*, 65: 205-218
- Wagner S. 2009. Soil (Chrono-) sequences on marine terraces. Pedogenesis in two coastal areas of Basilicata and Agrigento, Southern Italy. Doctoral dissertation. Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre: 314 str.

ZAHVALA

Iskreno zahvalo izrekam mentorici prof. dr. Heleni Grčman, ki mi je predstavila svet pedologije, nad katerim sem se navdušil in ga s poglobljenim zanimanjem raziskujem. Prav tako izrekam iskreno zahvalo izr. prof. dr. Nini Zupančič; z njeno pomočjo sem svoje delo obogatil z geološkim znanjem o tleh. Obema sem hvaležen za čas, ki sta si ga vzeli za skupne konzultacije, in za vse komentarje k mojemu delu.

Najlepše se zahvaljujem recenzentki doc. dr. Marjetki Suhadolc in predsedniku komisije prof. dr. Gregorju Ostercu za pregled magistrske naloge.

Enako se zahvaljujem tudi mag. Tomažu Prusu, dr. Marku Zupanu in doc. dr. Klemenu Elerju za vse diskusije in koristne nasvete. Ga. Ireni Tič se zahvaljujem za vso dodatno pomoč.

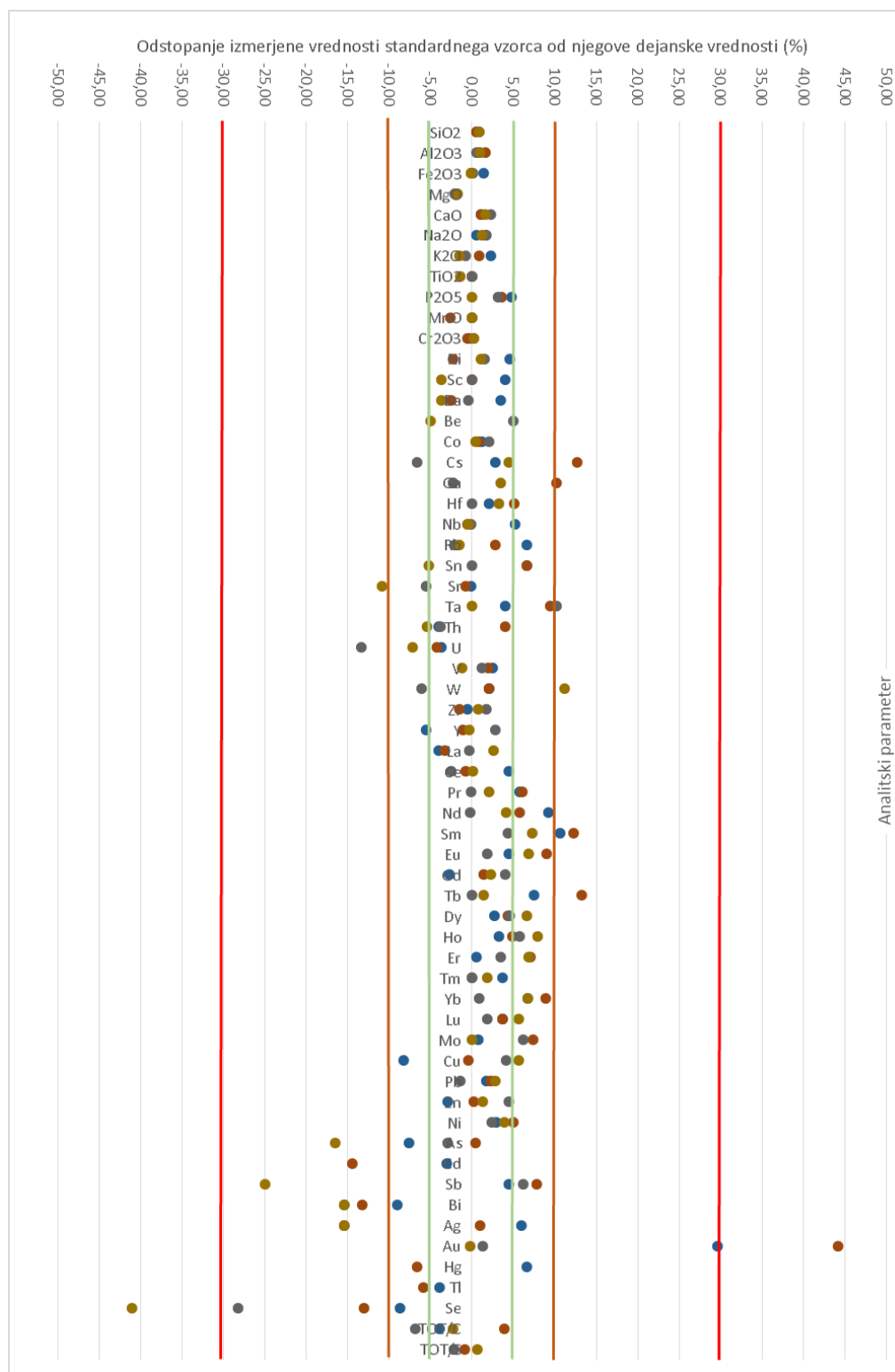
Posebno se zahvaljujem direktorju Gozdarskega inštituta Slovenije, dr. Primožu Simončiču, ki je omogočil uporabo podatkov in vzorcev tal iz njihovega arhiva ter geologinji Senti Koren za uporabo podatkov iz njene diplomske naloge.

Prijateljem, posebej Domnu Hostniku in Stančiju Škarji, se zahvaljujem za vso podporo in pomoč, saj so mi pomagali in si čas zame vzeli na najbolj velikodušen način. Hvala tudi vsem sošolcem za skupne projekte in popestritev študija.

Za konec se zahvaljujem še svoji družini, ki mi je tekom študija nudila tako materialno kot duhovno podporo. Ljubeče se zahvaljujem ženi Sari, ki mi je ves čas stala ob strani in me podpirala.

PRILOGA A

Grafični prikaz točnosti analitike, ki se za posamezen analitski parameter izraža kot procentualno odstopanje izmerjene vrednosti od dejanske. Meritve so bile opravljene na standardnih vzorcih z znanimi vrednostmi prvin (AcmeLabs Canada)



PRILOGA B

Opisne statistike za geokemične spremenljivke iz 37 vzorcev tal (Leskova dolina, Hraše, Prebačevo)

Spremenljivka	n	Povprečje	Mediana	Min	Max	sd	KV	Skewness	Kurtosis
SiO ₂	37	53,71	57,41	12,97	65,93	11,93	22,21	-1,87	3,58
Al ₂ O ₃	37	17,27	16,49	11,63	28,94	4,22	24,41	1,72	2,60
Fe ₂ O ₃	37	6,65	6,31	3,69	12,29	1,97	29,56	1,58	2,89
MgO	37	1,38	1,35	0,77	2,10	0,30	21,67	0,46	0,06
CaO	37	2,34	0,67	0,16	33,69	6,28	268,77	4,36	19,45
Na ₂ O	37	0,71	0,76	0,04	1,19	0,36	50,33	-0,52	-0,97
K ₂ O	37	1,64	1,71	0,63	2,34	0,37	22,55	-0,53	0,10
TiO ₂	37	1,19	1,16	0,75	2,07	0,27	23,01	1,25	3,09
P ₂ O ₅	37	0,09	0,10	0,05	0,16	0,03	28,37	0,23	-0,27
MnO	37	0,11	0,11	0,02	0,28	0,05	47,01	0,98	3,07
LOI	37	14,68	11,80	8,00	34,10	6,96	47,43	1,50	1,58
As	37	17,84	14,80	7,00	53,00	10,30	57,76	1,73	2,86
Ba	37	333,59	347,00	61,00	459,00	91,51	27,43	-1,23	1,49
Cd	37	0,53	0,40	0,10	2,70	0,46	86,91	3,14	13,71
Co	37	18,74	16,80	6,70	42,50	7,51	40,06	1,52	2,74
Cr	37	126,69	123,16	62,00	253,16	39,44	31,13	1,10	2,39
Cs	37	8,79	7,20	5,40	23,70	3,90	44,32	2,25	5,57
Cu	37	20,44	16,20	10,60	52,50	9,50	46,46	1,73	3,06
Ga	37	20,66	19,90	12,10	35,00	4,62	22,37	1,51	3,00
Hf	37	10,25	10,30	4,60	15,70	2,35	22,89	0,02	0,42
Mo	37	2,16	1,50	0,70	7,80	1,69	78,17	1,71	2,38
Nb	37	22,79	21,70	12,50	40,20	6,14	26,94	1,10	2,04
Ni	37	37,88	30,60	18,30	98,20	17,96	47,40	1,70	2,80
Pb	37	33,85	31,10	16,50	65,50	11,64	34,37	0,95	0,36
Rb	37	102,03	103,80	45,10	127,60	17,76	17,41	-0,91	1,32
Sb	37	0,34	0,30	0,10	0,90	0,19	54,70	1,08	1,03
Sc	37	16,59	15,00	10,00	32,00	4,89	29,47	1,68	2,65
Sn	37	4,30	4,00	3,00	6,00	0,70	16,33	1,04	1,17
Sr	37	110,14	108,70	69,50	214,80	32,29	29,32	1,82	4,12
Ta	37	1,67	1,60	0,90	2,80	0,43	25,62	0,58	0,89
Th	37	16,71	15,20	10,40	29,20	4,37	26,13	1,59	2,59
U	37	5,71	4,80	3,20	15,10	2,38	41,79	2,45	6,71
V	37	160,68	137,00	102,00	318,00	58,61	36,48	1,81	2,28
W	37	3,01	2,90	1,20	5,30	0,72	23,74	0,79	2,48
Y	37	35,90	34,70	21,80	51,30	6,79	18,92	0,52	0,03
Zn	37	70,27	69,00	41,00	109,00	14,33	20,40	0,59	1,30
Zr	37	380,92	374,30	174,50	602,50	91,45	24,01	0,10	0,35

... nadaljevanje

Spremenljivka	n	Povprečje	Mediana	Min	Max	sd	KV	Skewness	Kurtosis
Ce	37	112,58	110,70	62,40	187,40	24,06	21,38	0,77	1,63
Er	37	3,81	3,75	2,34	6,04	0,75	19,59	0,79	1,45
Eu	37	1,57	1,47	0,87	2,83	0,40	25,78	1,19	1,58
Gd	37	7,13	6,77	3,83	12,19	1,74	24,42	1,01	1,14
Ho	37	1,28	1,23	0,82	2,02	0,25	19,45	0,85	1,22
Dy	37	6,63	6,41	3,86	10,59	1,35	20,34	0,83	1,36
La	37	50,68	49,20	31,30	83,30	10,40	20,53	0,98	1,46
Lu	37	0,58	0,58	0,35	0,90	0,10	18,00	0,63	1,89
Nd	37	42,56	40,50	23,90	70,20	9,82	23,07	1,00	1,11
Pr	37	11,43	10,79	6,54	18,23	2,54	22,27	1,05	1,21
Sm	37	8,02	7,63	4,65	14,21	1,94	24,20	1,31	2,08
Tb	37	1,13	1,07	0,67	1,86	0,25	22,07	0,95	1,04
Tm	37	0,57	0,55	0,36	0,86	0,10	17,59	0,62	1,33
Yb	37	3,76	3,72	2,43	5,67	0,66	17,69	0,66	1,46
sumREE	37	251,72	243,08	162,75	403,56	51,78	20,57	0,99	1,35
TOT/C	37	2,86	1,32	0,41	13,29	3,26	114,04	1,91	3,32

PRILOGA C

Opisne statistike za pedološke spremenljivke iz 37 vzorcev tal (Leskova dolina, Hraše, Prebačevo)

Spremenljivka	n	Povprečje	Mediana	Min	Max	sd	KV	Skewness	Kurtosis
globina_zg	37	38,92	30,00	0,00	160,00	41,58	106,85	1,24	0,98
globina_sp	37	65,32	45,00	3,00	270,00	60,03	91,90	1,43	2,38
debelina	37	26,41	20,00	3,00	110,00	21,47	81,29	1,83	5,10
povprecna.globina	37	52,12	34,00	1,50	215,00	50,51	96,91	1,35	1,72
pH	37	4,83	4,38	3,80	7,47	1,12	23,21	1,60	1,14
OS	37	5,10	1,90	0,25	26,40	6,95	136,39	2,03	3,37
N	37	0,17	0,09	0,03	0,82	0,20	112,03	2,02	3,20
CN	37	13,83	14,28	2,48	25,04	5,61	40,52	-0,22	-0,67
pesek	37	8,62	4,00	0,26	36,60	9,60	111,34	1,68	2,02
grobi melj	37	19,19	17,83	1,60	56,86	11,99	62,50	1,54	3,55
fini melj	37	34,62	39,97	6,96	50,46	13,18	38,05	-0,95	-0,34
melj	37	53,82	58,76	9,40	76,02	16,30	30,28	-1,33	1,73
glina	37	37,56	34,30	17,86	89,45	17,03	45,35	1,94	3,61
Ca	37	15,48	12,45	0,12	69,02	16,92	109,32	1,21	1,25
Mg	37	0,66	0,46	0,05	2,28	0,60	90,93	1,47	1,46
K	37	0,15	0,13	0,03	0,53	0,10	67,19	1,75	4,00
Na	37	0,05	0,05	0,01	0,11	0,03	50,54	0,62	-0,26
H	37	4,02	0,07	0,00	26,05	6,95	172,93	1,51	1,35
S	37	16,35	12,97	0,23	71,71	17,39	106,36	1,21	1,30
KIK	37	21,81	17,88	2,81	72,26	14,29	65,53	1,50	3,01
V	37	60,16	79,80	1,61	100,00	40,18	66,80	-0,44	-1,66

PRILOGA D

Primerjave med horizonti (podatki izpranih tal iz pedološke baze podatkov)

	Kruskal-Wallis test	Analiza variance linearni mešani model*	Razlike med horizonti					
Lastnost	p vrednost	p vrednost	Oh/Ah	A	E	B _t	BC	test
pesek (%)	0,0855	0,0008 ^{*1}	-	b	ab	a	ab	HSD
fini melj (%)	< 0,0000	< 0,0000 ^{*1}	-	c	b	a	a	HSD
grobi melj (%)	< 0,0000	-	-	a	ac	b	bc	neparam.
melj(%)	< 0,0000	-	-	a	a	b	b	neparam.
glina (%)	< 0,0000	< 0,0000 ^{*1}	-	a	b	c	c	HSD
C _{org} (%)	< 0,0000	-	-	ab	c	b	bc	neparam.
OS (%)	< 0,0000	< 0,0000 ^{*1}	d	c	b	a	ab	HSD
pH	0,002		b	ab	b	ab	a	neparam.
Ca (cmol(+)/kg)	< 0,0000	< 0,0000 ^{*1}	d	b	a	c	d	HSD
Mg (cmol(+)/kg)	0,0001	< 0,0000 ^{*1}	d	ab	a	c	bcd	HSD
Na (cmol(+)/kg)	< 0,0000	-	b	ac	c	a	ab	neparam.
K (cmol(+)/kg)	< 0,0000	-	b	a	c	a	ab	neparam.
S (cmol(+)/kg)	< 0,0000	< 0,0000 ^{*1}	d	b	a	c	d	HSD
T (KIK) (cmol(+)/kg)	< 0,0000	< 0,0000 ^{*1}	c	b	a	b	b	HSD
V (cmol(+)/kg)	< 0,0000	-	ab	ab	b	a	a	neparam.

* analizirane so samo spremenljivke s predpostavkama o normalni porazdelitvi in enakosti varianc med obravnavanji

¹ transformirani podatki

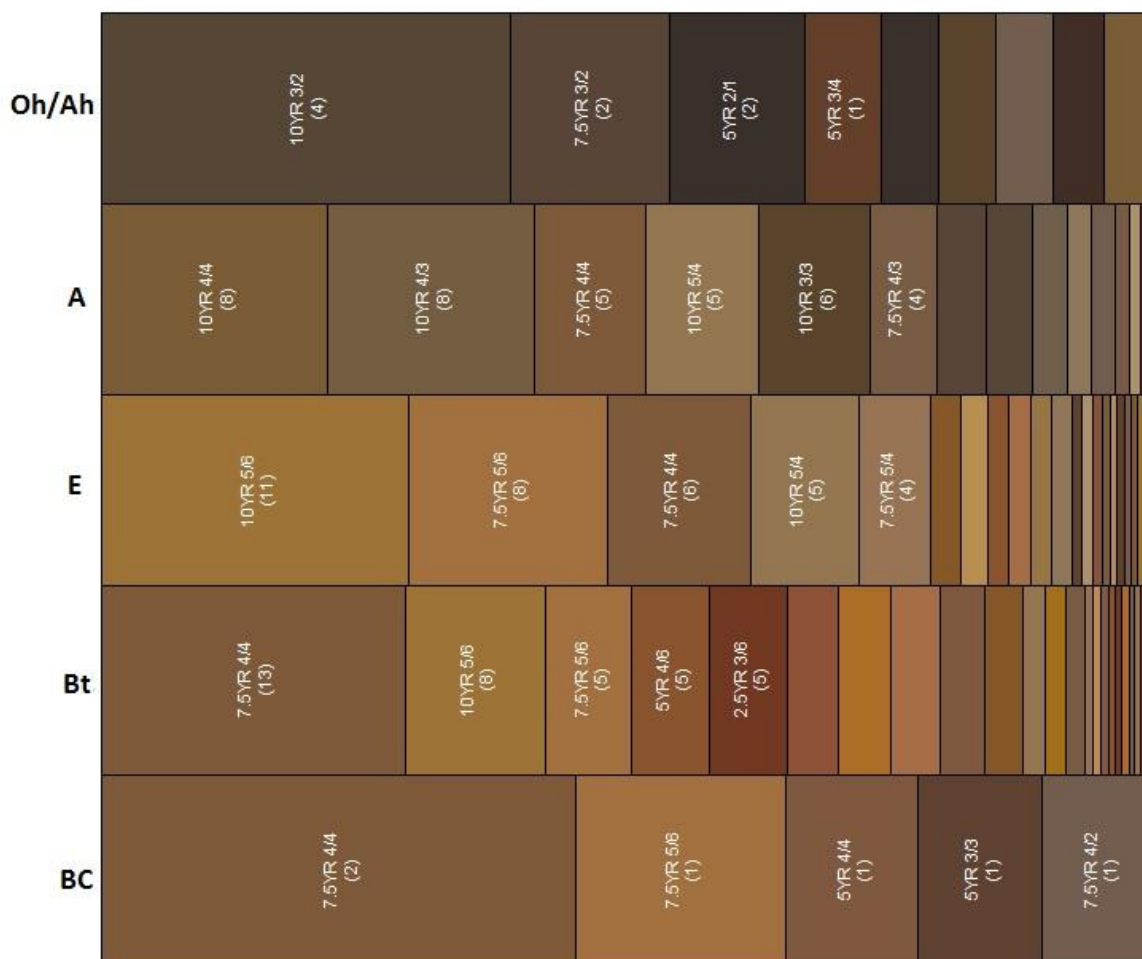
	Kruskal-Wallis test	Analiza variance linearni mešani model*	Razlike med horizontoma		
Lastnost	p vrednost	p vrednost	E	B _{t1}	test
pH (E/B _{t1})	-	0,0002 *	a	b	HSD
glina (E/B _{t1}) (%)	-	0,0000 *	a	b	HSD

* analizirane so samo spremenljivke s predpostavkama o normalni porazdelitvi in enakosti varianc med obravnavanji

¹ transformirani podatki

PRILOGA E

Pojavnost posameznega odtenka po horizontih (Munsell barvni atlas)



PRILOGA F

Morfološki podatki za pedološke profile izpranih tal (P01 - P05, P11, P12)

profil	horizont	globina	morfološke lastnosti
P01	A _h	0–5	BARVA: 10YR 2/2; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: oster
	A	15–25	BARVA: 7.5YR 3/3; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
	E	25–40	BARVA: 7.5YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	EB _t	40–74	BARVA: 7.5YR 4/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	B _t	74–120	BARVA: 7.5YR 4/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
P02	A _h	0–7	BARVA: 10YR 3/2; PREHOD: oster
	E	7–25	BARVA: 10YR 4/6; VLAŽNOST: vlažen; SKELET: 5 %, do 20 cm, zaobljen; PREHOD: jasen
	B _{t1}	25–38	BARVA: 7.5YR 5/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	B _{t2}	38–54	BARVA: 7.5YR 5/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	B _{t3}	54–74	BARVA: 7.5YR 5/7; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: oster
P03	A _h	0–5	BARVA: 10YR 3/2; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
	AE	5–16	BARVA: 10YR 3/3; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
	E	16–50	BARVA: 10YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
	B _t	50–110	BARVA: 7.5YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	BC	110–160	BARVA: 7.5YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; SKELET: 50 %, do 15 cm, mešan; PREHOD: postopen
	CB	160–270	BARVA: 7.5YR 4/6; VLAŽNOST: vlažen; SKELET: 70 %, do 50 cm, mešan; PREHOD: oster
P04	A _h	0–3	STRUKTURA: mrvičasta do grudičasta, srednje izražena; KONSISTENCA: drobljiva; BARVA: 10YR 3/2; VLAŽNOST: moker; PREHOD: postopen
	E	3–35	STRUKTURA: oreškasta do poliedrična, srednje izražena; KONSISTENCA: drobljiva, trdna; BARVA: 10YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	EB	35–60	STRUKTURA: poliedrična, srednje do močno izražena; KONSISTENCA: drobljiva; BARVA: 10YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	B _t	60–110	STRUKTURA: poliedrična, srednje do močno izražena; KONSISTENCA: trdna; BARVA: 7.5YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; SKELET: 25 %, do 30 cm, mešan; PREHOD: postopen
	B _t C	110–170	STRUKTURA: poliedrična (nestrakturna), slabo do srednje izražena; KONSISTENCA: trdna; BARVA: 7.5YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; SKELET: 65 %, do 50 cm, mešan; PREHOD: postopen
P05	A _h	0–4	BARVA: 10YR 2/2; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: oster
	E1	4–35	BARVA: 7.5YR 4/4; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
	E2	35–45	BARVA: 7.5YR 4/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: jasen
	B _{t1}	45–90	BARVA: 2.5YR 3/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	B _{t2}	90–131	BARVA: 2.5YR 3/6; VLAŽNOST: vlažen; PREHOD: postopen
	B _{t3}	131–168	BARVA: 2.5YR 3/6; VLAŽNOST: vlažen; NOVOTVORBE: Mn konkrekcije

... nadaljevanje

P11	A	0–10	STRUKTURA: oreškasta, slabo obstojna, srednje izražena; KONSISTENCA: drobljiva do mazava; BARVA: 10YR 4/4; PREKORENINJENOST: gosta; SKELET: redek, do 0,5 cm, ostrorob; PREHOD: jasen; NOVOTVORBE: /
	AE	10–25	STRUKTURA: oreškasta, slabo obstojna, srednje izražena; KONSISTENCA: drobljiva do mazava; BARVA: 7.5YR 4/4; PREKORENINJENOST: srednje gosta; SKELET: 1 %, do 0,5 cm, mešan; PREHOD: jasen; NOVOTVORBE: /
	E	25–40	STRUKTURA: oreškasta, slabo obstojna, dobro izražena; KONSISTENCA: drobljiva; BARVA: 7.5YR 5/4; PREKORENINJENOST: ni; SKELET: 1 %, do 1 cm, mešan; PREHOD: postopen; NOVOTVORBE: /
	B _{t1}	40–70	STRUKTURA: poliedrična do oreškasta, slabo obstojna, dobro izražena; KONSISTENCA: drobljiva; BARVA: 7.5YR 4/4; PREKORENINJENOST: ni; SKELET: 2 %, do 5 cm, mešan; PREHOD: postopen; NOVOTVORBE: /
	B _{t2}	70–100	STRUKTURA: poliedrična do oreškasta, dobro obstojna, dobro izražena; KONSISTENCA: drobljiva, gosta; BARVA: 5YR 4/4; PREKORENINJENOST: ni; SKELET: 2 %, do 3 cm, mešan; PREHOD: postopen; NOVOTVORBE: /
	B _{t3}	100–130	STRUKTURA: poliedrična, dobro obstojna, dobro izražena; KONSISTENCA: drobljiva, gosta; BARVA: 5YR 4/6; PREKORENINJENOST: ni; SKELET: 1 %, do 1 cm, mešan; PREHOD: postopen; NOVOTVORBE: /
P12	A _h	0–5	STRUKTURA: oreškasta do drobno mrvičasta, slabo obstojna; KONSISTENCA: rahel, drobljiv; BARVA: 5YR 3/3; PREKORENINJENOST: gosta; SKELET: redek, zaobljen; PREHOD: jasen; NOVOTVORBE: /
	E	5–20	STRUKTURA: poliedrična, slabo obstojna, slabo izražena; KONSISTENCA: srednje gost, drobljiv; BARVA: 5YR 4/6; PREKORENINJENOST: gosta; SKELET: do 10 %, do 1 cm, zaobljen; PREHOD: jasen/postopen; NOVOTVORBE: /
	B _{t1}	20–38	STRUKTURA: poliedrična, slabo obstojna, slabo izražena; KONSISTENCA: gost, drobljiv; BARVA: 5YR 4/4; PREKORENINJENOST: gosta; SKELET: do 10 %, do 3 cm, zaobljen; PREHOD: jasen; NOVOTVORBE: /
	B _{t2}	38–55	STRUKTURA: poliedrična, slabo obstojna, slabo izražena; KONSISTENCA: sipek; BARVA: 5YR 4/3; PREKORENINJENOST: gosta; SKELET: do 40 %, do 7 cm, zaobljen, ostrorob; PREHOD: zelo oster; NOVOTVORBE: /

PRILOGA G

Podatki standardne pedološke analize profilov izpranih tal (P01–P05, P11, P12)

Profil P01 (Leskova dolina)

Tla se nahajajo na apnenčasti matični podlagi. Organska snov v tleh je v razponu od 1,8 % v EB horizontu do 26,4 % v A_h horizontu. CN razmerje je do globine 40 cm nad 20. Tla so meljasto ilovnate do meljasto glinaste teksture. Delež peska v tleh je nizek (0,2–5 %), delež melja med 56 in 75 % in delež gline med 24 in 42 %. Največ gline (42 %) je v B_t horizontu neposredno pod EB horizontom. pH tal je v razponu med 4,2 in 6,5. Najbolj kislja sta A in E horizont (pH < 4,6), medtem ko se z globino v B_t horizontu pH zviša na 6,5. Delež bazičnih kationov je visok, v razponu od 86 do 99,7 %. Vsebnost bazičnih kationov je najmanjša v E horizontu (12,97 mmol_c/100g tal), največja v A_h (77,7 mmol_c/100g tal) in v B_t horizontih (38,6 mmol_c/100g tal). Kationska izmenjalna kapaciteta v E horizontu je zelo nizka (< 15 mmol_c/100g tal), medtem ko v B_t horizontu naraste na 38,7 mmol_c/100g tal. V spodnjih dveh horizontih je prisotna majhna količina CaCO₃ (0,02–0,08 %).



Profil izpranih tal v Leskovi dolini P01 (foto: Tomaž Kralj)

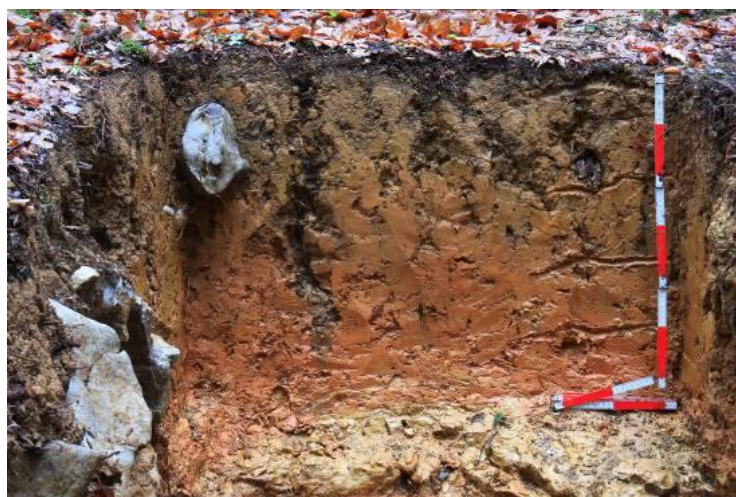
Podatki standardne pedološke analize tal za profil P01

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org.} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)
H1	A _h	0–5	26,4	15,3	22,6	0,68	5	66	28	MGI	< 0,05
H2	A	15–25	13,4	7,8	20,7	0,38	1	66	33	MGI	< 0,05
H3	E	25–40	4,7	2,8	20,4	0,13	1	75	24	MI	< 0,05
H4	EB _t	40–74	1,8	1,0	13,2	0,08	1	68	31	MGI	0,02
H5	B _t	74–120	1,9	1,1	11,9	0,09	2	56	42	MG	0,08
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V (%)
				(mmol _c /100g tal)					(mmol _c /100g tal)		
H1	A _h	0–5	5	69,02	2,19	0,39	0,11	0,00	71,71	72,26	99,2
H2	A	15–25	4,2	19,87	0,76	0,21	0,09	0,17	20,94	24,37	85,9
H3	E	25–40	4,6	12,45	0,38	0,08	0,05	0,07	12,97	14,51	89,4
H4	EB _t	40–74	5,9	18,47	0,48	0,12	0,05	0,00	19,13	19,25	99,3
H5	B _t	74–120	6,5	37,68	0,62	0,19	0,07	0,00	38,55	38,65	99,7

... nadaljevanje

Profil P02 (Leskova dolina)

Matična podlaga je apnenec. Organska snov v tleh je v razponu od 1 % v B_t horizontu do 16,2 % v A_h horizontu. Vrednost CN razmerja je med 11,4 in 25. Najvišje CN razmerje je v spodnjem B_t horizontu, kar ni običajno. Tla so težje teksture; teksturni razredi horizontov se nahajajo med meljasto glinasto ilovico in glino. Delež peska v tleh je v razponu med 2 in 6 %, delež melja med 38 in 63 % in delež gline med 33 in 60 %. B_{t1} horizont vsebuje zelo veliko gline (60 %) in ima v primerjavi z E horizontom 27 % več gline. pH tal je v razponu med 4,2 in 7,5, kar je zelo velik razpon. Najnižjo pH vrednost ima E horizont, najvišjo spodnja horizonta B_{t2} in B_{t3}. Delež bazičnih kationov je visok, v razponu od 80 do 100 %. Vsebnost bazičnih kationov je najmanjša v E horizontu (10,85 mmol_c/100g tal), največja v B_{t1} horizontu (45,7 mmol_c/100g tal). Ca²⁺ v B_{t1} horizontu predstavlja kar 97,6 % vseh baz. Kationska izmenjalna kapaciteta v E horizontu je zelo nizka (13,6 mmol_c/100g tal), v B_{t1} horizontu zelo visoka (45,7 mmol_c/100g tal). V B_t horizontih je prisotnega tudi veliko CaCO₃ (60 %).



Profil izpranih tal v Leskovi dolini P02 (foto: Tomaž Kralj)

Podatki standardne pedološke analize tal za profil P02

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org.} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)
H1	A _h	0–7	16,2	9,4	18,2	0,51	6	52	42	MG	< 0,05
H2	E	7–25	2,2	1,3	14,3	0,09	4	63	33	MGI	< 0,05
H3	B _{t1}	25–38	1,6	0,9	11,4	0,08	2	38	60	G	3,2
H4	B _{t2}	38–54	1,0	0,6	13,4	0,04	2	41	57	MG	34,7
H5	B _{t3}	54–74	1,1	0,6	25,0	0,03	3	59	38	MGI	60,1
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V (%)
									(mmol _c /100g tal)		
H1	A _h	0–7	4,7	33,54	2,07	0,25	0,08	0,00	35,94	36,83	97,6
H2	E	7–25	4,2	10,12	0,59	0,08	0,05	0,21	10,85	13,60	79,8
H3	B _{t1}	25–38	6,9	44,59	0,92	0,15	0,04	0,00	45,70	45,70	100
H4	B _{t2}	38–54	7,5	34,89	0,34	0,15	0,02	0,00	35,41	35,44	99,9
H5	B _{t3}	54–74	7,5	20,84	0,16	0,13	0,01	0,00	21,14	21,32	99,2

... nadaljevanje

Profil P03 (Leskova dolina)

Matična podlaga sta apnenec in dolomit. Organska snov v tleh je v razponu od 0,3 % v CB horizontu do 15,5 % v A_h horizontu. Vrednost CN razmerja je med 2,5 in 18,3. Do globine 50 cm je bilo CN razmerje med 17,4 in 18,3. Horizonti se uvrščajo v teksturna razreda meljasta ilovica in meljasto glinasta ilovica. Delež peska v tleh je v razponu med 4 in 17 %, delež melja med 50 in 76 % in delež gline med 18 in 37 %. B_t horizont vsebuje 37 % gline in jo ima v primerjavi z E horizontom 20 % več. pH tal je v razponu od 4,4 do 7,4. Najnižjo pH vrednost imata A in E horizont, najvišjo spodnja horizonta BC in CB. Delež bazičnih kationov je v razponu od 65,7 do 100 %. Vsebnost bazičnih kationov je najmanjša v E horizontu (5,16 mmol_c/100g tal), največja v BC horizontu (45,6 mmol_c/100g tal). Ca²⁺ v B_{tl} horizontu predstavlja 98 % vseh baz. Kationska izmenjalna kapaciteta v E horizontu je izredno nizka (7,85 mmol_c/100g tal), v BC horizontu zelo visoka (45,7 mmol_c/100g tal). Tla v CB horizontu vsebujejo 12,7 % CaCO₃.



Profil izpranih tal v Leskovi dolini P03 (foto: Tomaž Kralj)

Podatki standardne pedološke analize tal za profil P03

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org.} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)
H1	A _h	0–5	15,5	9,0	17,4	0,5	4	59	37	MGI	< 0,05
H2	AE	5–16	8,3	4,8	18,3	0,27	6	72	22	MI	0,09
H3	E	16–50	3,3	1,9	17,7	0,11	6	76	18	MI	< 0,05
H4	B _t	50–110	1,7	1,0	10,2	0,1	4	59	37	MGI	< 0,05
H5	BC	110–160	1,4	0,8	11,3	0,07	6	67	26	MI	4,76
H6	CB	160–270	0,3	0,2	2,5	0,06	17	50	33	MGI	12,74
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V
				(mmol _c /100g tal)					(mmol _c /100g tal)		
H1	A _h	0–5	4,5	23,94	1,35	0,22	0,06	0,06	25,57	26,88	95,1
H2	AE	5–16	4,4	13,86	0,91	0,13	0,07	0,11	14,96	17,37	86,1
H3	E	16–50	4,4	4,75	0,31	0,04	0,06	0,06	5,16	7,85	65,7
H4	B _t	50–110	4,6	12,77	0,70	0,11	0,07	0,05	13,65	14,66	93,1
H5	BC	110–160	7,3	44,73	0,60	0,22	0,05	0,00	45,59	46,14	98,8
H6	CB	160–270	7,4	34,78	0,40	0,22	0,04	0,00	35,44	35,44	100

... nadaljevanje

Profil P04 (Leskova dolina)

Matična podlaga sta apnenec in dolomit. Organska snov v tleh je v razponu od 1,7 % v B_tC horizontu do 18,1 % v A_h horizontu. Vrednost CN razmerja je med 14,9 in 18,3. Horizonti se uvrščajo v teksturni razred meljasto glinasta ilovica (MGI). Delež peska v tleh je v razponu med 2 in 3 %, delež melja med 59 in 69 % in delež gline med 28 in 36 %. B_t horizont vsebuje 36 %. pH tal je v razponu med 4,1 in 5,1. Najnižjo pH vrednost imata E horizont, najvišjo B_tC horizont. Delež bazičnih kationov je v razponu od 23,2 do 97,5 %. Vsebnost bazičnih kationov je najmanjša v EB horizontu (0,76 mmol_c/100g tal), največja v B_t horizontu (24,1 mmol_c/100g tal). Ca²⁺ je v EB horizontu izredno malo, le 0,1 mmol_c/100g tal. Nizka je tudi kationska izmenjalna kapaciteta, ki v EB horizontu znaša 2,81 mmol_c/100g tal. V tleh ni bilo sledi o CaCO₃.



Profil izpranih tal v Leskovi dolini P04 (foto: Tomaž Kralj)

Podatki standardne pedološke analize tal za profil P04

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org.} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)
H1	A _h	0–3	18,1	10,5	18,3	0,57	3	60	36	MGI	< 0,05
H2	E	3–35	4,3	2,5	17,4	0,15	3	69	28	MGI	< 0,05
H3	EB	35–60	3,2	1,9	17,3	0,11	2	59	29	MGI	< 0,05
H4	B _t	60–110	1,8	1,1	14,4	0,07	2	66	32	MGI	< 0,05
H5	B _t C	110–170	1,7	1,0	14,1	0,07	2	62	36	MGI	< 0,05
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V
									(mmol _c /100g tal)		
H1	A _h	0–3	4,5	15,07	1,78	0,36	0,04	0,05	17,25	19,22	89,7
H2	E	3–35	4,1	0,76	0,15	0,05	0,02	0,03	0,99	4,25	23,2
H3	EB	35–60	4,3	0,60	0,10	0,03	0,03	0,00	0,76	2,81	27,2
H4	B _t	60–110	4,4	3,61	0,73	0,07	0,08	0,00	4,49	6,76	66,4
H5	B _t C	110–170	5,1	22,4	1,44	0,18	0,06	0,01	24,08	24,68	97,5

... nadaljevanje

Profil P05 (Leskova dolina)

Matična podlaga je apnenec. Organska snov v tleh je v razponu od 0,9 % v B_{t3} horizontu do 26,3 % v A_h horizontu. Vrednost CN razmerja je v razponu od 7,6 do 18,7. Tla so glinena. B_t horizonti se uvrščajo v teksturni razred gline, A_h in E horizonti v razred meljasto glinaste ilovice in meljaste gline. Delež peska je v razponu med 1 in 6 %, delež melja med 9 in 59 % in delež gline med 38 in 90 %. B_t horizonti vsebujejo nad 80 % gline. pH tal je v razponu med 3,8 in 4,6. Najnižja pH vrednost je v obeh E horizontih, najvišja v A_h horizontu. Delež bazičnih kationov je v razponu od 20,4 do 91,2 %. Vsebnost bazičnih kationov v E horizontih je manjša od 2 mmol_c/100g tal, medtem ko se v B_t horizontih njihova količina poveča (24,36 mmol_c/100g tal). Ca²⁺ je v E horizontih manj kot 1,5 mmol_c/100g tal. V eluvijalnih horizontih je zelo nizka tudi kationska izmenjalna kapaciteta, ki znaša manj kot 8 mmol_c/100g tal). KIK se v B_t horizontih zviša na 26,7 mmol_c/100g tal (B_{t3}). V tleh ni bilo zaznanega CaCO₃.



Profil izpranih tal v Leskovi dolini P05 (foto: Tomaž Kralj)

Podatki standardne pedološke analize tal za profil P05

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org.} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)
H1	A _h	0–4	26,3	15,2	18,7	0,82	6	51	42	MG	< 0,05
H2	E1	4–35	4,0	2,3	17,2	0,13	4	59	37	MGI	< 0,05
H3	E2	35–45	2,5	1,5	14,6	0,10	3	55	42	MG	< 0,05
H4	B _{t1}	45–90	1,4	0,8	10,5	0,08	1	14	85	G	< 0,05
H5	B _{t2}	90–131	0,9	0,5	7,6	0,07	1	10	89	G	< 0,05
H6	B _{t3}	131–168	1,1	0,6	8,6	0,07	5	12	83	G	< 0,05
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V (%)
									(mmol _c /100g tal)		
H1	A _h	0–4	4,6	38,46	2,28	0,53	0,1	0,01	41,37	42,64	97
H2	E1	4–35	3,8	1,02	0,29	0,08	0,04	0,13	1,43	7,00	20,4
H3	E2	35–45	4,0	1,47	0,26	0,06	0,11	0,09	1,90	7,77	24,4
H4	B _{t1}	45–90	4,2	10,80	1,04	0,12	0,05	0,09	12,01	18,05	66,5
H5	B _{t2}	90–131	4,1	12,91	0,60	0,15	0,04	0,10	13,70	19,53	70,1
H6	B _{t3}	131–168	4,4	23,64	0,46	0,18	0,08	0,08	24,36	26,72	91,2

... nadaljevanje

Profil P11 (Hraše)

Matična podlaga so konglomerati – rečna terasa. Organska snov v tleh je v razponu od 0,5 % v B_{t3} horizontu do 3,8 % v A horizontu. Vrednosti CN razmerja so v razponu od 5 do 15,7. Tla so v B_t horizontih meljasto glinasto ilovnata, v zgornjem delu (A, AE in E) pa imajo manj gline in več melja, zato so meljasto ilovnate teksture. Delež peska v tleh je v razponu med 12 in 19 %, delež melja med 48 in 63 % in delež gline med 23 in 36 %. pH tal je v razponu od 4,1 do 4,3. Delež bazičnih kationov po horizontih je nizek, med 1,6 do 11,8 %. Vsebnost bazičnih kationov v E in AE horizontih je manjša od 0,3 mmol_c/100g tal, v najglobljem B_t horizontu ne presega 1,55 mmol_c/100g tal). Vsebnost Ca²⁺ je do globine 100 cm manjša od 0,23 mmol_c/100g tal, v B_{t3} horizontu se vsebnost poveča na 0,83 mmol_c/100g tal. Kationska izmenjalna kapaciteta tal je nizka, v razponu od 12,8 do 17,9 mmol_c/100g tal (preglednica 15).



Profil izpranih tal na savski terasi P11 (Koren, 2016: 18)

Podatki standardne pedološke analize tal za profil P11 (Koren, 2016)

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org.} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)*
H1	A	0–10	3,8	2,2	15,7	0,14	19	57	24	MI	/
H2	AE	10–25	1,9	1,1	12,2	0,09	12	63	25	MI	/
H3	E	25–40	0,6	0,3	5,0	0,06	12	62	26	MI	/
H4	B _{t1}	40–70	0,6	0,3	4,3	0,07	15	51	34	MGI	/
H5	B _{t2}	70–100	0,9	0,5	7,1	0,07	16	48	36	MGI	/
H6	B _{t3}	100–130	0,5	0,3	5,0	0,06	14	50	36	MGI	/
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V (%)
				(mmol _c /100g tal)					(mmol _c /100g tal)		
H1	A	0–10	4,2	0,20	0,10	0,11	0,02	17,45	0,43	17,88	2,41
H2	AE	10–25	4,3	0,12	0,05	0,04	0,02	14,10	0,23	14,33	1,61
H3	E	25–40	4,1	0,13	0,05	0,06	0,02	12,50	0,26	12,76	2,04
H4	B _{t1}	40–70	4,1	0,23	0,32	0,11	0,03	13,30	0,69	13,99	4,93
H5	B _{t2}	70–100	4,1	0,19	0,25	0,15	0,04	13,85	0,63	14,48	4,35
H6	B _{t3}	100–130	4,2	0,87	0,45	0,18	0,05	11,60	1,55	13,15	11,79

/ - ni podatka

... nadaljevanje

Profil P12 (Prebačevo)

Matična podlaga so konglomerati – rečna terasa. Organska snov v tleh je v razponu od 0,7 % v B_{t2} horizontu do 9,5 % v A_h horizontu. Vrednost CN razmerja je v razponu od 5,7 do 18,3. Tla so ilovnate do glineno ilovnate teksture. Delež peska v tleh je v razponu med 28 in 37 %, delež melja med 36 in 45 % in delež glinice med 19 in 35 %. pH tal je v razponu od 3,8 do 4,6. Delež bazičnih kationov v tleh je nizek (5,1 do 23,2 %). Vsebnost bazičnih kationov v E horizontu je 5 mmol_c/100g tal, v najglobljem B_t horizontu se zviša na 23,2 mmol_c/100g tal. Vsebnost Ca²⁺ je najmanjša v B_{t1} horizontu (0,19 mmol_c/100g tal), največja v B_{t3} horizontu (2,81 mmol_c/100g tal). Kationska izmenjalna kapaciteta tal je v razponu od 13,84 do 27,45 mmol_c/100g tal (preglednica 16).



Profil izpranih tal na savski terasi P12 (Koren, 2016: 21)

Podatki standardne pedološke analize tal za profil P12 (Koren, 2016)

Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	OS (%)	C _{org} (%)	C/N	N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	CaCO ₃ (%)*
H1	A _h	0–5	9,5	5,5	18,3	0,30	36	45	19	I	/
H2	E	5–20	2,9	1,7	21,3	0,08	33	45	22	I	/
H3	B _{t1}	20–38	1,1	0,6	10,0	0,06	28	41	31	GI	/
H4	B _{t2}	38–55	0,7	0,4	5,7	0,07	29	36	35	GI	/
Št. hor.	Ozn. hor.	Globina (cm)	pH (CaCl ₂)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	S	T (CEC)	V (%)
			(mmol _c /100g tal)						(mmol _c /100g tal)		
H1	A _h	0–5	3,8	0,65	0,46	0,26	0,03	26,05	1,40	27,45	5,10
H2	E	5–20	4,2	0,39	0,18	0,09	0,03	13,15	0,69	13,84	4,99
H3	B _{t1}	20–38	4,1	0,19	0,09	0,10	0,03	13,05	0,41	13,46	3,05
H4	B _{t2}	38–55	4,6	2,81	0,73	0,13	0,07	12,40	3,74	16,14	23,17

/ - ni podatka

PRILOGA H

Primerjave med horizonti (podatki izpranih tal Leskove doline, Hraš in Prebačevega)

	Kruskal-Wallis test	analiza variance linearni mešani model*	razlike med horizonti			
lastnost	p vrednost	p vrednost	A (n = 10)	E (n = 10)	B _t (n = 17)	test
SiO ₂ (%)	0,1657	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃ (%)	-	< 0,0000 ^{*1}	a	b	b	HSD
Fe ₂ O ₃ (%)	-	0,0001 ^{*1}	a	ab	b	HSD
CaO (%)	0,55	-	-	-	-	
MgO (%)	-	< 0,0000	a	b	b	HSD
Na ₂ O (%)	-	< 0,0000 ^{*1}	b	b	a	HSD
K ₂ O (%)	-	0,0376	a	a	a	HSD
TiO ₂ (%)	-	0,0679 ^{*1}	-	-	-	
P ₂ O ₅ (%)	-	0,0001	c	a	b	HSD
MnO (%)	-	0,0090	ab	a	b	HSD
LOI (%)	-	< 0,0000 ^{*1}	b	a	a	HSD
As	-	< 0,0000 ^{*1}	a	a	b	HSD
Ba	-	0,1904	-	-	-	
Cd	-	0,0082 ^{*1}	ab	a	b	HSD
Co	-	0,0053 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Cr	-	0,0066 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Cs	-	< 0,0000 ^{*1}	a	a	b	HSD
Cu	-	< 0,0000 ^{*1}	a	a	b	HSD
Ga	-	0,0018 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Hf	-	0,0015 ^{*1}	ab	b	a	HSD
Mo	-	0,1241 ^{*1}	-	-	-	
Nb	-	0,2092 ^{*1}	-	-	-	
Ni	-	< 0,0000 ^{*1}	a	b	c	HSD
Pb	-	< 0,0000 ^{*1}	b	a	a	HSD
Rb	-	< 0,0000 ^{*1}	a	a	b	HSD
Sb	-	< 0,0000 ^{*1}	b	a	b	HSD
Sc	-	< 0,0000 ^{*1}	a	b	c	HSD
Sn	0,5235	-	-	-	-	HSD
Sr	0,722	-	-	-	-	
Ta	-	0,1014	-	-	-	
Th	-	< 0,0000 ^{*1}	a	b	b	HSD
U	-	0,0001 ^{*1}	a	b	b	HSD
V	-	< 0,0000 ^{*1}	a	b	b	HSD
Y	-	0,0081 ^{*1}	a	ab	b	HSD
W	-	0,1353	-	-	-	
Zn	-	0,0075	ab	a	b	HSD
Zr	-	0,0015	ab	b	a	HSD

* analizirane so samo spremenljivke s predpostavkama o normalni porazdelitvi in enakosti varianc med obravnavanji

¹ transformirani podatki

... nadaljevanje

	Kruskal-Wallis test	analiza variance linearni mešani model*	razlike med horizonti			
lastnost	p vrednost	p vrednost	A (n = 10)	E (n = 10)	B _t (n = 17)	test
Ce	-	0,0023 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Er	-	0,0065	a	ab	b	HSD
Eu	-	0,0006 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Gd	-	0,0081 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Ho	-	0,0206 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Dy	-	0,0063 ^{*1}	a	ab	b	HSD
La	-	0,0020 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Lu	-	0,0815 ^{*1}	-	-	-	
Nd	-	0,0075 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Pr	-	0,0024 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Sm	-	0,0069 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Tb	-	0,0028 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Tm	-	0,0264 ^{*1}	a	ab	b	HSD
Yb	-	0,0220	a	ab	b	HSD
sumREE	-	0,0007 ^{*1}	a	b	b	HSD

* analizirane so samo spremenljivke s predpostavkama o normalni porazdelitvi in enakosti varianc med obravnavanji

¹ transformirani podatki

PRILOGA I

Primerjava med lokacijama podatki izpranih tal Leskove doline (LD), Hraš in Prebačevega (ST) ($\alpha = 0,05$)

Mann Whitney U test		razlike med horizonti		Mann Whitney U test		razlike med horizonti	
lastnost	p vrednost	LD (n = 17)	ST (n = 10)	lastnost	p vrednost	LD (n = 17)	ST (n = 10)
pH	0,0040	b	a	Sr	0,0006	b	a
OS	0,0436	b	a	Ta	0,0032	b	a
N	0,1042	-	-	Th	0,0138	b	a
CN	0,0454	b	a	U	0,0013	b	a
pesek	0,0000	a	b	V	0,0026	b	a
grobi melj	0,1460	-	-	W	0,0385	b	a
fini melj	0,3130	-	-	Y	0,0492	b	a
melj	0,0492	b	a	Zn	0,7712	-	-
glina	0,0229	b	a	Zr	0,0047	b	a
Ca ⁺⁺	0,0000	b	a	Ce	0,000	b	a
Mg ⁺⁺	0,0029	b	a	Er	0,0354	b	a
K ⁺	0,3213	-	-	Eu	0,0436	b	a
Na ⁺	0,0076	b	a	Gd	0,0354	b	a
H ⁻	0,0000	a	b	Ho	0,0872	-	-
S	0,0000	b	a	Dy	0,0492	b	a
KIK	0,0841	-	-	La	0,0001	b	a
V	0,0000	b	a	Lu	0,0026	b	a
SiO ₂	0,0000	b	a	Nd	0,0010	b	a
Al ₂ O ₃	0,0599	-	-	Pr	0,0002	b	a
Fe ₂ O ₃	0,5725	-	-	Sm	0,0286	b	a
MgO	0,0647	-	-	Tb	0,0811	-	-
CaO	0,0000	b	a	Tm	0,0325	b	a
Na ₂ O	0,9863	-	-	Yb	0,0131	b	a
K ₂ O	0,0262	a	b	sumREE	0,0003	b	a
TiO ₂	0,0065	b	a	TOT/C	0,0138	b	a
P ₂ O ₅	0,0311	a	b	CIA	0,0174	a	b
MnO	0,1879	-	-	CIW	0,0017	a	b
LOI	0,0023	b	a	ICV	0,0131	b	a
As	0,9318	-	-	Zr/Hf	0,0006	b	a
Ba	0,1117	-	-				
Cd	0,0062	b	a				
Co	0,0010	b	a				
Cr	0,0003	b	a				
Cs	0,0017	b	a				
Cu	0,5158	-	-				
Ga	0,9318	-	-				
Hf	0,0113	b	a				
Mo	0,0000	b	a				
Nb	0,0000	b	a				
Ni	0,0007	b	a				
Pb	0,6199	-	-				
Rb	0,1117	-	-				
Sb	0,6815	-	-				
Sc	0,0971	-	-				
Sn	0,0699	-	-				