Magnetni susceptibilitet tala razvijenih na karbonatnim stijenama južne Dalmacije

Špehar, Adrian

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:600702

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

Magnetni susceptibilitet tala razvijenih na karbonatnim stijenama južne Dalmacije

Diplomski rad

Adrian Špehar
GI 241

Zagreb, 2017.

Ovim putem bih se zahvalio voditelju izv. prof. dr. sc. Slobodanu Miki, dr. sc. Nikolini Ilijanić i mag. geol. Ozrenu Hasanu na korisnim savjetima i pruženoj pomoći pri izradi rada.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko – geološko – naftni fakultet

Diplomski rad

MAGNETNI SUSCEPTIBILITET TALA RAZVIJENIH NA KARBONATNIM STIJENAMA JUŽNE DALMACIJE

ADRIAN ŠPEHAR

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko – geološko – naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Istraživanje je provedeno na području Splitsko – dalmatinske i Dubrovačko – neretvanske županije u sklopu projekta „Promjena zaliha ugljika u tlu i izračun trendova ukupnog dušika i organskog ugljika u tlu te odnosa C:N“. Na uzorcima prikupljenim širom istraživanog područja (do 30 cm u intervalima od 10 cm) mjerio se maseni i frekventni magnetni susceptibilitet u svrhu interpretacije područja koja pokazuju visoke vrijednosti magnetnog susceptibiliteta. Dodatnim analizama uzoraka kao što su geokemijska, rendgenska difrakcijska analiza (XRD), i kategorizacijom prema tipu tla i vrsti pokrova željela se dobiti informacija kakav one utjecaj imaju na raspodjelu magnetnog susceptibiliteta na području istraživanja. Rezultati statističkih analiza su pokazali kako se magnetni susceptibilitet veže uz Al, Fe i Ti. Povećana prisutnost Ca u tlu dovodi do smanjenja MS. Uzorci su prikupljeni s četiri dominantna tla, a to su crvenice, smeđa tla, crnice i eugleji. Najveće vrijednosti magnetnog susceptibiliteta izmjerene su na uzorcima crvenice, nakon toga na uzorcima smeđih tala, dok je najniža vrijednost za euglej. Povećanjem dubine se u većini uzoraka povećavao i magnetni susceptibilitet što dovodi do zaključka kako su magnetne čestice litogenog podrijetla. Poljoprivredna zemljišta i močvare imaju najniže vrijednosti magnetnog susceptibiliteta, iz čega proizlazi kako sadrže najmanji udio magnetnih čestica. Najviše su vrijednosti izmjerene za pašnjake.

Ključne riječi: Splitsko – dalmatinska, Dubrovačko – neretvanska, maseni i frekventni magnetni susceptibilitet, crvenice, smeđa tla, geokemijske analize
Diplomski rad sadrži: 51 stranica, 11 tablica, 36 slika, 1 prilog i 26 referenci.
Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko – geološko – naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Slobodan Miko, HGI
Pomoć pri izradi: Mag. geol. Ozren Hasan
Dr. sc. Nikolina Ilijanić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Slobodan Miko, HGI
Prof. dr. sc. Goran Durn, RGNF
Doc. dr. sc. Jelena Parlov, RGNF

Datum obrane: 23. 02. 2017.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's thesis

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF GROUNDS DEVELOPED ON CARBONATES OF SOUTH DALMATIA

ADRIAN ŠPEHAR

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology And Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

This study was performed in the area of Split – Dalmatian and Dubrovnik – Neretvanska county as a part of project entitled „The change of carbon stocks in soil and calculation of trends of nitrogen and organic carbon in soil and C:N ratio“. Mass and frequency magnetic susceptibility (MS) was measured in the samples collected around the studied area (up to 0.3 meters in intervals of 0.1 meter) to determine areas with high values of magnetic susceptibility. Additional analyses, such as X – Ray Difraction (XRD), geochemical, soil type classification and land cover were made to estimate their influence on magnetic susceptibility distribution around the area of research. Results of geochemical analyses have shown that magnetic susceptibility mostly depends on elements Al, Fe and Ti. Presence of Ca results in lower MS values. Samples were collected in four dominant soil types: Terra Rossa, brown soils, humic soils and eugley soils. The highest MS is measured in Terra Rossa samples, lower in brown soils, and the lowest in eugley soils. MS values increase with depth in most samples, so the conclusion is that magnetic particles are lithogenetic in origin. Values of MS are lowest in croplands and wetlands due to the lowest amount of magnetic particles in them. In the samples collected in grasslands the highest values were measured.

Keywords: Split – Dalmatian county, Dubrovnik – Neretvanska county, mass and frequency magnetic susceptibility, Terra Rossa soils, brown soils, geochemical analyses
Thesis contains: 51 pages, 11 tables, 36 pictures, 1 appendexes and 26 references.
Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology And Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Slobodan Miko, PhD
Tehnical support: Ozren Hasan, Mag. geol
Nikolina Ilijanić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Slobodan Miko, PhD
Full Professor, Goran Durn, PhD
Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Date of defense: February 23rd, 2017.

Sadržaj:

1. UVOD 1

2. PRIRODNA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 3

2.1.GEOGRAFSKI POLOŽAJ I KLIMA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 3

2.2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 4

2.3. STRUKTURNO – TEKTONSKE OSOBINE KRŠKIH DINARIDA 10

2.4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 11

2.5. PEDOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 13

3. MAGNETNI SUSCEPTIBILITET TLA 17

3.1. MAGNETNA SVOJSTVA MATERIJALA 17

3.2. OPĆENITO O MAGNETNOM SUSCEPTIBILITETU 18

3.3. PRIMJENA MAGNETNOG SUSCEPTIBILITETA U RAZMINIRANJU I UTJECAJ ONEČIŠĆENJA NA MAGNETNI SUSCEPTIBILITET 19

4. GEOKEMIJA ODABRANIH ELEMENATA U TLIMA JUŽNE DALMACIJE 20

4.1. BAKAR (CU) 20

4.2. NIKAL (NI) 20

4.3. ŽELJEZO (FE) 20

4.4. ALUMINIJ (AL) 20

4.5. TITANIJ (TI) 21

4.6. KROM (CR) 21

4.7. FOSFOR (P) 21

4.8. MAGNEZIJ (MG) 21

4.9. KALCIJ (CA) 21

5. METODE ISTRAŽIVANJA I ANALIZA 22

5.1. GEOKEMIJSKA MJERENJA 24

5.2. ODREĐIVANJE MINERALNOG SASTAVA PRIMJENOM RENDGENSKE DIFRAKCIJSKE ANALIZE 24

5.3. MJERENJE MAGNETNOG SUSCEPTIBILITETA 25

6. MATEMATIČKO – STATISTIČKA OBRADA PODATAKA 28

6.1. KORELACIJSKA ANALIZA 28

6.2. KLASTER ANALIZA 29

7. REZULTATI I RASPRAVA 30

7.1. REZULTATI MJERENJA MAGNETNOG SUSCEPTIBILITETA *BARINGTON MS2B* SUSTAVOM 30

7.2. UTJECAJ VRSTE POKROVA PREMA LULUCF KATEGORIZACIJI NA MAGNETNI SUSCEPTIBILITET ZA RAZLIČITE INTERVALE UZORKOVANJA 30

7.3. UTJECAJ TIPA TLA NA MAGNETNI SUSCEPTIBILITET ZA RAZLIČITE INTERVALE UZORKOVANJA 33

7.4. REZULTATI ODREĐIVANJA RELATIVNE MINERALNE FAZE PRIMJENOM RENDGENSKE DIFRAKCIJSKE ANALIZE I NJIHOV UTJECAJ NA MAGNETNI SUSCEPTIBILITET 39
7.5. KORELACIJSKA I KLASTER ANALIZA 44
8. ZAKLJUČAK 49
9. LITERATURA 50

Popis slika:

Slika 2.1. Geografski položaj istraživanog područja s označenim lokacijama uzorkovanja profila tla. 4
Slika 2.2. Geološka karta istraživanog područja. 9
Slika 2.3. Tumač oznaka za geološku kartu 1:300 000. 10
Slika 2.4. Hidrogeološka karta istraživanog područja (Diktas, 2013). 12
Slika 2.5. Tumač oznaka za hidrogeološku kartu (Diktas, 2013). 12
Slika 2.6. Tumač oznaka hidrogeoloških jedinica za hidrogeološku kartu (Diktas, 2013). 13
Slika 2.7. Pedogenetski profil s glavnim horizontima A_0 – horizont s djelomično raspadnutom organskom tvari;, A_1 – horizont velikog udjela humusa i mineralne tvari; A_2 – rastresiti horizont svijetle boje i maksimalne eluvijacije; B – horizont koji se sastoji od minerala gline ili željezovitih minerala i organske tvari; C – čvrsta stijena. 14
Slika 2.8. Pedološka karta istraživanog područja. 15
Slika 2.9. Tumač oznaka za pedološku kartu istraživanog područja. 16
Slika 5.1. Točke geokemijske karte na mreži 5x5 km RH klasificirane po LULUCF kategorijama (Miko i dr., 2014) 23
Slika 5.2. Prikaz mogućeg stratificiranog odabira točaka uzorkovanja (Miko i dr., 2014). 23
Slika 5.3. Rendgenski difraktometar PANalyticalX'Pert Powder. 25
Slika 5.4. Usitnjavanje uzoraka. 26
Slika 5.5. Priprema uzoraka za mjerenje magnetnog susceptibiliteta na magnetometru. ... 26
Slika 5.6. *Barington MS2* sustav. 27
Slika 7.1. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) za interval 0 – 10 cm, prema LULUCF. 32
Slika 7.2. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) za interval 10 – 20 cm, prema LULUCF. 32
Slika 7.3. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) za interval 20 – 30 cm, prema LULUCF. 33

Slika 7.4. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) prema tipu tla za dubinu 0 – 10cm..... 35
Slika 7.5. Raspodjela vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) po točkama istraživanja za dubinu od 0 – 10 cm..... 35
Slika 7.6. Raspodjela vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) po točkama istraživanja za dubinu od 0 – 10 cm. 36
Slika 7.7. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) prema tipu tla za dubinu 10 – 20 cm..... 36
Slika 7.8. Raspodjela vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) po točkama istraživanja za dubinu od 10 – 20 cm..... 37
Slika 7.9. Raspodjela vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) po točkama istraživanja za dubinu od10 – 20 cm. 37
Slika 7.10. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) prema tipu tla za dubinu 20 – 30 cm..... 38
Slika 7.11. Raspodjela vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) po točkama istraživanja za dubinu od 20 – 30 cm..... 38
Slika 7.12. Raspodjela vrijednosti frekventnog susceptibiliteta (χ_{fd}) po točkama istraživanja za dubinu od 20 – 30 cm..... 39
Slika 7.13. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1282 istraživanog područja (Miko i dr., 2016). 41
Slika 7.14. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1289 istraživanog područja (Miko i dr., 2016). 41
Slika 7.15. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1339 istraživanog područja (Miko i dr., 2016). 42
Slika 7.16. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1371 istraživanog područja (Miko i dr., 2016). 42
Slika 7.17. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1397 istraživanog područja (Miko i dr., 2016). 43
Slika 7.18. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke M - 102 istraživanog područja (Miko i dr., 2016). 43
Slika 7.19. Vrijednost masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije u ovisnosti o postotku Ca u tlu..... 44

Slika 7.20. Klaster analiza rezultata kemijskih analiza i magnetskog susceptibiliteta (Ward-ova metoda hijerarhijskog grupiranja pomoću Pearson-ovih koeficijenata korelacije) u intervalu 0 – 10 cm, pomoću koje su izdvojeni karbonatni i siliciklastični klaster. 48
Slika 7.21. Klaster analiza rezultata kemijskih analiza i magnetskog susceptibiliteta (Ward-ova metoda hijerarhijskog grupiranja pomoću Pearson-ovih koeficijenata korelacije) u intervalu 20 – 30 cm, pomoću koje su izdvojeni karbonatni i siliciklastični klaster. 48

Popis tablica:

Tablica 6.1. Rasponi jakosti korelacije. 28
Tablica 7.1. Statistički parametri za dobivene rezultate. 30
Tablica 7.2. Statistički parametri vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije prema vrsti pokrova. 31
Tablica 7.3. Statistički parametri vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta prema vrsti pokrova. 31
Tablica 7.4. Statistički parametri vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije prema tipu tla. 34
Tablica 7.5. Statistički parametri vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta prema tipu tla. 34
Tablica 7.6. Rezultati rendgenske difrakcijske analize za odabrane uzorke i promjena masenog i frekventnog magnetnog susceptibiliteta. 40
Tablica 7.7. Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 0 – 10 cm; χ_{lf} (maseni magnetni susceptibilitet niske frekvencije) – χ_{hf} (maseni magnetni susceptibilitet visoke frekvencije). 45
Tablica 7.8. Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 20 – 30 cm; χ_{lf} (maseni magnetni susceptibilitet niske frekvencije) – χ_{hf} (maseni magnetni susceptibilitet visoke frekvencije). 46
Tablica 7.9. Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 0 – 10 cm; χ_{fd} (frekventni magnetni susceptibilitet). 46
Tablica 7.10 Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 20 – 30 cm; χ_{fd} (frekventni magnetni susceptibilitet). 46

Popis priloga:

Prilog 1. Popis uzoraka s podjelom prema dubini, vrsti pokrova, tipu tla te izmjerenim MS i masom

1. UVOD

Magnetni susceptibilitet (MS) je mjera sposobnosti materijala da postane magnetičan u prisutstvu slabog magnetnog polja (Blumentritt i Lascu, 2014). Ferimagnetični minerali kao što je magnetit, u prirodi pokazuju najviše vrijednosti magnetnog susceptibiliteta. Magnetit je čest mineral koji se može pronaći u svim magmatskim, većini sedimentnih stijena, te gotovo svim tlima. Podrijetlo magnetita u tlima je primarno pedogeno i predstavlja dio željeznih oksida koji su formirani kroz aktivne procese razvoja tla (Magiera i dr, 2006). Osim razvoja matične stijene, izvor magnetičnih minerala u tlu može biti vulkanska prašina, ali i prašina nastala antropogenim utjecajem (Dearing i dr., 1996). Najveću važnost pri nastanku magnetičnih minerala, zauzimaju geologija, klima i reljef. Na lokalnoj razini razmatraju se i požari i onečišćenje (antropogeni utjecaj), koji ne ovise o procesima u samom tlu (Hannam i Dearing, 2008) i nemaju širok i bitan utjecaj kao prva tri. Ispitivanje magnetnog susceptibiliteta na uzorcima prikupljenim na području Splitsko – dalmatinske i Dubrovačko – neretvanske županije tema je ovog diplomskog rada. Gledajući prirodno – regionalnu podjelu, područje istraživanja pripada južnoj Hrvatskoj, makroregiji Primorska Hrvatska. Obuhvaća i otoke Brač, Hvar, Mljet, Korčulu. Istaknute planine su Biokovo, Dinara i Mosor. Prema teritorijalno – administrativnoj podjeli Republike Hrvatske, dio je Splitsko – dalmatinske i Dubrovačko – neretvanske županije. Dio je Jadranske karbonatne platforme i Krških Dinarida. Stijene su uglavnom vapnenci i dolomiti, odnosno radi se o pretežno krškom reljefu. Na temelju Pedološke karte Hrvatske 1 : 500 000 (Martinović, 1990), izdvojena su sljedeća tla prisutna na području istraživanja, a to su: crnica, rendzine, crvenica, aluvijalna tla, amfigleji i antropogena tla, pri čemu su uzorci uzorkovani s četiri osnovna, i to s crvenica, smeđih tala, eugleja i crnica. Na uzorcima prikupljenim s 47 različitih lokacija, za različite intervale dubina, od 0 – 10, 10 – 20 i 20 – 30 cm mjerio se magnetni susceptibilitet. Za mjerenje magnetnog susceptibiliteta korišten je uređaj *Bartington MS2B* i rezultati su spremani u *Excel* tablice. Na nekoliko odabranih uzoraka načinjena je rendgenska difrakcijska analiza u svrhu određivanja relativne zastupljenosti mineralne faze i njenom utjecaju na magnetni susceptibilitet. Usporedit će se rezultati mjerenja magnetnog susceptibiliteta s rezultatima prethodnih istraživanja poput geokemijskih analiza. Želi se ispitati međuovisnost masenog magnetnog susceptibiliteta i frekventnog susceptibiliteta prema odabranim geoemijskim elementima. Rezultati će se obraditi matematičko – statističkim metodama korištenjem programa *Statistica 10*, točnije korelacijom i klaster

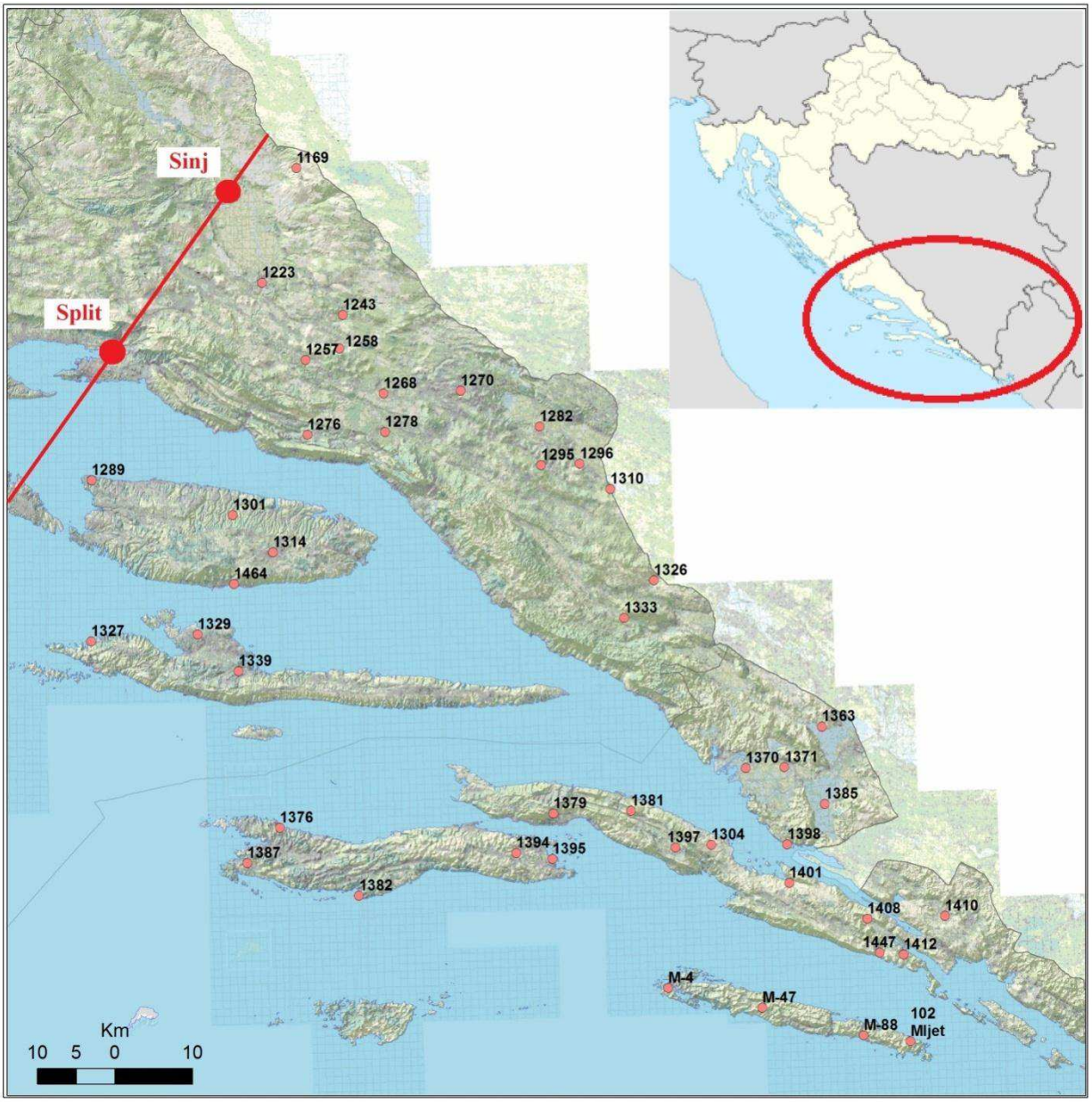
analizom. Osim toga želi se i ispitati promjena magnetnog susceptibiliteta s dubinom, te kako na magnetni susceptibilitet utječe vrsta pokrova čija je podjela načinjena prema LULUCF (Land Use, Land – Use Change and Forestry) kategorizaciji. Hannam i Dearing (2008) su istražili raspodjelu magnetne susceptibilnosti na području BiH i rezultati u ovom radu ukratko će biti uspoređeni s njihovim. Svrha diplomskog rada jest identifikacija područja koja pokazuju visoke vrijednosti magnetnog susceptibiliteta. Dobiveni podaci mogu se upotrijebiti kao pokazatelj potencijalnog onečišćenja, podrijetla materijala koji čini mineralnu osnovu tla, detekcije zaostalih mina magnetometrima pri kalibraciji uređaja za razminiravanje te razlikovanja prirodnog od antropogenog magnetnog susceptibiliteta. Terensko uzorkovanje tala prema LULUCF, tipu tla, kao i geokemijske analize provedene su u sklopu projekta „Promjena zaliha ugljika u tlu i izračun trendova ukupnog dušika i organskog ugljika u tlu te odnosa C:N“ koji financira Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP), a uzorkovanje uzoraka prikupljenih za mjerenje magnetnog susceptibiliteta se izvodilo na istim lokacijama. Magnetni susceptibilitet mjerio se na Hrvatskom geološkom institutu, u Zavodu za mineralne sirovine.

2. PRIRODNA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

U ovom dijelu diplomskog rada, navedene su i opisane geografske, strukturno – tektonske značajke, geološka građa te hidrogeološke i pedološke značajke istraživanog područja. Pomoć pri izradi karata na slikama (Slika 2.1, 2.2, 2.3, 2.8, 2.9) pružio je mag. geol. Ozren Hasan.

2.1.Geografski položaj i klima istraživanog područja

Istraživano područje (Slika 2.1) smješteno je na području Splitsko – dalmatinske i Dubrovačko – neretvanske županije. Uzorci su uzorkovani s različitih lokacija od poteza Split – Sinj do granice s Crnom Gorom, s otoka Brač, Hvar, Mljet, Korčula te s poluotoka Pelješac. Sa sjeverozapadne strane istraživano područje omeđeno s potezom Split – Sinj koji je na karti ucrtan crvenom bojom, sa sjevera i sjeveroistoka Dinarom i granicom s Bosnom i Hercegovinom, na jugoistoku granicom s Crnom Gorom te na jugu i jugozapadu Jadranskim morem, odnosno granicom s Italijom. Radi se o pretežno gorsko – planinskom području, dok su niži dijelovi povezani s dolinom rijeke Neretve i Cetine te obalom kopnenog i otočnog dijela. Kao veće i bitne planine koje se nalaze unutar područja istraživanja potrebno je spomenuti Dinaru, Biokovo i Mosor. Klima je uglavnom sredozemna s vrućim ljetom i to na obali i otocima. Udaljavanjem od mora javlja se umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom, te umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom na najvišim nadmorskim visinama Dinare i Biokova (Čečura i Križovan, 2000). Srednje temperature zraka u siječnju na otocima, uz obalu te području jugoistočno od Makarske su više od 4 °C (Celzijevi stupnjevi), na području Dinare i Biokova niže od -2 °C, dok na ostalom dijelu imamo temperature u rasponu od -2 do 0 °C. Srednje temperature zraka u srpnju su više od 22 °C, izuzev područje Biokova i Dinare, gdje se protežu u rasponu između 18 i 22 °C (Čečura i Križovan, 2000). Količine oborina se na otocima Hvar i Brač protežu u rasponima od 700 – 1000 mm / god (milimetara godišnje), na ostalim otocima te uz obalu su u rasponu od 1000 – 1500 mm / god., u unutrašnjosti od 1500 – 2000 mm / god., te na Biokovu > 2000 mm / god (Čečura i Križovan, 2000).



Slika 2.1. Geografski položaj istraživanog područja s označenim lokacijama uzorkovanja profila tla.

2.2. Geologija istraživanog područja

Litostratigrafski opis te strukturno – tektonski odnos Krških Dinarida je načinjen na temelju Tumača Geološke karte Republike Hrvatske 1 : 300 000 (Velić i Vlahović, 2009), dok su jedinice izvojene na temelju Geološke karte RH 1 : 300 000 (Hrvatski geološki institut, 2009).

2.2.1. Dolomiti (gornji norik, ret; $T_2^{2,3}$)

Dolomiti mlađeg trijasa leže na klastitima gornjeg trijasa ili transgresivno na karbonatnim naslagama srednjeg trijasa. Izmjenjuju se ranodijagenetski i kasnodijagenetki dolomiti koji se razlikuju prema obojenju. Kao rezultat javlja se izmjena svjetlijih i tamnijih slojeva dolomita. Ta izmjena se naziva Glavni dolomit (Velić i Vlahović, 2009) iz razloga što svojim osobinama i stratigrafskim položajem odgovara dolomitima južne i srednje Europe. Kasnodijagenetski dolomiti su češći i mogu sadržavati i dijelom dolomitizirane vapnence s fosilima (npr. foraminiferama).

2.2.2. Vapnenci i dolomiti (donja jura; J_1)

Razlikujemo tri litološke cjeline, a to su: izmjena vapnenaca i dolomita u donjem dijelu, vapnenci s litiolidno – brahiopodnim kokinama u srednjem i bioturbirani, mrljasti vapnenci u gornjem dijelu. Vapnenci donje jure su sive, tamnosive i crne boje. Vapnenci koje nalazimo u okolici Dubrovnika, te u dolini Neretve se razlikuju zbog bijele boje. Dobro su slojeviti. Pri kraju srednjeg te u gornjem dijelu donje jure postoje i pločasti vapnenci. Dolomiti su uglavnom kasnodijagenetski. Naslage donjeg dijela sadrže velik udio fosila od kojih su najčešći puževi, školjkaši, bentičke foraminifere, vapnenačke alge, i brahiopodi. Zbog promjene uvjeta i okoliša taloženja u mlađem dijelu gornje jure okoliš nije pogodovao razvoju života. Došlo je do produbljivanja okoliša.

2.2.3. Debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (srednja jura; J_2)

Vapnenci i dolomiti srednje jure vežu se uz karbonate donje jure. Vapnenci su dominantni u odnosu na dolomite. Donji i srednji dio srednje jure grade debeli slojevi sivih i tamnosivih madstona s proslojcima sivkastosmeđih dolomita koji su kasnodijagenetski. U gornjem dijelu srednje jure se javlja izmjena više litotipova: madstoni, fosiliferni vekstoni i pekstoni, ponegdje grejstoni, sve do emerzijskih breča uz prisutnost kasnodijagenetskih dolomita. Prevladavaju mikrofosilne zajednice foraminifera i vapnenačkih algi. Foraminifere su provodni fosili za najniži dio jurskih naslaga (alen, niži bajocij).

2.2.4. Vapnenci i dolomiti (gornja jura; J_3)

Starije naslage gornje jure čine tamni vapnenci i dolomiti bogati organskom tvari. U srednjem i mlađem dijelu gornje jure, prisutni su sivi i smeđkasti, dobroslojeviti vapnenci i dolomiti. Unutar naslaga nalazimo velike fosilne zajednice (foraminifere i alge), a mogu se pronaći i makrofosili (ostatci koralja, hidrozoja, stromatoporoida, školjkaša,

puževa, brahiopoda itd.). Slojeviti vapnenci i kasnodijagenetski dolomiti su u međusobnoj izmjeni. U nižem dijelu gornje jure prevladavali su okoliši niske energije subtajdala i/ ili laguna koji su povremeno prelazili u visokoenergijske plićake, a u srednjem dijelu se javlja oplićavanje.

2.2.5. Vapnenci i dolomiti donje krede (K_1)

Dominantni su različiti tipovi vapnenaca. Dolomiti su uglavnom kasnodijagenetski. Debelo slojeviti vapnenci muljne potpore kao što su madstoni i algalni veksoni su najčešći. Masivni vapnenci starijeg apta sadrže biolititna tijela, ostatke koraljnih grebena, hidrozoje, briozoje, puževe i školjkaše. Salpingoporelski madstoni specifični su za mlađi apt. Orbiolinski vekstoni, ponegdje i tempestiti u izmjeni s madstonima i miliolidnim vekstonima javljaju se u donjem albu, a u gornjem albu izmjena pločastih do tankoslojevitih madstona s miliolidnim vekstonima i miliolidno gastropodnim grejnstonima ili tempestitima. Što se dolomita tiče, bogati su vapnenačkim algama i bentonitnim foraminiferama (provodni mikrofosil). Pahiodontni školjkaši donjeg apta, puževi i školjkaši tankih ljuštura najbitniji su makrofosili. Naslage donje krede taložile su se u plitkomorskim uvjetima, što za posljedicu ima ritmično slaganje karbonatnih sedimenata velikih debljina. Produbljivanje platforme je zabilježeno u starijem aptu. Početkom alba je zabilježena i emerzija koja je zahvatila cijelu karbonatnu platformu.

2.2.6. Dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče (gornji alb, donji cenoman; $K_1^{\,6}$, $K_1^{\,2}$)

Na prijelazu iz donje u gornju kredu javljaju se kasnodijagenetski dolomiti i/ili izmjena vapnenačko – dolomitnih breča bez fosilnog sadržaja. Na područjima slabije tektonike javlja se prijelaz iz tanskoslojevitih, albskih vapnenaca u potpuno kristalizirane kasnodijagenetske dolomite. Srednjocenomanski vapnenci s fosilima su u krovini, a na temelju superspozicijskih odnosa utvrđena je gornjoalbska – donjocenomanska starost. Zbog izražene tektonike, česte su breče. Tektonika utječe i na češću pojavu kasnodijagenetskih procesa poput kasnodijagenetske dolomitizacije, dedolomitizacije, kalcitizacije, silifikacije, okršavanja itd.

2.2.7. Rudistni vapnenci (cenoman – mastriht; $K_2^{\,1-6}$)

Izdanci zauzimaju veliku površinu, srednje i gornjocenomanske starosti su i sastoje se od dobroslojevitih, sivih, svjetlo smeđih, bijelih grebenskih – prigrebenskih te lagunskih vapnenaca bogatih mikrofosilima i rudistima. Rudisti su najbitniji makrofosili na temelju

kojih je izvršena podjela cenomana te mlađih naslaga gornje krede. Dolomiti su rjeđi. Za mlađeg tirona i konijaka su taloženi plitkovodni vapnenci; skeletni vekstoni, kriptalgalni laminiti i rudistni floutstoni / radstoni. Gornjosantonsko – donjokampanski pelagički vapnenci su biomikritnog tipa, dobroslojeviti, svijetli, slojevi su im različitih debljina te mogu sadržavati i nodule te rožnjake. Na njima leže svjetlosivi do bijeli bioklastični vekston – pekstoni i floutstoni s rudistima i drugim fosilima. Postupno se javlja okopnjavanje nakon čega dolazi do pojave izmjene dolomitiziranih radiolaritnih biostroma i kokina, dolomikrita sa stromatolitnom građom, laminiranih tamnosivih do crnih madstona i vekstona te foraminifersko – peletnih vekstona i pekstona s miliolidama, ostrakodima, haracejama i gastropodima, a prisutni su i rudisti.

2.2.8. Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (gornji paleocen, donji i srednji eocen; ? Pc, $E_{1,2}$)

Liburnijske naslage leže transgresivno na starijim naslagama pri čemu je važnu ulogu odigrala tektonika te dugotrajno okršavanje krednog kopna. Liburnijske naslage okarakterizirane su neravnomjernom transgresijom na krednu podlogu. Fosili su gastropodi, školjkaši, bentičke i planktonske foraminifere, ostrakodi, oogoniji itd. Foraminiferski vapnenci se nastavljaju na Liburnijske naslage, a na vapnencima gornje krede leže transgresivno (Velić i Vlahović, 2009). Dijelimo ih u 4 litostratigrafske jedinice: miliolidne, alveolinske, numulitne vapnence te diskociklinske vapnence, koji su u superpozicijskom međuodnosu i pripadaju donjem dijelu srednjeg eocena. Građeni su iz skeleta bentičkih i rjeđe planktonskih foraminifera. Predstavljaju izmjenu plićih i dubokih okoliša.

2.2.9. Flišne naslage (srednji i gornji eocen; $E_{2,3}$)

Fliš je posljedica kretanja mulja i pijeska sa šelfa turbiditima niz padinu prema dubljim dijelovima bazena. Javlja se izmjena pješčenjaka i lapora. Naslage fliša neposrednog područja bogatije su kvarcnim pijeskom, dok su flišne naslage udaljenih područja bogatije karbonatima. Najstarije naslage fliša leže na hemipelagičkim laporima, gornjolutenske – donjobartonske su starosti, a ona je utvrđena na temelju nalaza nanoplanktonskih zona. Najmlađi fliš se može pronaći na Hvaru, taloženi su na erozijskoj diskordanciji, te je na temelju nanoplanktona te planktonskih mikroforaminifera utvrđeno kako je njegovo taloženje trajalo u oligocenu.

2.2.10. Tercijarne karbonatne breče (paleogen, neogen; Pg, Ng)

Čine ih masivne karbonatne breče koje izgrađuju fragmenti stijena u matriksu crvene i sive boje te kalcitnog sastava. Zovu ih još i Jelar breče (Velić i Vlahović, 2009). Uklopljeni klasti su fragmenti krednih vapnenaca i dolomita, jurskih i paleogenskih vapnenaca, no pronaći se mogu i klasti trijaskih karbonata, fragmenti boksita, ulomci paleogenskog fliša, Promina naslaga i rožnjaka. Klasti mogu varirati od veličine nekoliko mm do nekoliko cm, a mogući su i blokovi metarskih dimenzija. Podrijetlo im je uglavnom od okolnih stratgrafskih jedinica. Tercijarne karbonatne breče nalazimo uz tektonski deformirane jurske, donjokredne, gornjokredne karbonate i paleogenske foraminiferske vapnence. Krovinu Jelar breča čine miocenski lapori. Starost im je određena na temelju uklopljenih zrna zbog nepostojanja fosila, no na temelju superpozicije bi se dalo zaključiti kako imaju dulje vrijeme formiranja.

2.2.11. Jezerske naslage holocena ($a - jQ_2$)

Sediment koji je rastresit i prahovit, bijele do sive boje te ima visok udio $CaCO_3$, do 15 m debelih slojeva.

2.2.12. Barske naslage holocena ($b - bQ_2$)

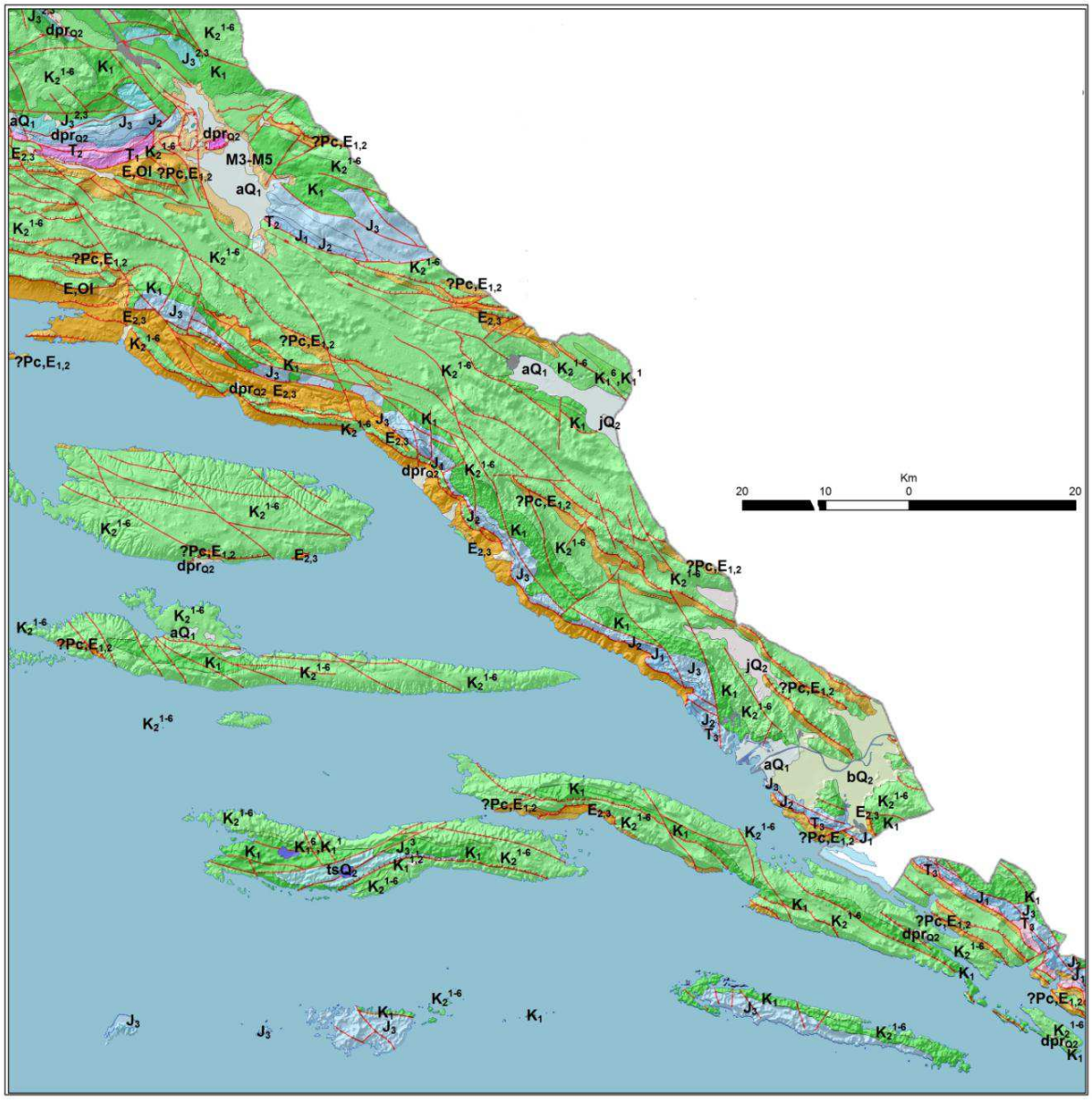
Nalazimo ih u dolini Neretve, Sinjskom, Krbavskom i Lapačkom polju. Barske naslage u dolini Neretve sastavljene su od pijesaka, gline, treseta i debljine su do 10 m, u naslagama Krbavskog i Lapačkog polja zastupljeni su glinovito – pjeskoviti siltovi, dok u naslagama Krbavskog polja ima i treseta.

2.2.13. Deluvijalno – proluvijalne ($a - dprQ_2$) naslage

Nastale su erozijsko – denudacijskim procesima te nakon toga taloženjem materijala u podnožju dijelova većih nadmorskih visina. Sastav im ovisi o građi okruženja, i prisutne su u gotovo cijelom Dinarskom području, a čine ih pijesci, šljunci i vapnenačko kršje.

2.2.14. Aluvijalne naslage ($b - aQ_2$)

Talože se u dolinama rijeka, različite su debljine i sastoje se od pijesaka, šljunaka, siltova i glina.



Slika 2.2. Geološka karta istraživanog područja.



Slika 2.3. Tumač oznaka za geološku kartu 1:300 000.

2.3. Strukturno – tektonske osobine Krških Dinarida

Dinaridi su nastali podvlačenjem Afričke ploče pod Eurozijsku i nastavak su Alpi. Približavanjem tih ploča došlo je do smanjivanja Neotetisa. U nizu karbonatnih platformi u Neotetisu bila je i Jadranska platforma starosti od toarcija – kraj krede. Ona gradi najveći dio Krških Dinarida. Današnji izgled Krških Dinarida rezultat je tektonike. Rift Afričke ploče te odvajanje njenog dijela Adrije koja predstavlja podlogu za razvitak jedne velike karbonatne platforme za srednjeg trijasa prouzročio je jaku tektoniku. Ekstenzijska tektonika srednjeg i mlađeg dijela starije jure dovela je do podjele te platforme u niz manjih, među kojima je i Jadranska karbonatna platforma. Zbog jake tektonike javili su se duboki, subvertikalni, normalni rasjedi. Izmjena kompresije i ekstenzije za vrijeme mlađe krede dovela je do stvaranja struktura pružanja sjeveroistok – jugozapad. Tektonika mijenja platformu, a krajem krede gotovo da je potpuno emergirana. Kao posljedica tektonike se talože karbonati. Najstarije paleogenske naslage taložene su u starijem eocenu. Na foraminiferskim vapnencima počinju se javljati dubokovodni klastiti i fliš. Za mlađeg eocena i oligocena, kao posljedica kompresije došlo je do izdizanja Dinarida i prestanka

taloženja klastita i karbonata. Boranje, navlačenje i reversno rasjedanje stvara strukture pružanja, sjeverozapad – jugoistok. Krajem miocena dolazi do nove promjene pravca djelovanja regionalnog stresa, smjera je sjever – jug, a traje i danas. Zbog nove orijentacije stresa došlo je i do stvaranja novih struktura s orijentacijom istok – zapad.

2.4. Hidrogeološke značajke istraživanog područja

U istraživano područje ulazi dio sliva rijeke Cetine, te slivovi rijeka Neretve i Trebišnjice, stoga je hidrogeološki opis načinjen na temelju naslaga koje ih grade. Klastične naslage donjeg trijasa na području Cetine nalaze se u podini te predstavljaju bočne i podinske barijere podzemnim vodama i na njima je formirana normalna hidrografska mreža. Rasprostranjene su na području istočnog ruba Kupreškog polja (Slišković, 2014). Na Kupreškom i Glamočkom polju nalazimo vapnence i dolomite sa škriljavim laporima srednjeg i gornjeg trijasa koje su slabo propusne. Sedimenti jure izgrađuju velik dio terena te se sastoje od vapnenaca i dolomita koji su dobro propusni. Dolomiti su manje propusni. Vapnenci kredne starosti su najrasprostranjeniji, a isto tako i najpropusniji i najizraženijih kolektorskih svojstava. Naslage paleogena i neogena su nepropusne. Kvartarne naslage prekrivaju krška polja, doline i padine gorskih masiva (Slišković, 2014). Različitih su debljina i sastava. U dolomitima se nalaze kao glinovito – pjeskoviti materijali, a u poljima gline, pijesci i šljunci. Propusne naslage leže na nepropusnoj podlozi, a voda se kreće poprečnim rasjedima koji povezuju polja. Na slivu Neretve i Trebišnjice velika je okršenost i dubina okršenosti karbonata (Slišković, 2014). Propusni mezozojski vapnenci dolaze u kombinaciji s manje propusnim dolomitima i nepropusnim klastitima i flišem tercijarne starosti. Zbog velike propusnosti karbonata gotovo sve oborine koje padnu na sliv kroz pukotine i šupljine dopiru sve do podzemnih voda. Kao rezultat djelovanja vode i tektonike nastaju unutrašnji krški oblici (jame i spilje). Najveći dio sliva pripada Vanjskim Dinaridima, gdje je dubina okršavanja mezozojskih karbonata 350 metara (Slišković, 2014). Podzemne vode istječu u kanjonima i na rubovima krških polja. Na Slici 2.4 nalazi se hidrogeološka karta istraživanog područja. Slika 2.5 i Slika 2.6 prikazuju tumač oznaka za danu hidrogeološku kartu (Diktas, 2013).



Slika 2.4. Hidrogeološka karta istraživanog područja (Diktas, 2013).



Slika 2.5. Tumač oznaka za hidrogeološku kartu (Diktas, 2013).

Hidrogeološke jedinice

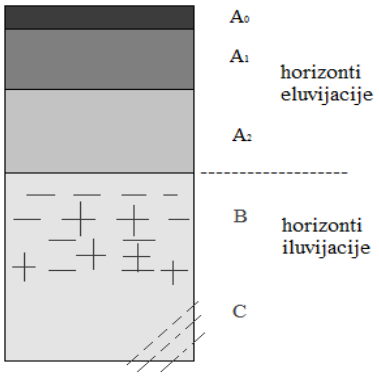
simbol	hidrogeološki opis	starost	prevladavajuća litologija
KA1	krški vodonosnici visoke propusnosti i turbulentnih tokova podzemne vode	K_1, K_2, $K_{1,2}$, Pg	masivni raspucani vapnenci s dolomitima
KA2	krški vodonosnici srednje propusnosti	K_1, J, T3, $E_{2,3}$, K_2	Tanki raspucali laporoviti vapnenci, alterirani vapnenci i dolomiti, mramori, dolomiti i dolomitni vapnenci, breče, vapnenci s proslojcima pijeska
AT	nepropusne stijene	Ts, $E_{2,3}$, Ng	crvenica, eluvij, gline, pijesci, lapori, pjeskovite gline, laporoviti vapnenci, konglomerati, pješčenjaci, breče, alterirani laporoviti vapnenci, dolomiti, fliš, klastiti

Slika 2.6. Tumač oznaka hidrogeoloških jedinica za hidrogeološku kartu (Diktas, 2013).

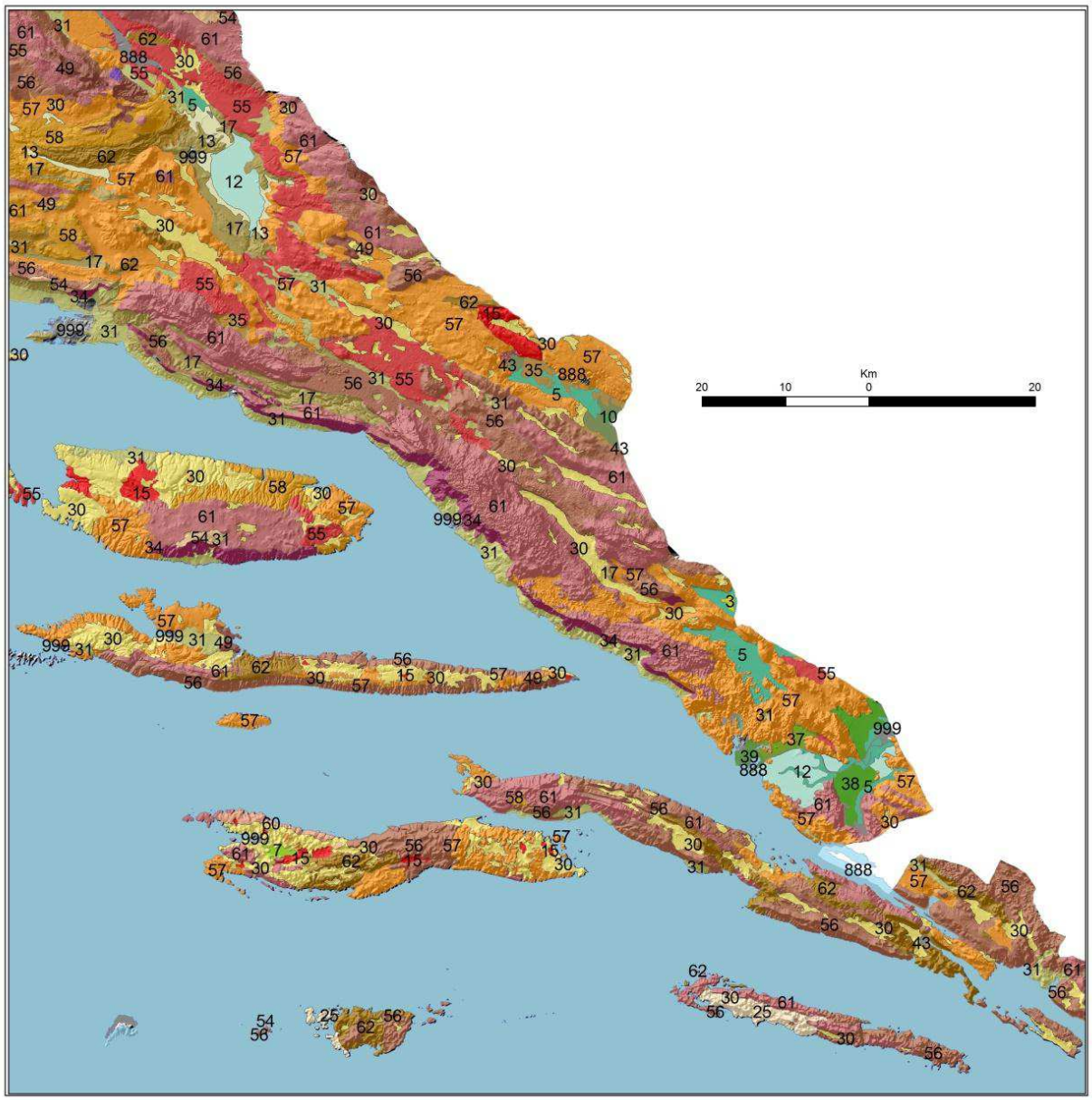
2.5. Pedološke značajke istraživanog područja

Tlo je rastresita tvar koja se sastoji od organske i anorganske komponente. Nastaje u prirodi djelovanjem pedogenetskih čimbenika: vode, topline, vjetra, reljefa, kemijskih tvari i bioloških organizama na matičnu stijenu (Martinović, 2000). Podijeljeno je na horizonte različitih debljina, a horizonte razlikujemo na temelju morfologije, kemijskih svojstava, sastava te bioloških značajki (Šparica, 2012). Razlikujemo 3 osnovna horizonta (Slika 2.7), horizonte A, B i C. Horizont A_0 čini organska tvar koja je djelomično raspadnuta, A_1 je horizont u kojem se nalazi velika zastupljenost humusom te mineralnom tvari, A_2 je horizont u kojem se događa maksimalna eluvijacija, rastresit je i svjetle boje. B horizont sastavljen je od minerala gline ili željezovitih minerala i organske materije. Smeđe do žuto – smeđe je boje. Horizonti A i B zajedno se nazivaju „pravo tlo“, dok C horizont čini čvrsta stijena. Horizont A nastaje kao posljedica gubljenja primarnog materijala tako što se primarni materijal ispire prolaskom kišnice kroz tlo što se naziva eluvijacija, izluživanjem te mehaničkim procesima. Na temelju Pedološke karte Hrvatske 1 : 500 000 (Martinović, 1990), izdvojena su sljedeća tla prisutna na području istraživanja, a to su: crnica, rendzine, crvenica, aluvijalna tla, amfigleji i antropogena tla. Crnica se formira na vapnenačkoj i dolomitnoj podlozi s više od 98% kalcijevog karbonata i predstavlja mješavinu glina i humusa. Dubina tla je do 0,3 m. Smeđe tlo na vapnencu i dolomitu je tlo koje nastaje na čistim vapnencima i dolomitima velike tvrdoće s manje od 1 % nerastvorenog ostatka. Najčešće se javlja na dubinama do 0,5 m. Rendzine se najčešće javljaju na flišu te saharoidnim dolomitima. Do formiranja rendzine dolazi ukoliko imamo

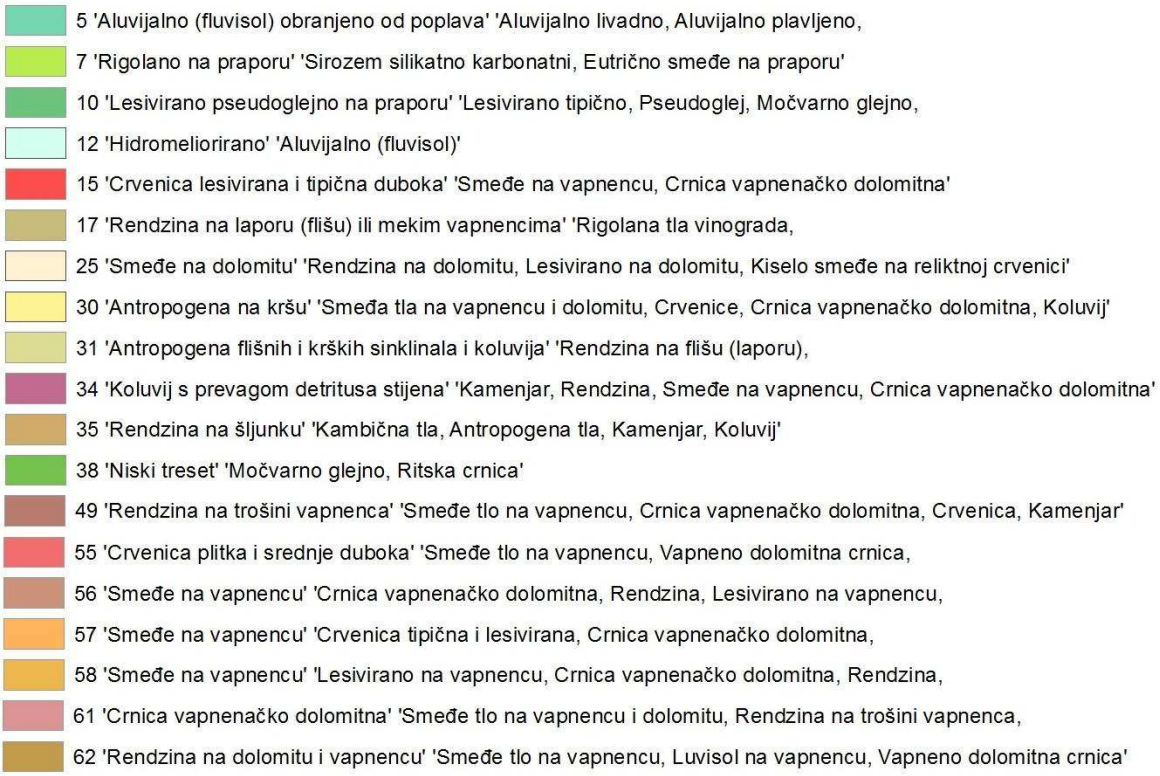
različite bioklimatske uvjete na matičnim stijenama koje sadrže više od 10 % kalcijevog karbonata. Dubina tla je do 0,4 m. Crvenice nastaju iz netopivog ostatka čistih vapnenaca (Martinović, 2000). Temeljni pedogenetski proces je rubifikacija (dehidratacija i kristalizacija hematita). Dubina tla je do 0,8 m. Aluvijalna tla se formiraju u poplavnim područjima uz rijeke, potoke, jezera i mora kao posljedica poplavnih, podzemnih i oborinskih voda.



Slika 2.7. Pedogenetski profil s glavnim horizontima A_0 – horizont s djelomično raspadnutom organskom tvari;, A_1 – horizont velikog udjela humusa i mineralne tvari; A_2 – rastresiti horizont svijetle boje i maksimalne eluvijacije; B – horizont koji se sastoji od minerala gline ili željezovitih minerala i organske tvari; C – čvrsta stijena.



Slika 2.8. Pedološka karta istraživanog područja.



Slika 2.9. Tumač oznaka za pedološku kartu istraživanog područja.

3. MAGNETNI SUSCEPTIBILITET TLA

Mjerenja magnetnog susceptibiliteta su pogodna jer se mogu izvršiti na svim materijalima, sigurno i brzo, na terenu ili u laboratoriju i može poslužiti kao dopuna mnogim drugim okolišnim istraživanjima. Pogotovo je korisna ukoliko postoji velik broj uzoraka kojima se treba pronaći srednja vrijednost koja se koristi za daljnja istraživanja, pri čemu terensko mjerenje dodatno ubrzava cijeli proces mjerenja.

3.1. Magnetna svojstva materijala

Magnetni momenti atoma ili molekula i vanjsko magnetno polje su u međudjelovanju. Volumna magnetizacija $\vec{M}$ je mjera ukupnog magnetnog momenta po jediničnom volumenu. Masena susceptibilnost χ sustava vanjskog polja $\vec{H}$ računa se prema Izrazu 3.1:

$$\chi = \frac{\partial M}{\partial H}, \quad (3.1)$$

i vrijede dvije pretpostavke: $\vec{M}$ paralelno s $\vec{H}$, jednadžba je u skalarnom obliku (χ je tenzorska veličina) ili vrijedi da su ukupno magnetsko polje koje djeluje na pojedini magnetski moment i vanjsko polje $\vec{H}$ jednaki. U slučaju da su magnetizacija (M) i primjenjeno polje (H) linearno proporcionalni vrijedi Izraz 3.2:

$$M = \chi \cdot H, \quad (3.2)$$

Kad se proučavaju magnetna svojstva nekog materijala, osnovni zadatak je određivanje susceptibiliteta tog materijala, tj. određivanje kako taj materijal reagira na vanjsko magnetno polje. Ovisno o predznaku i iznosu susceptibiliteta materijale dijelimo na: dijamagnetične ($\chi < 0$), paramagnetične ($0 < \chi << 1$) i feromagnetične materijale ($\chi > 1$), a postoje još i ferimagnetični te antiferomagnetični materijali, a minerali prema navedenim svojstvima mogu biti feromagnetični, ferimagnetični, antiferomagnetični, paramagnetični i dijamagnetični. Feromagnetični materijali pokazuju magnetna svojstva i ukoliko nema prisutnog vanjskog magnetnog polja, što je posljedica dipola jednakih iznosa, istog smjera te njihove međusobne paralelnosti. Primjer za feromagnetični mineral jesu željezo, kobalt i nikal. Željezo pokazuje najjača magnetna svojstva, no u prirodi ga ne nalazimo kao čist mineral zbog velike reaktivnosti s kisikom. Uzorci koji sadrže paramagnetične minerale pokazat će različite vrijednosti MS pri različitim frekvencijama i kao rezultat se dobije frekventni magnetni susceptibilitet. Superparamagnetični minerali imaju velike vrijednosti magnetnog momenta, jer su svi pojedinačni momenti postavljeni u istom smjeru i oni se

također određuju na način da se stvore magnetna polja pri niskoj i visokoj frekvenciji. Ferimagnetični materijali ime su dobili prema feritima. Atomi pokazuju izmjenu orijentacija magnetskih dipola, no magnetni momenti dva dipola su različiti što za posljedicu ima magnetizam. Ferimagnetični minerali kao što je magnetit, u prirodi pokazuju najviše vrijednosti magnetnog susceptibiliteta. Antiferomagnetični materijali imaju dipole koji su međusobno antiparalelni i materijal ne pokazuje magnetizam za okolinu. Antiferomagnetični minerali poput hematita imaju nešto niže vrijednosti od magnetita. Paramagnetične minerale odlikuje stalan magnetni dipolni moment za svaki atom, međutim, oni su nasumične orijentacije, a materijal sam po sebi nije magnetiziran. Ukoliko na njih djelujemo vanjskim magnetnim poljem, atomski dipolni momenti se mogu poravnati tako da materijal dobije relativno mali dipolni moment u smjeru vanjskog polja. Najniži MS imaju paramagnetični minerali kao što su pirit, gline i biotit, aluminij, platina. Dijamagnetični minerali imaju negativne vrijednosti magnetne susceptibilnosti. Neki od dijamagnetičnih minerala su bizmut, bakar, dijamant, srebro, kvarc, karbonat.

3.2. Općenito o magnetnom susceptibilitetu

Magnetni susceptibilitet je mjera sposobnosti materijala da postane magnetičan u prisutstvu slabog magnetnog polja (Blumentritt i Lascu, 2014). Magnetit je čest mineral koji se može pronaći u svim magmatskim, većini sedimentnih stijena, te gotovo svim tlima. Magnetni susceptibilitet je parametar vrlo osjetljiv na prisutne ferimagnetične minerale. Na primjer 0,01 % magnetita u tipičnom mineralnom tlu daje 85 % od ukupne susceptibilnosti. (Dearing, 1999). Podrijetlo magnetita u tlima je primarno pedogeno i predstavlja dio željeznih oksida koji su formirani kroz aktivne procese razvoja tla (Magiera i dr., 2006). Većina autora kao dominantni proces spominje biokemijske transformacije slabo magnetičnih oksida i hidroksida željeza izdvojenih iz matične stijene u sekundarne željezne okside. Upravo to rezultira smanjenjem magnetnog susceptibiliteta s dubinom u većini slučajeva. U prirodi, magnetični minerali mogu biti u sastavu stijena koje se nalaze na nekom području, no mogu biti i doneseni vjetrom ili rijekama (Da Silva i dr., 2015), a mogu biti prisutni i u vulkanskoj prašini ili prašini koja je rezultat antropogenog utjecaja (Dearing i dr., 1996). Utjecaj različitih faktora na rasprostranjenost magnetičnih minerala ovisi o veličini područja. Na nacionalnoj i regionalnoj razini najveću važnost zauzimaju geologija, klima i reljef. Ukoliko su matične stijene bogate željezovitim mineralima količina željeza u tlu koje je kasnije dostupno za transformaciju u pedogene magnetne okside bit će povećana. Klima, tj., varijacije u temperaturama te izmjene vlažnih i sušnih

razdoblja, pojačavaju eroziju i prelazak željeza u željezne okside (Hannam i Dearing, 2008). Na većim nadmorskim visinama, veća je prisutnost vlage, a strme padine omogućavaju veću energiju vode čime se primjerice pojačava erozija, tako da je i reljef važan u cijelom procesu nastanka tla. Na lokalnoj razini razmatraju se i požari i onečišćenje (antropogeni utjecaj), koji ne ovise o procesima u samom tlu (Hannam i Dearing, 2008) i nemaju širok i bitan utjecaj kao prva tri.

3.3. Primjena magnetnog susceptibiliteta u razminiranju i utjecaj onečišćenja na magnetni susceptibilitet

Minska polja predstavljaju jedan od bitnijih problema na ovim prostorima. U detekciji metala, a samim time i mina, se koriste ručni magnetometri zbog lakog rukovanja i relativno niske cijene. Elektromagnetna svojstva tla, primarno električna provodljivost i magnetni susceptibilitet bitno utječu na detektor metala i njegov učinak (Hannam i Dearing, 2008). Područja tala s visokim MS vrlo je bitno odrediti jer ukoliko u minskom polju postoje mine niske razine metala, teško se detektiraju u magnetnoj okolini. Upravo ferimagnetske i superparamagnetske čestice u tlu mogu uzrokovati pojavu da njihova magnetičnost, uz utjecaj primarnog polja, bude ista kao i ona uzrokovana metalnim predmetima za kojima se traga. Dolazi do lažne dojave na uređaju o predmetu na uređaju za detekciju. Stoga je bitno izvesti kompenzaciju uređaja s obzirom na osobine tla istraživanog područja. Mjerenje magnetnog susceptibiliteta (χ_{lf} i χ_{hf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) obilježeno je kao prikladan pristup za konačnu kalibraciju uređaja. Lako se mjere i razumljivi su korisnicima detektora metala, u skladu su s Europskim standardima (Cen, 2003). Mjerenjem magnetnog susceptibiliteta se izdvajaju područja koja su opasna i kritična, proces se ubrzava te umanjuje opasnost postupka razminiranja.

Taloženje atmosferskog sadržaja predstavlja jedan od najbitnijih izvora onečišćenja u okolišu. Osim putem plinovite faze, metali u atmosferi su vezani i za čestice prašine koje se sastoje od vjetrom nošenih čestica tla i lebdećeg pepela. Magnetit je kubični mineral, spinelske strukture (Dunlop i Ozdemir, 1997) zbog čega može uklopiti različite toksične elemente (Petrovsky i dr., 1998). Različiti su izvori onečišćenja u industriji prilikom čega se proizvode značajne količine magnetnih minerala, kao nusproizvod, posebno magnetita. Iz tog razloga, jednostavna i brza magnetna mjerenja mogu se iskoristiti kao pristup u analiziranju prostorne distribucije onečišćenja. In – situ mjerenje magnetnog susceptibiliteta je brzo, jednostavno i relativno jeftino.

4. GEOKEMIJA ODABRANIH ELEMENATA U TLIMA JUŽNE DALMACIJE

Ukratko su prikazane vrijednosti i rasponi odabranih makro i mikro elemenata u tlima Primorske Hrvatske iz Geokemijskog atlasa RH (Halamić i Miko, 2009). Odabrani elementi su povezani s magnetnim susceptibilitetom tla.

4.1. Bakar (Cu)

Halkofilni element koji se javlja u kombinaciji s drugim prijelaznim elementima. Rude bakra su uglavnom halkopirit, bornit, halkozit i drugi Cu – As – Sb sulfidi, a nalazimo ga u Fe i Mg silikatima, tinjcima, piroksenima i amfibolima, te bazičnim magmatskim stijenama. Sulfidi se lako troše na pH < 5. Nakon oslobađanja, mobilnost mu ovisi o koncentraciji organskog ugljika i pH. U okoliš se unosi procesom taljenja, industrijskom prašinom, otpadom i kemikalijama. U Primorskoj Hrvatskoj rasponi su od 7 do 429 mg / kg i dvostruko veće odnosu na ostale regije.

4.2. Nikal (Ni)

Element u tragovima do sporedni element u skupini željeza sa siderofilnim, halkofilnim i litofilnim svojstvima. Formira rude poput sulfida, arsenida, antimonida, sulfoantimonida i silikata. Slaba mu je mobilnost jer se veže s glinama i Fe – Mn oksidima i hidroksidima. U okoliš dospijeva industrijom, gnojivima, otpadnim vodama itd. U Primorskoj Hrvatskoj se javlja u rasponima koncentracija od 10 do 261 mg / kg, što je najviše u RH.

4.3. Željezo (Fe)

Litofilni glavni element. Nalazimo ga u oksidima, sulfidima i Fe – Mg silikatima u hidrotermalnim i sedimentnim ležištima. Veže se na organsku tvar. Kao Fe^{3+} nije dok je u Fe^{2+} umjereno mobilno. Onečišćenje okoliša željezom se veže uz željezni otpad, hrđu i prašinu koja nastaje u procesu gorenja ugljenja i taljenja. Koncentracija za Primorsku Hrvatsku je raspona od 0,55 do 8,02 % što je najviše u odnosu na ostale regije RH.

4.4. Aluminij (Al)

Litofilni makroelement. Aluminij se koncentrira kao gibbsit, bohmit i dijaspor. Niske mobilnosti. Češći u sitnozrnatim tlima. U prirodu dospijeva raznim onečišćenjima i industrijskim otpadom. Koncentracije u Primorskoj Hrvatskoj su u rasponu od 1,1 do 14,04 % što su najveće apsolutne i prosječne koncentracije ovog elementa u RH.

4.5. Titanij (Ti)

Spada u sporedne i litofilne elemente. Tvori minerale poput titanita, ilmenita, rutila, anatasa, brukita. Nalazimo ga u ležištima magmatita i sedimentnih stijena. Slabe je mobilnosti, nalazi se u sastavu minerala slabe trošnosti, a mobilnost mu se veže uz organske kiseline i pH. U Primorskoj Hrvatskoj najveće koncentracije su do 0,782 % što je od prilike jednako kao u ostalim regijama u RH.

4.6. Krom (Cr)

Litofilni element. Najbitnija ruda je kromit, a najzastupljeniji je na nalazištima ruda kromita u ultrabazičnim stijenama. U prirodi nije lako topiv, mobilnost mu je mala, a veže se uz minerale koji nisu podložni trošenju. U okoliš dolazi preko otpadnih voda tekstilne, kožne i galvanizacijske industrije. Tla Primorske Hrvatske sadrže najviše kroma u RH raspona koncentracija od 18 – 444 mg / kg.

4.7. Fosfor (P)

Litofilni element u tragovima. U sastavu je apatita, monacita i ksenotima. U vodi se otapaju kao PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$. O topivosti minerala u čijem je sastavu ovisi mobilnost, a najveća mu je topivost u tlima gdje je pH oko 7. Koristi se u proizvodnji umjetnih gnojiva, a uz njih u okoliš dospijeva i sredstvima za pranje rublja. U Primorskoj Hrvatskoj se nalaze rasponi koncentracija od 0,015 do 0,684 % zbog čega su među najvišim u RH.

4.8. Magnezij (Mg)

Litofilni glavni element. Najčešće se javlja u bazičnim i ultrabazičnim stijenama i morskoj vodi, ali je zastupljen i u evaporitima. Mobilan je i veže se na gline i organsku tvar. U okoliš dospijeva gnojivima, kao nusprodukt građevinskog otpada i materijala, kemikalijama itd. U Primorskoj Hrvatskoj raspon koncentracija je od 0,16 do 10,47 %.

4.9. Kalcij (Ca)

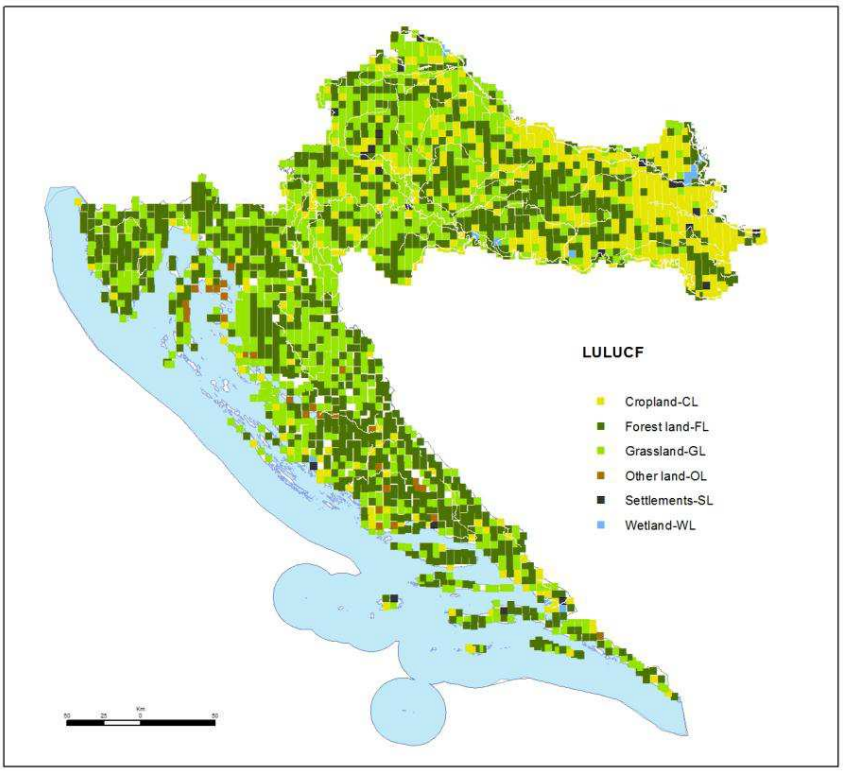
Glavni element. Najviše ga ima u vapnencima. Topivost mu se povećava smanjenjem pH, nakon čega se Ca^{2+} ioni adsorbiraju na gline ili ugrađuju u aktivnu organsku tvar. U slatkoj vodi nalazimo 15 mg / l. Mobilan je, izlužuje se u kiselijim tlima, a u tlu pH 5 – 8 zamjenjuje natrij. Primorska Hrvatska sadrži najveće apsolutne i prosječne koncentracije kalcija u rasponu od 0,2 – 28,37 %.

5. METODE ISTRAŽIVANJA I ANALIZA

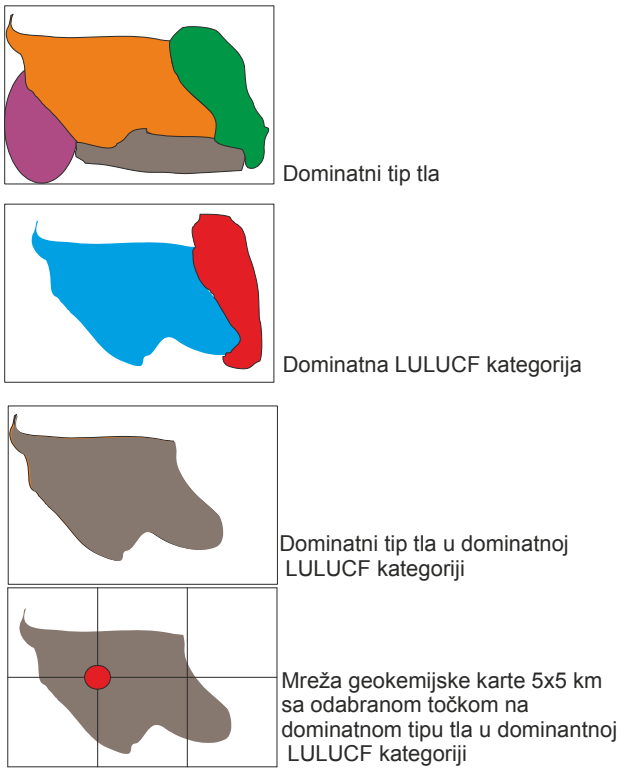
Uzorci na kojima se mjerio magnetni susceptibilitet u svrhu izrade ovog rada prikupljeni su u sklopu projekta „Promjena zaliha ugljika u tlu i izračun trendova ukupnog dušika i organskog ugljika u tlu te odnosa C:N“ koji financira Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP) za svaku LULUCF kategoriju. Na istim lokacijama gdje je provedeno terensko uzorkovanje prema LULUCF kategoriji su prikupljeni i uzorci za mjerenje magnetnog susceptibiliteta.

Terensko uzorkovanje za svaku LULUCF kategoriju provelo se na tri dubine: od 0 – 10 cm, 10 – 20 cm i 20 – 30 cm za močvare (WL), šume (FL) te livade, pašnjake (GL), poljoprivredno zemljište (CL), te prema tipu tla. U odabiru lokacija uzorkovanja poslužila je geokemijska karta. Mreža je u mjerilu 1: 500 000 što znači kako postoji jedna lokacija na mreži 5 x 5 km. Točke koje su korištene prilikom uzorkovanja su odabrane su prema tipu tla iz Namjenske pedološke karte RH 1:300 000 (Bogunović i dr., 1996) i LULUCF kategorizaciji (Slika 5.1). Ovim postupkom se omogućilo uzorkovanje i motrenje reprezentativnih tipova tla pod dominantnim LULUCF kategorijama u svrhu ekstrapolacije područja koja nisu motrena. Takva stratifikacija (Slika 5.2) omogućava da se motre promjene na način da se konačna varijacija te nesigurnosti smanji na temelju usporedivog manjeg broja homogenih grupa tipova tala (Miko i dr., 2014).

Uzorci prikupljeni na terenu su sušeni na sobnoj temperaturi, zatim usitnjavani na frakciju koja je manja od 63 mikrometra. Nakon toga se na njima mjerio magnetni susceptibilitet, izvedena je geokemijska analiza i određivanje relativno zastupljene mineralne faze primjenom rendgenske difrakcijske analize na određenim uzorcima u svrhu povezivanja njihovih rezultata s rezultatima mjerenja magnetnog susceptibiliteta.



Slika 5.1. Točke geokemijske karte na mreži 5x5 km RH klasificirane po LULUCF kategorijama (Miko i dr., 2014).



Slika 5.2. Prikaz mogućeg stratificiranog odabira točaka uzorkovanja (Miko i dr., 2014).

5.1. Geokemijska mjerenja

Geokemijska mjerenja na uzorcima su načinjena na temelju dvije geokemijske analize, a to su: anorganska geokemijska analiza tala simultanom multielementnom analizom – atomskom emisijskom spektometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP – AES; Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy) te ekstrakcija smjesom koncentriranih kiselina i analiza pomoću masenom spektometrijom induktivno spregnutom plazmom (ICP – MS; Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).
Anorganska geokemijska analiza uzoraka tala s ICP – AES i ICP – MS izvedena je u laboratoriju, a korištene su istovremeno. Načinjene su kemijske analize glavnih elemenata (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti) i elemenata u tragovima (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Zn). Kako bi se provjerila točnost i preciznost analitičkih tehnika, korišteni su ponovljeni uzorci i referentni standardni uzorci.

5.2. Određivanje mineralnog sastava primjenom rendgenske difrakcijske analize

Odabrani, neorijentirani, praškasti uzorci su podvrgnuti rendgenskoj difrakcijskoj analizi kako bi vidjeli ima li kvalitativni mineralni sastav utjecaj na promjene u magnetnom susceptibilitetu za iste te uzorke. Uređaj koji se koristi pri analizama jest rendgenski difraktometar PANalyticalX'Pert Powder (Slika 5.3) kod kojeg rendgensko zračenje stvara keramička rendgenska cijev Cu anode (CuKα1 zračenje valne duljine λ = 1,5405 Å), a sastoji se još i od vertikalnog goniometra θ-θ geometrije i PIXcel detektora. Sustavom upravlja program X'Pert Quantify, a očitanje i identifikacija slika vrši se X'Pert HighScore Plus programom. Za vrijeme snimanja koristio se napon U = 45 kV i struja jakosti I = 40 mA, veličina koraka je 0,02 °2θ, a korak se mjerio u trajanju od 4 sekunde. Korišteni su 0,04 rad Sollerovi slitovi, pukotina za regulaciju divergencije primarnog snopa ¼ ° i ½ °, primarna i sekundarna pukotina za sprječavanje raspršenja, brzine rotacije uzorka u iznosu od 1 okr / s. Područje snimanja je u rasponu od 4 – 66 °2θ. Rendgenska difrakcija na prahu temelji se na difrakciji rendgenskih zraka na mrežnim ravninama kristala (Moore i Reynolds, 1997). Rendgenske zrake su valne duljine 0,01 nm (nanometar) do 10 nm, kao takve su slične veličine kao atomi te se zbog toga koriste u analizi mineralogije uzoraka. Iz mrežnih ravnina dobiju se difrakcijski maksimum na temelju kojeg se mijenja te kut koji se nalazi između upadne i difraktirane zrake zračenja (2Ɵ). Kako bi se identificirali minerali potrebna je pretvorba 2Ɵ kutova difrakcijskih

maksimuma i odrediti međumrežni razmak, jer je difrakcijska slika svakog minerala specifična.



Slika 5.3. Rendgenski difraktometar PANalyticalX'Pert Powder.

5.3. Mjerenje magnetnog susceptibiliteta

Priprema uzoraka tla, prikupljenih na 47 različitih točaka izvršena je u laboratoriju na Hrvatskom geološkom institutu, u Zavodu za mineralne sirovine. Prosijani uzorci tla nalazili su se u papirnatim vrećicama s oznakama te ih je bilo potrebno usitniti na veličinu praha. Nakon što su se uzorci usitnili u tarioniku s tučkom bilo ih je potrebno staviti u plastične posudice volumena 10 cm^3 i izvagati ih, kako bi bili spremni za mjerenja na magnetometru (Slika 5.4 i Slika 5.5) .



Slika 5.4. Usitnjavanje uzoraka.



Slika 5.5. Priprema uzoraka za mjerenje magnetnog susceptibiliteta na magnetometru.

Magnetni susceptibilitet se mjerio u magnetometrijskom laboratoriju. Laboratorij je opremljen *Bartington MS2* (Slika 5.6) uređajem i mjerilo se na *MS2B* senzoru. On stvara slabo magnetno polje i vrši detekciju magnetičnosti materijala u odnosu na zrak i koristi se pri mjerenjima na pojedinačnim uzorcima koji se nalaze u plastičnoj posudici stalnog volumena od 10 cm^3. Na uređaj može utjecati visoka temperatura zraka (zbog čega se za mjerenja preporučuju prostorije s klima uređajem), metalni objekti poput prstenja, kopče na remenu i sl., mobiteli, transformator i glavni kabel uređaja, električni uređaji, motorna vozila, vibracije, izvori topline poput zraka sunca. Prvo su se izvodila mjerenja na niskoj, a zatim na visokoj frekvenciji kao što preporučuje Dearing (1999). Izvedeno je 5 uzastopnih mjerenja po uzorku, a rezultat je prosječna vrijednost magnetnog susceptibiliteta. U svrhu ovog diplomskog konstantno je korišteno područje očitanja 0,1 za sve uzorke prilikom čega je točnost mjerenja 0,1 x $10e^{-5}$. Jedno mjerenje trajalo je između 12 i 13 sekundi i načinjena su tri očitanja: zrak →uzorak → zrak zbog pojave drifta. Stoga se vrši ispravka za koju vrijedi Izraz 5.1:

$$\chi \text{ (ispravljeno)} = \chi \text{ (uzorka)} - \{[\chi \text{ (prvi zrak)} + \chi \text{ (drugi zrak)}] / 2\} \quad (5.1).$$

Vrijednost magnetnog susceptibiliteta se zapisuje na ekranu. Uređajem upravlja program *Multisus2*. Vidimo kako obje vrijednosti imaju istu mjernu jedinicu a to je A/ m, stoga će rezultati mjerenja biti bezdimenzionalne vrijednosti. Vrijednost koju dobijemo na ekranu množimo s 10^{-5} ukoliko koristimo SI sustav. Korišten je SI sustav mjerenja (Izraz 5.2) , pri čemu je:

$$\text{SI} = \text{dobivena vrijednost x } 10^{-5} \quad (5.2)$$

Mogu se mjeriti volumni susceptibilitet (κ) i maseni susceptibilitet (χ) i za potrebe ovog diplomskog rada mjerio se χ. Volumni susceptibilitet predstavlja iznos magnetizacije u odnosu na stvoreno polje iznosa 80 A / m u SI sustavu. Moguća su odstupanja između uzastopnih mjerenja, iz razloga što mjerenja zraka nisu jednaka nuli. Kako bismo dobili maseni susceptibilitet, potrebno je podijeliti volumni susceptibilitet s gustoćom uzorka (φ), dok je indeks lf oznaka za nisku frekvenciju, a formulu prikazuje Izraz 5.3:

$$\chi_{lf} = \kappa / \varphi \text{ fg } [m^3 / kg] \quad (5.3)$$

Uređaj je dvofrekventan, što znači da se mjerenja izvode na način da se stvaraju magnetna polja pri niskoj (LF, 0,47 kHz) i visokoj (HF, 4,7 kHz) frekvenciji. Dvofrekventna mjerenja se koriste kako bi se uočili superparamagnetični minerali, koji uglavnom nastaju kao posljedica biokemijskih procesa u tlu. Uzorci bez takvih minerala pokazivat će iste vrijednosti pri obje frekvencije, dok u suprotnom neće. Nakon što se izvrše mjerenja na obje frekvencije, kao rezultat se dobije frekventna magnetna susceptibilnost, ovisna o dvije frekvencije, ima oznaku χ_{fd} i dobije se iz Izraza 5.5:

$$\chi_{fd} = (\kappa_{lf} - \kappa_{hf}) / \varphi \, [\%] \quad (5.4)$$

Rezultati mjerenja su spremani u *Multisus2* sustavu, te nakon što su izmjereni svi uzorci, podatci su pretvoreni u *Excel*, poredani u tablice i spremni za daljnje korištenje.



Slika 5.6. *Barington MS2* sustav.

6. MATEMATIČKO – STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Statističke metode korištene su za prikaz i interpretaciju utjecaja rezultata geokemijskih analiza na MS izmjeren na uzorcima. U programu *Statistica* 10 (StatSoft, 2011) načinjene su klaster analiza i korelacijska matrica pomoću metoda korelacije.

6.1. Korelacijska analiza

Korelacijska analiza koristi se kako bi se dobila međusobna povezanost i odnos između dvije ili više varijabli. Stupanj statističke ovisnosti jedne pojave o drugoj ili više pojava izražava se koeficijentom korelacije (r), koji se još naziva i Pearsonov koeficijent korelacije, mjeri jakost i smjer linearne korelacije (Štambuk, 2006), a računa se prema izrazu 6.1:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x + \sigma_y} \quad (6.1)$$

gdje su $\sigma_x \, i \, \sigma_y$ standardne devijacije varijabli X, Y, a σ_y je kovarijanca – aritmetička sredina umnoška odstupanja varijabli od aritmetičke sredine. Kovarijanca niza za n uređenih parova vrijednosti obilježja X i Y računa se prema formuli danoj izrazom 6.2:

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})\,(y_i - \overline{y}) \text{ ili } \sigma_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n} \overline{xy} \quad (6.2)$$

pri čemu je ($-1 \leq r \leq 1$). Smjer korelacije jednak je predznaku od r, a jakost korelacije je vidljiva u Tablici 6.1:

Tablica 6.1. Rasponi jakosti korelacije.

Jakost korelacije	r
bez korelacije ili neznatna	0 – 0,2
slaba korelacija	0,2 – 0,4
srednje jaka korelacija	0,4 – 0,7
čvrsta korelacija	0,7 – 1
u potpunosti korelirano	1

Ukoliko je korelacija pozitivnog predznaka, ona ukazuje na smjer korelacije, tj. da će se povećanjem jedne varijable (X) povećati druga (Y), a negativan predznak pokazuje negativan smjer, odnosno, porast jedne varijable (X) će utjecati na smanjenje druge (Y). Međuovisnost varijabli prikazuje se korelacijskim matricama, pri čemu se sve varijable prikazuju u redu i stupcu. Koeficijent korelacije je onaj broj koji se nalazi na presjeku stupca i retka pojedinih elemenata, dok su elementi sami sa sobom u potpunoj korelaciji, tj. r = 1. Klaster i korelacijska analiza izvršene su kako bi se dobila veza i njezina jačina

između masenog susceptibiliteta mjerenog na niskoj i visokoj frekvenciji te frekventne susceptibilnosti i odabranih elemenata (Cu, Ni, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, P i Cr).

6.2. Klaster analiza

Klaster analiza je dio multivarijantne statističke analize koja spada u metode klasifikacije (Fajković, 2014). Koristi se u svrhu grupacije elemanata kako bi se mogla dobiti informacija o njihovoj povezanosti i sličnosti. U ovom radu željelo se dobiti s kojim se elementima magnetni susceptibilitet grupira. Kao mjera udaljenosti se koristila 1 – Pearson r udaljenost. Wardovom metodom se računala aritmetička sredina svakog klastera i svake varijable, a nakon toga 1 – Pearson r udaljenost do aritmetičke sredine za svaki element. Udaljenosti za sve elemente klastera se zbrajaju. Klasteri kod kojih je zbroj odstupanja najmanji se grupiraju u dendogram. Svaka varijabla pripada samo jednoj grupi. Kao mjera sličnosti se koristio Pearsonov koeficijent korelacije (r).

7. REZULTATI I RASPRAVA

U rezultatima se prati promjena magnetnog susceptibiliteta s obzirom na vrstu pokrova, vrstu tla, dubinu, mineralne faze prema relativnoj zastupljenosti dobivene rendgenskom difrakcijskom analizom te uz koje se elemente veže maseni i frekventni magnetni susceptibilitet kao rezultat korelacijske i klaster analize. Pomoć pri izradi slika 7.5, 7.6, 7.8, 7.9, 7.11, 7.12 pružio je mag. geol. Ozren Hasan.

7.1. Rezultati mjerenja magnetnog susceptibiliteta *Barington MS2B* sustavom

Kao rezultati mjerenja (Prilog 1) su dobivene izmjerene vrijednosti za maseni magnetni susceptibilitet niske i visoke frekvencije (MS) i frekventni magnetni susceptibilitet (χ_{fd}). MS je mjera magnetizacije uzorka u odnosu na stvoreno magnetno polje, njegov uzrok su svi magnetični minerali u uzorku, a χ_{fd} nam daje informaciju samo o superparamagnetičnim mineralima u uzorcima. Ukoliko je χ_{fd} jednak nuli, oni nisu prisutni. Ukupno je napravljeno 124 uzorka. Uzorak 1410 pokazuje maksimalne MS vrijednosti [10^{-6} m^3 kg^{-1}], a uzorak 1339 najveće vrijednosti za χ_{fd} [%]. Vidimo kako se u rezultatima kod pojedinih uzoraka javlja odstupanje od pretpostavke kako se vrijednost magnetnog susceptibiliteta s dubinom smanjuje. Iz tog razloga pretpostavljeno je kako su magnetični minerali u tim uzorcima litogenetskog podrijetla i nisu nastali procesom biokemijske transformacije slabo magnetičnih oksida i hidroksida željeza izdvojenih iz matične stijene u sekundarne željezne okside. Statistički parametri za MS i χ_{fd} nalaze se u Tablici 7.1.

Tablica 7.1. Statistički parametri za dobivene rezultate.

	min	max	stand_dev	mean	mod	median
χ_{lf}	9,10	825,00	216,94	314,36	395,7	332,95
χ_{hf}	8,90	728,70	192,18	281,01	410,7	296,80
χ_{fd}	0,00	12,82	2,60	9,53	10,11	10,11

7.2. Utjecaj vrste pokrova prema LULUCF kategorizaciji na magnetni susceptibilitet za različite intervale uzorkovanja

Kako bi se odredio utjecaj dubine i vrste pokrova prema LULUCF podjeli na mjereni magnetni susceptibilitet, izrađeni su χ_{lf} / χ_{fd} dijagrami u programu *Excel*.

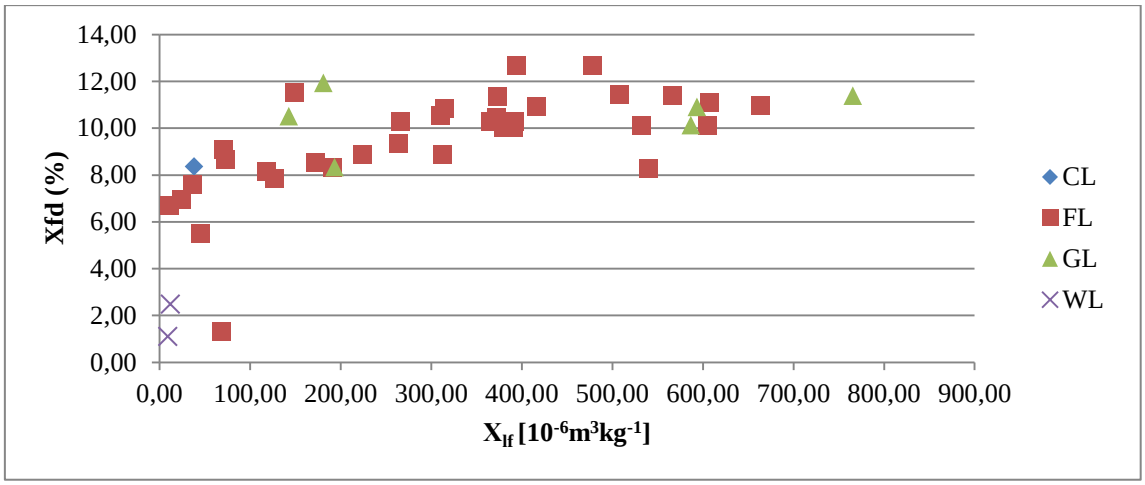
Vrijednosti χ_{lf} / χ_{fd} prema LULUCF za različite dubine vidimo na slikama (Slika 7.1 – 7.3). Statistički parametri prema vrsti pokrova za maseni magnetni susceptibilitet niske frekvencije i frekventni magnetni susceptibilitet nalaze se u tablicama (Tablica 7.2 – 7.3). Pri uzorkovanju za svaku LULUCF kategoriju uzimale su se u obzir dubine 0 – 10, 10 – 20 i 20 – 30 cm. Za potrebe ovog diplomskog rada uzorci su prema rezultatima uzorkovani s poljoprivrednih tala (CL), šumskih tala (FL), livada i pašnjaka (GL) i močvarnih tala (WL). Najniže vrijednosti izmjerene su na uzorcima prikupljenim na močvarnom tlu dok su za uzorke poljoprivrednih tala one nešto više. Najviše uzoraka prikupljeno je na području šumskih tala i za njih su izmjereni rasponi vrijednosti χ_{lf} od 0 – 720 [10^{-6} m^3 kg^{-1}]. Uzorci prikupljeni na livadama i pašnjacima podijeljeni su u dvije grupe, izmjerene vrijednosti χ_{lf} do 220 [10^{-6} m^3 kg^{-1}] ili iznad 550 [10^{-6} m^3 kg^{-1}].

Tablica 7.2. Statistički parametri vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije prema vrsti pokrova.

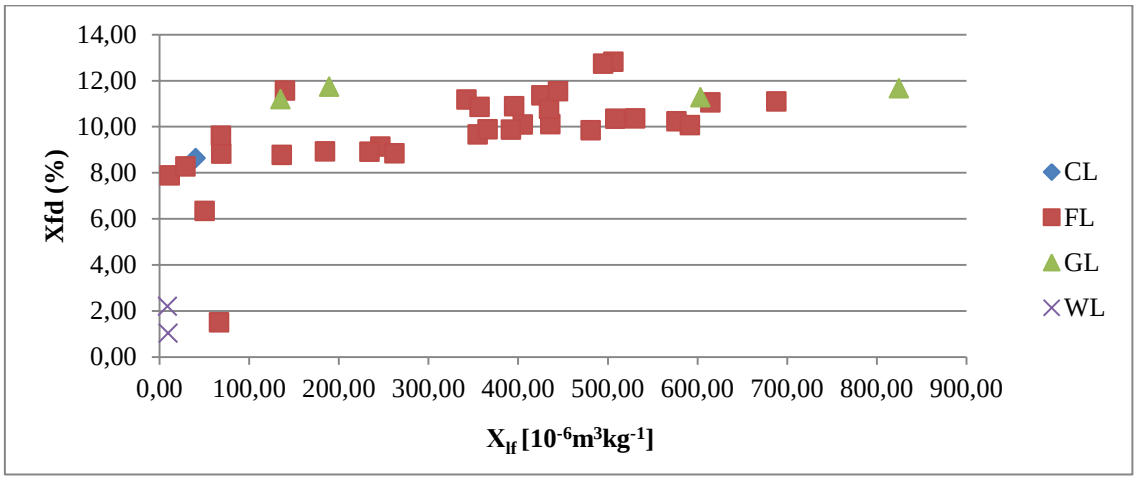
pokrov	min	max	stand_dev	mean	mod	median
CL	263,9	540,2	100,75	410,4883	/	411,4
FL	9,1	825	224,4419	312,7505	395,7	341,5
GL	22,9	606	211,1882	287,9938	/	196,7
WL	9,5	434,5	203,1601	155,32	/	12,1

Tablica 7.3. Statistički parametri vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta prema vrsti pokrova.

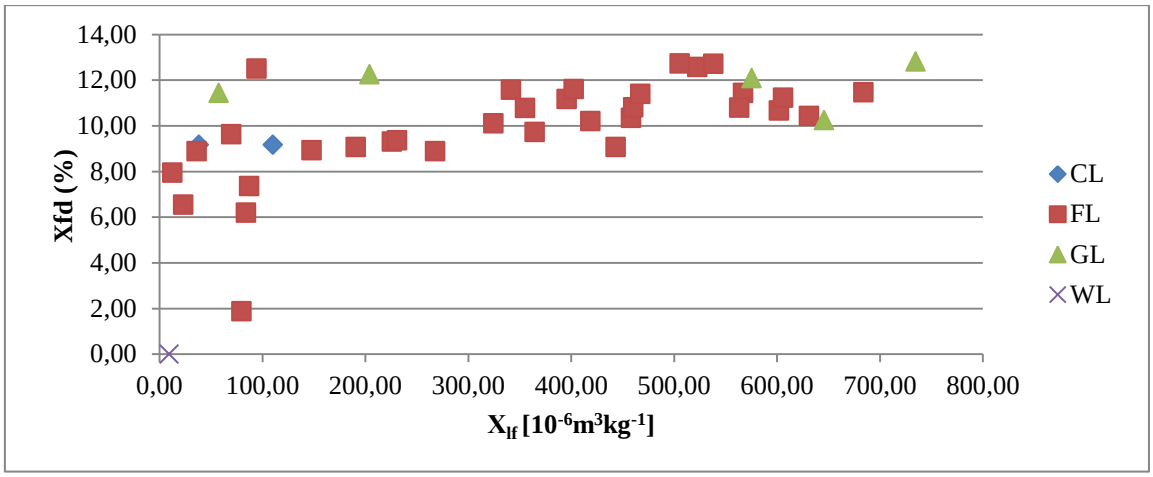
pokrov	min	max	stand_dev	mean	mod	median
CL	0	9,39	2,713011	7,743333	8,64	8,64
FL	8,33	12,82	2,141306	9,607423	9,07	10,1
GL	0	12,81	1,063203	11,235	/	11,41
WL	8,29	2,48	0,998258	1,362	/	1,1



Slika 7.1. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) za interval 0 – 10 cm, prema LULUCF.



Slika 7.2. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) za interval 10 – 20 cm, prema LULUCF.



Slika 7.3. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) za interval 20 – 30 cm, prema LULUCF.

7.3. Utjecaj tipa tla na magnetni susceptibilitet za različite intervale uzorkovanja

Četiri su osnovna tipa tla s kojih su uzorkovani uzorci, a to su: crnica, crvenica, smeđe tlo i euglej. Promatra se promjena MS i χ_{fd} s obzirom na tip tla. Slika 7.4 prikazuje promjenu MS s obzirom na tip tla za uzorke uzorkovane na intervalu 0 – 10 cm, Slika 7.7 – njegovu promjenu za interval 10 – 20 cm, a Slika 7.10 promjenu MS za interval 20 – 30 cm. Slika 7.5 prikazuje raspodjelu χ_{lf} za točke uzorkovanja na dubini od 0 – 10 cm, Slika 7.8 raspodjelu χ_{lf} za točke uzorkovanja na dubini od 10 – 20 cm i Slika 7.11 raspodjelu χ_{lf} za točke uzorkovanja na dubini od 20 – 30 cm. Slika 7.6 prikazuje raspodjelu χ_{fd} za točke uzorkovanja na dubini od 0 – 10 cm, Slika 7.9 raspodjelu χ_{fd} za točke uzorkovanja na dubini od 10 – 20 cm i Slika 7.12 raspodjelu χ_{fd} za točke uzorkovanja na dubini od 20 – 30 cm. Statistički parametri prema tipu tla za maseni magnetni susceptibilitet niske frekvencije i frekventni magnetni susceptibilitet nalaze se u tablicama (Tablica 7.4 – 7.5). Iz grafova je vidljivo kako euglej ili močvarno tlo ima najniže vrijednosti magnetnog susceptibiliteta. Prema Hannamu i Dearingu (2008) koji su mjerili magnetni susceptibilitet za područje južne i zapadne BiH, vidimo kako su upravo tla prisutna na vodom zasićenim područjima, s najnižim MS vrijednostima, a to je objašnjeno anaerobnom prirodom sustava tla i njegovim ispiranjem, zbog čega se smanjuje udio čestica magnetičnih minerala na dubinama s kojih su uzorkovani uzorci tla. Iz Priloga 1 vidimo kako je na uzorcima uzorkovanim na crnicama izmjeren MS viši u odnosu na eugleje, i on se povećava s dubinom. Gornji slojevi su manje gustoće te su bogatiji organskom tvari što uzrokuje niže

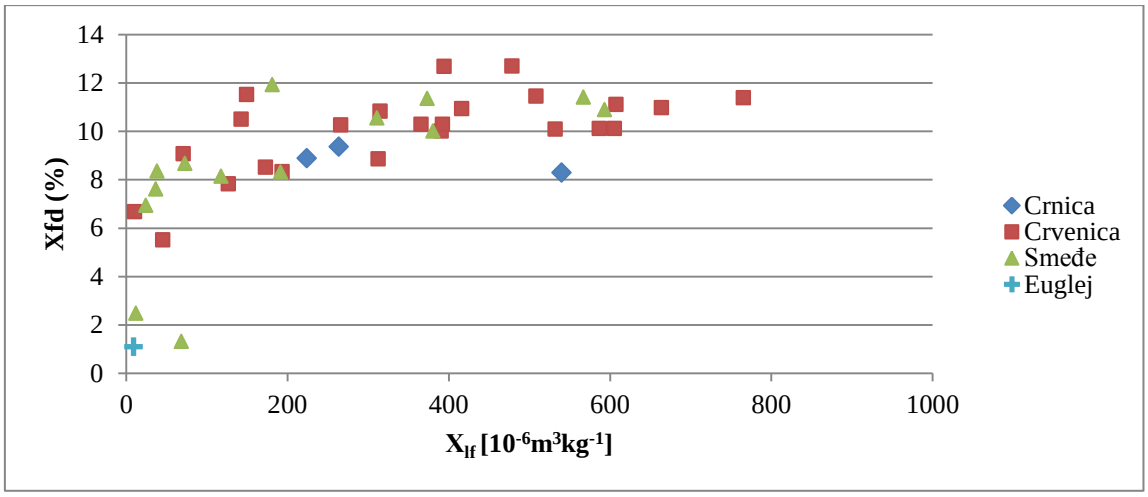
MS vrijednosti. Smeđa tla i crvenice prema rezultatima daju najviše vrijednosti magnetnog susceptibiliteta, crvenice nešto veće. Prema Hannamu i Dearingu (2008) rezultati su slični. Smeđa nijansa u smeđim tlima je rezultat akumulacije sekundarnih željezovitih oksida, čime se dolazi do zaključka kako su magnetični minerali u tlu pedogenetskog postanka. U južnoj i zapadnoj BiH povećanje MS u tlu (Hannam i Dearing, 2008) pripisuju klimi, točnije većim sezonskim kontrastima temperature i oborinama, što pogoduje većoj biološkoj aktivnosti, a samim time i povećanje magnetičnih minerala u tlu kao posljedica biokemijskih reakcija, a pošto se radi o geografski gledano, bliskim područjima može se zaključiti kako to vrijedi i za uzorke sakupljene sa smeđih tala istraživanog područja. Crvenica nastaje dehidratacijom i kristalizacijom oksida željeza – hematita što rezultira najviše izmjerenim MS vrijednostima

Tablica 7.4. Statistički parametri vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije prema tipu tla.

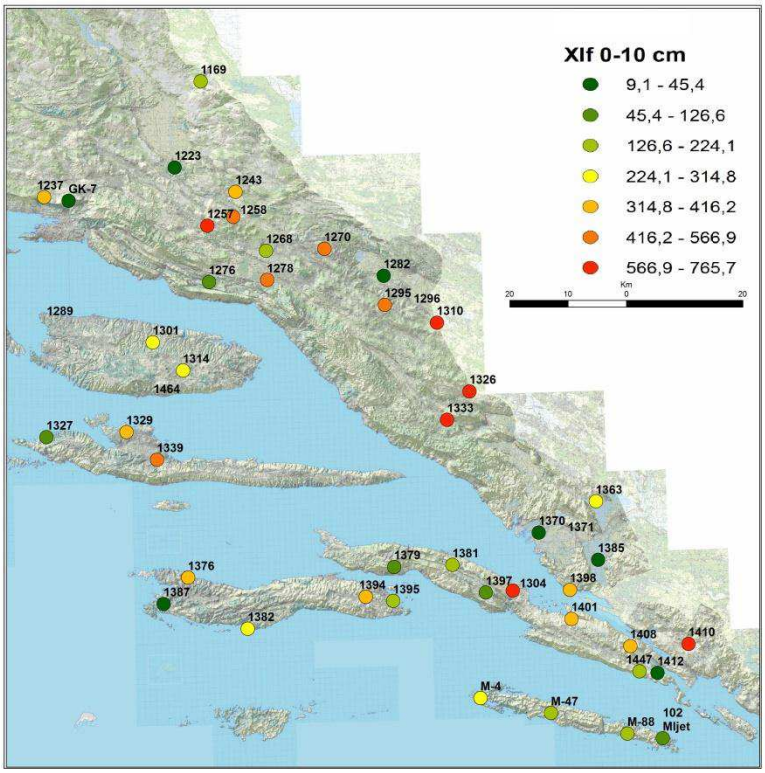
vrsta tla	min	max	stand_dev	mean	mod	median
crnica	24,1	540,2	113,2237	357,4222	/	354,9
crvenica	10,5	825	213,4106	373,3443	395,7	399,15
euglej	9,1	17,7	4,965212	11,96667	9,1	9,1
smeđe	9,5	606	196,0161	209,4619	/	127,2

Tablica 7.5. Statistički parametri vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta prema tipu tla.

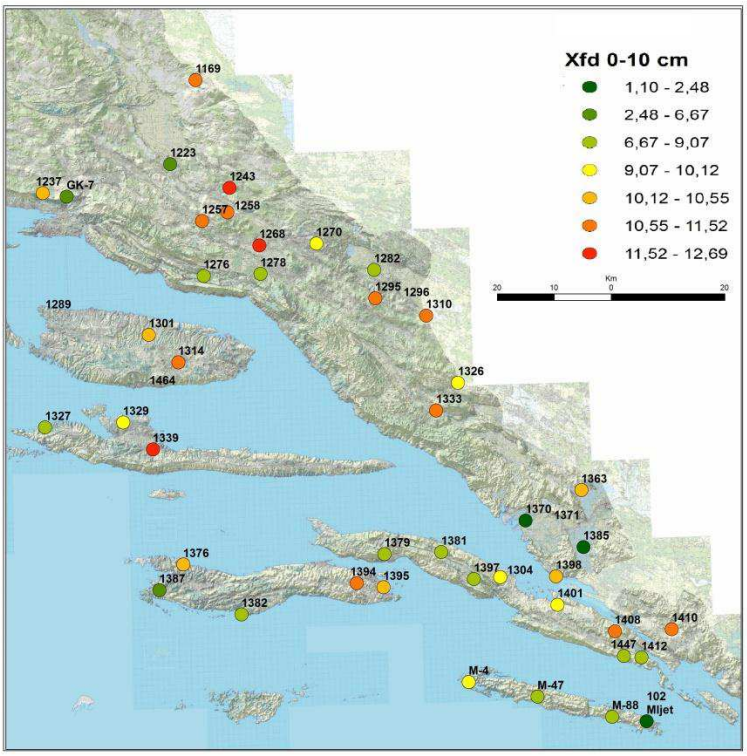
vrsta tla	min	max	stand_dev	mean	mod	median
crnica	8,29	10,35	0,64103	9,317778	/	9,36
crvenica	5,51	12,82	1,58853	10,28314	9,07	10,79
euglej	1,1	2,26	0,653095	1,853333	/	2,2
smeđe	0	12,25	3,273176	8,469286	8,64	8,92



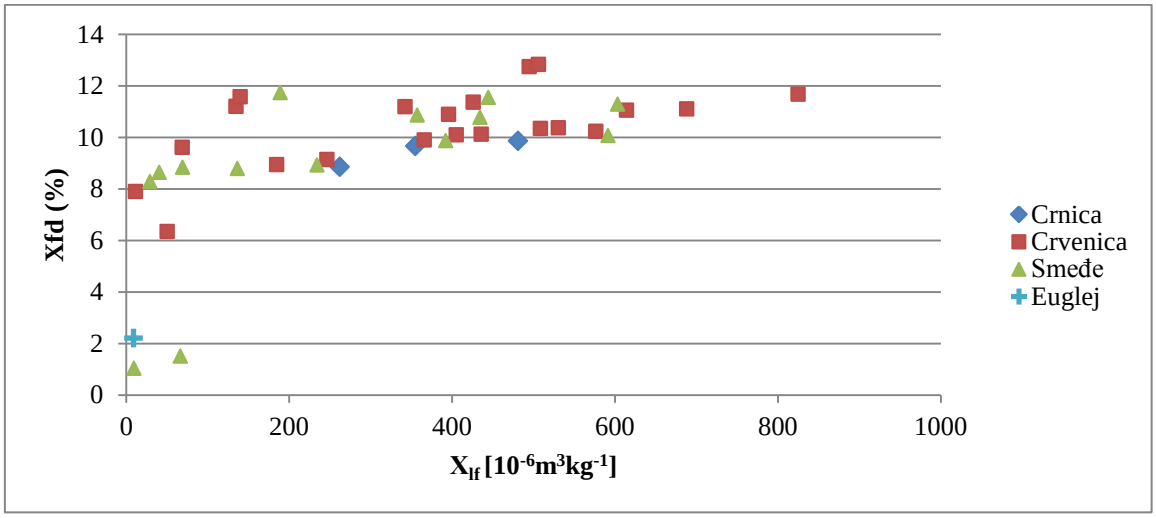
Slika 7.4. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) prema tipu tla za dubinu 0 – 10cm.



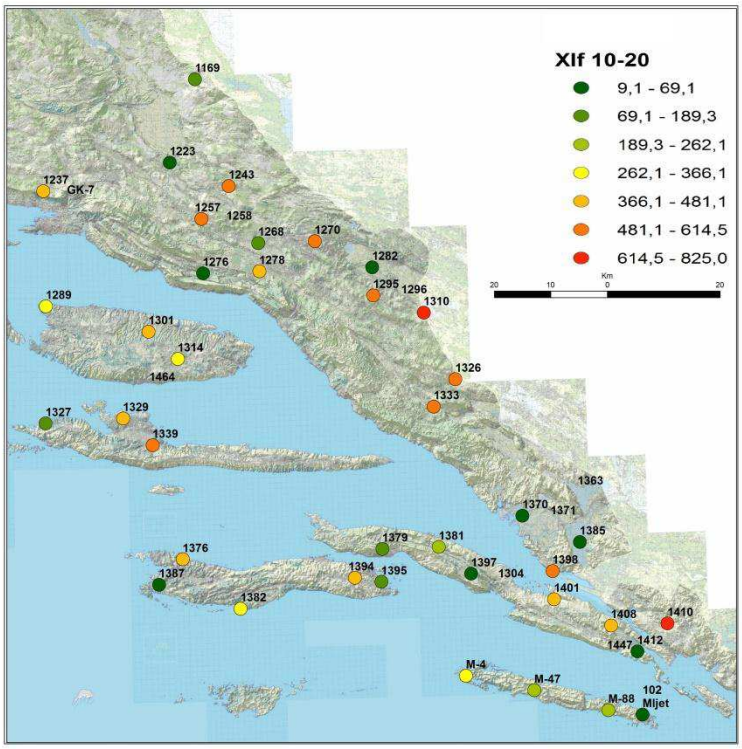
Slika 7.5. Raspodjela vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) po točkama istraživanja za dubinu od 0 – 10 cm.



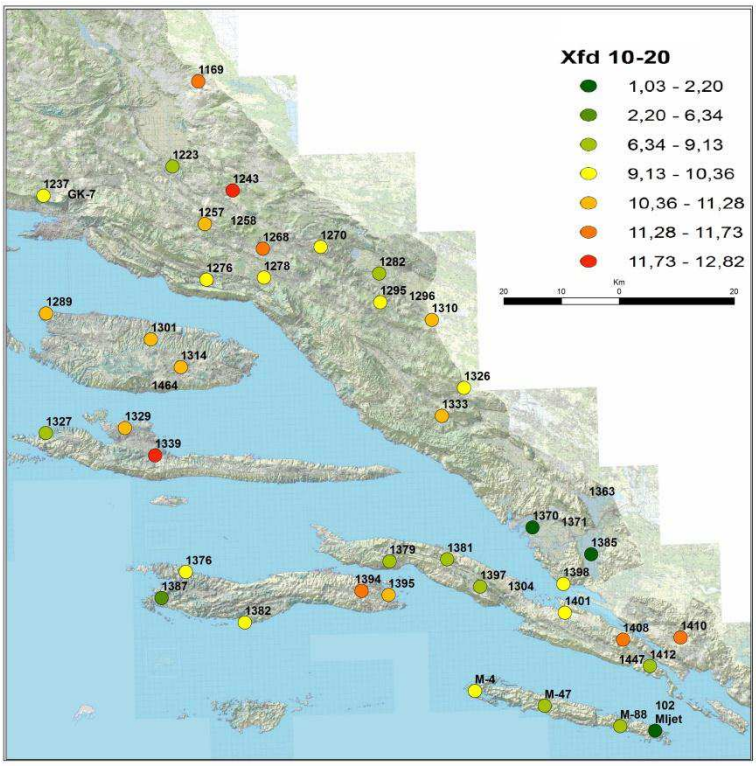
Slika 7.6. Raspodjela vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) po točkama istraživanja za dubinu od 0 – 10 cm.



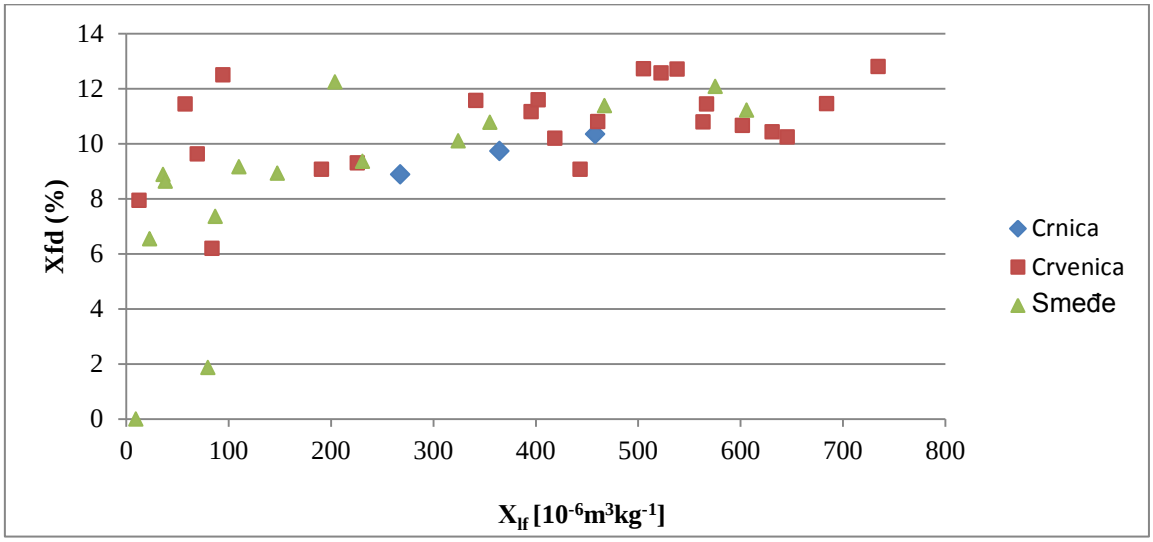
Slika 7.7. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) prema tipu tla za dubinu 10 – 20 cm.



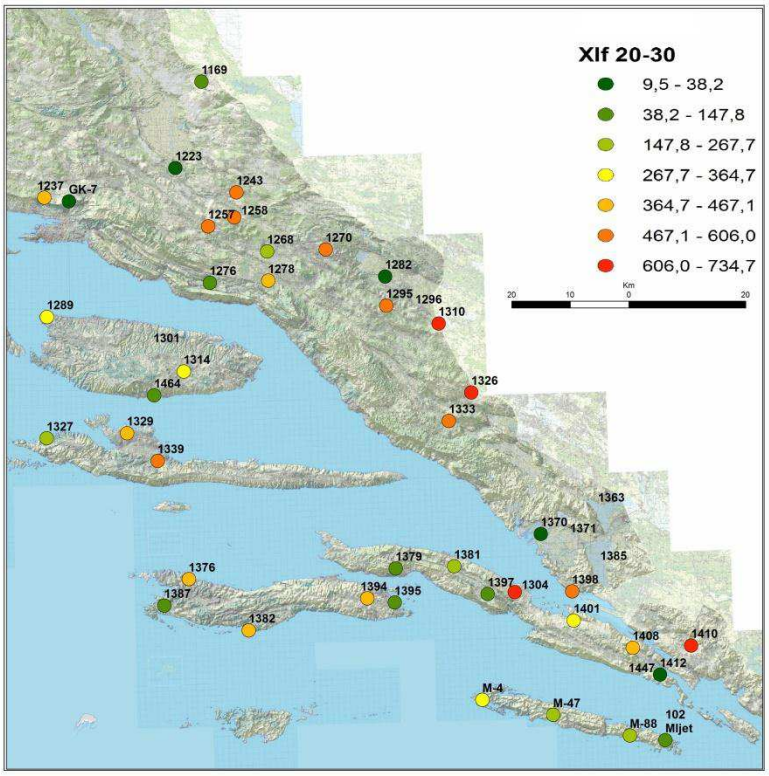
Slika 7.8. Raspodjela vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) po točkama istraživanja za dubinu od 10 – 20 cm.



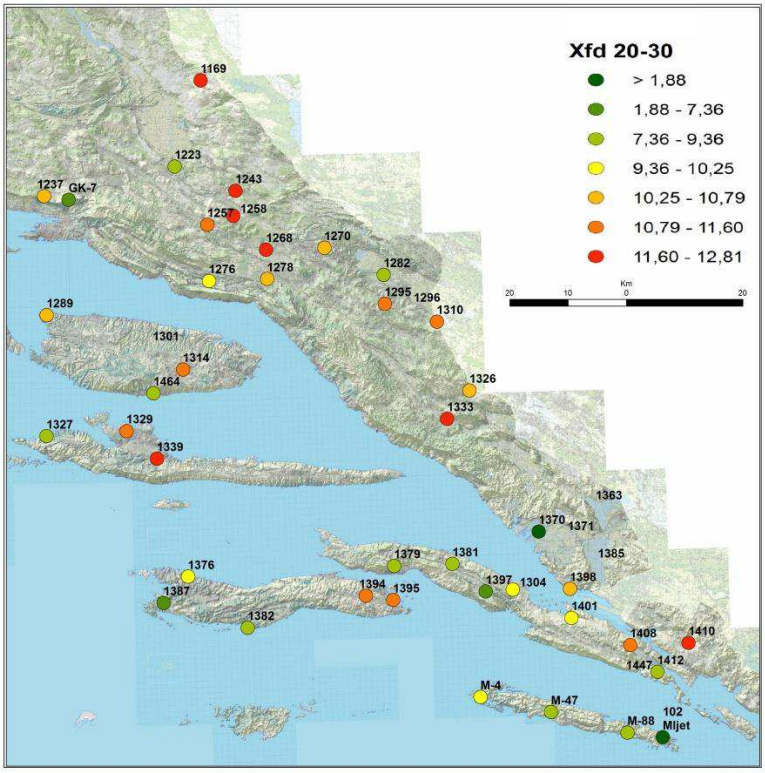
Slika 7.9. Raspodjela vrijednosti frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) po točkama istraživanja za dubinu od10 – 20 cm.



Slika 7.10. Vrijednosti omjera masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) i frekventnog magnetnog susceptibiliteta (χ_{fd}) prema tipu tla za dubinu 20 – 30 cm.



Slika 7.11. Raspodjela vrijednosti masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije (χ_{lf}) po točkama istraživanja za dubinu od 20 – 30 cm.



Slika 7.12. Raspodjela vrijednosti frekventnog susceptibiliteta (χ_{fd}) po točkama istraživanja za dubinu od 20 – 30 cm.

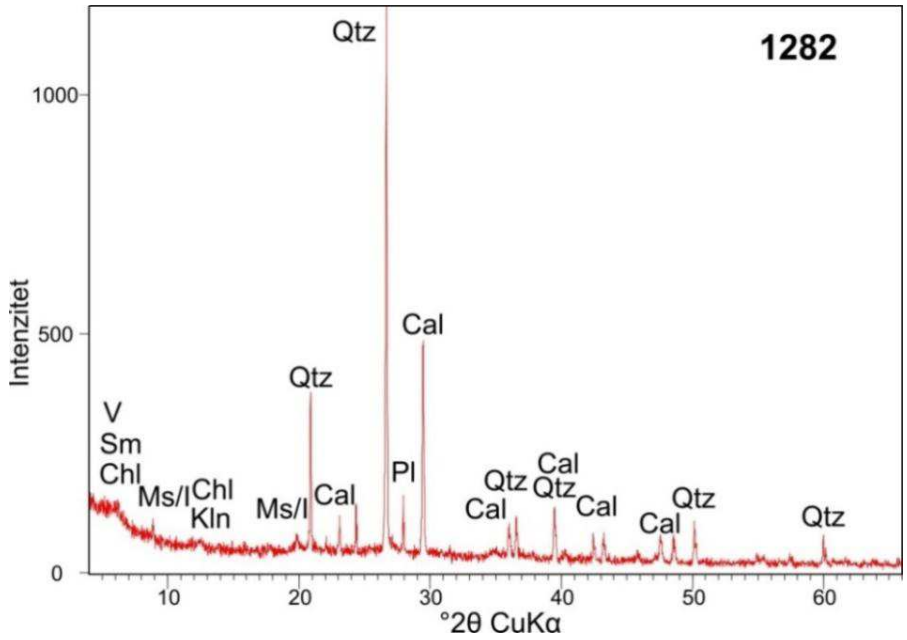
7.4. Rezultati određivanja relativne mineralne faze primjenom rendgenske difrakcijske analize i njihov utjecaj na magnetni susceptibilitet

Rezultati rendgenske difrakcijske analize pokazuju rendgenogrami (Slika 7.13 – Slika 7.18), a Tablica 7.6 sumarni prikaz rezultata dobivenih XRD analizom za odabrane uzorke uz pripadne vrijednosti dobivenog masenog i frekventnog magnetnog susceptibiliteta, gdje su oznake minerala: qtz - kvarc, cal - kalcit, dol - dolomit, arg - aragonit, kfs - kalijski feldspat, pl - plagioklas ms / i – muskovit / ilit, kln - kaolinit, chl - klorit, sm - smektit,v - vermikulit, A - amfibol (Kretz, 1983). Mineralne faze su u tablici navedene prema relativnoj zastupljenosti u uzorku na temelju visine difrakcijskih maksimuma. Želi se analizirati promjena MS s obzirom na relativnu zastupljenost mineralne faze. U uzorcima nisu detaljno određivani minerali glina te se prema difrakcijskim maksimumima na ukupnom uzorku može reći da su prisutni smektit ili klorit ili vermikulit ili kaolinit koji će se u nastavku teksta zvati minerali glina. Prema rezultatima (Tablica 7.6) se može pretpostaviti kako je kvarc dominantan mineral za sve uzorke osim 1397. Najniži MS je zabilježen za uzorak 1371. Prema XRD analizi uz kvarc,

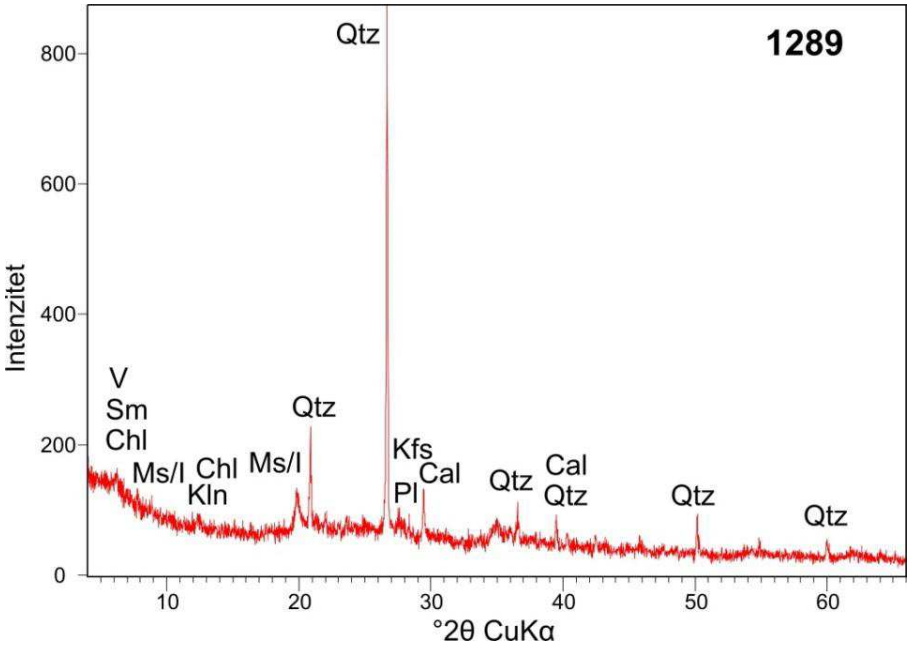
dominantni minerali u njemu su kalcit i dolomit. Prisutni su i plagioklas te minerali glina. Sljedeći uzorak s najnižim vrijednostima magnetnog susceptibiliteta jest 1282, i kao i kod prethodnog, uz kvarc je prema analizi dominantan kalcit, ima plagioklasa te minerala glina. Uzorak M – 102 ima gotovo identičan sastav kao uzorak 1282, dodajući na kraju niza amfibol. Za uzorak 1397 analizom je kao najzastupljeniji dobiven dolomit, zatim kvarc pa gline. U uzorku 1289 vidimo kako je najzastupljeniji kvarc, kalcit na drugom mjestu, a osim njih ima i minerala glina te plagioklas. U uzorku 1339 nema kalcita, već su uz kvarc najzastupljenije gline, dolomit i plagioklas te ostali minerali glina i kod njega su izmjerene najviše vrijednosti MS. Pretpostavka jest da porastom udjela kalcita, odnosno Ca u tlu dolazi do smanjenja magnetnog susceptibiliteta i obratno. Geokemijskim analizama dobivena je koncentracija Ca u uzorcima. Slika 7.19 prikazuje graf utjecaja Ca na magnetni susceptibilitet za sve uzorke prikupljene na istraživanom području i na njemu se može vidjeti kako je niža MS vrijednost vezana uz veći postotak Ca u tlu što potvrđuje pretpostavku.

Tablica 7.6. Rezultati rendgenske difrakcijske analize za odabrane uzorke i promjena masenog i frekventnog magnetnog susceptibiliteta.

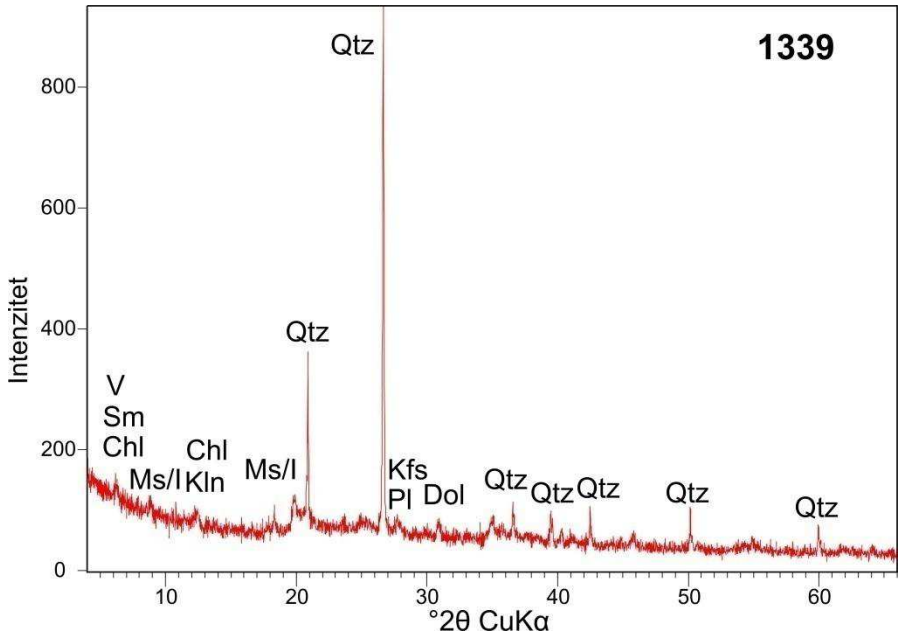
Broj uzorka	Dubina	Mineralne faze prema relativnoj zastupljenosti	χ_{lf} [m^3 / kg]	χ_{lf} [m^3 / kg]	χ_{fd} (%)
1371	0 - 30	**Qtz**, Cal, Dol, Pl, Ms/I, Sm/Chl/V, Kln, Kfs	17,7	17,3	2,26
1282	0 - 10	**Qtz**, Cal, Pl, Ms/I, Sm/Chl/V, Kln	40,5	37	8,64
M-102	0 - 10	**Qtz**, Cal, Pl, Ms/I, Sm/Chl/V, Kln, A	66,6	65,6	1,5
1397	0 - 10	**Dol**, Qtz, Ms/I	69,1	63	8,83
1289	0 - 10	**Qtz**, Cal, Ms/I, Sm/Chl/V, Kln, Pl, Kfs	357,2	318,4	10,86
1339	0 - 10	**Qtz**, Ms/I, Dol, Pl, Sm/Chl/V, Kln	506,3	441,4	12,82



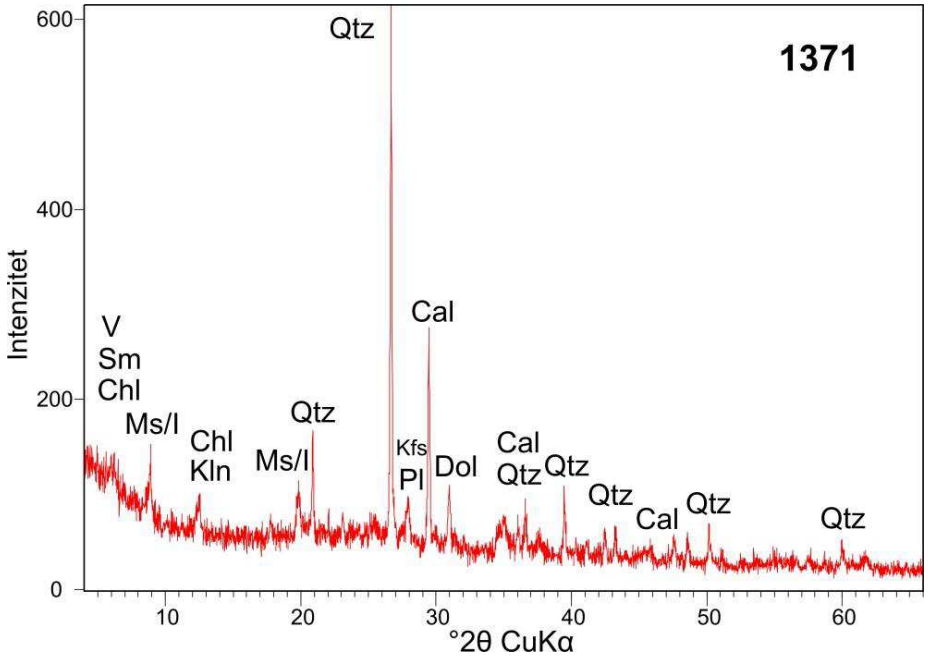
Slika 7.13. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1282 istraživanog područja (Miko i dr., 2016).



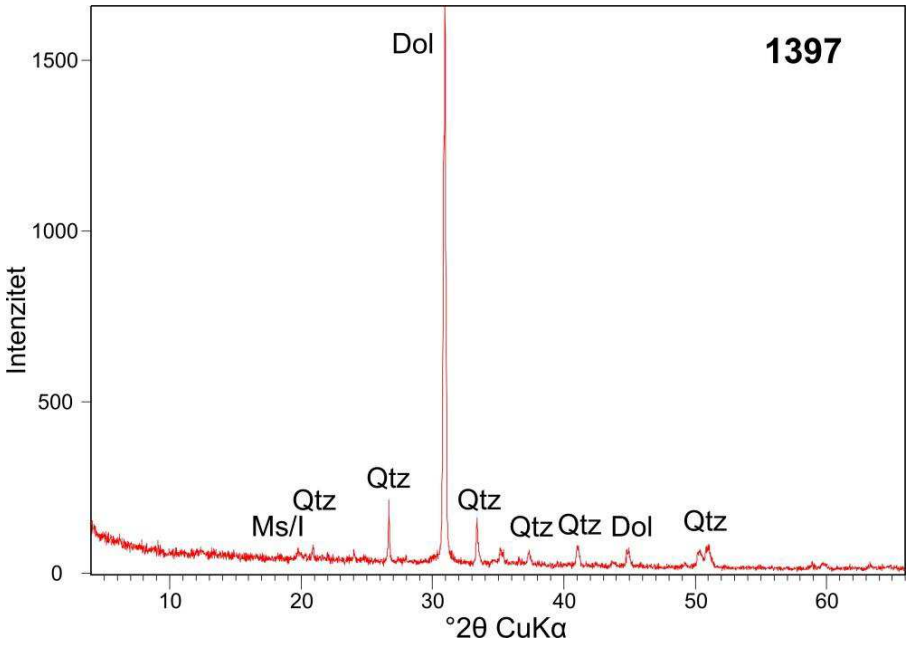
Slika 7.14. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1289 istraživanog područja (Miko i dr., 2016).



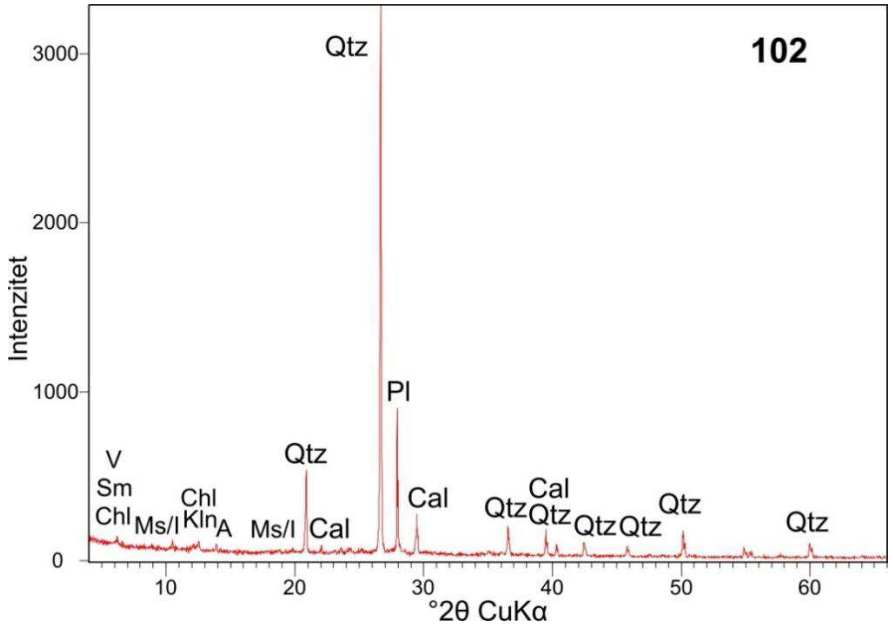
Slika 7.15. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1339 istraživanog područja (Miko i dr., 2016).



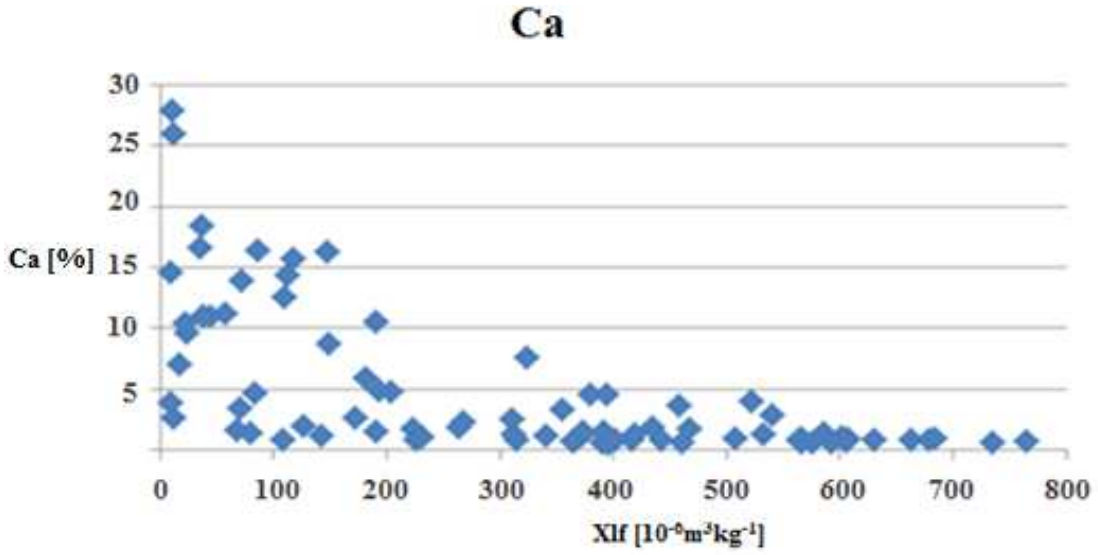
Slika 7.16. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1371 istraživanog područja (Miko i dr., 2016).



Slika 7.17. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke 1397 istraživanog područja (Miko i dr., 2016).



Slika 7.18. Slika rendgenske difrakcijske analize za uzorak točke M - 102 istraživanog područja (Miko i dr., 2016).



Slika 7.19. Vrijednost masenog magnetnog susceptibiliteta niske frekvencije u ovisnosti o postotku Ca u tlu.

7.5. Korelacijska i klaster analiza

Pri izradi korelacijskih matrica i klaster analiza korišten je program *Statistica* 10 (StatSoft, 2011). Želi se dobiti veza između elemenata koje se najčešće povezuje s magnetizmom i MS mjerenjima.

7.5.1. Korelacijska analiza

Načinjene su korelacijske tablice za dubine 0 – 10 cm i 20 – 30 cm. Želi se ispitati jakost korelacije masenog magnetnog susceptibiliteta za nisku (χ_{lf}) i visoku frekvenciju (χ_{hf}) prema odabranim elemenatima. Rezultati se nalaze u Tablici 7.7 i Tablici 7.8. Ispitana je i korelacija frekventnog magnetnog susceptibiliteta prema istim elementima čije rezultate prikazuju Tablice 7.9 i 7.10. Jakost korelacije između varijabli se izražava Pearsonovim koeficijentom korelacije – r. Kad se koeficijent korelacije nalazi u rasponu od 0 – 0,2 korelacija je neznatna ili je uopće nema, za interval 0,2 – 0,4 je slaba; 0,4 – 0,7 je srednje jaka; 0,7 – 1 je čvrsta, dok za r = 1 korelacija je potpuna. Elementi sami sa sobom u potpunosti koreliraju. Promatrajući χ_{lf} i χ_{hf}, iz rezultata se vidi kako oni međusobno vrlo čvrsto koreliraju, pri čemu je r = 0,9998 za oba intervala dubina. Za dubinu 0 – 10 cm korelacija χ_{lf} najveća je s Al i koeficijent korelacije iznosi: r = 0,7706, zatim s Ti r = 0,7324 i s Fe gdje je r = 0,7309, dakle, χ_{lf} čvrsto korelira s Al, Ti i Fe. Za istu dubinu χ_{lf} negativno korelira s Ca pri čemu je r = -0,6157, te s Mg gdje je r = -0,3735. Za dubinu 0 – 10 cm χ_{hf} najbolje korelira s Al i koeficijent korelacije iznosi r = 0,7705, zatim s Ti r =

0,7347 i s Fe gdje je r = 0,6893. Iz navedenog vidimo kako χ_{lf} čvrsto korelira s Al i Ti dok srednje jako korelira s Fe. Za istu dubinu χ_{hf} negativno korelira s Ca pri čemu je r = -0,6182, te s Mg gdje je r = -0,3749. Na dubini od 20 – 30 cm korelacija χ_{lf} najveća je s Al i koeficijent korelacije iznosi: r =0,7715, zatim s Ti r = 0,7324 i s Fe r = 0,7309, dakle χ_{lf} čvrsto korelira s Al, Ti i Fe. Za istu dubinu χ_{lf} negativno korelira s Ca pri čemu je r = -0,6883, te s Mg gdje je r = -0,3665. Na dubini od 20 – 30 cm korelacija χ_{hf} najveća je s Al i koeficijent korelacije iznosi: r = 0,7698, zatim s Ti r = 0,7342 i s Fe r = 0,6880, odnosno χ_{hf} čvrsto korelira s Al i Ti i srednje jako s Fe. Za istu dubinu χ_{hf} negativno korelira s Ca pri čemu je r = -0,6883, te s Mg gdje je r = -0,3665. S ostalim elementima korelacija je slaba ili neznatna za obje dubine.

Frekventni magnetni susceptibilitet (χ_{fd}) korelira s Al, Ti i Fe. Za dubinu 0 – 10 cm korelacija χ_{fd} najveća je s Ti i koeficijent korelacije iznosi: r =0,6333, zatim s Al r = 0,5569 i s Fe gdje je r = 0,5093, dakle χ_{fd} ima srednje jaku korelaciju s Al, Ti i Fe. Za istu dubinu χ_{fd} negativno korelira s Ca pri čemu je r = -0,3999, te s Mg gdje je r = -0,1737. Za dubinu 20 – 30 cm korelacija χ_{fd} najveća je s Ti i koeficijent korelacije iznosi: r =0,5825, zatim s Al = 0,5539 i s Fe gdje je r = 0,5136, dakle χ_{fd} ima srednje jaku korelaciju s Al, Ti i Fe. Za istu dubinu χ_{fd} negativno korelira s Ca pri čemu je r = -0,2552, te s Mg gdje je r = -0,2583. U tablicama je za χ_{lf} korišten naziv LF_Sus, za χ_{hf} HF_Sus i za χ_{fd} oznaka Freq Dep perc.

Tablica 7.7. Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 0 – 10 cm; χ_{lf} (maseni magnetni susceptibilitet niske frekvencije) – χ_{hf} (maseni magnetni susceptibilitet visoke frekvencije).

	Means	Std.Dev.	LF_Sus	HF_Sus	Fe	Ca	Mg	Cr	Ti	Al	P	Ni	Cu
LF_Sus	296,2220	215,1251	1,0000										
HF_Sus	265,7341	191,3355	0,9998	1,0000									
Fe	3,7456	1,3099	0,7309	0,7321	1,0000								
Ca	4,6459	6,0538	-0,6157	-0,6182	-0,7948	1,0000							
Mg	1,5129	1,9345	-0,3735	-0,3749	-0,6256	0,4586	1,0000						
Cr	126,4634	53,0274	0,3202	0,3234	0,7351	-0,5872	-0,5488	1,0000					
Ti	0,3547	0,1229	0,7324	0,7321	0,9678	-0,7876	-0,6148	0,6948	1,0000				
Al	7,0456	2,5253	0,7706	0,7705	0,9740	-0,8128	-0,5999	0,6440	0,9804	1,0000			
P	0,0935	0,1393	0,2889	0,2979	0,2120	-0,0922	-0,1317	0,0583	0,0937	0,1194	1,0000		
Ni	78,8146	32,5500	0,2551	0,2540	0,6721	-0,4810	-0,5055	0,8046	0,6333	0,5695	0,0218	1,0000	
Cu	44,4683	43,1857	0,0200	0,0179	0,1050	-0,0492	-0,2109	0,1239	0,1522	0,0877	0,0249	0,2043	1,0000

Tablica 7.8. Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 20 – 30 cm; χ_{lf} (maseni magnetni susceptibilitet niske frekvencije) – χ_{hf} (maseni magnetni susceptibilitet visoke frekvencije).

	Means	Std.Dev.	LF_Sus	HF_Sus	Cu	Ni	Fe	Ca	P	Ti	Al	Mg	Cr
LF_Sus	325,6472	219,6780	1,0000										
HF_Sus	290,5806	193,7057	0,9998	1,0000									
Cu	41,2056	22,5050	0,2119	0,2088	1,0000								
Ni	89,1278	30,0513	0,2438	0,2437	0,1716	1,0000							
Fe	4,2569	1,3896	0,6893	0,6880	0,2054	0,6247	1,0000						
Ca	5,0447	6,2371	-0,6844	-0,6883	-0,0795	-0,4101	-0,7828	1,0000					
P	36,2566	217,1560	0,1034	0,1064	-0,0365	-0,0475	0,1151	-0,0375	1,0000				
Ti	0,3911	0,1231	0,7347	0,7342	0,2501	0,5517	0,9394	-0,7875	-0,0209	1,0000			
Al	7,8583	2,6732	0,7715	0,7698	0,2115	0,4924	0,9551	-0,8242	0,0232	0,9634	1,0000		
Mg	1,5703	2,0246	-0,3667	-0,3665	-0,2958	-0,5891	-0,6363	0,4398	-0,0839	-0,5897	-0,5795	1,0000	
Cr	148,1389	76,3923	0,2575	0,2658	-0,0754	0,5959	0,4804	-0,4889	-0,0048	0,4590	0,3853	-0,4116	1,0000

Tablica 7.9. Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 0 – 10 cm; χ_{fd} (frekventni magnetni susceptibilitet).

	Means	Std.Dev.	Cu	Ni	Fe	Ca	P	Al	Ti	Cr	Mg	Freq_Dep
Cu	44,4683	43,1857	1,0000									
Ni	78,8146	32,5500	0,2043	1,0000								
Fe	3,7456	1,3099	0,1050	0,6721	1,0000							
Ca	4,6459	6,0538	-0,0492	-0,4810	-0,7948	1,0000						
P	0,0935	0,1393	0,0249	0,0218	0,2120	-0,0922	1,0000					
Al	7,0456	2,5253	0,0877	0,5695	0,9740	-0,8128	0,1194	1,0000				
Ti	0,3547	0,1229	0,1522	0,6333	0,9678	-0,7876	0,0937	0,9804	1,0000			
Cr	126,4634	53,0274	0,1239	0,8046	0,7351	-0,5872	0,0583	0,6440	0,6948	1,0000		
Mg	1,5129	1,9345	-0,2109	-0,5055	-0,6256	0,4586	-0,1317	-0,5999	-0,6148	-0,5488	1,0000	
Freq_Dep_perc	9,0995	2,6359	0,0812	0,1511	0,5093	-0,3999	0,0574	0,5569	0,5628	0,1584	-0,1737	1,0000

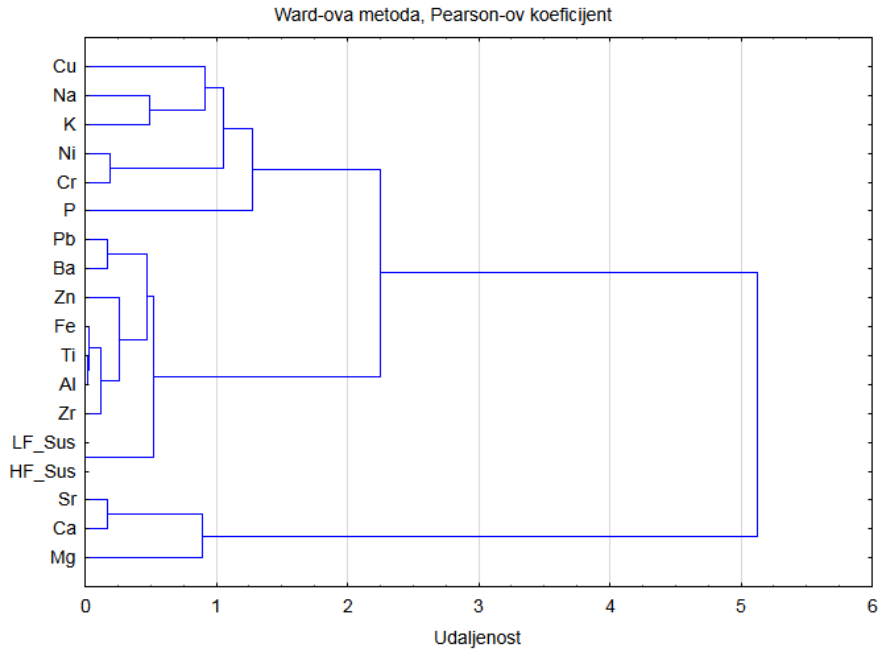
Tablica 7.10 Korelacijska analiza rezultata kemijskih analiza i magnetnog susceptibiliteta, za dubine 20 – 30 cm; χ_{fd} (frekventni magnetni susceptibilitet).

	Means	Std.Dev.	Cu	Ni	Fe	Ca	P	Ti	Al	Mg	Cr	Freq_Dep_perc
Cu	41,2056	22,5050	1,0000									
Ni	89,1278	30,0513	0,1716	1,0000								
Fe	4,2569	1,3896	0,2054	0,6247	1,0000							
Ca	5,0447	6,2371	-0,0795	-0,4101	-0,7828	1,0000						
P	36,2566	217,1560	-0,0365	-0,0475	0,1151	-0,0375	1,0000					
Ti	0,3911	0,1231	0,2501	0,5517	0,9394	-0,7875	-0,0209	1,0000				
Al	7,8583	2,6732	0,2115	0,4924	0,9551	-0,8242	0,0232	0,9634	1,0000			
Mg	1,5703	2,0246	-0,2958	-0,5891	-0,6363	0,4398	-0,0839	-0,5897	-0,5795	1,0000		
Cr	148,1389	76,3923	-0,0754	0,5959	0,4804	-0,4889	-0,0048	0,4590	0,3853	-0,4116	1,0000	
Freq_Dep_perc	9,6144	2,6708	0,2608	0,0869	0,5136	-0,2552	0,0473	0,5825	0,5533	-0,2584	0,0146	1,0000

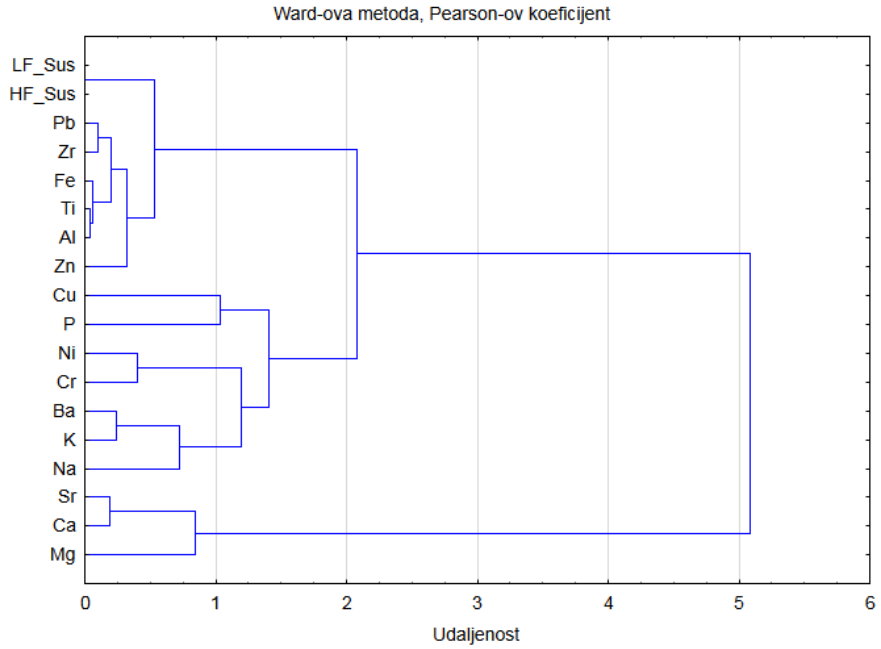
7.5.2. Klaster analiza

Rezultati klaster analize masenog i frekventnog magnetnog susceptibiliteta prema odabranim kemijskim elementima prikazani su grafički, dendogramima. Izrađeni su

dendogrami za intervalnu dubinu od 0 – 10 cm (Slika 7.20), i dubinu 20 – 30 cm (Slika 7.21). Cilj analize je opažanje sličnosti i razlika između elemenata na temelju njihovog grupiranja u zajedničke klastere. Wardovom metodom se računa aritmetička sredina svakog klastera i svake varijable, a nakon toga 1 – Pearson r udaljenost do aritmetičke sredine za svaki element te se udaljenosti za sve elemente klastera zbrajaju. Pearsonov koeficijent korelacije (r) je mjera sličnosti između elemenata. Za interval 0 – 10 cm izdvojila su se 2 klastera, karbonatni i siliciklastični, dok siliciklastični možemo podijeliti u dva podklastera koja su se grupirala na temelju veličine frakcije. Tako se grupirani u jedan klaster nalaze Cu, Na, K, Ni, Cr i P i oni predstavljaju siliciklastični klaster krupnije frakcije, a u drugi siliciklastični klaster sitnije frakcije su grupirani Pb, Ba, Zn, Fe, Ti, Al, Zr, te magnetni susceptibilitet. Iz dendograma vidimo kako najmanju udaljenost, a time najveću povezanost imaju Fe, Ti i Al, a Zr i Zn dobro koreliraju s njima. Unutar istog klastera vidi se povezanost između Pb i Ba te nešto veću udaljenost ova dva elementa s ranije navedenim. Karbonatni klaster čine elementi Ca i Sr koji su dobro povezani i Mg s nešto većom udaljenošću u odnosu na njih. Za interval 20 – 30 cm također se mogu izdvojiti 2 klastera, karbonanti i siliciklastični. Karbonatni, kao i kod dendograma dobivenog za dubinu 0 – 10 cm čine dobro povezani Ca i Sr, te Mg na nešto većoj udaljnosti od njih. Siliciklastični se klaster razdvojio u 2 podklastera, pretpostavlja se, baš kao i u prvom slučaju prema veličini frakcije. U jedan klaster, i to onaj nešto krupnije frakcije povezani su Na, K, Ba, Cr, Ni, P, Cu. Najmanja udaljenost je između Ba i K, a s njima je dobro povezan Na. Isto tako su dobro povezani Ni i Cr, dok su udaljenosti između navedenih i ostalih elemenata unutar podklastera nešto veće. Magnetni susceptibilitet se veže uz siliciklastični klaster sitnije frakcije, tj. s elementima Pb, Zr, Fe, Ti, Al, Zn. Ponovno je najmanja udaljenost između Al i Ti, a nešto veća između njih i Fe. Dobro su međusobno povezani i Pb i Zr, dok nešto slabije s Al, Ti i Fe. Udaljenost Zn i magnetnog susceptibiliteta u odnosu na navedene elemente nešto je veća. Na slikama je za χ_{lf} korišten naziv LF_Sus, a za χ_{hf} naziv HF_Sus.



Slika 7.20. Klaster analiza rezultata kemijskih analiza i magnetskog susceptibiliteta (Ward-ova metoda hijerarhijskog grupiranja pomoću Pearson-ovih koeficijenata korelacije) u intervalu 0 – 10 cm, pomoću koje su izdvojeni karbonatni i siliciklastični klaster.



Slika 7.21. Klaster analiza rezultata kemijskih analiza i magnetskog susceptibiliteta (Ward-ova metoda hijerarhijskog grupiranja pomoću Pearson-ovih koeficijenata korelacije) u intervalu 20 – 30 cm, pomoću koje su izdvojeni karbonatni i siliciklastični klaster.

8. ZAKLJUČAK

Ispitivala se promjena MS s obzirom na pokrov tla prema LULUCF klasifikaciji, povećanje dubine, te vrstu tla na kojima je uzorkovanje izvršeno. Načinjena je rendgenska difrakcijska analiza na određenim uzorcima u svrhu određivanja relativne mineralne faze i promjene magnetnog susceptibiliteta s obzirom na dominantni mineral dobiven istom. Ispitano je kako se magnetni susceptibilitet mijenja s obzirom na odabrane elemente dobivene geokemijskim analizama prethodnih istraživanja. Rezultati međuodnosa magnetnog susceptibiliteta (MS) i odabranih elemenata dobiveni su korelacijskom i klaster analizom. Na temelju provedenih mjerenja, analiza i dobivenih rezultata doneseni su sljedeći zaključci:

- Usporedbom promjene MS s obzirom na LULUCF kategorizaciju može se zaključiti kako su na uzorcima uzorkovanim na močvarnim i poljoprivrednim tlima MS vrijednosti najniže, što nam govori kako ona sadrže najmanje magnetičnih minerala.
- Za uzorke kod kojih MS raste s dubinom može se zaključiti kako su magnetne čestice litogenetskog podrijetla, dok za uzorke kod kojih se s dubinom MS smanjuje su one pedogenog podrijetla i formirani su kroz aktivne procese razvoja tla.
- Analizom promjene MS s obzirom na vrstu tla donesen je zaključak kako crvenica ima najviše, smeđa tla nešto niže, crnica niske, a euglej najniže vrijednosti MS.
- Povećanjem Ca u tlu MS se smanjuje, a smanjenjem Ca u tlu se on povećava.
- Iz rezultata korelacijske analize došlo se do zaključka kako MS najbolje kolerira s Al, Ti i Fe, dok negativno korelira s Ca i Mg.
- Prema rezultatima klaster analize magnetni susceptibilitet se veže uz siliciklastični klaster sitne frakcije zajedno s elementima Pb, Zr, Fe, Ti, Al, Zn.

9. LITERATURA

BLUMENTRITT D. J., LASCU I., (2014): Acomparison of magnetic susceptibility measurment techniques and ferrimagnetic component analysis from recent sediments in Lake Pepin (USA), Geological society, London, Special Publications, 414, 197 – 207.

BOGUNOVIĆ M., VIDAČEK Ž., RACZ Z., HUSNJAK S., SRAKA M., (1996): Namjenska pedološka karta RH mjerila 1:300 000. Arhiva Zavoda za pedologiju, Agronomski fakultet Zagreb.

CEN, (2003): Humanutarian Mine Action – Test and Evaluation – Metal Detectors. CWA 14747. European Committee for Standardization (CEN), Brusseles, Belgija.

ČEČURA Ž., KRIŽOVAN Z., (2000.): Školski atlas, ALFA d.d, Zagreb.

DA SILVA A. C., WHALEN M. T., HLADIL J., CHADIMOVA L., CHEN D., V., SPASSOV S., BOULVAIN F. I DEVLEESCHOUWER X., (2015): Magnetic susceptibility application: a window onto ancient environments and climatic variations: foreword, Geological Society, London, Special Publications, 414, 1 – 13.

DEARING J. A., HAY K. L., BABAN S. M. J., HUDDLESTON A. S., WELLINGTON E. M. H., LOVELAND P. J., (1996): Magnetic susceptibility of soil:an evaluation of conflicting theories using a national data set, Geophys. J. Int., 127, str. 728 – 734.

DEARING J., A., (Second edition 1999): Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Barington MS2 System, British library, priručnih za rukovanje uređajem, priručnik za rukovanje, 53 str.

DIKTAS, (2013): Hydrogeological map of Dinaric karst, Trebinje

DUNLOP D., OZDEMIR O., (1997): Rock magnetism. Fundamentals and Frontiers. In: Edwards, D. (Ed.), Cambridge Studies in Magnetism. Cambridge University Press.

FAJKOVIĆ H., (2014): Utjecaj odlagališta otpada Baštijunski Brig na geokemijski sastav površinskih jezerskih sedimenata Vranskog jezera u Ravnim Kotarima, Zagreb. Doktorski rad, Prirodoslovno – matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 207 str.

HALAMIĆ J., MIKO, S., (2009): Geokemijski atlas Republike Hrvatske. Zagreb: Hrvatski geološki institut.

HANNAM J. A., DEARING J. A., (2008): Mapping soil magnetic properties in Bosnia and Herzegovina for landmine clearance operations, Earth and Planetary Science Letters, 274, str. 285 – 294.

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT, (2009): Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000.- Zagreb: Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju.

KRETZ R. (1983): Symbols for rock-forming minerals, American Mineralogist 68, 277 – 279.

MAGIERA T., STRZYSZCZ Z., KAPIĆKA A., PETROVSKY E., (2006): Discrimination of lithohenic and anthropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe, Geoderma, 130, str. 299 – 311.

MARTINOVIĆ J., (1990): Pedološka karta Hrvatske. Rukopis, Zagreb.

MARTINOVIĆ J., (2000): Tla u Hrvatskoj. Zagreb, Printel d.o.o.

MIKO S., MARJANOVIĆ H., KOMESAROVIĆ B., HASAN O., ILIJANIĆ N., ŠPARICA MIKO M., (2016): Promjena zaliha ugljika u tlu i izračun trendova ukupnog dušika i organskog ugljika u tlu te odnosa C:N. Izvješće o provedbi V faze projekta. Fond stručne literature Hrvatskog geološkog instituta 75/16, Zagreb, 47 p.

MIKO S., MARJANOVIĆ H., KOMESAROVIĆ B., PILAŠ I., (2014): Plan provedbe projekta: Promjena zaliha ugljika u tlu i izračun trendova ukupnog dušika i organskog ugljika u tlu te odnosa C:N. Zagreb: Hrvatski geološki institut, 2/2014.

MOORE D. M., REYNOLDS R. C., (1997): X – Ray Difraction and the Identification and Analysis of Clay minerals. Oxford, New York : Oxford University.

PETROVSKY E., KAPIČKA A., JORDANOVA N., KNAB M., HOFFMANN V., (1998): Environmenta, 39 (3 – 4), str. 312 – 318.

SLIŠKOVIĆ I., (2014): Vode u kršu slivova Neretve i Cetine. Zagreb: Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju.

ŠPARICA P., (2012): Utjecaj oborinskih voda na fizikalno-kemijska svojstva tla uzduž magistralnog autoputa „Dalmatina“, Zagreb. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 92 str.

VELIĆ I., VLAHOVIĆ I., (2009): Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1 : 300 000. Zagreb: Hrvatski geološki institut, 141 str.

Web literatura:

STATSOFT, Inc., (2011): STATISTICA (data analysis software system), version 10 http://www.statsoft.com (15. 01. 2017.)

ŠTAMBUK LJ., (2006): Matematika sa statistikom, udžbenik (2. dopunjeno i prošireno izdanje), Rijeka, Velečilište u Rijeci. http://veleri.hr/~ljstambuk/Kvantitativne%20za%20web/Korelacija%20i%20regresija_pod.pdf (08. 01. 2017.)

PRILOZI

Prilog 1. Popis uzoraka s podjelom prema dubini, vrsti pokrova, tipu tla te izmjerenim MS i masom

Uzorak	Dubina	Tip_tla	LULUCF	masa [g]	χlf[10-6m3kg-1]	χhf [10-6m3kg-1]	χfd [%]
1169	(0-10)	crvenica	FL	13,63	149,30	132,10	11,52
1169	(10-20)	crvenica	FL	14,38	140,00	123,80	11,57
1169	(20-30)	crvenica	FL	14,68	94,40	82,60	12,50
1223	(0-10)	crvenica	FL	15,68	10,50	9,80	6,67
1223	(10-20)	crvenica	FL	15,75	11,40	10,50	7,89
1237	(20-30)	crvenica	FL	15,99	460,50	410,70	10,81
1243	(0-10)	crvenica	FL	13,60	394,20	344,20	12,68
1243	(10-20)	crvenica	FL	13,74	495,10	432,00	12,74
1243	(20-30)	crvenica	FL	15,07	522,60	456,90	12,57
1257	(0-10)	crvenica	FL	13,45	607,40	539,90	11,11
1257	(10-20)	crvenica	FL	13,99	614,50	546,60	11,05
1257	(20-30)	crvenica	FL	15,17	567,10	502,20	11,44
1258	(0-10)	crvenica	FL	13.95	508.2	450.0	11,45
1258	(10-20)	crvenica	FL	16.43	538.3	469.9	12,71
1268	(0-10)	smeđe tlo	GL	14,12	181,20	159,60	11,92
1268	(10-20)	smeđe tlo	GL	16,99	189,30	167,10	11,73
1268	(20-30)	smeđe tlo	GL	16,54	204,10	179,10	12,25
1270	(0-10)	crvenica	FL	14,12	532,20	478,50	10,09
1270	(10-20)	crvenica	FL	15,09	530,80	475,80	10,36
1270	(20-30)	crvenica	FL	15,58	601,90	537,70	10,67
1276	(0-10)	crvenica	FL	14,94	70,60	64,20	9,07
1276	(10-20)	crvenica	FL	16,06	68,70	62,10	9,61
1276	(20-30)	crvenica	FL	14,88	69,60	62,90	9,63
1278	(0-10)	crnica	FL	14,96	540,20	495,40	8,29
1278	(10-20)	crnica	FL	15,17	481,10	433,70	9,85
1278	(20-30)	crnica	FL	14,95	458,10	410,70	10,35
1282	(0-10)	smeđe pjeskovito tlo	CL	16,80	38,30	35,10	8,36
1282	(10-20)	smeđe pjeskovito tlo	CL	16,53	40,50	37,00	8,64
1282	(20-30)	smeđe pjeskovito tlo	CL	16,95	38,20	34,90	8,64
1289	(10-20)	smeđe pjeskovito tlo	FL	15,37	357,20	318,40	10,86
1289	(20-30)	smeđe pjeskovito tlo	FL	15,69	355,40	317,10	10,78
1295	(0-10)	smeđe tlo	FL	12,59	566,90	502,20	11,41
1295	(10-20)	smeđe tlo	FL	13,72	591,80	532,20	10,07
1295	(20-30)	smeđe tlo	FL	13,81	606,00	538,00	11,22
1296	(0-30)	smeđe tlo	GL	16,89	108,30	95,40	11,91
1301	(0-10)	smeđecrveno tlo	FL	11,35	310,80	278,00	10,55
1301	(10-20)	smeđecrveno tlo	FL	14,00	434,50	387,70	10,77
1304	(0-10)	crvenica posmeđena	GL	13,37	586,90	527,50	10,12
1304	(20-30)	crvenica posmeđena	GL	15,23	645,90	579,70	10,25

1310	(0-10)	crvenica	FL	14,37	663,90	591,10	10,97
1310	(0-30)	crvenica	FL	15,83	679,60	602,70	11,32
1310	(10-20)	crvenica	FL	15,04	688,30	611,90	11,10
1310	(20-30)	crvenica	FL	16,31	684,20	605,80	11,46
1314	(0-10)	crvenica	FL	15,59	314,80	280,70	10,83
1314	(10-20)	crvenica	FL	14,29	342,60	304,30	11,18
1314	(20-30)	crvenica	FL	15,73	341,50	302,00	11,57
1326	(0-10)	crvenica	FL	14,15	605,50	544,30	10,11
1326	(10-20)	crvenica	FL	15,51	576,80	517,80	10,23
1326	(20-30)	crvenica	FL	16,15	631,10	565,30	10,43
1327	(0-10)	crvenosmeđe tlo	FL	13,85	126,60	116,70	7,82
1327	(10-20)	crvenosmeđe tlo	FL	15,71	184,70	168,20	8,93
1327	(20-30)	crvenosmeđe tlo	FL	16,05	225,90	204,90	9,30
1329	(0-10)	crvenica	FL	15,54	390,70	351,60	10,01
1329	(10-20)	crvenica	FL	15,61	395,70	352,60	10,89
1329	(20-30)	crvenica	FL	17,09	395,70	351,50	11,17
1333	(0-10)	smeđe tlo	GL	14,81	593,40	528,70	10,90
1333	(10-20)	smeđe tlo	GL	16,02	603,50	535,40	11,28
1333	(20-30)	smeđe tlo	GL	16,26	575,40	505,90	12,08
1339	(0-10)	crvenosmeđe tlo	FL	15,58	478,40	417,70	12,69
1339	(10-20)	crvenosmeđe tlo	FL	16,34	506,30	441,40	12,82
1339	(20-30)	crvenosmeđe tlo	FL	14,94	505,50	441,20	12,72
1363	(0-10)	crvenica	FL	11,91	266,00	238,70	10,26
1370	(0-10)	smeđe tlo	WL	13,44	12,10	11,80	2,48
1370	(10-20)	smeđe tlo	WL	12,56	9,70	9,60	1,03
1370	(20-30)	smeđe tlo	WL	14,61	9,50	9,50	0,00
1371	(0-30)	euglej	CL	12,08	17,70	17,30	2,26
1376	(0-10)	crvenosmeđe tlo	FL	13,70	372,10	333,30	10,43
1376	(10-20)	crvenosmeđe tlo	FL	15,45	405,40	364,50	10,09
1376	(20-30)	crvenosmeđe tlo	FL	16,59	418,80	376,10	10,20
1379	(0-10)	smeđe tlo	FL	13,77	117,80	108,20	8,15
1379	(10-20)	smeđe tlo	FL	14,51	136,60	124,60	8,78
1379	(20-30)	smeđe tlo	FL	14,75	147,80	134,60	8,93
1381	(0-10)	crvenica	FL	9,45	172,70	158,00	8,51
1381	(10-20)	crvenica	FL	11,50	246,50	224,00	9,13
1381	(20-30)	crvenica	FL	13,76	190,80	173,50	9,07
1382	(0-10)	crvenica	FL	15,49	312,70	285,00	8,86
1382	(10-20)	crvenica	FL	15,39	366,10	329,90	9,89
1382	(20-30)	crvenica	FL	15,26	443,30	403,10	9,07
1385	(0-10)	euglej	WL	11,60	9,10	9,00	1,10
1385	(10-20)	euglej	WL	12,89	9,10	8,90	2,20
1387	(0-10)	crvenica	FL	14,99	45,40	42,90	5,51
1387	(10-20)	crvenica	FL	14,63	50,50	47,30	6,34
1387	(20-30)	crvenica	FL	13,77	83,90	78,70	6,20
1394	(0-10)	crvenosmeđe tamno tlo	FL	14,15	373,40	331,00	11,36
1394	(10-20)	crvenosmeđe tamno tlo	FL	14,95	444,60	393,30	11,54
1394	(20-30)	crvenosmeđe tamno tlo	FL	15,51	467,10	413,90	11,39
1395	(0-10)	crvenica	GL	14,65	142,80	127,80	10,50
1395	(10-20)	crvenica	GL	15,86	134,90	119,80	11,19
1395	(20-30)	crvenica	GL	16,11	57,70	51,10	11,44

1397	(0-10)	smeđe pjeskovito tlo	FL	12,58	72,70	66,40	8,67
1397	(10-20)	smeđe pjeskovito tlo	FL	16,34	69,10	63,00	8,83
1397	(20-30)	smeđe pjeskovito tlo	FL	16,56	87,00	80,60	7,36
1398	(0-10)	crvenica	FL	12,77	392,20	351,90	10,28
1398	(10-20)	crvenica	FL	14,24	508,60	456,00	10,34
1398	(20-30)	crvenica	FL	16,21	563,50	502,70	10,79
1401	(0-10)	smeđe tlo	FL	12,97	380,50	342,40	10,01
1401	(10-20)	smeđe tlo	FL	12,73	392,20	353,50	9,87
1401	(20-30)	smeđe tlo	FL	14,15	324,40	291,60	10,11
1408	(0-10)	crvenica	FL	15,91	416,20	370,70	10,93
1408	(10-20)	crvenica	FL	15,66	426,20	377,80	11,36
1408	(20-30)	crvenica	FL	15,35	402,60	355,90	11,60
1410	(0-10)	crvenica	GL	14,02	765,70	678,60	11,38
1410	(10-20)	crvenica	GL	15,92	825,00	728,70	11,67
1410	(20-30)	crvenica	GL	16,09	734,70	640,60	12,81
1412	(0-10)	smeđe pjeskovito tlo	FL	15,34	36,80	34,00	7,61
1412	(10-20)	smeđe pjeskovito tlo	FL	16,43	29,00	26,60	8,28
1412	(20-30)	smeđe pjeskovito tlo	FL	16,89	36,00	32,80	8,89
1447	(0-10)	crvenica posmeđena	GL	10,99	193,30	177,20	8,33
1464	(0-20)	smeđe tlo	CL	15,75	112,90	102,30	9,39
1464	(20-30)	smeđe tlo	CL	15,92	110,10	100,00	9,17
GK-7	(0-10)	smeđe tlo	FL	15,05	24,50	22,80	6,94
GK-7	(20-30)	smeđe tlo	FL	15,10	22,90	21,40	6,55
M-102	(0-10)	smeđe na vapnencu	FL	19,17	68,30	67,40	1,32
M-102	(10-20)	smeđe na vapnencu	FL	18,71	66,60	65,60	1,50
M-102	(20-30)	smeđe na vapnencu	FL	19,10	79,70	78,20	1,88
M-4	(0-10)	Crnica vapnenačko dolom	FL	12,43	263,90	239,20	9,36
M-4	(10-20)	Crnica vapnenačko dolom	FL	14,95	354,90	320,60	9,66
M-4	(20-30)	Crnica vapnenačko dolom	FL	16,91	364,70	329,20	9,73
M-47	(0-10)	smeđe na dolomitu	FL	12,68	191,40	175,50	8,31
M-47	(10-20)	smeđe na dolomitu	FL	15,15	234,20	213,30	8,92
M-47	(20-30)	smeđe na dolomitu	FL	15,41	230,80	209,20	9,36
M-88	(0-10)	Crnica vapnenačko dolom	FL	13,74	224,10	204,20	8,88
M-88	(10-20)	Crnica vapnenačko dolom	FL	15,44	262,10	238,90	8,85
M-88	(20-30)	Crnica vapnenačko dolom	FL	15,32	267,70	243,90	8,89