

Usklajevanje metod za karakterizacijo arheoloških materialov z meritvami magnetne susceptibilnosti

Harmonization of the Characterization Methods for Archaeological Materials with Magnetic Susceptibility Measurements

F. Dimc¹, IJS, Ljubljana

B. Mušič, Oddelek za arheologijo, FF, Univerza v Ljubljani

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1995-12-22

Meritve magnetne susceptibilnosti v arheološke namene rabijo predvsem razvrščanju različnih arheoloških vzorcev. V povezavi s terenskimi merjenji vertikalne komponente zemeljskega magnetnega polja in z geokemijskimi analizami postaja ta vrsta meritev vedno bolj uporabljana laboratorijska tehnika - posebno pri določevanju površin nekdanjih naselbin, kurišč in odlagališč odpadkov pri predelavi rud. V delo arheologov v antični naselbini na Ajdovščini nad vasjo Rodik je bila vključena meritev magnetne susceptibilnosti. Z uveljavljeno metodo Honda Owen za materiale, ki vsebujejo pod 1% feromagnetnih primesi, so rezultati laboratorijskih meritev magnetne susceptibilnosti primerljivi z rezultati drugih metod za razvrščanje (npr. geokemijskih analiz).

Ključne besede: arheološke prospekcije, arheološki terenski pregled, magnetna susceptibilnost, magnetometrija

Magnetic susceptibility measurements for the archaeological purposes are commonly used for the characterization of such samples. In the combination with the results of vertical component of the geomagnetic field prospections it is becoming very spread laboratory technique, especially for the locating of the ancient settlement, fireplaces and metallurgical dumping-places. Magnetic susceptibility measurements is incorporated into the archaeological excavation on Ajdovščina above the Rodik village. Series of the susceptibility measurements are analysed by the standard Honda Owen method, which makes those results comparable with the results of the geochemical analyses.

Key words: archaeological prospection, archaeological survey, magnetic susceptibility, magnetometry

1 Uvod

Zaradi prisotnosti železa v glini, ki ga je navadno le nekaj odstotkov, pride pri segrevanju in ohlajanju do tvorbe mineralov železovih oksidov. Antiferomagnetna hematit $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ in goethit αFeOOH se pod vplivom naraščajoče temperature in redukcijske atmosfere preoblikujeta v feromagnetni magnetit Fe_3O_4 , ki se ob upadanju temperature v oksidacijski atmosferi preoblikuje v feromagnetni maghemit $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ^{1,2}. Zaradi tega je magnetna susceptibilnost žgane glinice višja od zemljišča, v katerem se nahaja. Pri ohlajanju pod kritično temperaturo za železove okside (blizu 580°C za magnetit, in 680°C za hematit), inducirana magnetizacija v glini "zamrzne" kot stabilna naravna remanentna magnetizacija (NRM). Rezultat je anomalna smer in jakost lokalnega magnetnega polja v bližini žgane

glinice³. S sistematičnim kartiranjem vertikalnega gradienta gostote magnetnega polja in meritvami magnetne susceptibilnosti na Zemljinem površju je možno natančno locirati takšne arheološke objekte. Kontrast v magnetizaciji je lahko rezultat inducirane in/ali remanentne magnetizacije. Za razpoznavanje teh dveh tipov je potrebna analiza morfologije in polarnosti magnetnih anomalij, kot tudi meritve magnetne susceptibilnosti na materialu (prst in fragmenti lončenine, opeke in odpadnih produktov metalurgije).

2 Vrste opravljenih meritev in analiz:

- terenske (prospekcijske) meritve gradienta geomagnetnega polja
- laboratorijske in terenske meritve magnetne susceptibilnosti
- geokemijske analize (delni razklop)
- pobiranje površinskih najdb v mreži.

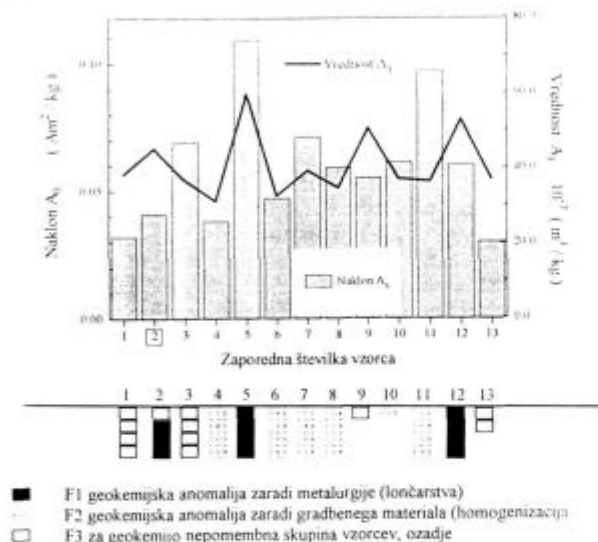
¹ Franc DIMC, dipl.inž.el.
Inštitut Jožef Stefan
1111 Ljubljana, Jamova 39

3 Meritve magnetnih lastnosti

Vzorci iz globine 10-20 cm pod površino so bili pred laboratorijsko meritvijo homogenizirani in geokemijsko analizirani. Za eno meritev pri sobni temperaturi zadošča 70 mg vzorca. Instrument (DSM8, Manics) meri po Faradayevem principu silo, ki je sorazmerna masni magnetizaciji σ merjenega vzorca. Na vrednost σ arheoloških vzorcev vpliva mnogo parametrov, zato je ponovljivost merilnih rezultatov slaba - toda, če za isti vzorec rezultata dveh meritev nista različna za več kot 10%, smatramo meritve za ponovljivo^{4,5}.

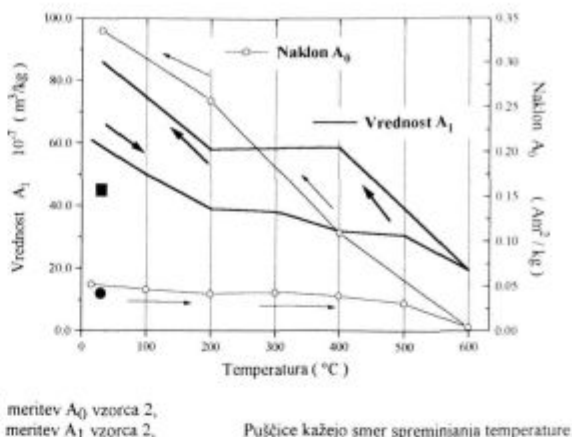
S prenosnim instrumentom (Kappamer KT-5, Geofizika, Brno), ki deluje na mostičnem principu, prospekcijsko merimo κ v izmeničnem magnetnem polju konstantne amplitude magnetne poljske jakosti.

S pretočnim gradiometrom (FM36, Geoscan Research) merimo gradient vertikalne komponente lokalnega magnetnega polja (dB_z/dz) glede na ničelno referenčno točko, ki jo določimo na začetku meritev. Teoretično lahko s tem instru-



Slika 1: Primerjava rezultatov geokemijske analize in laboratorijskih meritev magnetne susceptibilnosti vzorcev, vzetih iz globine 10-20 cm pod površino.

Figure 1: Comparison between laboratory measurements of magnetic susceptibility and results of chemical analysis of soil samples taken 10 - 20 cm below the present surface



Slika 2: Odvisnost parametrov regresijske premice A_0 in A_1 za vzorec številka 2 od temperature
Figure 2: Temperature dependence of regression line parameters A_0 and A_1 for sample No.2

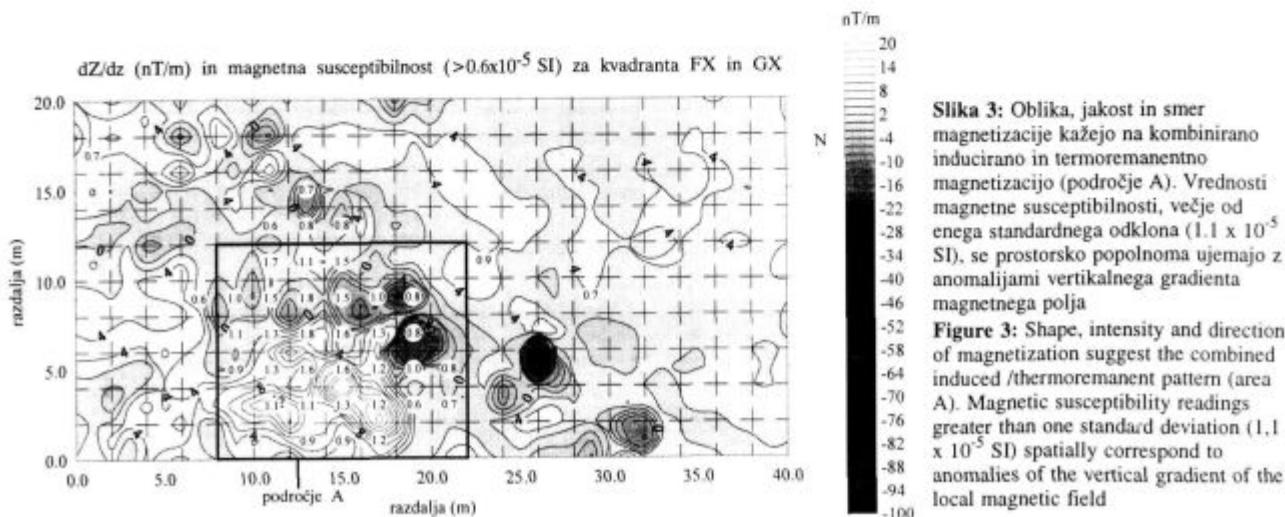
mentom ločljivosti InT/m zaznamo magnetne anomalije nad arheološkimi materiali, kot so npr. feromagnetni in keramični objekti (npr. lončarske delavnice), opeka, žganinske plasti itd.⁶⁻⁸. Pri ugotavljanju arheološkega potenciala nekega področja pa dobimo navadno popolnejšo arheološko informacijo s kombinacijo več arheoloških prospekcijskih metod⁹⁻¹⁴.

4 Rezultati laboratorijskih analiz

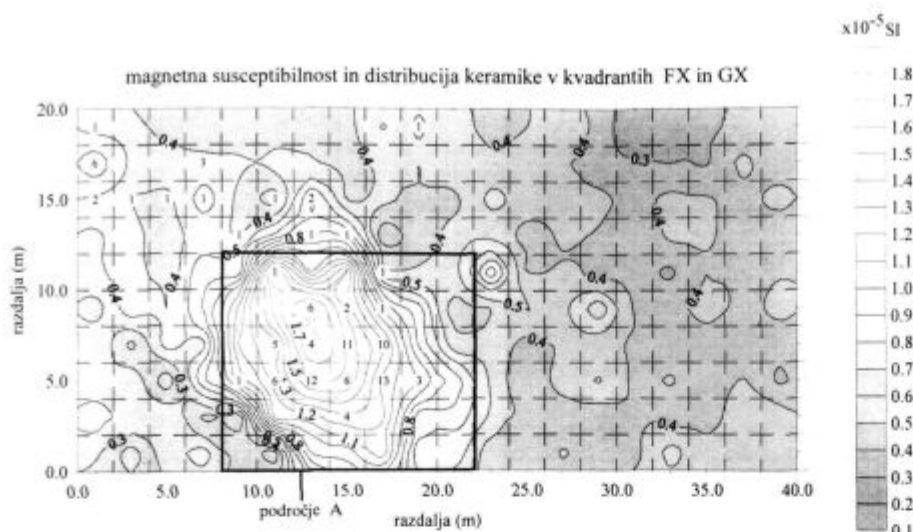
Po geokemijski analizi elementov, vsebovanih v vzorcih, smo za vsak element posebej določili srednjo vrednost pojavljanja v vseh vzorcih in standardni odmik. S statističnim programom CSS smo glede na podobnost srednjih vrednosti izoblikovali tri razrede: F1, F2 in ozadje F3 (slika 1)¹⁵.

Za meritev magnetne susceptibilnosti χ v laboratoriju rezultate masne magnetizacije $\sigma(H)$ preslikamo v regresijsko premico $\chi(1/H)$. Vrednost naklona premice označimo z A_0 in vrednost χ pri $1/H = 0$ z A_1 . V vzorcih, ki vsebujejo pod 5% magnetnih primesi, predstavlja naklon A_0 produkt koncentracije in magnetizacije v nasičenju σ_s ⁴.

Rentgenska analiza vzorca 2 prisotnosti kristala železovega oksida Fe_2O_3 ne kaže zanesljivo, verjetno zaradi njegove monoklinske zgradbe. Glede na vrednost naklona A_0 pred

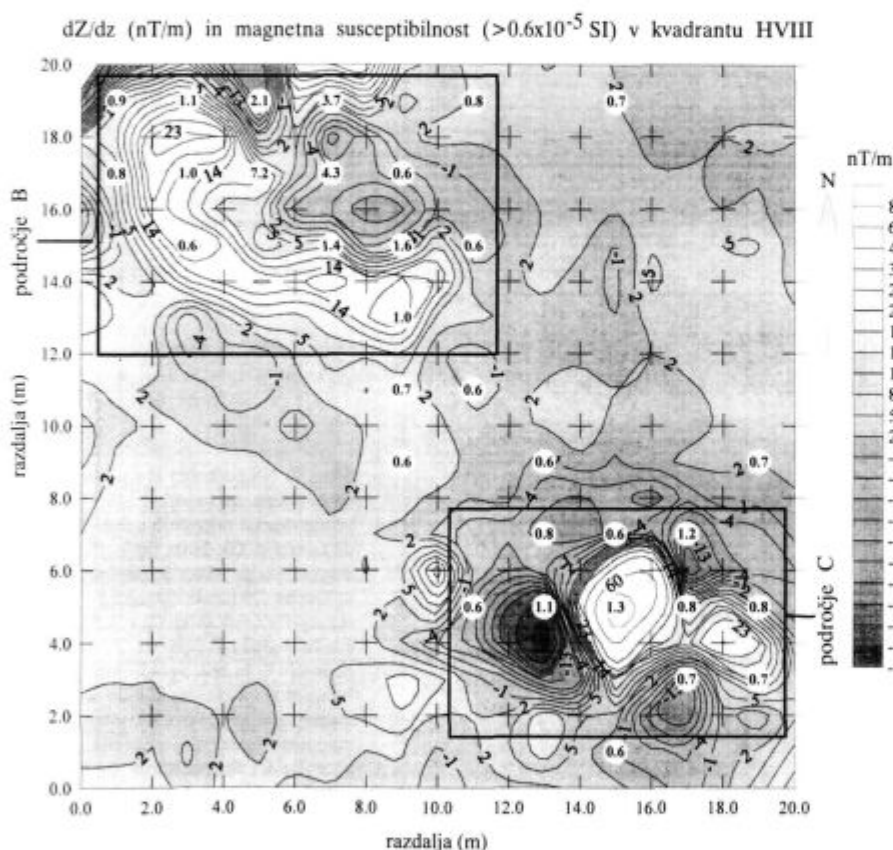


Slika 3: Oblika, jakost in smer magnetizacije kažejo na kombinirano inducirano in termoremanentno magnetizacijo (področje A). Vrednosti magnetne susceptibilnosti, večje od enega standardnega odklona (1.1×10^{-5} SI), se prostorsko popolnoma ujemajo z anomalijami vertikalnega gradienta magnetnega polja
Figure 3: Shape, intensity and direction of magnetization suggest the combined induced /thermoremanent pattern (area A). Magnetic susceptibility readings greater than one standard deviation (1.1×10^{-5} SI) spatially correspond to anomalies of the vertical gradient of the local magnetic field



Slika 4: Na področju magnetnih anomalij (slika 3: področje A) je bila ugotovljena najvišja koncentracija drobcov arheološke keramike (področje A). Sklepamo, da se pod površjem nahaja antična delavnica (lončarska peč?)

Figure 4: The area of recorded magnetic anomalies (Figure 3: area A) matches to a higher concentration of Roman sherds found in intensive surface survey (area A). Presumably a Roman kiln buried in this place



Slika 5: Oblika, jakost in smer magnetizacije kažejo na kombinirano inducirano in termoremanentno magnetizacijo (področje B) in prevladujoč termoremanentni tip magnetizacije (področje C). Na obeh področjih so bile izmerjene tudi visoke vrednosti magnetne susceptibilnosti

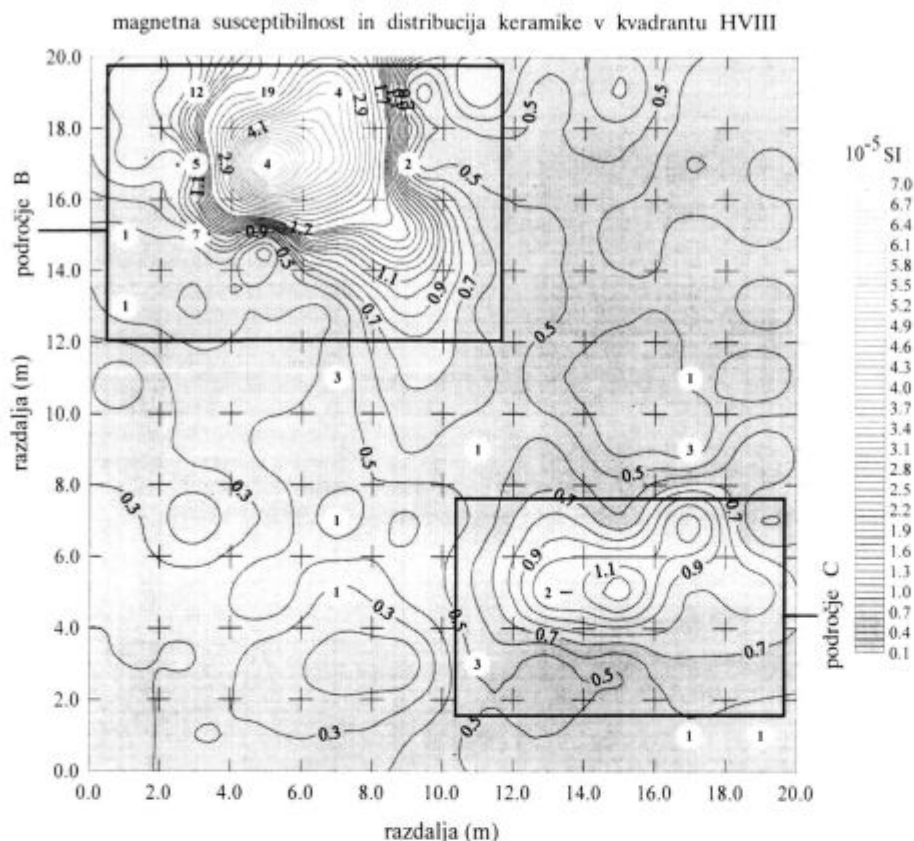
Figure 5: Shape, amplitude and the direction of the magnetization in the area B suggest the combined induced /thermoremanent pattern of magnetization and the prevailing thermoremanent type of the magnetization in area C. In both areas also high values of the magnetic susceptibility were measured

segrevanjem na 600°C (slika 2) in σ , hematita¹⁶, naj bi ga vzorec vseboval 10 mas.%, geokemijska analiza pa kaže 3,11 mas. % železa. Po ohladitvi na sobno temperaturo pa po predpostavki pretvorbe v maghemit¹ in upoštevaje TGA vzorec vsebuje največ 0,5 mas.% maghemita.

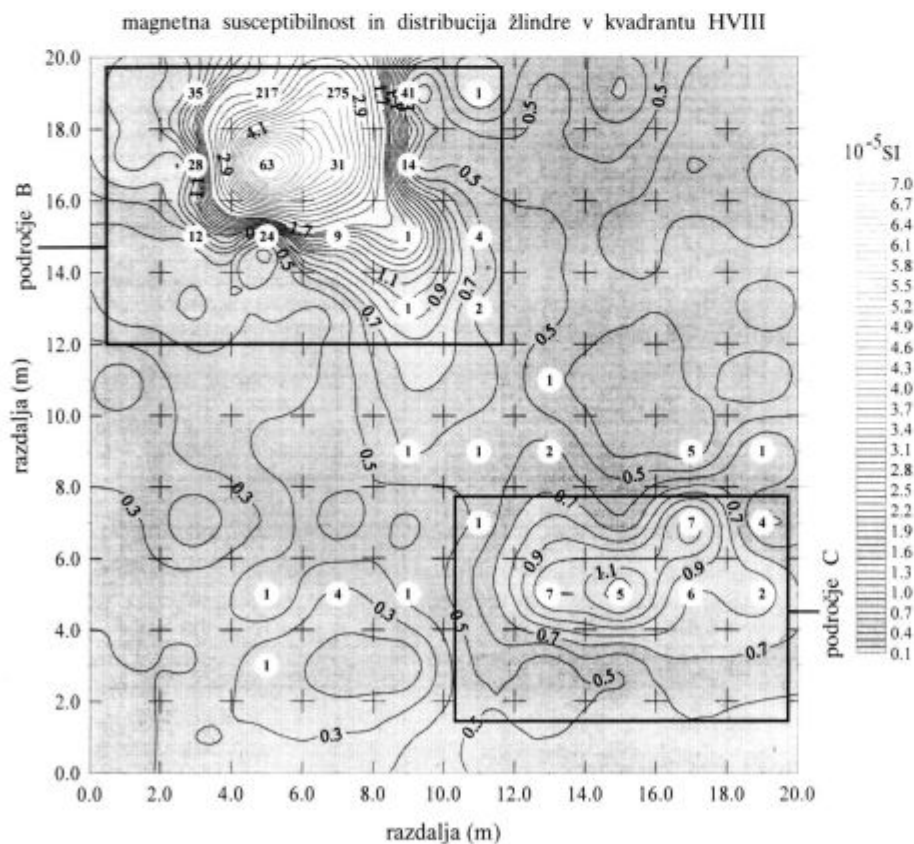
5 Rezultati prospekcije

Na kasnoantični naselbini na Ajdovščini nad Rodikom^{15,17} (vodja arheološkega projekta je izr. prof. dr. Božidar Slapšak) smo poleg geofizikalnih prospekcij opravili še intenzivni teren-

ski pregled (pobiranje površinskih najdb v mreži). Površinske najdbe nam omogočajo časovno opredelitev arheoloških kulturnih plasti, v kombinaciji z geofizikalnimi raziskavami pa tudi namembnost površin oz. objektov v arheološki preteklosti. Ugotovljena je bila visoka stopnja prekrivanja (korelacije) med rezultati magnetometrije, magnetne susceptibilnosti in distribucijo keramike in/ali odpadnih produktov metalurgije (žlindra). Rezultate raziskave predstavljamo (slike 3 do 7) na dveh prostorsko ločenih terenih na severnem (površina 20 x 40 m) in vzhodnem pobočju (površina 20 x 20 m) prazgodovinskega nasipa, znotraj katerega se nahaja kasnoantična naselbina.



Slika 6: Na področju anomalnih vrednosti magnetizacije (slika 5: področje B) je bila ugotovljena višja koncentracija antične keramike
Figure 6: The area of anomalous magnetization (Figure 5: area B) corresponds to a higher concentration of the antique pottery



Slika 7: Na področju B so bile ugotovljene zelo visoke koncentracije odpadnih produktov metalurgije. Glede na tip magnetizacije (slika 5: področje B) in visoke vrednosti magnetne susceptibilnosti sklepamo, da gre za antični metalurški objekt. Tudi na področju C je bila ugotovljena višja koncentracija žlindre. Glede na tip magnetizacije in visoke vrednosti magnetne susceptibilnosti (slika 5: področje C) sklepamo, da gre za manjšo deponijo odpadnih produktov metalurgije
Figure 7: In the area B high concentrations of slag was found. According to the type of the magnetization (figure 5: area B) and the high magnetic susceptibility values it is supposed the existence of buried Roman structures associated with metallurgical activities. In the area C also higher concentration of the slag deposits has been observed. Type of the magnetization and high values of the magnetic susceptibility (figure 5: area C) suggest the existence of small slag deposits buried in this place

6 Sklep

Za celovito interpretacijo arheološkega najdišča na podlagi nedestruktivnih metod je potrebno vzporedno izvajati več različnih prospekcij. Na podlagi podanih primerov pa lahko sklenemo, da je, glede na visoko stopnjo korelacije med posameznimi neodvisnimi metodami za lociranje določenih tipov arheoloških objektov, možno uporabiti le meritve magnetne susceptibilnosti. Prednost te metode je v hitrosti zaje-manja podatkov, enostavni interpretaciji in cenenosti.

7 Literatura

- ¹ Tite, M. S., Mullins, C., Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. *Archaeometry*, 13, 1971, 2, 209-219
- ² Craik, D. J., *Magnetic Oxides*, John Wiley and Sons, London, 1975, 708
- ³ Abrahamsen, N. Breiner, N., Magnetic investigation of a mediaeval tile kiln near Kalo, Denmark. *Archaeometry '90* (ed.: E. Pernicka in A. Wagner), Basel, 1991, 843
- ⁴ Dimc, F., Merjenje magnetne susceptibilnosti arheoloških materialov, *Diplomska naloga*, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Univerza v Ljubljani, 1993, 25-36
- ⁵ Dimc, F., *Poročilo o meritvah $\sigma(H)$ arheoloških materialov z Rodika*, Inštitut Jožef Stefan, interno poročilo, 1994, 12 s.
- ⁶ Heathcote, C. Aspinall, A., Some aspects of the use of fluxgate magnetometers (gradiometers) in geophysical prospection in archaeology. *Revue d'Archaeometrie*, 5, 1981, 61-70
- ⁷ Paparaminopoulos, P., Tsokas, G. N., Williams, H., Magnetic and electric measurements on the island of Lesbos and the detection of buried ancient relics. *Geoexploration*, 23, 1985, 483-490
- ⁸ Paparaminopoulos, P., Tsokas, G. N., Williams, H., Electric resistance and resistivity measurements and magnetic mapping of the archaeological relics on the castle of Mytilene. *Bolletino Geofisica Teorica ed Applicata*, 28, 1986, 111-112
- ⁹ Erdelyi, B., Pattantyus, A., Computer image processing and soil resistivity survey of an archeological site discovered by aerial photography. *Archaeometrical research in Hungary*, (M. Jaro & L. Kolto, ed.), National centre of museums, Budimpešta, 1988, 35-43
- ¹⁰ Parrington, M., Geophysical and aerial prospecting techniques at Valley Forge National historical park, Pennsylvania. *Journal of field archaeology*, 1979, 6/2, 193-201
- ¹¹ Klasner, J. S., Calengas, P., Electrical resistivity and soil studies at Orendorf archaeological site, Illinois: a case study. *Journal of field archaeology*, 1981, 8/2, 168-174
- ¹² Carr, C., *Handbook on soil resistivity surveying*. Center for American archaeology (research series, vol. 2), Evanston, 1982, 676
- ¹³ Clark, A., *Seeing beneath the soil (Prospecting methods in archaeology)*, B. T. Batsford Ltd., London, 1990, 176
- ¹⁴ Jerem, E., Pattantyus, A., Varga, A., Application of multiple archaeometrical methods in prospecting archaeological sites. *Archaeometry '90*, (ed.: E. Pernicka, A. Wagner), Basel, 1991, 843
- ¹⁵ Mušič, B., Slapšak, B., Pirc, S., Zupančič, N., Dimc, F., Trojar, L., On-site prospection in Slovenia: the case of Rodik, *Archaeological Computing Newsletter*, 1995, 43, 6-15
- ¹⁶ Collinson, D. W., *Methods in Palaeomagnetism and Rock Magnetism*, Chapman and Hall, 1983
- ¹⁷ Slapšak, B., *Ajdovščina nad Rodikom*, Arheološki pregled, 1985, 134-135