

Magnetna susceptibilnost kot kvantitativni kriterij za razvrščanje arheoloških materialov

Branko Mušič in Franc Dimc

Uvod

V članku opisana raziskava je nastala iz potreb po »novih« prospekcijskih tehnikah, ki bi jih izvajali kot dopolnilne metode geofizikalnim raziskavam oz. kot samostojne prospekcije na arheoloških najdiščih, kjer so zaradi naravnih danosti in tipa arheoloških ostalin ali kompleksne stratigrafije arheoloških depozitov možnosti uporabe električnih upornostnih metod in magnetometrije omejene ali so te povsem neracionalne. Takšna situacija se ponavlja na domala vseh planih prazgodovinskih najdiščih, kjer se srečujemo na eni strani s kompleksno stratigrafijo in na drugi strani z majhnimi razlikami v električni upornosti in magnetizaciji med arheološkimi kulturnimi plastmi in tlemi, v katerih se le-te nahajajo. Če situacija na terenu ne omogoča intenzivnega terenskega pregleda, nam uspe le v redkih primerih povsem jasno prostorsko zamejiti takšno arheološko najdišče. Magnetna susceptibilnost in namagnetljivost vzorcev tal nam lahko posluži kot dodatni razločevalni kriterij pri iskanju znakov poselitve.

Praktični cilj raziskave je izdelava terenskega instrumenta s katerim bi izvajali meritve namagnetljivosti na vzorcih tal vzporedno z geofizikalnimi prospekcijami ali samostojno. Ker danes znana uporabnost magnetnih lastnosti arheoloških materialov presega te razmeroma skromno zastavljene cilje, smo raziskavo razširili še na druge materiale (fragmenti arheološke lončenine) in izvedli nekaj eksperimentalnih meritev namagnetljivosti glin v odvisnosti od temperature. S tem smo želeli preveriti primernost laboratorijskega merilnega instrumenta Manics DSM-8 (IJS) za meritve magnetne susceptibilnosti različnih arheoloških materialov, izbrati najprimernejši (optimalen) način izvajanja meritev (čas, potreben za vsako meritev npr. skrajšamo z eksperimentalno določenim najnižjim številom različnih jakosti zunanega magnetnega polja, pri katerih moramo meriti namagnetljivost vzorca, da lahko izrišemo krivuljo namagnetljivosti in določimo osnovne parametre za opisovanje magnetnih lastnosti), oceniti optimalno velikost vzorca pri terenskih in laboratorijskih meritvah ter določiti fizikalne parametre, ki so za opisovanje magnetnih lastnosti arheoloških materialov najbolj izpovedni. Kot končni rezultat raziskave smo želeli podati oceno možnosti, ki jih nudijo ti parametri za razvrščanje obravnavanih vrst arheoloških materialov, oziroma sklepati na kvalitativne spremembe materialov, do katerih pride pri povišani temperaturi, in ustreznosti teh ugotovitev za arheološke terenske prospekcije. Nenazadnje je namagnetljivost arheoloških materialov

pomemben podatek pri izbiri vzorcev za absolutno magnetno datacijo (Papamarinopoulos et al. 1987, 55), ali kot hitra in zanesljiva diagnostična tehnika za ugotavljanje diferenciranja izvornega področja kvartarnih sedimentov ali karakterizacijo sedimentov samih (Mahaney 1984, 108), kar pomeni, da lahko pogojno posluži tudi za relativno kronologijo arheoloških kulturnih horizontov v okviru istega arheološkega najdišča.

Magnetna susceptibilnost in arheološke prospekcije

Uporabnost magnetne susceptibilnosti za arheološke prospekcije izhaja iz dveh faktorjev (Clark 1990, 99): običajno višje namagnetljivosti vrhnjih delov tal v primerjavi z nižje ležečimi horizonti in geološko podlago (Le Borgne 1955, 1960) in zvišane namagnetljivosti zaradi raznih človekovih aktivnosti v preteklosti. Mineralna osnova tal je v večji meri produkt preperevanja matične kamnine, zato so njene magnetne lastnosti v glavnem določene z vsebnostjo železa v matični kamnini. Železove komponente so relativno netopne in se zaradi tega koncentrirajo v tleh. Obstaja naravna tendenca akumuliranja železovih mineralov v vrhnjem delu tal. Najbolj pogosten mineral v zmerni in vlažni klimi je goethit ($\alpha - FeOOH$), medtem ko je hematit ($\alpha - Fe_2O_3$) prevladujoč železov mineral v oksidacijskih pogojih, ki nastopajo v suhi klimi. Drug železov hidroksid, lepidocrokit ($\gamma - FeOOH$) je manj pogosten kot goethit, in se najpogosteje pojavlja kot oranžna prevleka v oglejenih tleh (tla nasičena z vodo). Ko dehidrira, lahko pride do konverzije v veliko bolj magnetno obliko - maghemit ($\gamma - Fe_2O_3$) (Clark 1990, 100). Maghemit je še posebno pomemben za arheološke prospekcije, ker velja za indikatorja poselitve (bivanja). Čeprav je njegova empirična formula enaka nizko namagnetljivemu hematitu, ima enako kristalno zgradbo kot magnetit (Fe_3O_4) in tudi podobno visoko magnetno susceptibilnost. Številni procesi, nekateri povezani tudi s človekovo aktivnostjo, povišajo magnetizacijo vrhnjega dela tal. Pri vseh pa gre nastanek ferimagnetnih komponent iz drugih oblik. Le Borgne (1955 in 1960) je za mehanizem transformacije predlagal menjavanje redukcijskih in oksidacijskih (anaerobnih in aerobnih) pogojev, kar pripelje do konverzije hematita v maghemit, kjer nastopa kot vmesna stopnja magnetit (Clark 1990, 100).

Ko se odločamo o primernosti arheološkega najdišča za magnetometrijo in pri interpretaciji rezultatov magnetometrije, moramo imeti na voljo podatke o namagnetljivosti tal.

Na podlagi znanih podatkov o namagnetljivosti tal lahko pričakujemo, da so vrednosti magnetne susceptibilnosti vrhnjih delov tal enake tistim, ki zapolnjujejo jame in jarke ter nižje od namagnetljivosti večine arheoloških struktur oz. kulturnih plasti. Zato je pomembno, da poznamo tudi namagnetljivost vrhnjih delov tal po segrevanju v redukcijski (vodikovi) atmosferi, ki predstavlja indikacijo o najvišji namagnetljivosti, katero lahko pričakujemo na arheološkem najdišču. Rezultirajoča vrednost za frakcionirano konverzijo (κ_o/κ_H) predstavlja merilo trajanja poselitve na arheološkem najdišču (Tite, 1972, 235-236). Jame in jarke na arheoloških najdiščih lahko lociramo z uporabo magnetnih prospekcij, ker je magnetna susceptibilnost polnila višja od zemljišča, v katerem se nahajajo. Podobno lahko lociramo ceste, ker je namagnetljivost materiala, iz katerega so te zgrajene (prod, kamniti bloki,...), praviloma nižja od namagnetljivosti tal, v katerih se nahaja (Tite et al. 1971, 209). Arheološke strukture, zapolnjene ali prekrte s takšnimi tlemi (κ_H), so področja, ugodna za detekcijo z magnetometri. Prospekcije z magnetno susceptibilnostjo pa so najprimernejše za ugotavljanje znakov poselitve in definiranje njenih meja. Za razliko od magnetometričnih prospekcij ta ne zahteva prisotnosti jasno razpoznavnih arheoloških struktur. Zato lahko s to metodo odkrijemo tudi arheološka najdišča, ki so se ohranila le v vrhnjih horizontih tal. Prospekcije z magnetno susceptibilnostjo lahko uporabimo npr. tudi za odkrivanje arheoloških najdišč, ki se danes ne nahajajo več *in situ*, ker so bila erodirana in »preložena« na področja, kot so npr. jezerski bazeni. Prenesena tla lahko identificiramo v jedrih vrtin oz. presekih sedimentov celo v primerih, ko je bilo površje v preteklosti popolnoma odnešeno. Stratigrafija takšnih depozitov omogoča sekvenčno sliko o razvoju (spreminjanju) pokrajine, v kateri visoki piki magnetne susceptibilnosti predstavljajo obdobja poselitve (Clark 1990, 99).

Vzroki za povišano namagnetljivost na arheoloških najdiščih

Povišano namagnetljivost tal v primerjavi z izvornim materialom (geološka podlaga) iz katerega so nastala, je raziskoval La Borgne (1955, 1960). Ugotovil je, da je povišana namagnetljivost posledica konverzije železovih oksidov iz ferimagnetne oblike, ki je šibkomagnetna (hematit: $\alpha - Fe_2O_3$), v ferimagnetno obliko, ki je bolj magnetna (maghemit: $\gamma - Fe_2O_3$). Na podlagi laboratorijskih raziskav je ugotovil, da lahko pride do takšne konverzije na dva različna načina, pri obeh pa gre za redukcijo hematita v bolj magnetno ferioobliko - magnetit (Fe_3O_4), ki ji sledi

re-oksidacija v maghemit. Prvi način, imenovan mehanizem gorenja, je naslednji: izgorevanje organskega materiala poleg povišane temperature povzroči redukcijsko atmosfero, kar sta potrebna pogoja za konverzijo hematita v magnetit. Do re-oksidacije pride med ohlajevanjem, ko pride v sistem ponovno zrak. Po drugem načinu (mehanizem fermentacije) razpadanje organskih ostankov v anaerobnih pogojih, ki se ustvarjajo v obdobjih visoke vlažnosti, privede do redukcije hematita. Re-oksidacija v aerobnih pogojih sledi v suhem obdobju. Pri tem je potreben pogoj, da se vlažna in suha obdobja menjavajo zelo hitro (Tite et al. 1971, 209). Mullins (1977, 235) je predlagal mehanizem, podoben Le Borgnejevemu. Pri tem modelu privedejo do tvorbe mikro-kristalnega maghemita ali magnetita iz šibko magnetnih železovih oksidov in hidroksidov redukcijsko-oksidacijski cikli, ki nastopajo v normalnih pedogenetskih procesih. Isti avtor v nadaljevanju piše, da lahko maghemit nastane pri naravnih pogojih na štiri načine: z nizkotemperaturno oksidacijo magnetita (pri $T=150 - 250^\circ C$), po gorenju iz hematita ($\alpha - Fe_2O_3$), z dehidracijo lepidocrocita ($\gamma - FeOOH$) in zaradi manjavanja oksidacijskih in redukcijskih pogojev v tleh. Nastali maghemit je zelo stabilen le v primeru, ko v tleh ni veliko vode. Magnetna susceptibilnost prav tako zavisi od redukcijskega potenciala atmosfere, ki nastane v zemljišču med samim gorenjem. Ta je določena z vsebnostjo organskega materiala. (Tite in Mullins 1971, 217). Pri presnovi organskih snovi nastaja inertni dušik. Ta plin sam ne spremeni valenčnega stanja kovinskih ionov v kristalni strukturi minerala, temveč minerale le neprodušno obda. Pri laboratorijskem poskusu segrevanja do $550^\circ C$ v dušikovi atmosferi in ohlajanju na zraku, je Le Borgne (1955) simuliral proces anaerobnega gnitja organskih snovi v dušikovi atmosferi. Količnik susceptibilnosti po κ_H in pred poskusom κ_o je prenosorazmeren z deležem železovih oksidov, ki so se pretvorili v maghemit (navadno manj kot 25% celotne količine hematita).

Če privzamemo mehanizem gorenja kot glavni vzrok povišane namagnetljivosti, je vrednost magnetne susceptibilnosti zemljišča na arheološkem najdišču odvisna v največji meri od števila lokacij, kjer se je uporabljal ogenj. Gorenje značilno poviša susceptibilnost le na površini tal, v glavnem do globine 1 cm in še ta so običajno pomešana z nizko namagnetljivimi globlje ležečimi horizonti tal (Tite et al. 1971, 216).

Variacije v magnetni susceptibilnosti tal na arheoloških najdiščih so posledica (po Tite in Mullins 1971, 218):

- a) časa gorenja oz. uporabe ognja,
- b) redukcijskega potenciala atmosfere, nastale s sežigom organske snovi v tleh med gorenjem,
- c) koncentracije železovih oksidov v tleh.

Čas gorenja oz. uporabe ognja je primarni faktor, ki določa vrednost magnetne susceptibilnosti tal, in zavisi od trajanja poselitve na arheološkem najdišču. Trajanje poselitve prav tako določa koncentracijo organskega materiala, ki omogoča redukcijsko atmosfero med gorenjem. Iz tega sledi, da je visoka magnetna susceptibilnost na celotnem arheološkem najdišču značilna za tista arheološka območja, ki so bila intenzivno poseljena daljše obdobje. Zaradi tega je verjetnost, da bomo na takšnih arheoloških najdiščih z magnetnimi meritvami locirali arheološke strukture zelo velika. Na arheoloških najdiščih, kjer nizka namagnetljivost zemljišča kaže na krajšo in manj intenzivno poselitev, obstaja zadostno povišana susceptibilnost le na manjših področjih znotraj najdišča in zato je možno z magnetnimi prospekcijskimi tehnikami locirati le manjši del arheoloških struktur znotraj najdišča. V tem kontekstu je potrebno omeniti, da poleg kurišč tudi peči za žganje keramike predstavljajo manjša področja zemljišča s povišano magnetno susceptibilnostjo (Tite in Mullins 1971, 219).

Meritve namagnetljivosti

Če nakratko povzamemo zgoraj navedena dejstva, pridemo do zaključka, da številni procesi, povezani s človekovim delovanjem, povzročajo zvišanje magnetne susceptibilnosti tal. Vsi pa vključujejo nastanek ferimagnetnih komponent iz drugih oblik. Prisotnost teh mineralov predstavlja osnovno podlago za razvrščanje arheoloških materialov. Različni tipi magnetizacije so določeni glede na kristalno strukturo mineralov, ki definira, do kakšne mere se magnetni efekti elektronov v kristalni strukturi preusmerijo eden proti drugemu. Ta je običajno rahlo negativna, če gre za diamagnetizem. Materiali s pozitivno susceptibilnostjo se namagnetijo v prisotnosti zunanjega magnetnega polja - efekt, ki je posebno močan pri železu in njegovih komponentah. Za razliko od permanentnega magnetizma je to merljivo edino v prisotnosti zunanjega magnetnega polja in je definirano kot razmerje jakosti inducirane magnetnega polja (M) proti jakosti zunanjega magnetnega polja (H):

$$\kappa = \frac{M}{H}$$

V praksi bomo dobili močnejši signal pri večjih vzorcih kot pri manjših. Zato moramo meritve poenotiti s tem, da jih pišemo v enotah na prostornino (specifična prostornina). Vendar je v praksi težko vedeti, kako dobro je nek material konsolidiran, oz. koliko je npr. v merjenem vzorcu tal zraka, vode in drobcev kamenja. Zato dobimo boljši rezultat, če vzorec posušimo, presejemo in nato stehamo, da dobimo specifično težo (utežne odstotke), kar da boljšo standardizacijo. To velja za laboratorijske analize. Pri terenskih meritvah lahko določamo le vrednosti magnetne susceptibilnosti za določen volumen tal.

Le v posebnih pogojih je κ res neposredno sorazmerna količini magnetnih zrn. Pogoji so naslednji:

- količina in susceptibilnost magnetnega minerala morata biti zadostni, da preglasita masno susceptibilnost ostalih sestavin vzorca;
- ker se razmerje količin več različkov magnetnih mineralov z različnimi susceptibilnostmi lahko zelo spreminja že med vzorci istega materiala, merimo vedno le vzorce z eno vrsto magnetnih mineralov;
- zrna samih magnetnih mineralov morajo biti večja od velikosti, pri katerih je susceptibilnost odvisna od velikosti zrn. Tudi oblike zrn se ne smejo preveč razlikovati.

Izbor vzorcev za meritve namagnetljivosti

Na podlagi zgoraj opisanih fizikalnih dejstev smo želeli potrditi oz. zavreči predpostavko o kurišču na arheološkem najdišču, oceniti potencialne metode za ločevanje fragmentov arheološke keramike, posredno sklepati na najvišjo temperaturo žganja keramike in ugotoviti ali je bila za izdelavo lončenine uporabljena enaka ali različna glina (lončarska masa).

Ker je šlo za prve tovrstne meritve na arheoloških materialih pri nas, smo morali predhodno opraviti nekaj poskusnih meritev, s katerimi smo želeli ugotoviti natančnost instrumenta Manics DSM-8 na IJS in hkrati oceniti domet metode Honda-Owen (Bates 1951) pri meritvah magnetne susceptibilnosti na majhnih vzorcih (50 mg) s šibkimi magnetnimi polji, s kakršnimi imamo opravka pri domala vseh arheoloških materialih.

Na naslednjem nivoju smo uporabili natančne meritve magnetne susceptibilnosti na majhnih vzorcih tal in keramike kot metodo prstnih odtisov za karakterizacijo takšnih vzorcev. Odziv vzorca na zunanje magnetno polje je odvisen od

njegove mineralne sestave in termične zgodovine. Za natančno določitev so potrebne meritve magnetne susceptibilnosti (magnetizacija na enoto prostornine in enoto magnetnega polja) pri različnih jakostih magnetnega polja. Takšne serije meritev na vzorcih lahko analiziramo po metodi Honda-Owen (Bates 1951). Analize temeljijo na enačbi:

$$\kappa_{izmerjen} = A/H + \kappa_{oo}$$

kjer je H magnetno polje, pri katerem so vzorci merjeni. Dva parametra, ki opisujeta vzorec, sta ekstrapolirana magnetna susceptibilnost κ_{oo} , ki je v bistvu merilo koncentracije paramagnetnih komponent v vzorcu in naklon susceptibilnosti A , ki je merilo koncentracije feromagnetnih komponent. Na ta način so predstavljeni tudi rezultati meritev in podane arheološke interpretacije analiz vzorcev glin, tal in antične keramike.

Priprava vzorcev za laboratorijske meritve namagnetljivosti

Vse vzorce smo posušili na 100°C in zdobili na 10 µm. Zaradi natančnosti meritev je potrebno posvetiti posebno pozornost morebitni kontaminaciji z magnetno aktivnimi substancami. Za meritve smo uporabili le 50 mg vsakega vzorca. Vzorca glin iz obeh lokacij smo po sušenju razdelili na štiri manjše vzorce, ki smo jih nato segrevali v redukcijski atmosferi na 400, 800 in 1000°C. Nato smo jih ohladili na zraku. Vse meritve magnetne susceptibilnosti smo opravili na magnetometru Manics DSM-8. Analize izmerjenih vrednosti namagnetljivosti smo analizirali po metodi Honda-Owen: izmerjenim vrednostim smo priredili ravno linijo, nakar smo določili parametra A in κ_{oo} .

Rezultati raziskave in diskusija:

Vzorci glin

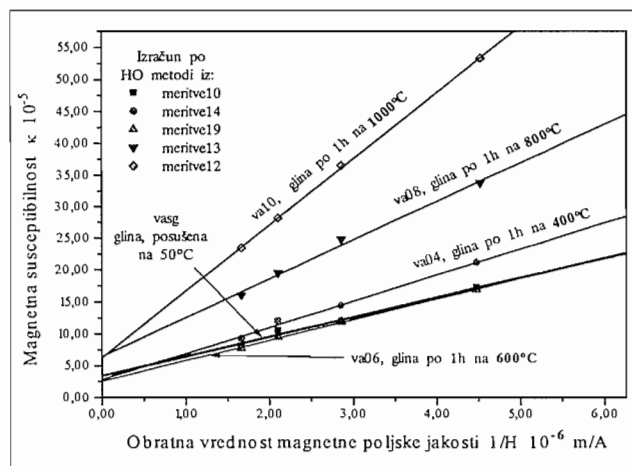
Vzorca glin smo vzeli na dveh različnih lokacijah: glina iz Vaš je iz pobočnega psevdogleja na geološki podlagi oligocenske starosti. Drugi vzorec (Vodice) smo vzeli iz jezerske glin (Riss-Würm).

Rezultati meritev na vzorih glin iz Vaš so prikazani na sliki 1. Zaradi zelo nizke koncentracije magnetnih mineralov v vzorcih, so bile nizke vrednosti magnetne susceptibilnosti pričakovane. Mineralne analize glin iz Vodice (Sl. 2) kažejo poleg nemagnetnih sestavin (klorit, muskovit) le 3% glinenega minerala montmorilonita. Za ta mineral je značilno, da vsebuje 3% hematita ali maghemita (Collinson 1983), ki

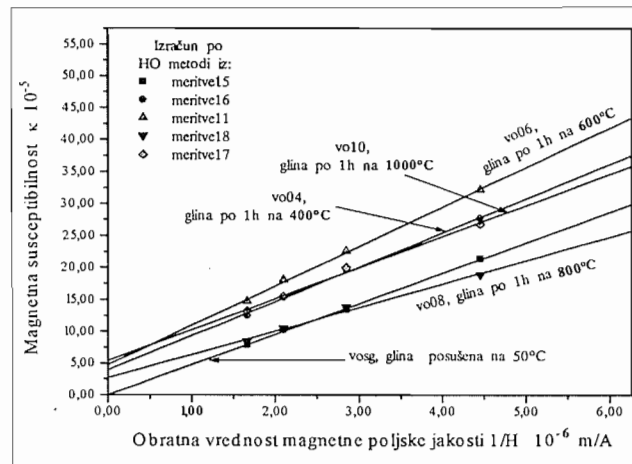
imata relativno močan magnetni odziv. Glavni razlog za povišane magnetizacije na vzorcih, ki so bili izpostavljeni višjim temperaturam, je transformacija šibko magnetnega hematita v maghemit med segrevanjem v redukcijski atmosferi in ohlajanjem v oksidacijski atmosferi. Podobne vrednosti A in κ_{oo} za vzorca glin iz Vašin Vodice potrjujejo podobno sestavo.

Vzorci keramike

Vsi trije vzorci iz arheološkega najdišča na Ptuj (izkopavanja Oddelka za arheologijo Filozofske fakultete leta 1976) imajo



Slika 1: Meritev magnetne susceptibilnosti glin iz Vaš.



Slika 2: Meritev magnetne susceptibilnosti glin iz Vodice.

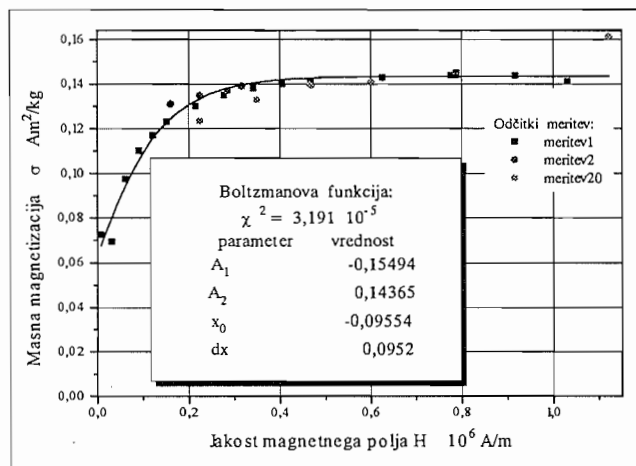
skoraj enak κ_{oo} , kar kaže na zelo podobno sestavo izvornega materiala (Sl. 3). Različen nagib premice A kaže na različno termično zgodovino in določeno količino magnetno aktivnih mineralov, vsebovanih v postilih, ki so bila dodana osnovni glineni masi med proizvodnjo keramike.

Vzorci tal

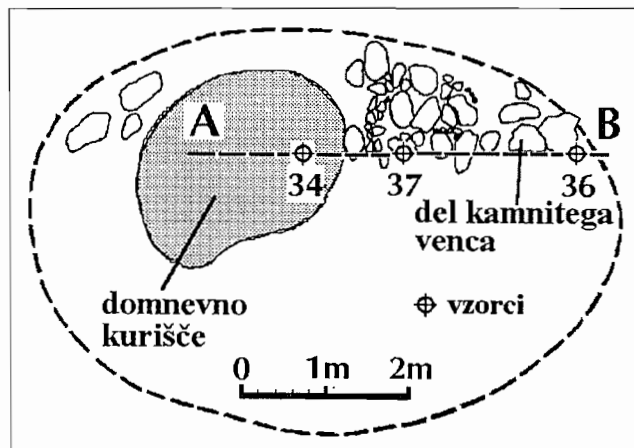
Vzorci smo vzeli pri arheoloških izkopavanjih, ki jih je izvajal Oddelek za arheologijo Filozofske fakultete v mesecih avgustu in septembru 1992. V centralnem delu izkopnega polja so našli fragmente ožganih kosti in drobce oglja, pod

katerimi se je nahajala približno 50 cm debela plast zasiganega gruča. Območje domnevnega kurišča na zgornji površini zasiganega gruča so zamejili glede na spremembe v barvi tal (Sl. 5).

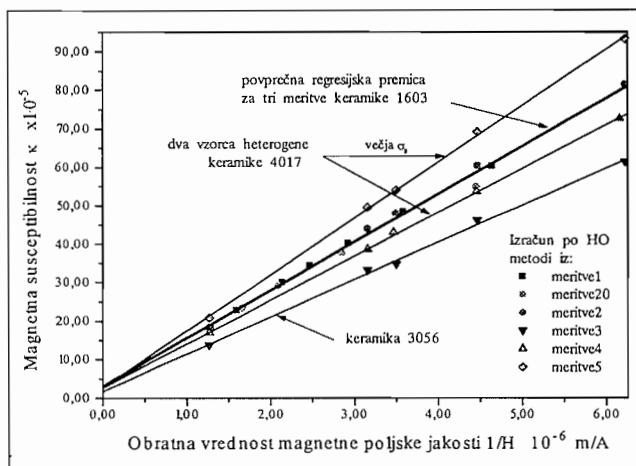
Naša naloga je bila s preprosto in ceneno metodo to predpostavko preveriti. V ta namen lahko uporabimo več različnih metod. Ena od teh je metoda rentgenske difrakcije, s katero dobimo kvalitativno in kvantitativno mineralno sestavo vzorca ter lahko na podlagi tega sklepamo o mineralnih pretvorbah pri povišanih temperaturah. Določimo pa lahko le minerale, katerih vsebnost v analiziranem vzorcu je 5% ali več. Pričakovana vsebnost železovih mineralov v naših



Slika 3: Meritev magnetizacije keramike 1603 s Ptuja.



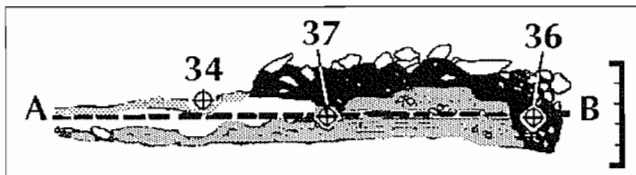
Slika 5: Položajna skica kurišča na Ostrem vrhu.



Slika 4: Meritev magnetne susceptibilnosti treh vrst keramike s Ptuja.

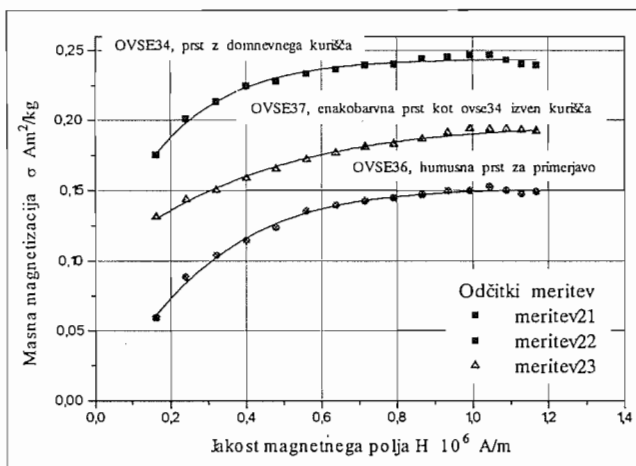
vzorcih je bila precej nižja. Vzeli smo tri vzorce (Sl. 5 in 6). Vzorec iz plasti, kjer naj bi bilo kurišče (vzorec 34) in dva primerjalna, kontrolna vzorca. Enega smo vzeli iz plasti (vzorec 37), ki je po sestavi podobna plasti pod kuriščem, in drugega iz humusne plasti (vzorec 36). Predpostavka je bila, da je, če gre dejansko za kurišče, najbolj namagnetljiv vzorec 34. Vzorec 37, ki je iz podobnega, vendar temperaturno nespremenjenega materiala, bi moral biti šibkeje namagnetljiv. Najmanj namagnetljiv bi moral biti vzorec 36, ker vsebuje veliko organske primesi.

Rezultati meritev na vzorcih z Ostrega vrha so prikazani na slikah 7 in 8. Vzorec iz kurišča (OV SE 34) ima skoraj enak κ_{oo} (Sl. 7) kot vzorec tal iz neposredne bližine (OV SE 37), vendar značilno večji naklon A (Sl. 8). To je zaradi izpostavljenosti visokim temperaturam in pretvorbe šibkomagnet-

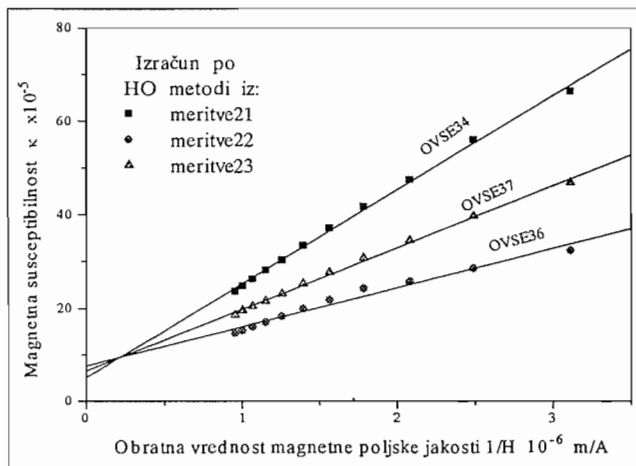


Slika 6: Vzdolžni profil skozi arheološke kulturne plasti, iz katerih smo vzeli vzorce za meritve magnetne susceptibilnosti.

nih oblik železovih mineralov v bolj magnetne oblike. Povsem se ujema tudi z rezultati meritev na vzorcih gline in keramike. Tretji vzorec OV SE 36 (humus) ima celo nižji



Slika 7: Meritev magnetizacije prsti z Ostrega vrha.



Slika 8: Meritev magnetne susceptibilnosti prsti z Ostrega vrha.

naklon premice A kot vzorec iz bližine kurišča (OV SE 37) (Sl. 8), kar je prav tako v skladu z našimi pričakovanji.

Zaključki:

Na magnetno susceptibilnost vzorca najbolj vplivajo magnetne primesi. Majhna sprememba deleža primesi se na κ močno pozna. Ker se nemagnetnemu ozadju namagnetljivost veliko manj spreminja, je bolje meriti κ_{oo} . Z natančnimi meritvami na občutljivem instrumentu je zato primerjava med različnimi materiali možna. Ponovljivost opravljenih meritev je dobra. Meritvi 1 in 2 sta opravljeni na istem vzorcu (Sl. 4). Pri meritvi 1 je jakost zunanjega magnetnega polja naraščala, pri meritvi 2 pa upadala. Zaradi ozke histerezne zanke vzorca se rezultata praktično ne razlikujeta. Meritev 20 je opravljena na vzorcu istega materiala. Kaže dobro ponovljivost tudi v okviru več meritev na vzorcih istega materiala. Zaradi napake pri umerjanju, je prizadeta večinoma samo κ_{oo} , ne pa naklon A. Zato lahko rezultat v vseh primerih dovolj natančno podamo z zmnožkom nasičene masne magnetizacije magnetnih primesi σ_s in gostote c teh primesi v vzorcu.

Glina

- Več zaporednih meritev na različnih vzorcih iste gline je dalo za glino iz Vaš enak κ_{oo} . Odstopanja so podobna opisanim v literaturi (Zupan et al. 1970), medtem ko rezultati za glino iz Vodic, verjetno zaradi napake pri umerjanju, nimajo zanesljive vrednosti in bi jih bilo potrebno ponoviti.
- Različni glini imata različen povprečen κ_{oo} . Ugotovitev velja sicer za glino iz Vodic in Vaš. Kaže na možnost uporabe namagnetljivosti pri določanju izvornega področja gline, uporabljene za lončarsko maso. Zaenkrat nam še ni povsem jasno, kako bi lahko samo z namagnetljivostjo keramike in gline ugotavljali izvorna področja, nedvomno pa nam lahko posluži kot dodatni razločevalni kriterij že v tej fazi raziskav. Na tem področju načrtujemo še nekaj meritev, s katerimi bomo skušali izločiti dodatne parametre, ki bi pomenili prispevek v tej smeri.
- Naklon premice (A) $\kappa (1/H)$ je odvisen od temperature (Sl. 1 in 2). Vzorcem gline iz Vaš naklon narašča (razen za vzorec na 600°C) (Sl. 1) - vzrok je najbrž dehidracija oz. tvorba manj susceptibilnih spojin. Meritev vzorcev gline iz Vodic kaže zelo dinamično odvisnost naklona A od temperature segrevanja (Sl. 2). Ugotovitve so zelo pomembne

za proučevanje termalne zgodovine vzorcev (redukcijska/oksidacijska atmosfera in temperatura žganja). Potrebni pogoj je, da je izvirno področje gline znano in so vzorci gline še vedno dostopni. Pri postopnem višanju temperature v določeni atmosferi (redukcijska - vodikova atmosfera ali oksidacijska - prost dostop zraka) merimo namagnetljivost vzorca pri različnih temperaturah in jakostih zunanjega magnetnega polja (Sl. 1 in 2). Med različnimi nakloni premice (A) za različne temperature poiščemo premico s takšnim naklonom, ki se najbolj prilega premici, ki smo jo dobili z meritvami namagnetljivosti pri istih jakostih zunanjega magnetnega polja na vzorcih keramike.

Keramika

- Če je material homogen, dobimo pri različnih vzorcih enako sliko (Sl. 3; meritvi 2 in 20). Na videz sicer zelo trivialna ugotovitev, ki pa je zelo pomembna, in smo jo morali zato posebej preveriti. Od tega je namreč odvisno vrednotenje vseh dobljenih rezultatov in uporabnost namagnetljivosti za razvrščanje keramike nasploh.
- Če dajeta fragmenta različnih lončenih posod različne rezultate po metodi Honda-Owen, gre za drugačen ŠEMBED Equation δ_c ali naklon A ali oboje. Če različna drobca keramike kažeta enak ŠEMBED Equation δ_c , je zelo verjetno, da sta bili lončarski masi obeh lončenin enaki.
- Če je material heterogen, dajeta različna vzorca enak ŠEMBED Equation δ_c , a različen naklon A (Sl. 4; meritvi 4 in 5).

Meritve namagnetljivosti na vzorcih keramike so dale zelo jasne rezultate in odpirajo velike možnosti za njeno razvrščanje tako glede na absolutno višino namagnetljivosti vzorcev (ŠEMBED Equation δ_c) (Sl. 3), kot različen naklon premice (A) $1/H$ in presečišče premice z ordinato (Sl. 4). Zadnja ugotovitev je še posebno pomembna, ker pomeni merilo podobnosti lončarske mase za različne vzorce keramike. Skupno presečišče več premic (sl. 4) npr. pomeni, da gre za keramiko s podobnimi paramagnetnimi lastnostmi - torej za enako ali zelo podobno sestavo šibkomagnetnih mineralov v lončarski masi.

Tla

Magnetizacija in susceptibilnost prsti z Ostrega vrha (sl. 7 in 8) se skladata s pričakovanji, ki so temeljila na rezultatih

arheoloških izkopavanj. Tlem neposredno pod površino, na kateri so bili odkriti sledovi uporabe ognja (drobci oglja in ožganih kosti), se je zaradi visoke temperature spremenila mineralna sestava. Iz šibkomagnetnih železovih oksidov in hidroksidov so nastali železovi minerali z ferimagnetnim tipom magnetizacije (maghemit?), kar ima za posledico višjo namagnetljivost prsti neposredno pod kuriščem. Na ta način razlagamo visoko namagnetljivost, ki je bila izmerjena na vzorcu OV SE 34 (Sl. 7 in 8). Zmnožek $\sigma_s \cdot c$ se je povečal, kot kaže prehod med naklonoma vzorcev OV SE 37 in OV SE 34. Vzorec OV SE 37 je šibkeje namagnetljiv od vzorca OV SE 34. Predvidoma vsebuje le šibkomagnetne (nespremenjene) oblike železovih mineralov, prisotnih v prsti. Humusni vzorec OV SE 36 z manjšim naklonom A naše predpostavke dodatno potrjuje. Zaradi večje količine organskih ostankov je bila izmerjena namagnetljivost najnižja. Na podoben način interpretiramo rezultate magnetne susceptibilnosti, kadar izvajamo meritve že na terenu. To pomeni, da nas zanimajo le relativni odnosi v namagnetljivosti tal (podobno kot pri prospekcijskih s fosfatnimi analizami). Pomembno je, da so vzorci pobrani v pravilni mreži oz. v profilu. Z malo sreče lahko zamejimo tudi obseg arheološkega najdišča, kjer odpovedo vse ostale nedestruktivne prospekcijske metode.

LITERATURA:

- CLARK, A. 1990. *Seeing beneath the soil. Prospecting methods in archaeology*, B. T. Batsford Ltd., London.
- COLLINSON, D. W. 1983. *Methods in Palaeomagnetism and Rock Magnetism*, Chapman and Hall.
- LE BORGNE, E. 1955. Susceptibilite magnetique anormale du sol superficiel, *Annales de Geophysique* 11, 399-419.
- LE BORGNE, E. 1960. Influence du feu sur les proprietes magnetiques du sol et du granite, *Annales de Geophysique* 16, 159-195.
- LONGWORTH, G. in TITE, M. S. 1977. Mosbauer and magnetic susceptibility studies of iron oxides in soils from archaeological sites, *Archaeometry* 19/1, 3-14.
- MAHANEY, W. C. (ed.) 1984. Quaternary dating methods, *Developments in palaeontology and stratigraphy* 7, Elsevier, 431 s., Amsterdam.
- MULLINS, C. E. 1977. Magnetic susceptibility of the soil

Kreativna uporaba predispozicij pri terenskem pregledu

R. Bradly, T. Durden, N. Spencer

and its significance in soil science-a review, *Journal of soil science* 28, 223-246.

PAPAMARINOPOULOS, S., READMAN, P. W., MANIATIS, Y. in SIMOPOULOS, A. 1987. Palaeomagnetic and mineral magnetic studies of sediments from Petralona cave, Greece, *Archaeometry* 29/1, 50-59.

TARLING, D. H. 1983. *Palaeomagnetism. Principles and applications in geology, geophysics and archaeology*, Chapman and Hall, London.

TITE, M. S. 1972. The influence of geology on the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites, *Archaeometry* 14/2, 229-236.

TITE, M. S. in MULLINS, C. 1971. Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites, *Archaeometry* 13 (2), 209-219.

ZUPAN, J., KOMAC, M. in KOLAR, D. 1970. Magnetic susceptibility of boron nitride, *Journal of applied physics* 41, 13, 537-538.

Uvod

Christopher Chippindale je nedavno opisal občutek, najbrž znan mnogim arheologom. To je tisti izjemen trenutek »... ko že mislimo, da smo končno doumeli vzorec, logiko pokrajine in logiko arheologije v njej.« (1991, 442). Kot primer tovrstnega procesa je navedel način, po katerem so bile vrezane skalne risbe iz severovzhodne Anglije skoraj vedno odkrite na istih lokacijah. Najdemo jih na obrobju nizkega hribovja na izpostavljenih skalah vzdolž prelomov na pobočjih. Če to upoštevamo, skalnih risb ni težko odkriti. Njegova sodba vsekakor zaobseže vso razburljivost odkritja, vendar hkrati ponazarja tudi način, kako kaj kmalu lahko postanemo ujetniki lastnih pričakovanj.

Če nam je znana vznemirljivost samega odkritja, se moramo zavedati tudi nevarnosti, ki nam ob tem pretijo. Posebna značilnost ekstenzivnega terenskega pregleda je ideja o »korektnosti« te metodologije, ki se skriva pod videzom »vzorčenja na osnovi predpostavk«. Takšne predispozicije so znane že dalj časa. Ve se, da posamezni izkopavalci najdejo različne vrste in količine artefaktov (Clarke 1987), in prav tako lahko terenski pregledi dajejo različne kategorije gradiva. Shennan je na primer pokazal, kako so posamezni člani njegove ekipe pobirali bodisi več kamnitih artefaktov ali pa keramike, vendar obeh vrst artefaktov niso odkrivali v njihovih dejanskih količinskih proporcih (Shennan 1985, 40-44). Znano je tudi, da zbiralci odkrivajo keramiko iz enega obdobja na račun artefaktov drugih obdobj (Guy Sanders, oseb. kom.).

Podobne predispozicije so lahko prisotne tudi v večjem merilu. Enega glavnih problemov v sredozemski arheologiji ilustrira Cherryjeva trditev, da z različnimi vrstami pregledov najdemo tudi zelo različne vrste najdišč (primerjaj npr. Cherry 1983 in McDonald in Hope-Simpson 1961). V arheologiji Novega sveta so obstajale celo trditve, da določene metode terenskih pregledov lahko pripomorejo h kreiranju točno tistih najdišč, ki jih proučujemo (Plog, Plog in Wait 1978, 414-415; O'Brien in Lewarch 1992, 271-275).

V vsakem primeru je glavni problem v naši sposobnosti, da lahko vsilimo red v lastna opazovanja na način, da je vsak posameznik usmerjen v odkrivanje točno določenega razreda gradiva. Ni posebej težko prepoznati določene vrste pravilnosti (*patterns*) v gradivu na račun drugih, saj se zdi, da je to neizogibna značilnost človeške percepcije. Layton (1991, 26-33) ta problem zelo dobro ponazarja s primerjavo različnih transkripcij paleolitske umetnosti.