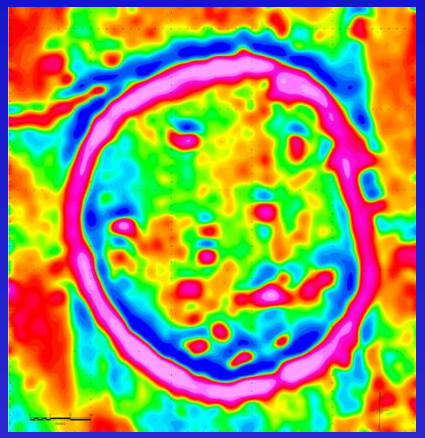
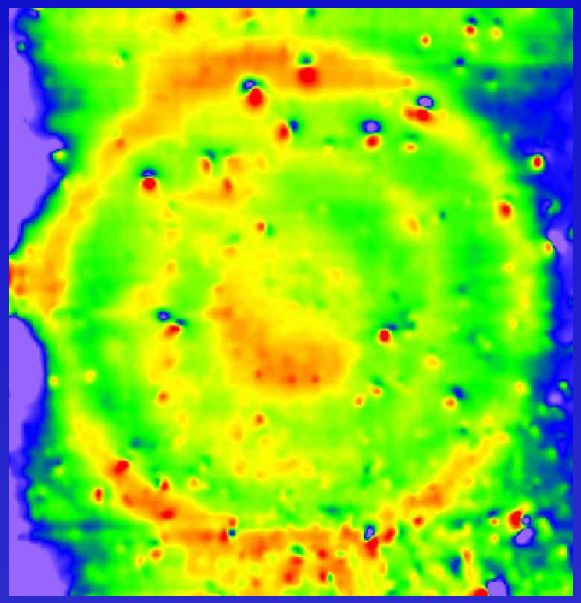
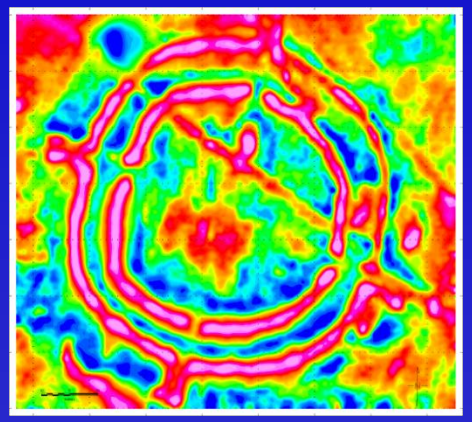
Príkladové štúdie (case-studies) z oblasti archeo-geofyziky (magnetometria)







Príkladové štúdie (case-studies) z oblasti archeo-geofyziky (magnetometria)

<u>materiály boli poskytnuté viacerými autormi:</u>

J. M. Stanley **(GTL, Armidale Australia)**

J. Tirpák
(Archeologický Ústav SAV, Univerzita KM Nitra)

H. Stümpel, T. Wunderlich **(CAU Univerzita Kiel, Nemecko)**

P. Milo **(Masarykova univerzita Brno, ČR)**

J. Fassbinder
(Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, LMU Univerzita Mníchov)

M. Felcan **(ArcheoPro s.r.o.)**

R. Pašteka a kolektív **(Prírodovedecká fakulta UK BA, G-trend s.r.o.)**

+ ďalšie literárne a internetovské zdroje

využitie vysokopresnej magnetometrie

hlavné oblasti použitia:

1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie)

   (vysoká susceptibilita železa)

2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

   (dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)

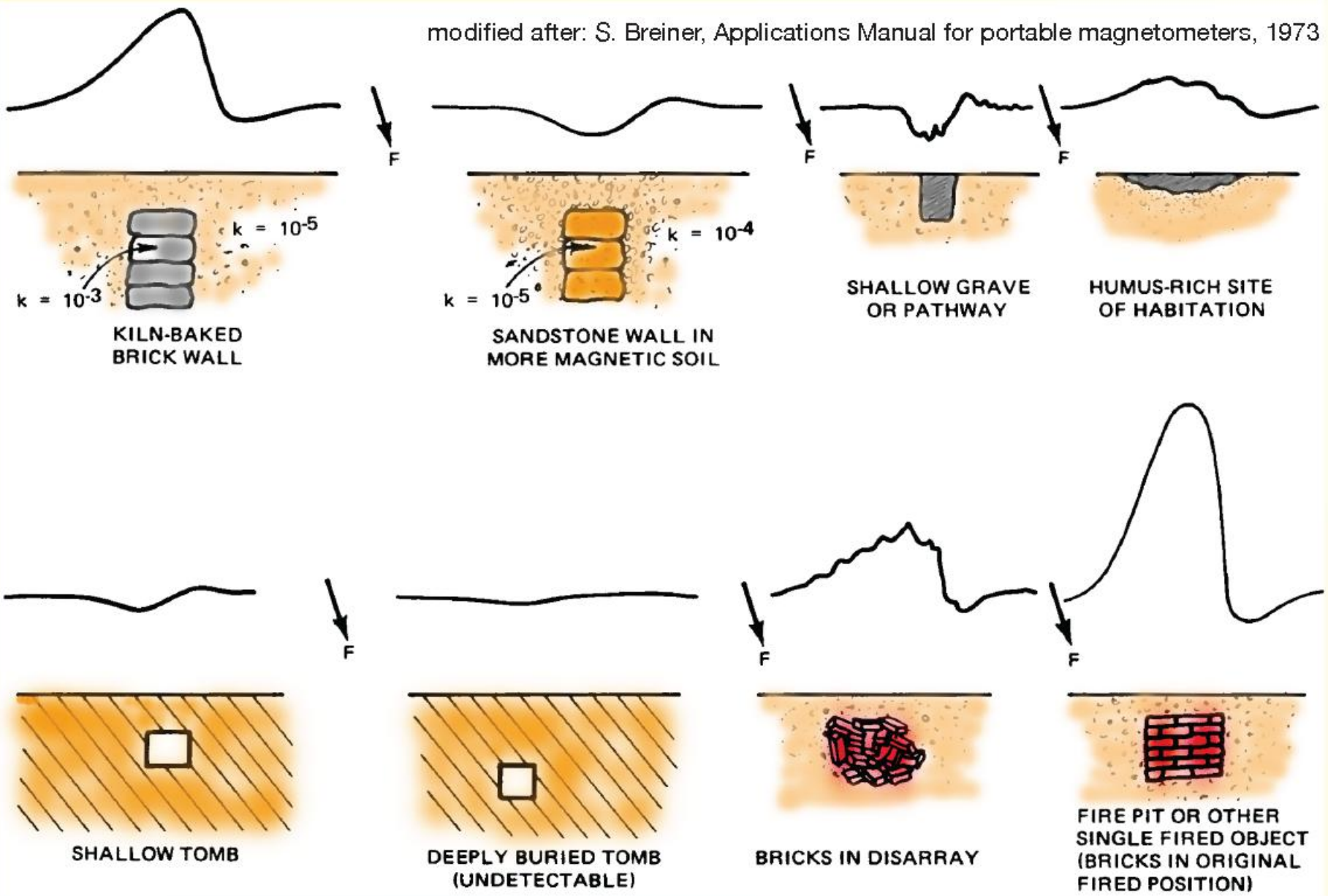
3. detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu

   (vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky)

4. detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)

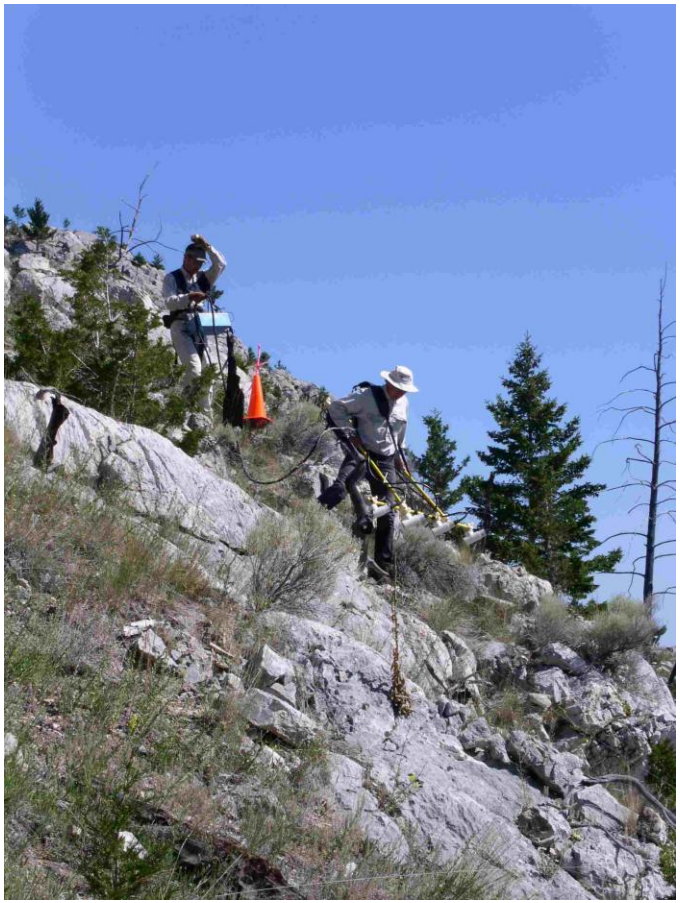
   (ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek)

využitie vysokopresnej magnetometrie



merací systém Smartmag SM 4G, SCINTREX Canada – SAV Nitra

merací systém TM-4, GTL Australia – G-trend, Bratislava



vzorkovací krok: 5 – 10 cm
vzdialenosť profilov: 0.5 m

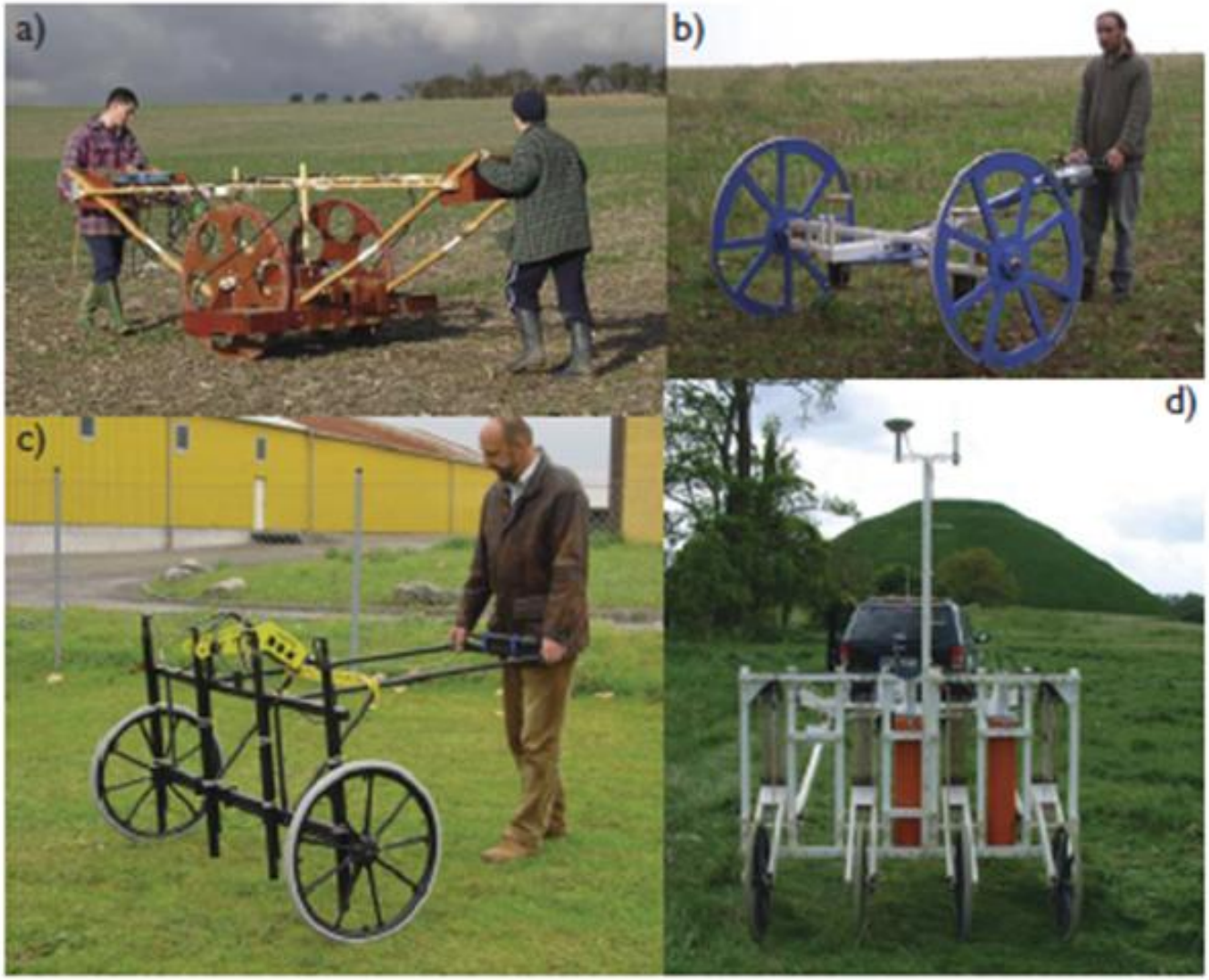
merací systém Sensys MAGNETO-PXPDA Nemecko - SAV Nitra, PriF UK BA

magnetometer pri meraní
(v priemere 2 až 6 Ha/deň)

5 fluxgate senzorov vedľa seba (rozostup: 0.5 m alebo 0.25 m)

rôzne systémy magnetometrov – zo sveta (ručne nesené)

rôzne systémy magnetometrov – zo sveta (na vozíku)



rôzne systémy magnetometrov – zo sveta (na vozíku)

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Nemecko,
Institut für Geowissenschaften, Abteilung
Angewandte Geophysik,
Dr. Ercan Ercul, Dr. Tina Wunderlich

senzory: 0.5 m od seba, vzorkovanie pozdĺž meraných profilov: 0.1 m

https://www.appliedgeophysics.ifg.uni-kiel.de/de

rôzne systémy magnetometrov – zo sveta (na vozíku)

Ludwig Boltzmann Institute
Archaeological Prospection and Virtual Archaeology

v minulosti

v súčasnosti

GeoSphere Austria

(v priemere 10 až 20 Ha/deň)

senzory: 0.25 m od seba, vzorkovanie pozdĺž meraných profilov: 0.1 m

Magnetometry at Stonehenge: https://www.youtube.com/watch?v=7ippAA86Bdc

rôzne systémy magnetometrov – zo sveta (na vozíku)

MUNI ARTS Ústav archeologie a muzeologie

Masarykova univerzita v Brně,
Ústav archeologie a muzeologie, Oddělení archeologie,
doc. Dr. Peter Milo

ARCHEO GEOFYZIKA Archeogeofyzika Brno

senzory: 0.5 m od seba, systém Förster FEREX 4.032 DLG

https://www.facebook.com/ArcheogeofyzikaBrno

rôzne systémy magnetometrov – u nás (na vozíku)

Dr. Michal Felcan,
Mgr. Zuzana Felcanová

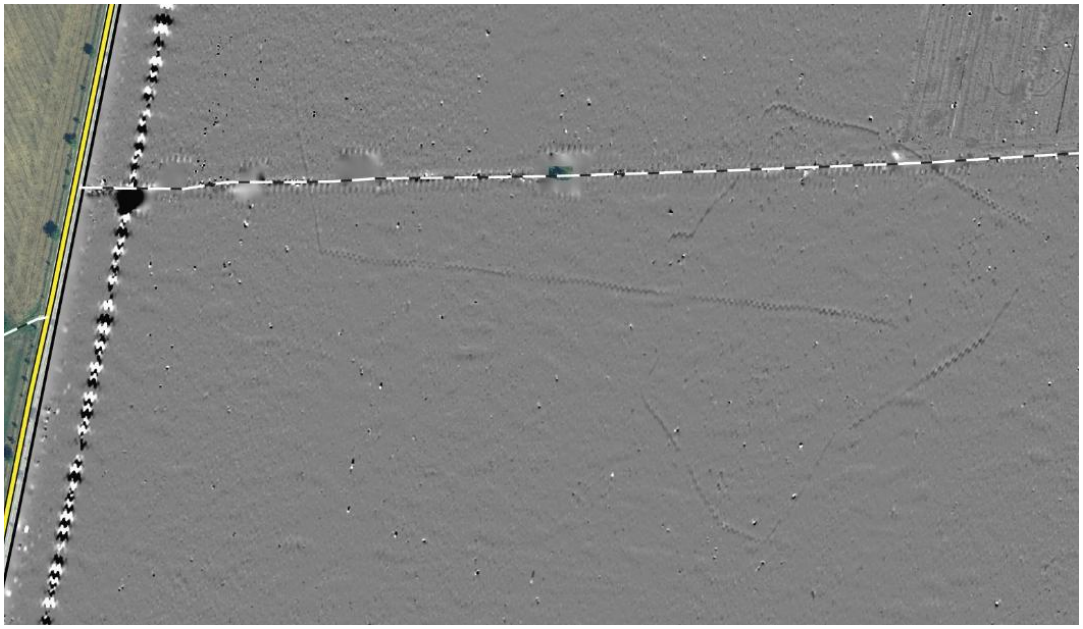
senzory: 0.5 m alebo 1.0 m od seba, systém Bartington

https://www.archeopro.sk/

rôzne systémy magnetometrov – u nás (nesené na drone)

firma AG&E s.r.o., Bratislava

prvý fluxgate magnetometer (SENSYS), nesený na drone (u nás)



lokalita Šurany
(priemyselný park)

rôzne systémy magnetometrov

Hlavne treba rozlišovať, či ide o:

- **magnetometre** (sensu stricto), merajúce pole ΔT (jednotky [nT]), poznáme hlavne protónové a tzv. céziové magnetometre,

alebo

- **gradiometre**, merajúce zmenu (vertikálny gradient) poľa ΔT (jednotky [nT/m])

výhody gradiometrov:

- cenovo prístupnejšie (určite ako céziové magnetometre),

- citlivejšie na slabé anomálie,

- netreba zavádzať opravy na časové zmeny magn. poľa.

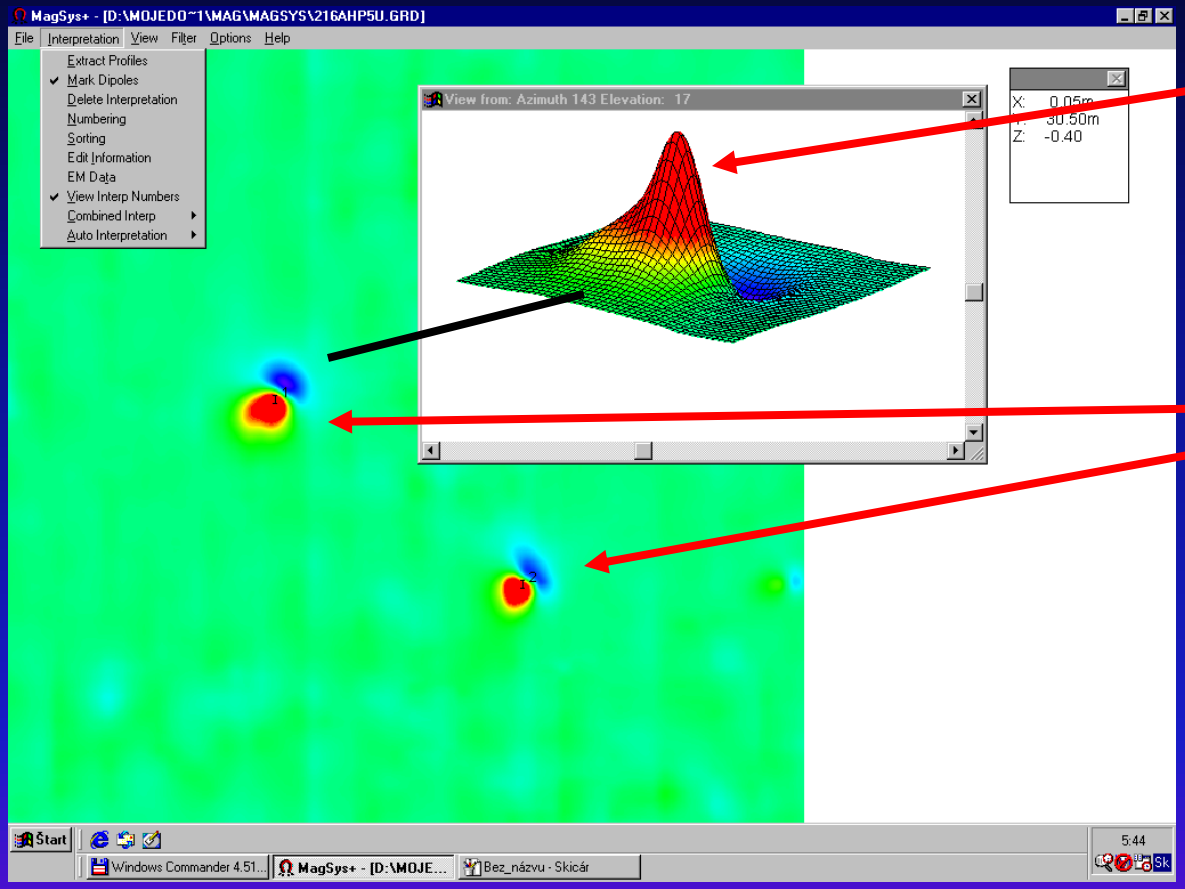
využitie vysokopresnej magnetometrie

<u>hlavné oblasti použitia:</u>

1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie)

(vysoká susceptibilita železa)

vyhľadávanie železných predmetov



typický dipólový prejav

železné hroty šípov

využitie vysokopresnej magnetometrie

<u>hlavné oblasti použitia:</u>

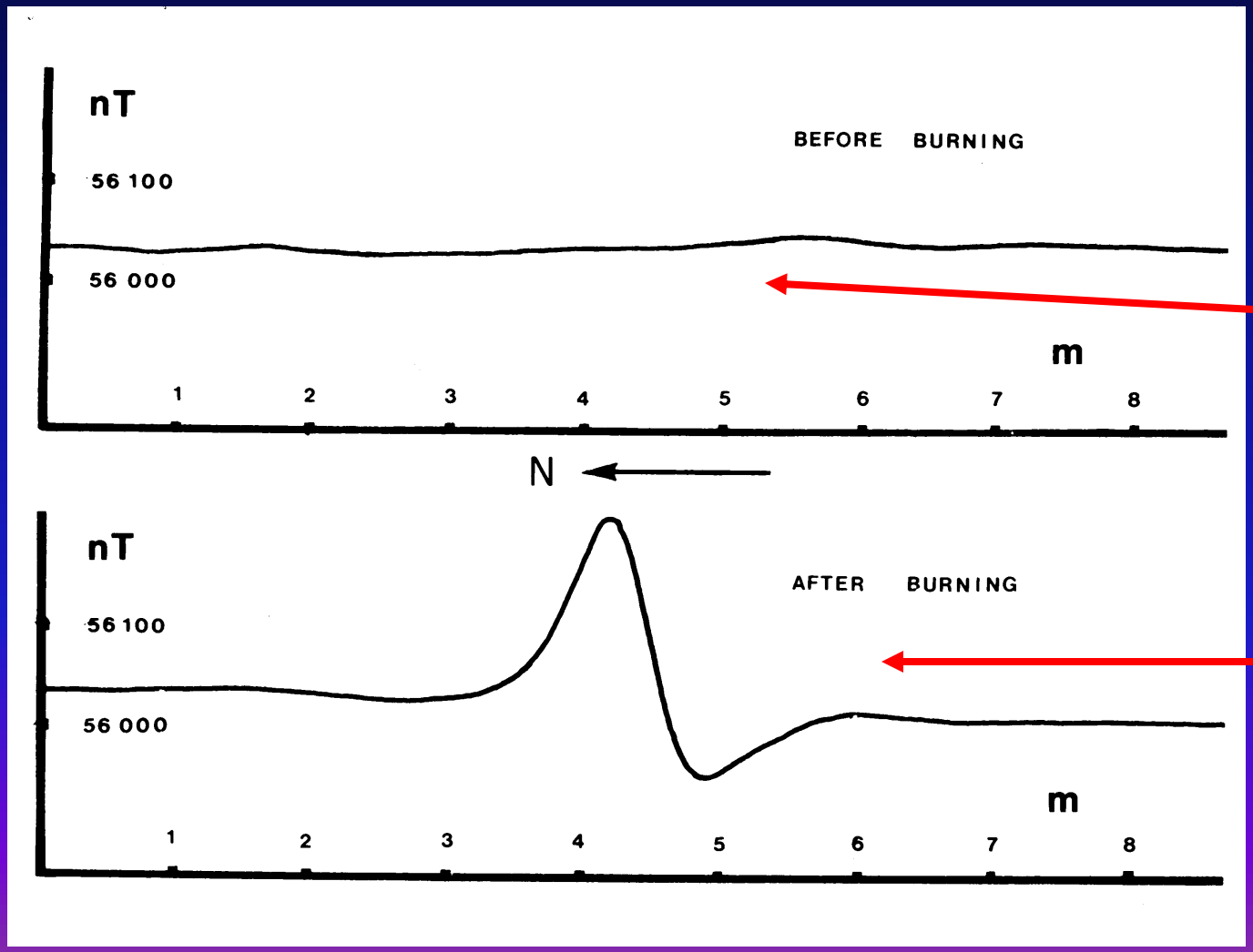
1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie)

(vysoká susceptibilita železa)

2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

(dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)

výskum žiarovísk (ohniská, hrnčiarske pece)

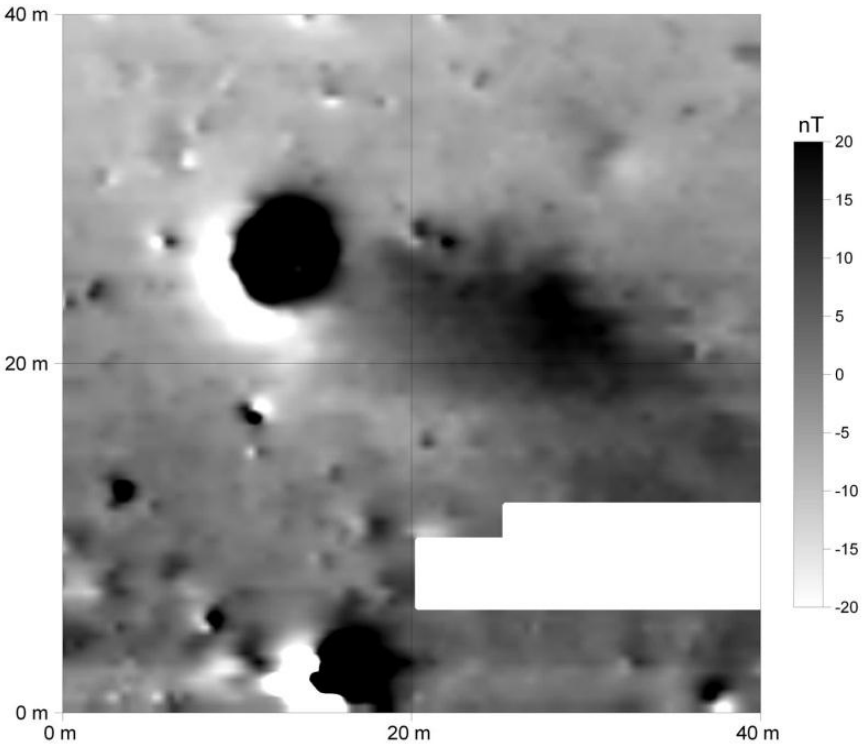


testovanie metodiky:

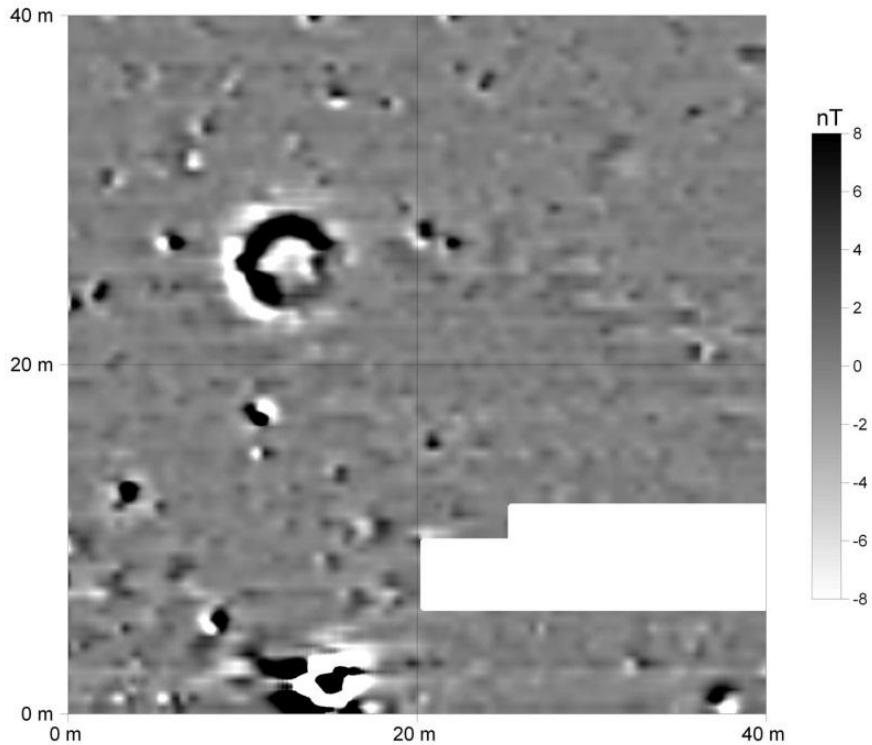
pole na území ohniska pred pokusom

po 24 hod. udržiavaní ohňa

žiaroviská, pece (termické zariadenia)



mapa magn. poľa



mapa vert. gradientu mag. poľa

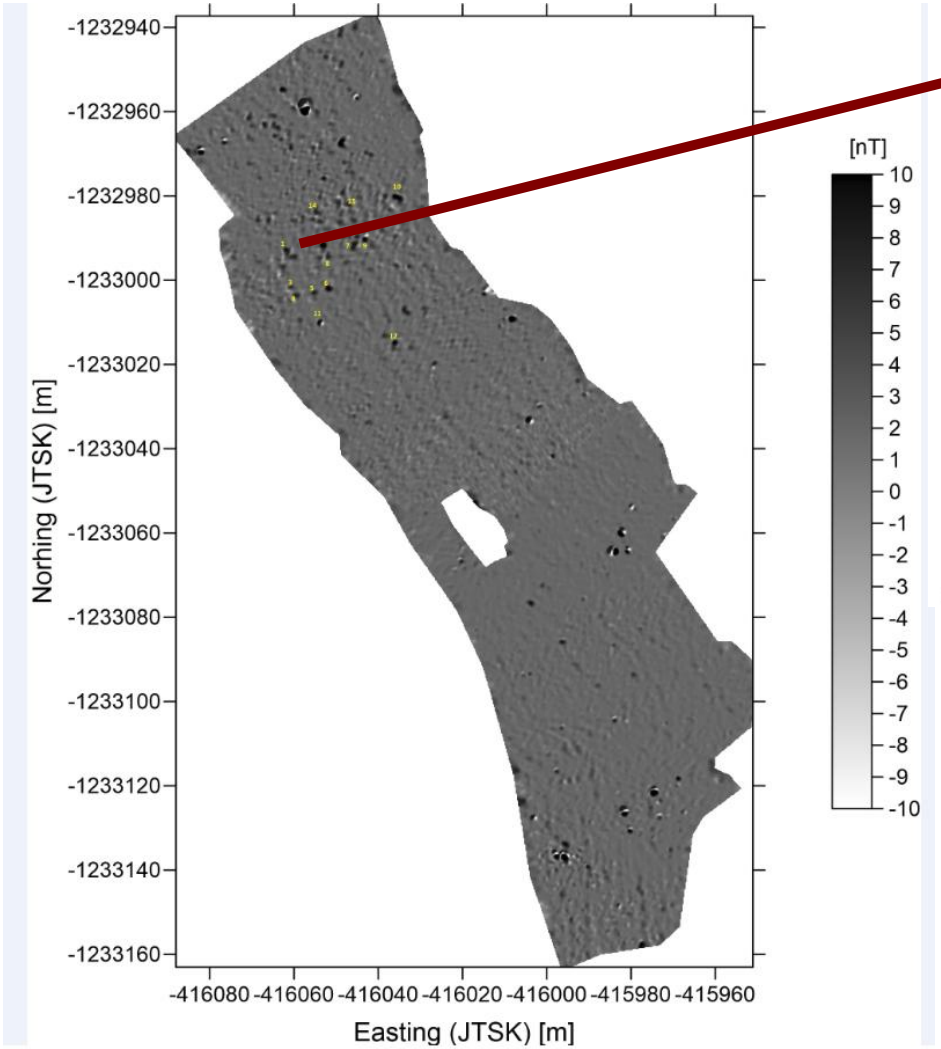
lokalita Großprüfening, Nemecko
(údaje od kolegu Dr. J. Fassbindera, Mníchov)

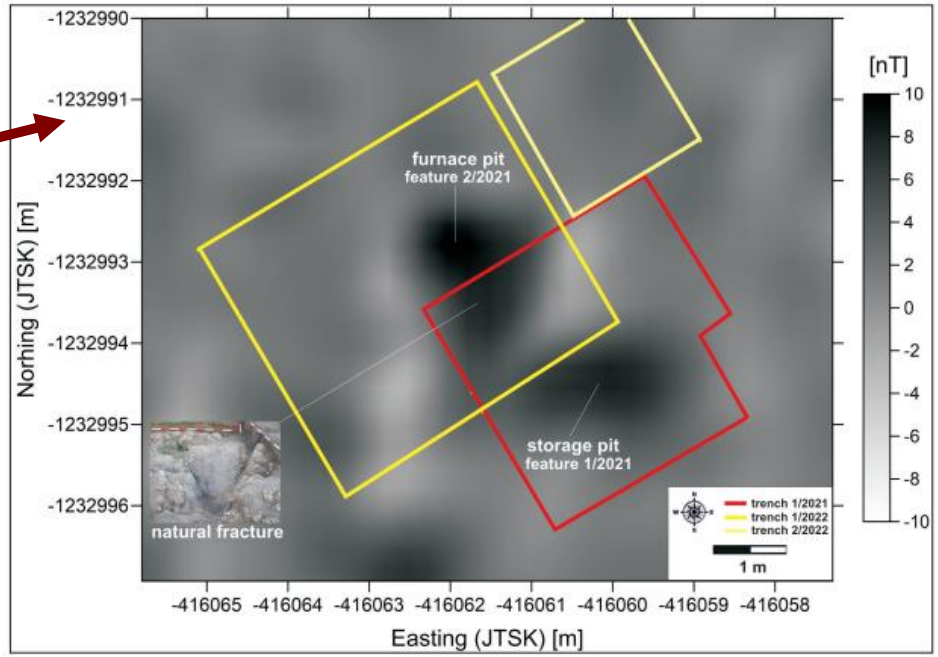
žiaroviská, pece (termické zariadenia)

(fotografie od kolegu Dr. J. Fassbindera, Mníchov, lokalita neznáma, meranie magnetickej susceptibility pomocou ručného kappametra)

žiaroviská, pece (termické zariadenia)

vybrané anomálie na overenie:





jamové pece s natavenou medenou rudou
(zvyšky tetraedritovej medi – starší eneolit)

lokalita Hájny diel, Horná Mičiná

žiaroviská, pece (termické zariadenia)

lokalita Hájny diel, Horná Mičiná

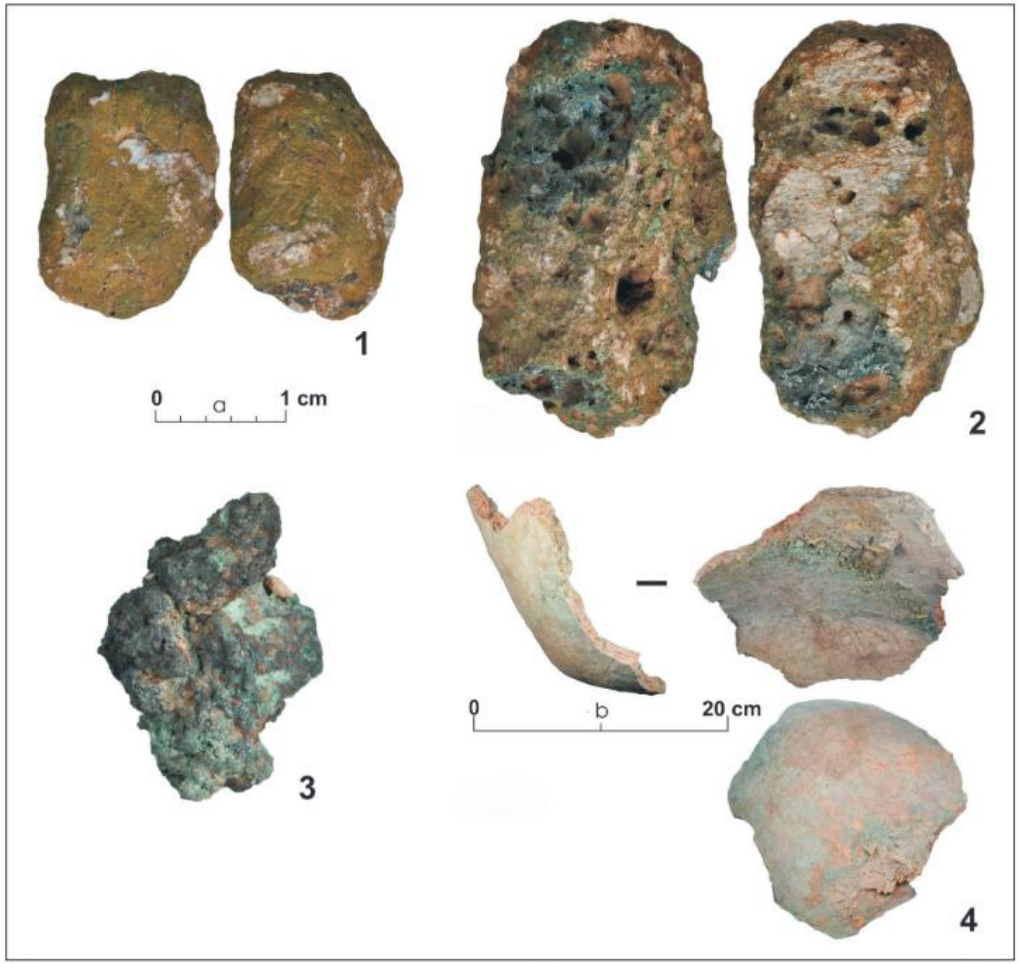
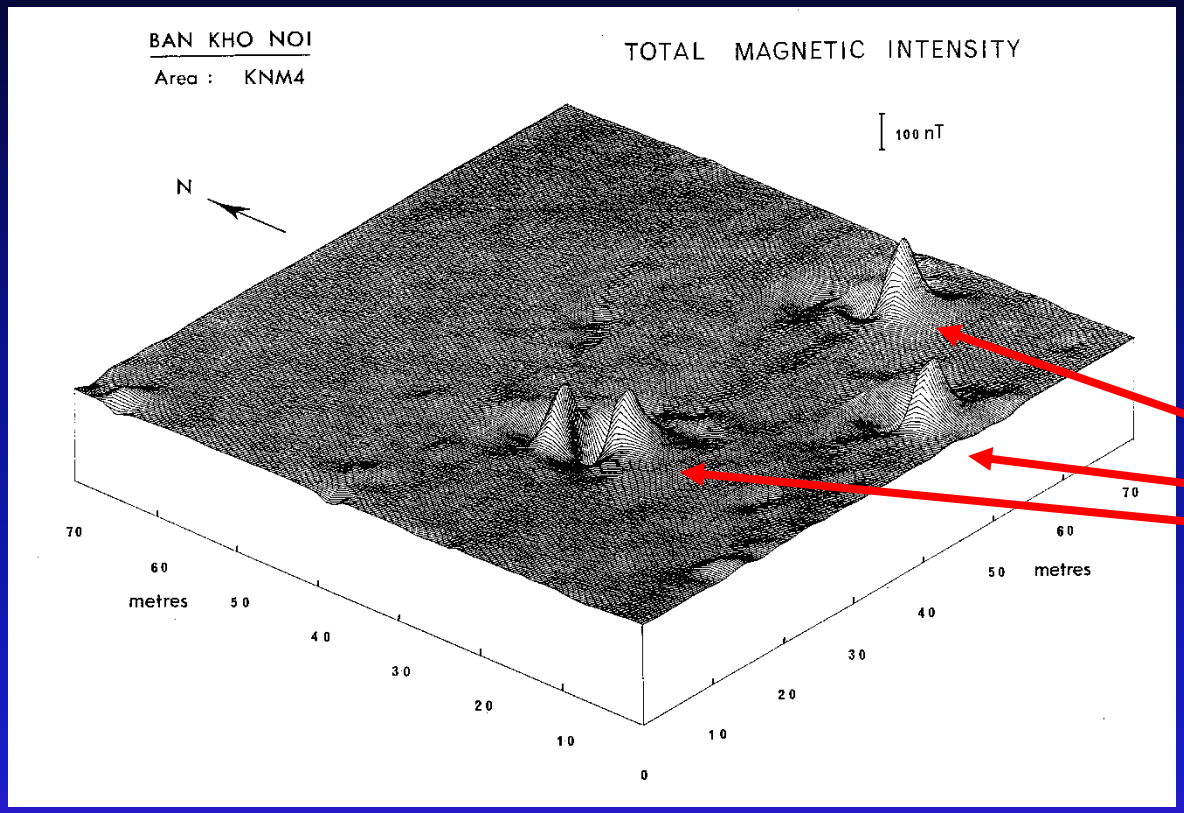


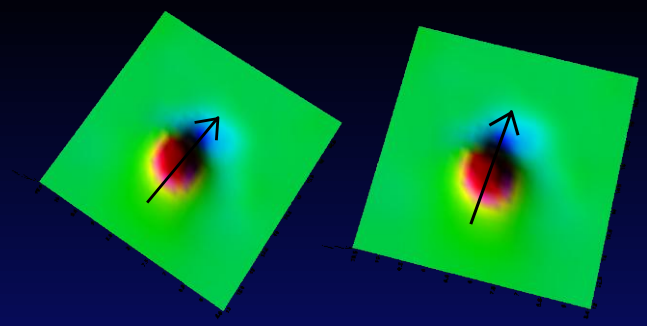
Fig. 5. Horná Mičiná – Hájny diel. Copper ore (1, 2) and slag (3) from trench 1/2021. Fragment of metallurgical vessel (4) from the furnace pit (feature 2/2021). Scale: a – 1–3, b – 4 (author: T. Zachar, J. Bartík).

Obr. 5. Horná Mičiná – Hájny diel. Medená ruda (1, 2) a troska (3) zo sondy 1/2021. Zlomok metalurgickej nádoby (4) z jamovej pece (objekt 2/2021). Mierka: a – 1–3, b – 4 (autor: T. Zachar, J. Bartík).

nálezy: Mgr. Tomáš Zachar, Múzeum Frankfurt, Nemecko

výskum žiarovísk (hrnčiarske pece)





rozdiel v smerovaní (deklinácii) niekoľko stupňov môže znamenať niekoľko desaťročí

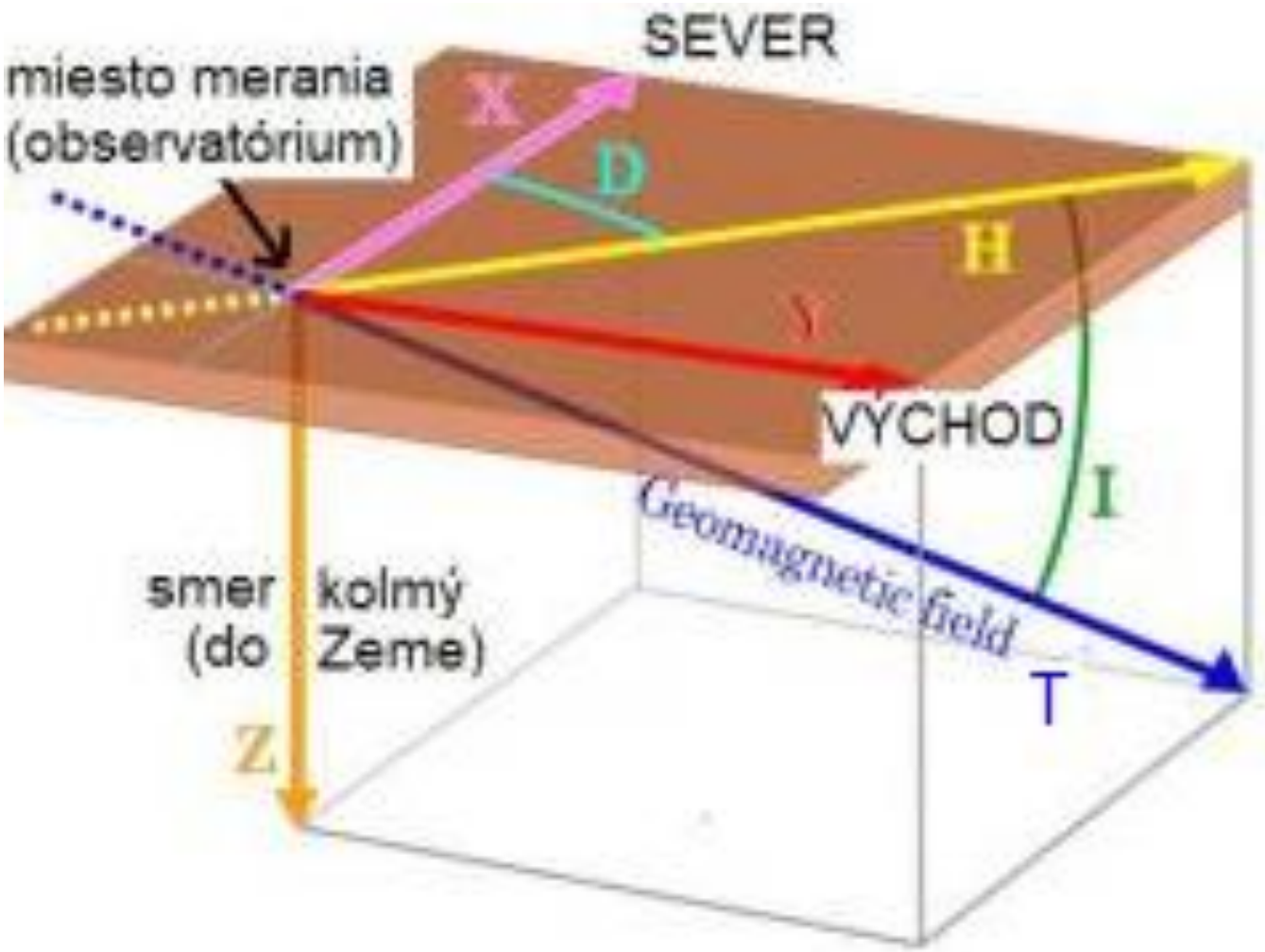
prejavy starých pecí na pálenie keramiky

loklaita Ban Kho Noi, Thajsko

z odobratých vzoriek a ich paleomagnetického rozboru boli zistené dávne deklinácie remanentnej magnetizácie – keďže bol vek niektorých pecí určený na základe prítomnosti úlomkov čínskeho porcelánu, bolo možné porovnaním deklinácií približne odhadnúť ich vek (12. stor.)

zložky zemského magnetického poľa

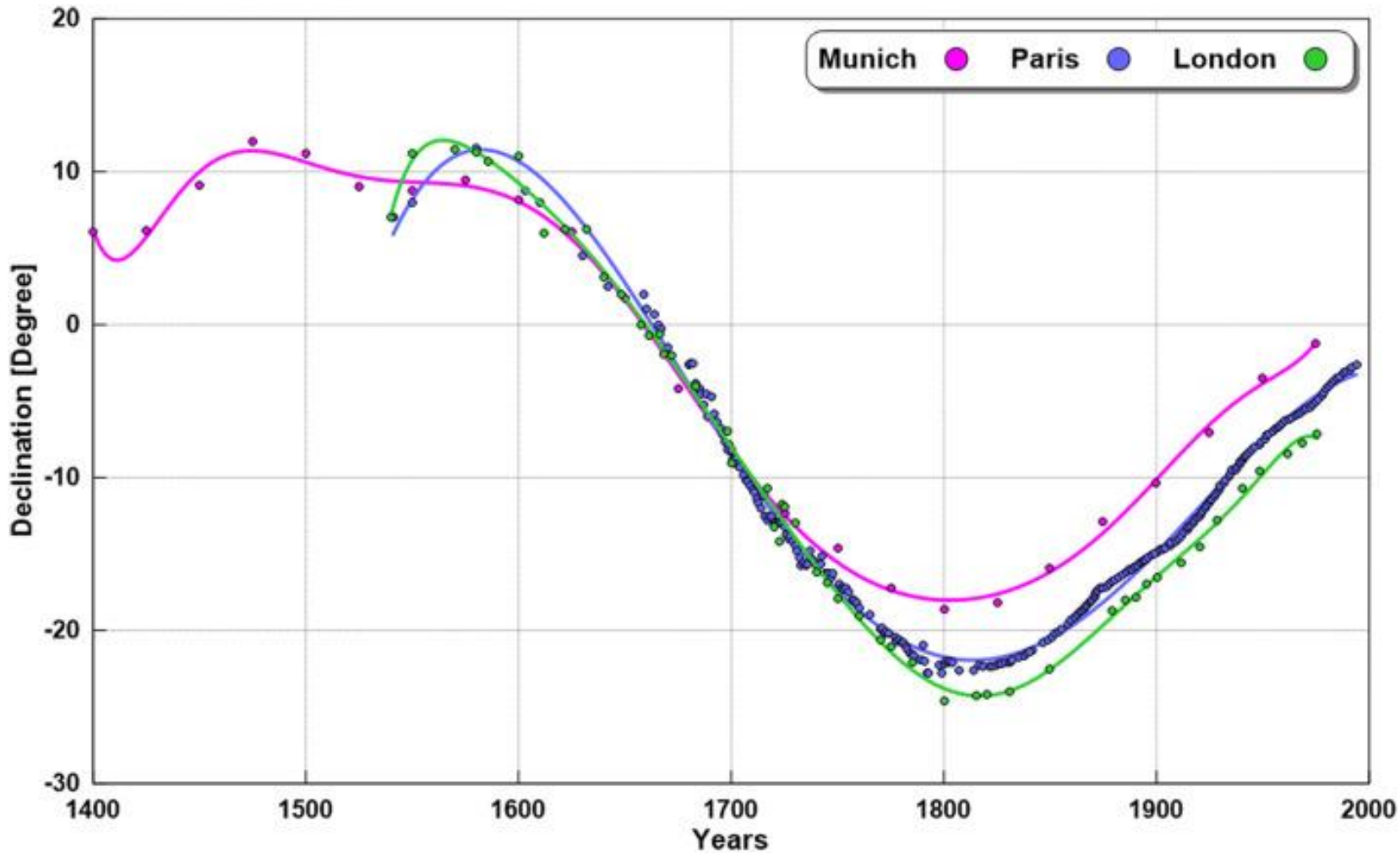
(menia sa v čase)



D – deklinácia [°], I – inklinácia [°], H – horizontálna zložka [nT] ,
Z – vertikálna zložka [nT], T – totálny vektor magnetickej indukcie [nT]

zložky zemského magnetického poľa - deklinácia

(menia sa v čase)

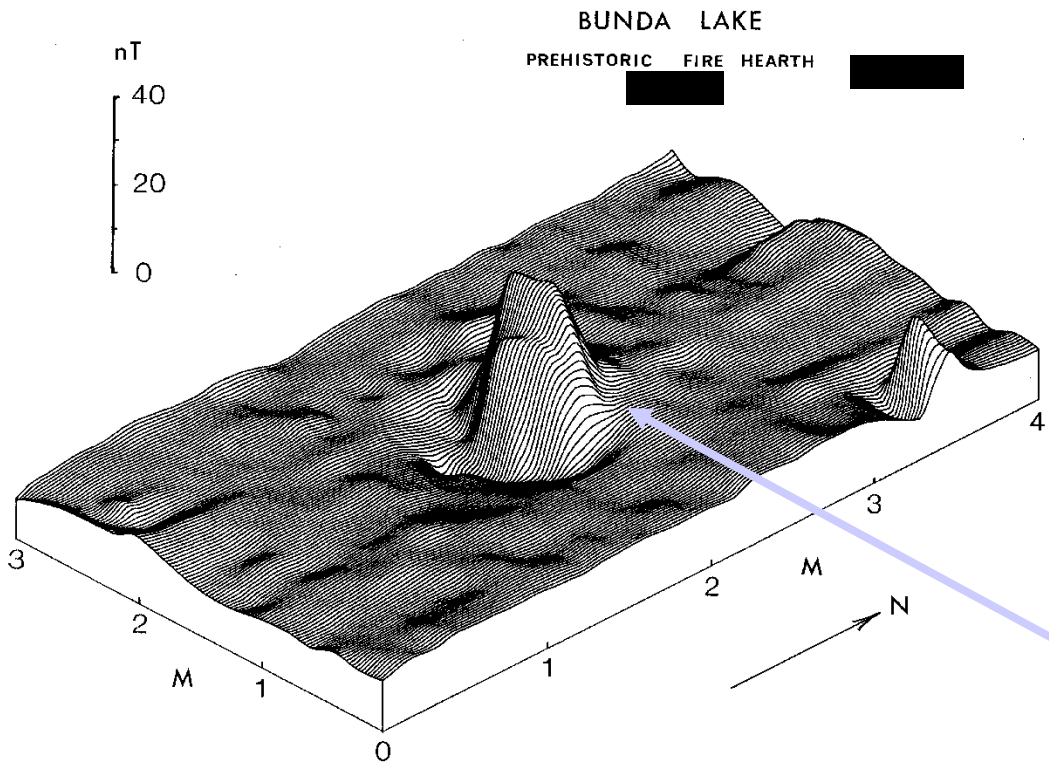


príklad – zmena deklinácie (D) za ostatných 600 rokov

výskum žiarovísk
(hrnčiarske pece)

odkryté hrnčiarske pece, lokalita Ban Kho Noi, Thajsko

výskum žiarovísk
(staré ohniská)



prejav prehistorického ohniska

lokalita Bunda Lake, Austrália

odberom vzoriek a paleomagnetickými meraniami bolo zistené, že orientácia remanentného poľa vykazuje charakter, ktorý zodpovedá stavu spred viac ako 40 000 rokov!

využitie vysokopresnej magnetometrie

<u>hlavné oblasti použitia:</u>

1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie)

(vysoká susceptibilita železa)

2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

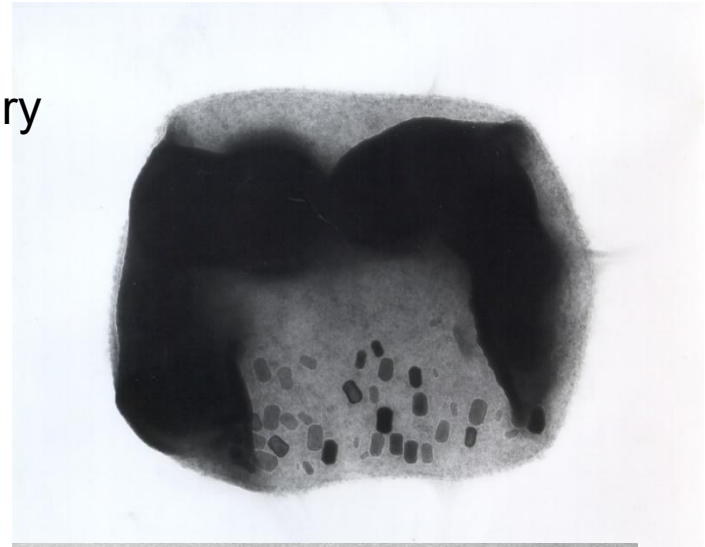
(dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)

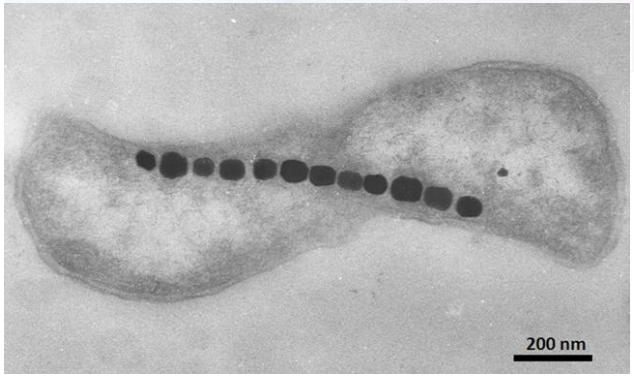
3. detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu

(vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky)

bývalé priekopy a jamy sú vyplnené hlinou a humusom, ktorý má vysoký obsah magnetických minerálov (vznikli pôsobením tzv. magnetotaktických baktérií): : magnetit (Fe_3O_4) a greigit (Fe_3S_4)

ilustračné zábery

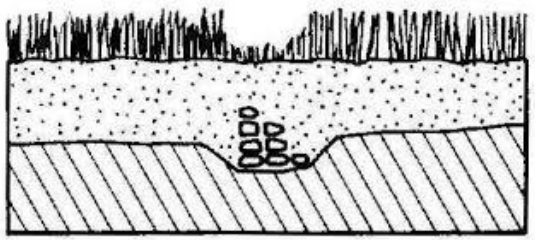




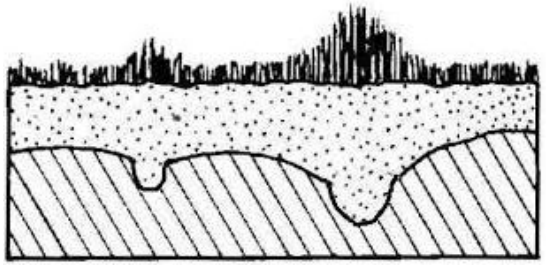
Výsledok pôsobenia magnetotaktických baktérií pri spracovaní rastlinnej zelenej zložky na humus: vznik drobných nano-kryštálikov magnetitu.

zvýšená koncentrácia humus úzko súvisí s porastovými príznakmi

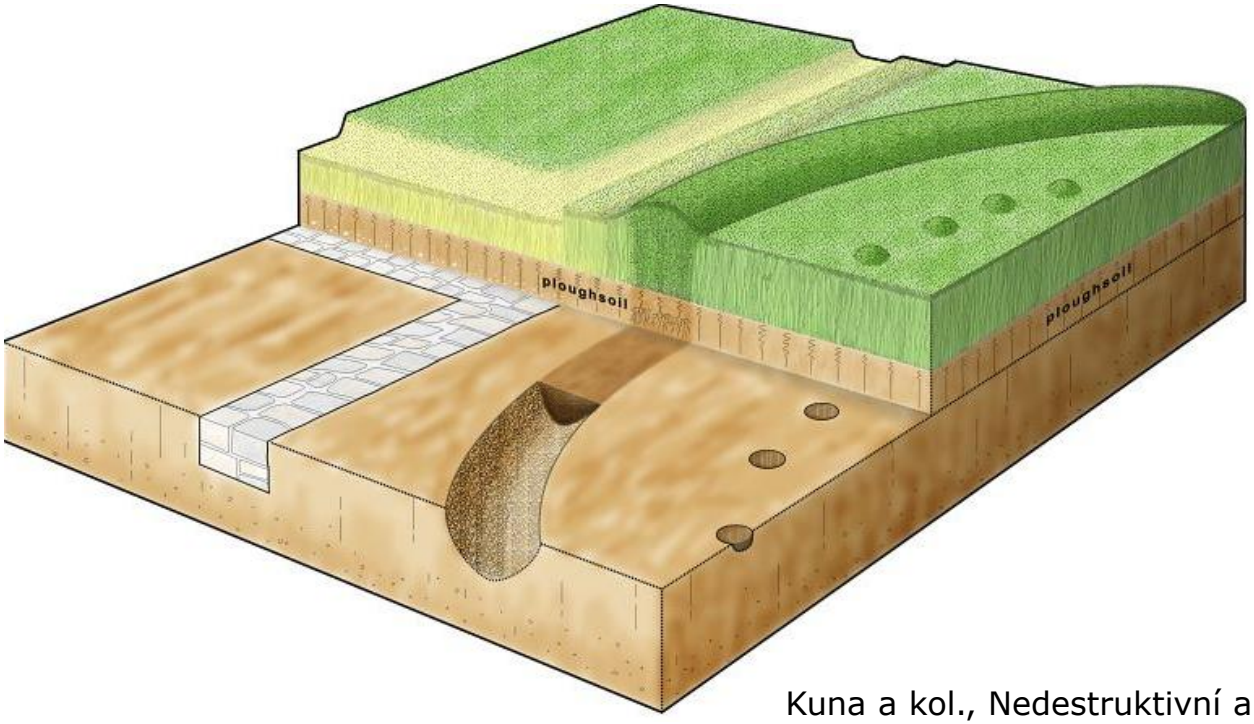
- porastové príznaky



zvyšky múrov

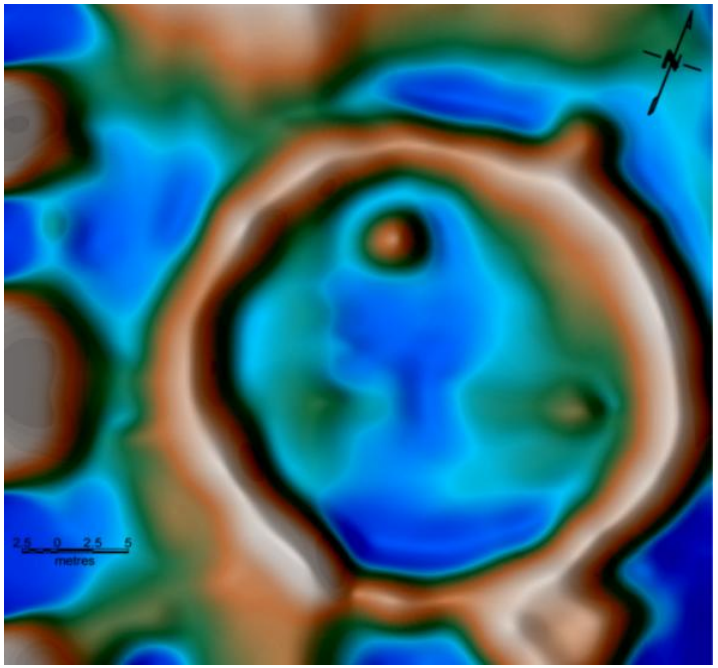


bývalé priekopy



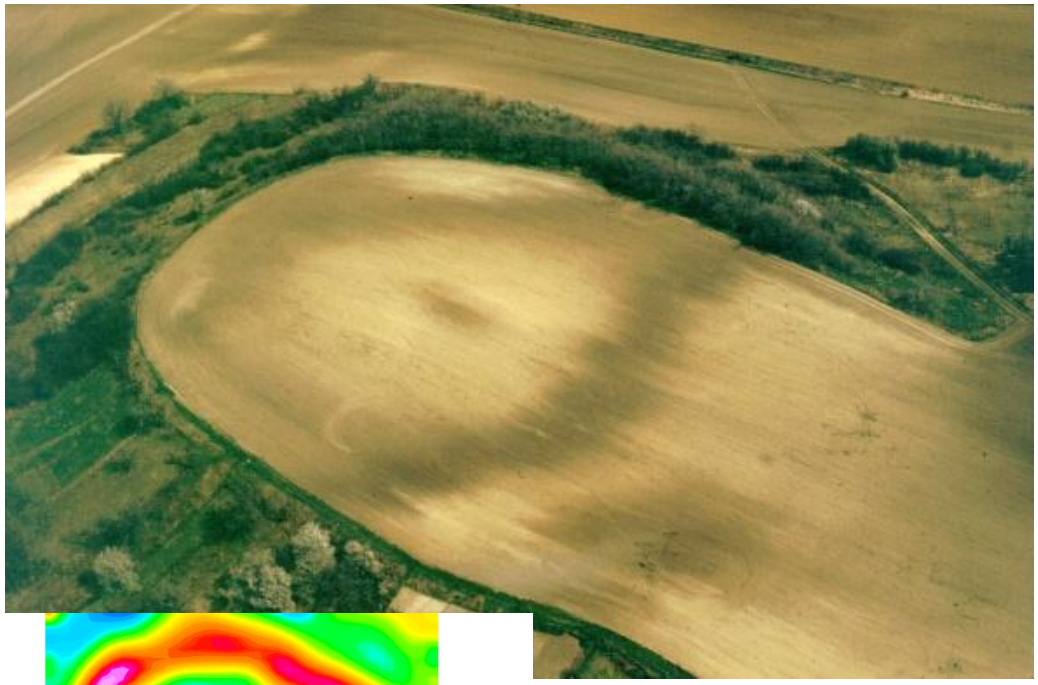
Kuna a kol., Nedestruktivní archeologie

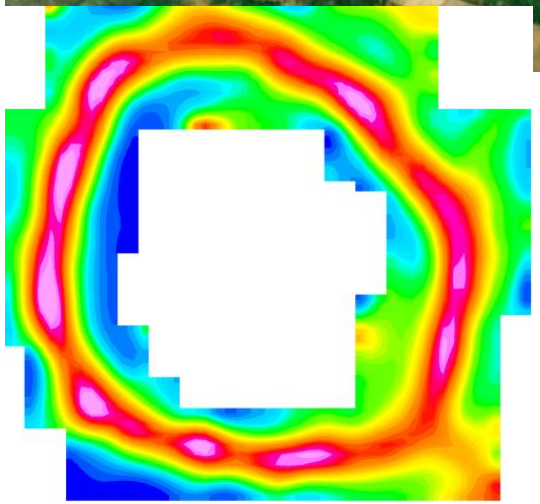
detekcia osídlenia – bývalých priekop, výkopov, atď.



BRANČ, okr. Nitra, obdobie: doba bronzová – 18. stor. p.n.l.

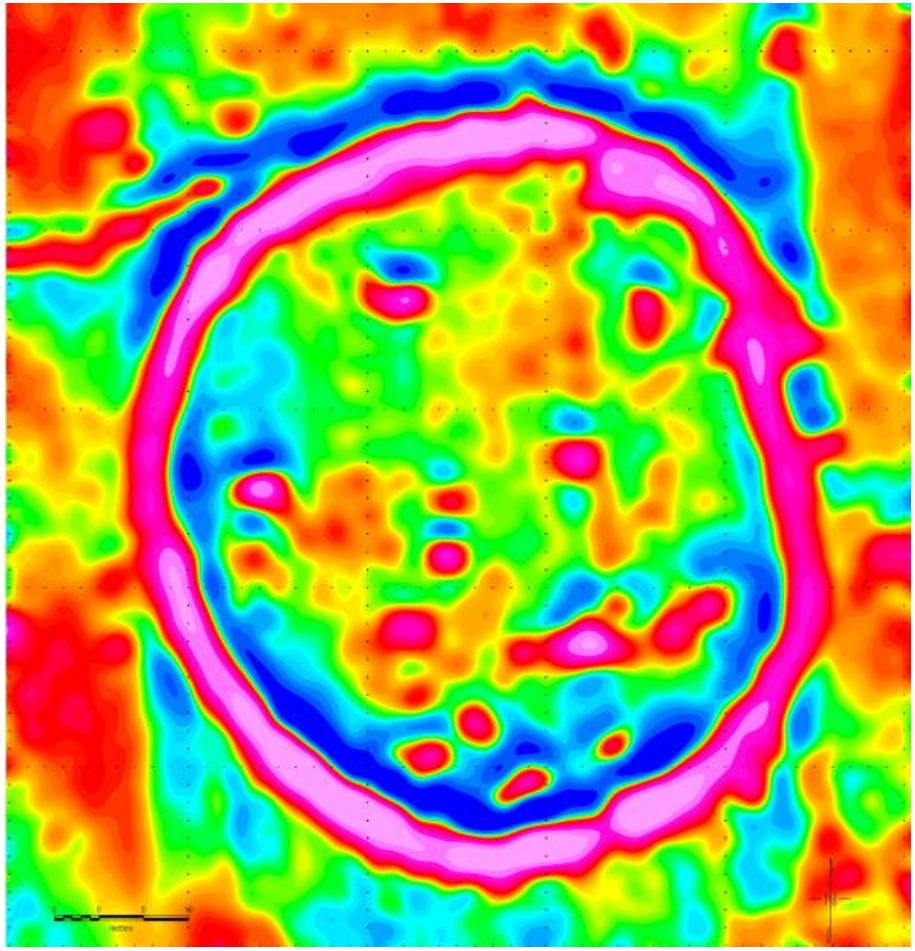
detekcia osídlenia – bývalých priekop, výkopov, atď.





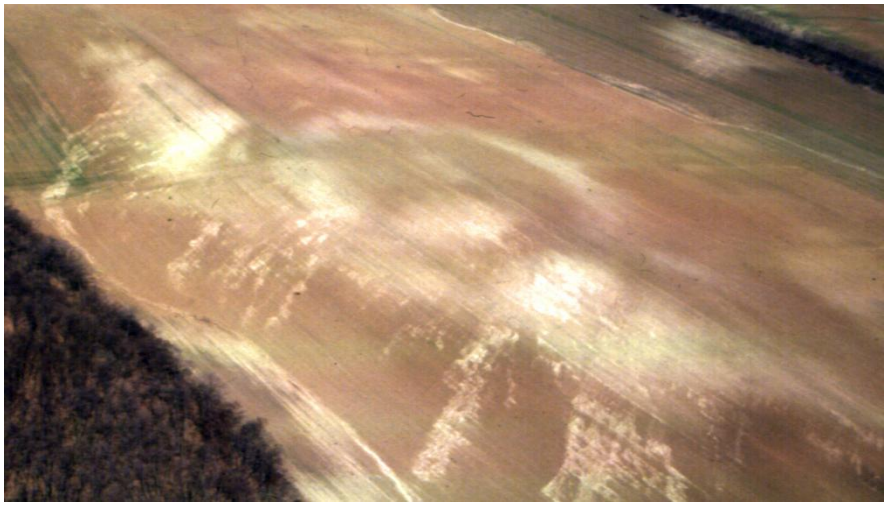
LELA, okr. Nové Zámky, doba bronzová – 15. stor. p.n.l.

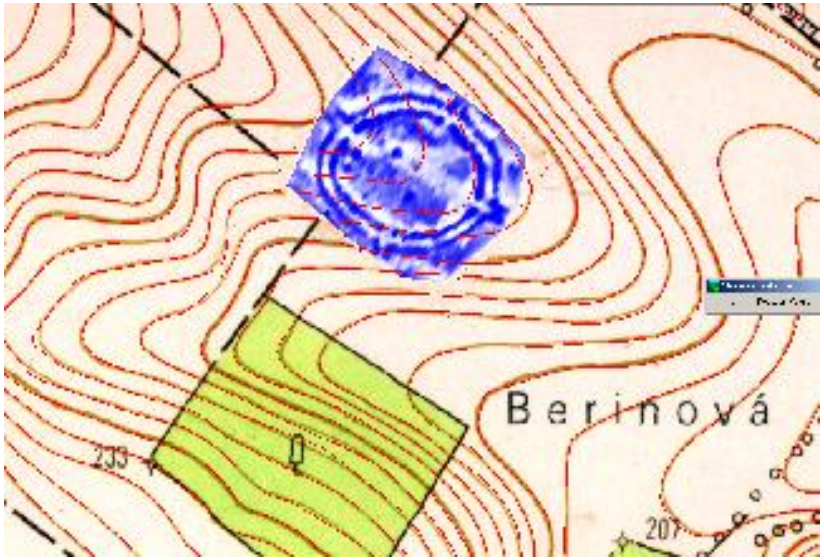
K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku

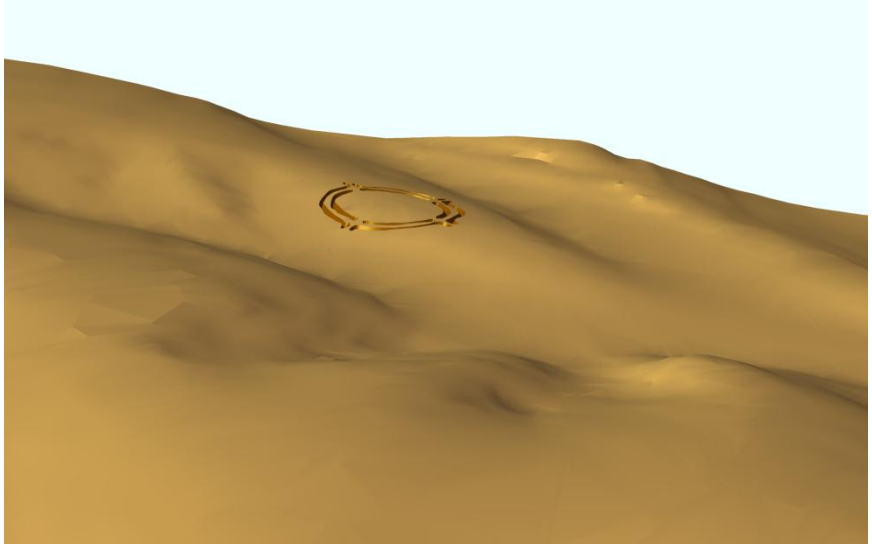


VEĽKÝ LAPÁŠ, okr. Nitra, obdobie: doba bronzová – 13. stor. p.n.l.

K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku





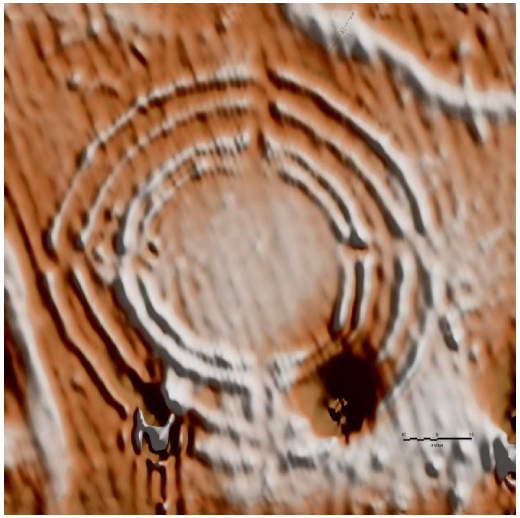


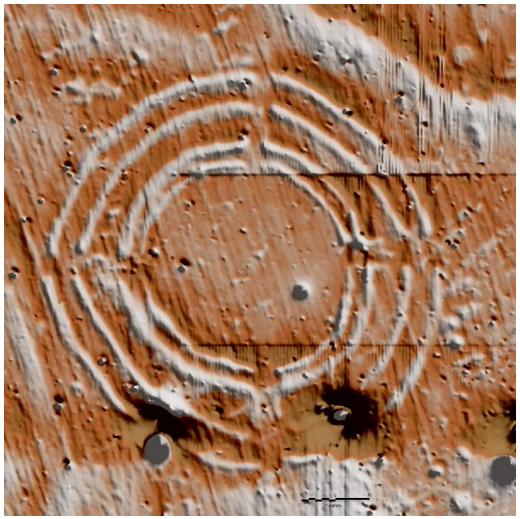
HORNÉ OTROKOVCE, okr. Hlohovec, obdobie: neolit – 35. stor. p.n.l.

K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku

CÍFER, okr. Trnava, obdobie: neolit – 35. stor. p.n.l.

SMARTMAG SM 4G

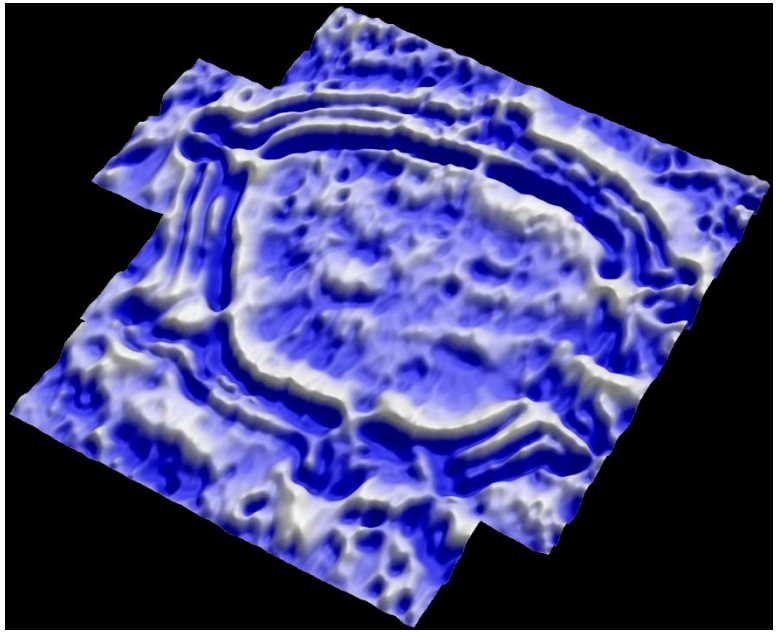


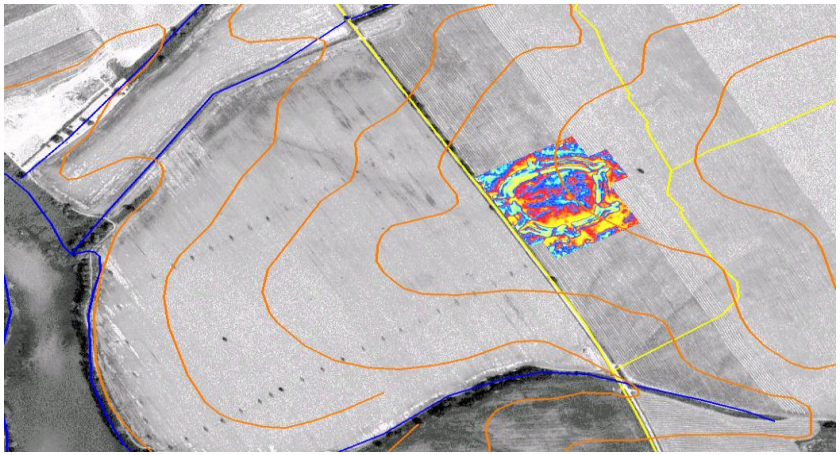


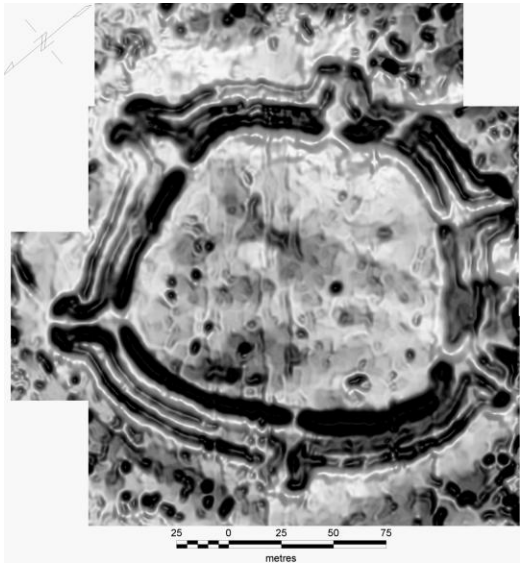
Caesium Vapour Magnetometer TM-4

(J.M.Stanley,J.Mikuška,R.Pašteka)

K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku



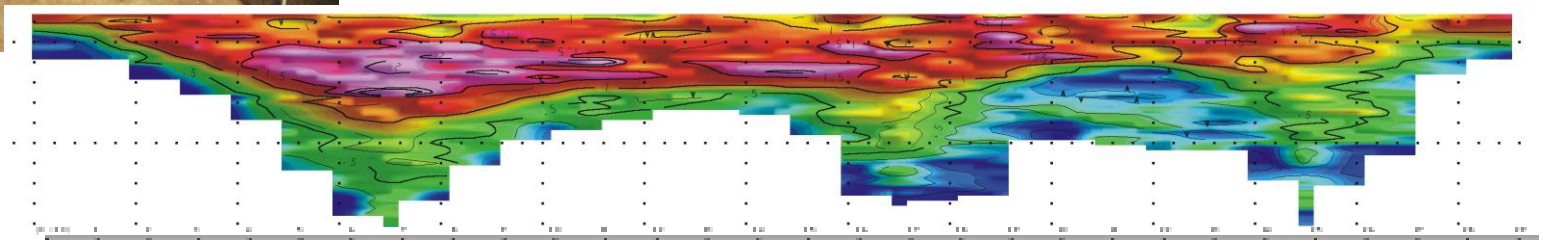


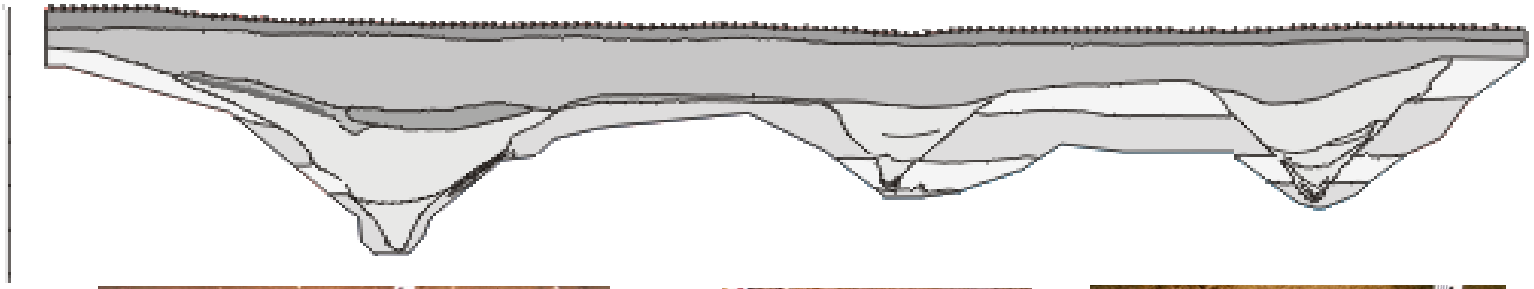


GOLIANOVO, okr. Nitra, obdobie: 35.stor. p.n.l.

K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku

GOLIANOVO, okr. Nitra
Archeologická sonda
Vertikálny rez hodnôt magnetickej susceptibility
Západný profil rezu priekopami

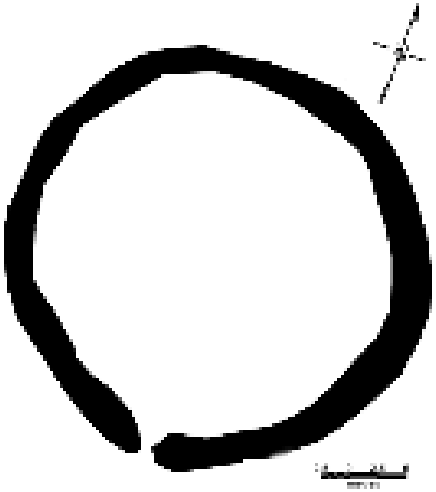


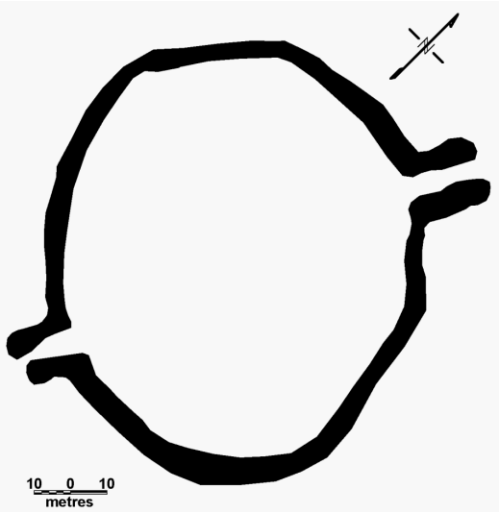


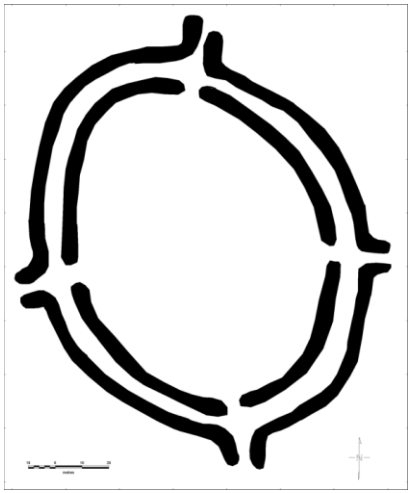
K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku

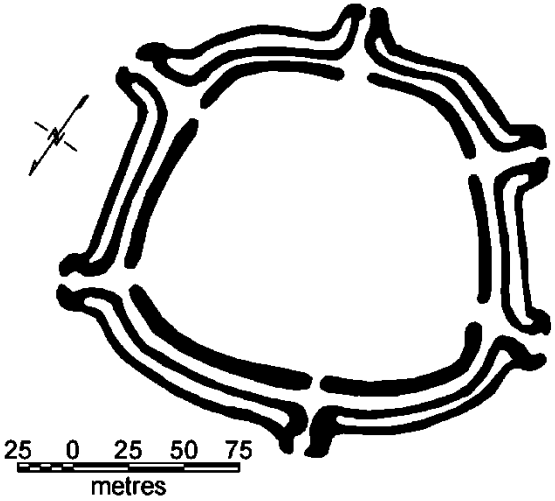
GP 3176: Praveké kruhové priekopové systémy na Slovensku.

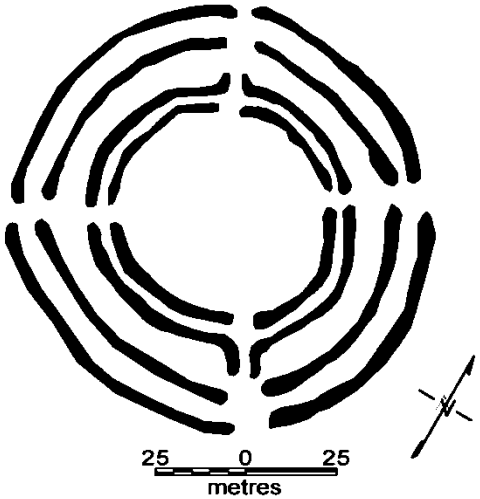
Typy rondelov na Slovensku



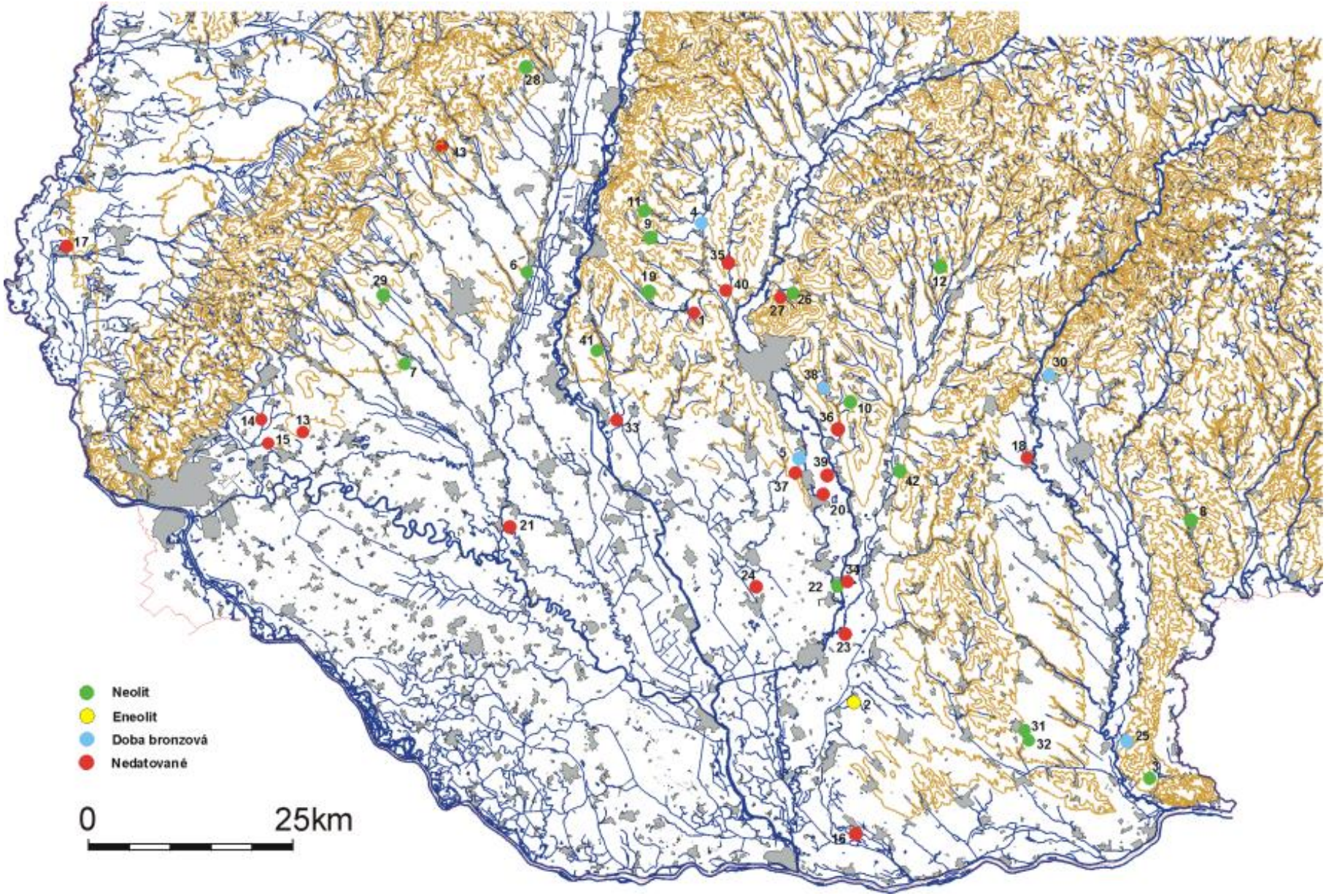




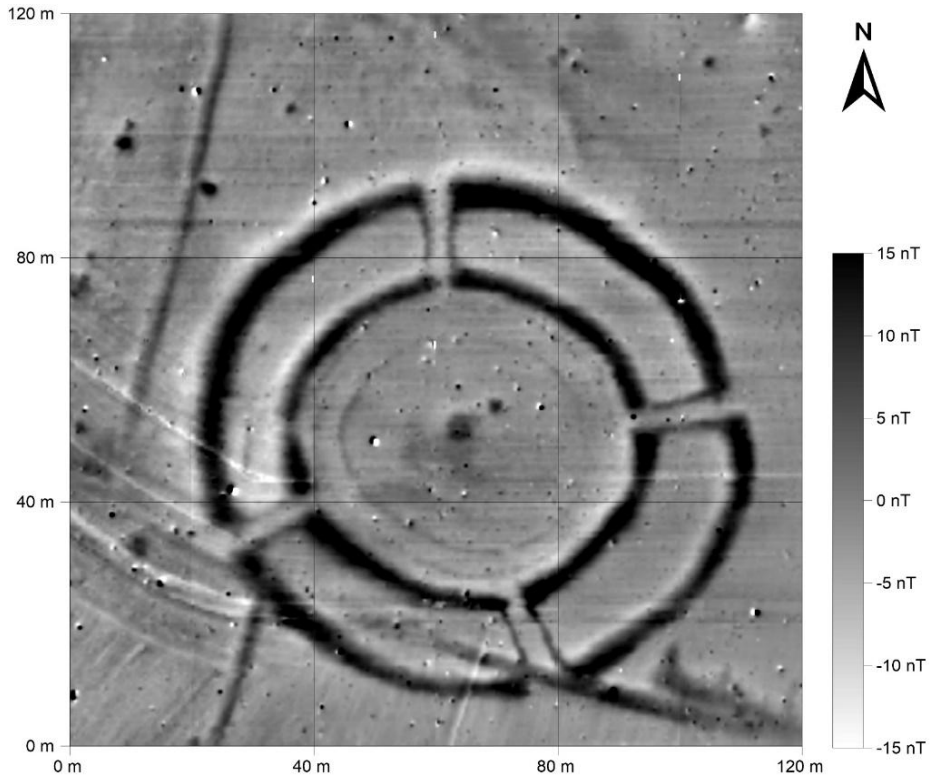




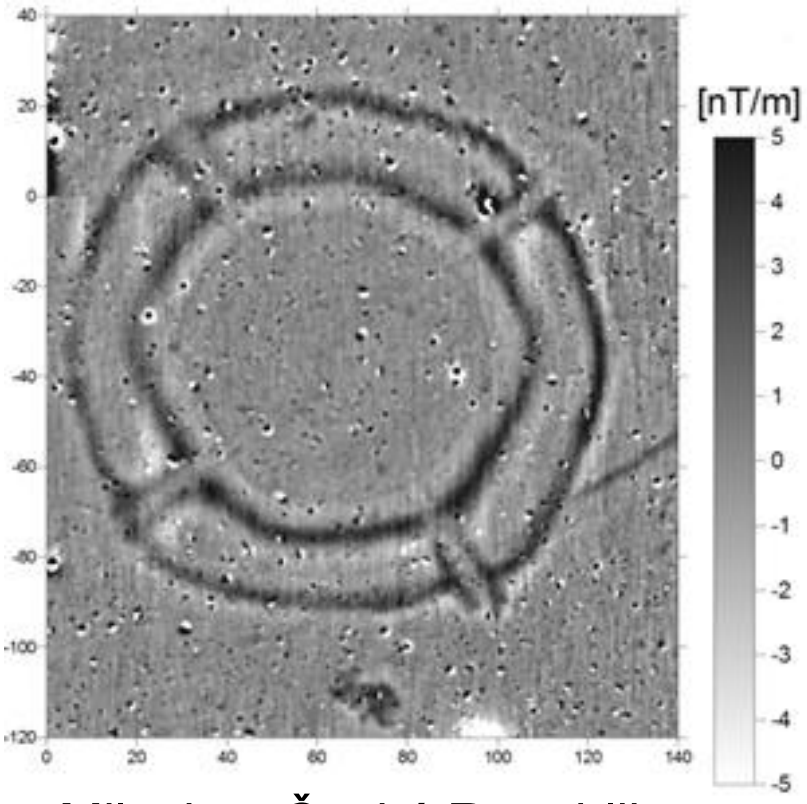
K niektorým výsledkom leteckej a geofyzikálnej prospekcie na juhozápadnom Slovensku



Príklady magnetometrickej detekcie tzv. rondelov (zo zahraničia):



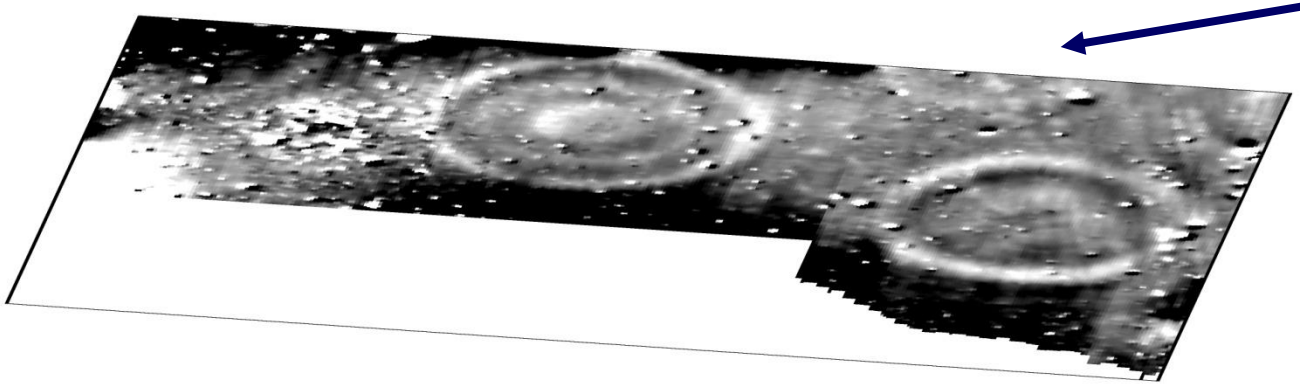
Steinabrunn, Rakúsko



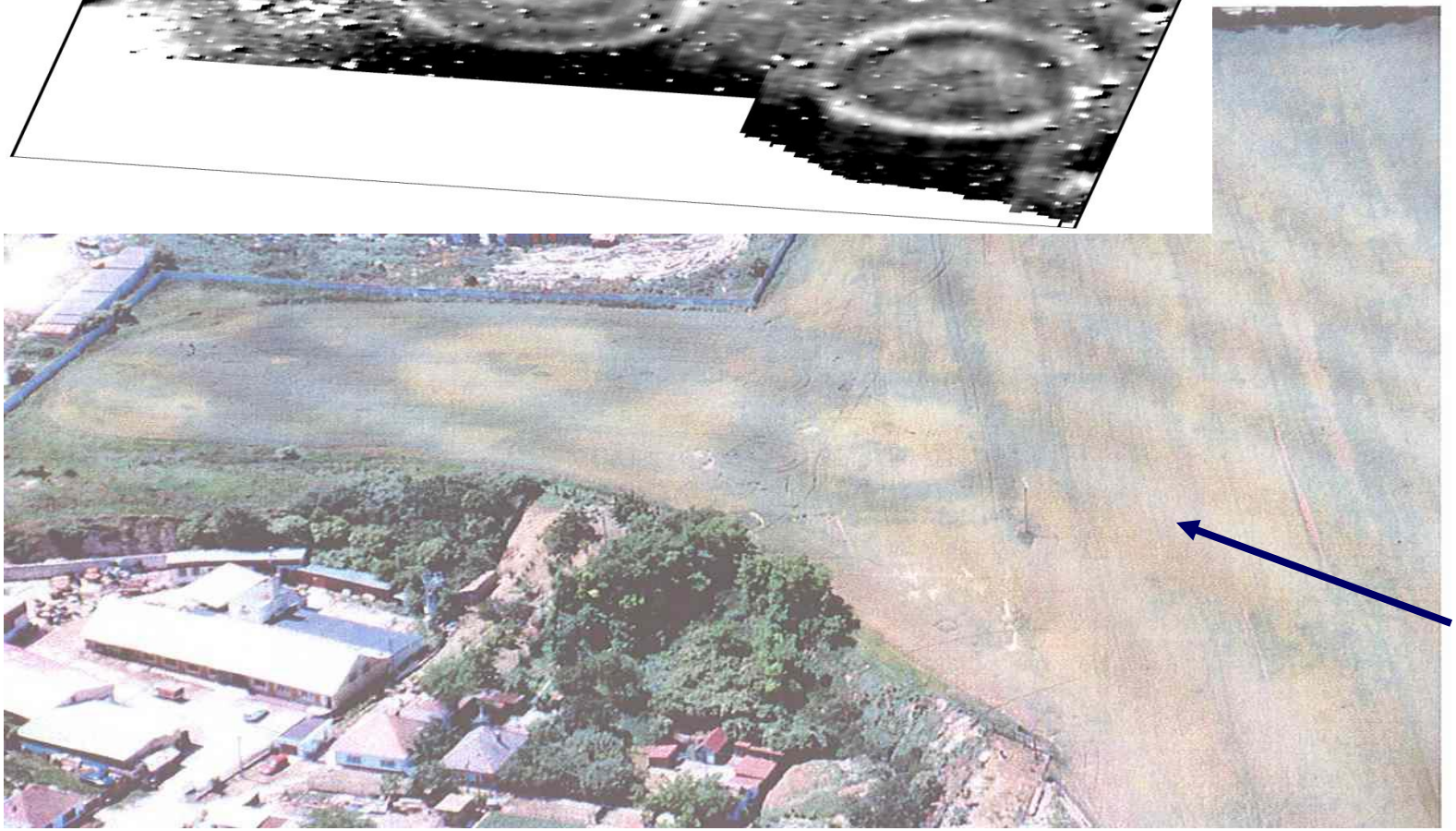
Milovice, Česká Republika

prevzaté od kolegov Dr. J. Fassbindera (Mníchov) a doc. P. Mila (Brno)

využitie magnetometrie



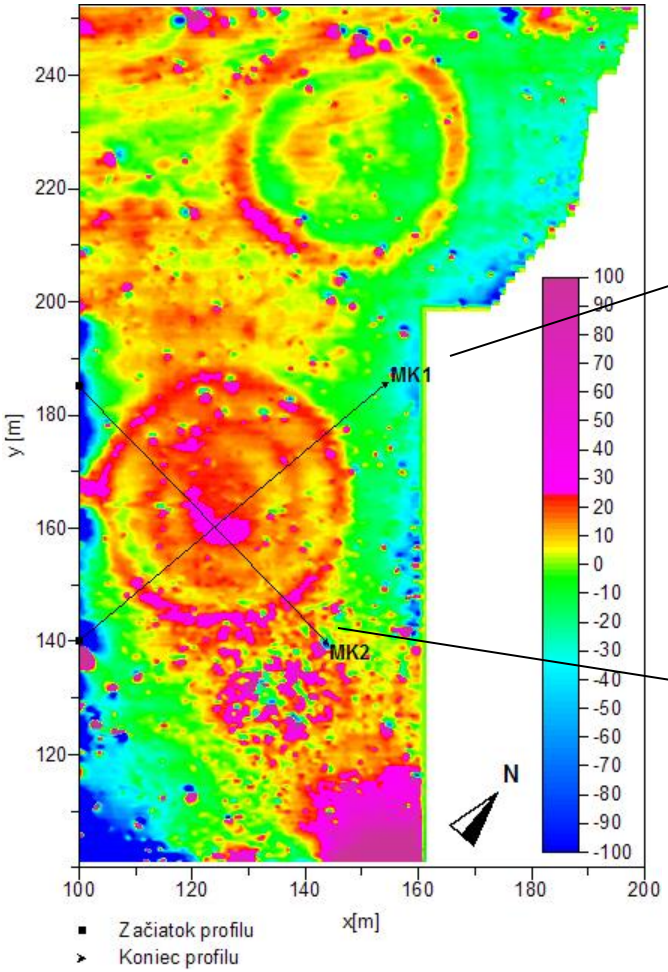
zmerané anomálne magnetické pole



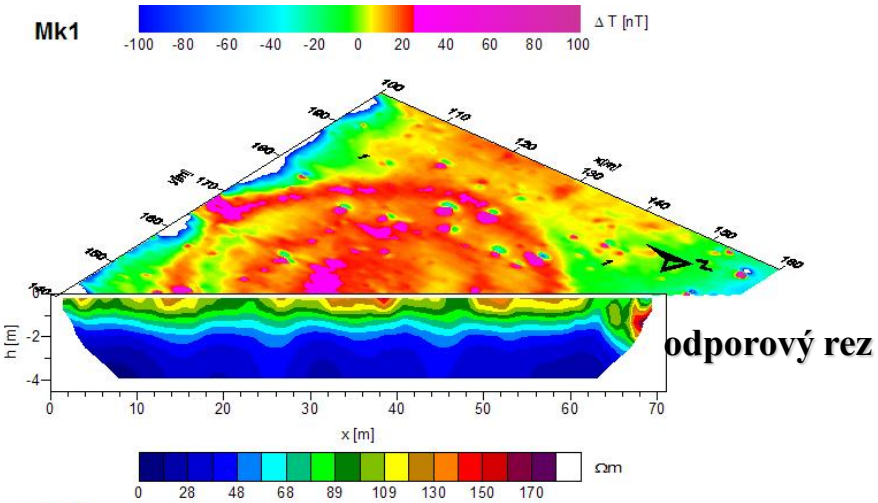
letecká fotografia

lokalita: Biely Kostol (pri Trnave), halštatské mohyly

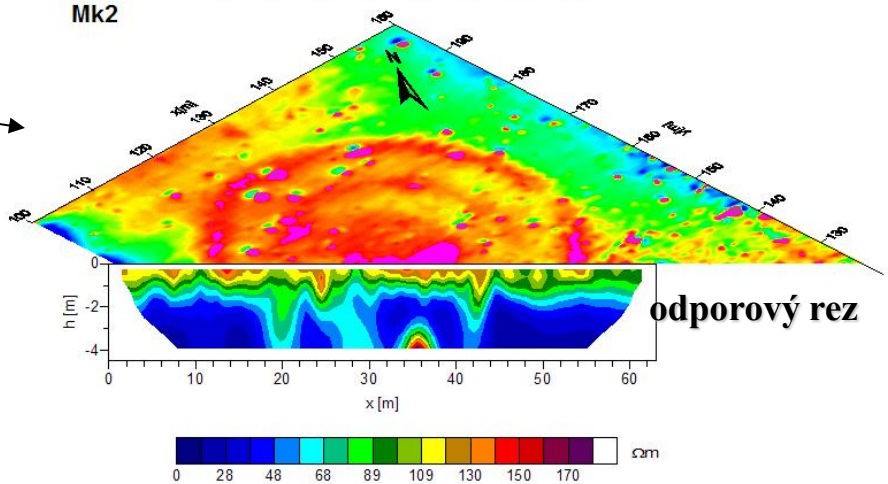
využitie magnetometrie + geolektriky (metóda ERT)



výsledky multi-elektródového profilovania



odporový rez



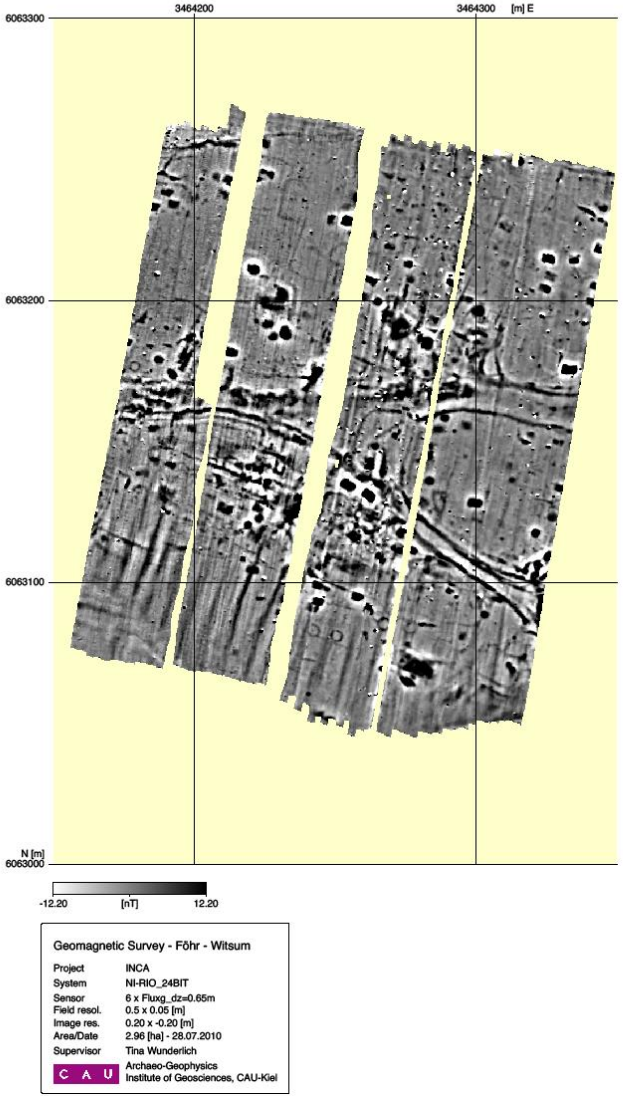
odporový rez

BIELY KOSTOL pri Trnave, Halštatské mohylové pohrebisko

využitie magnetometrie

letecká snímka

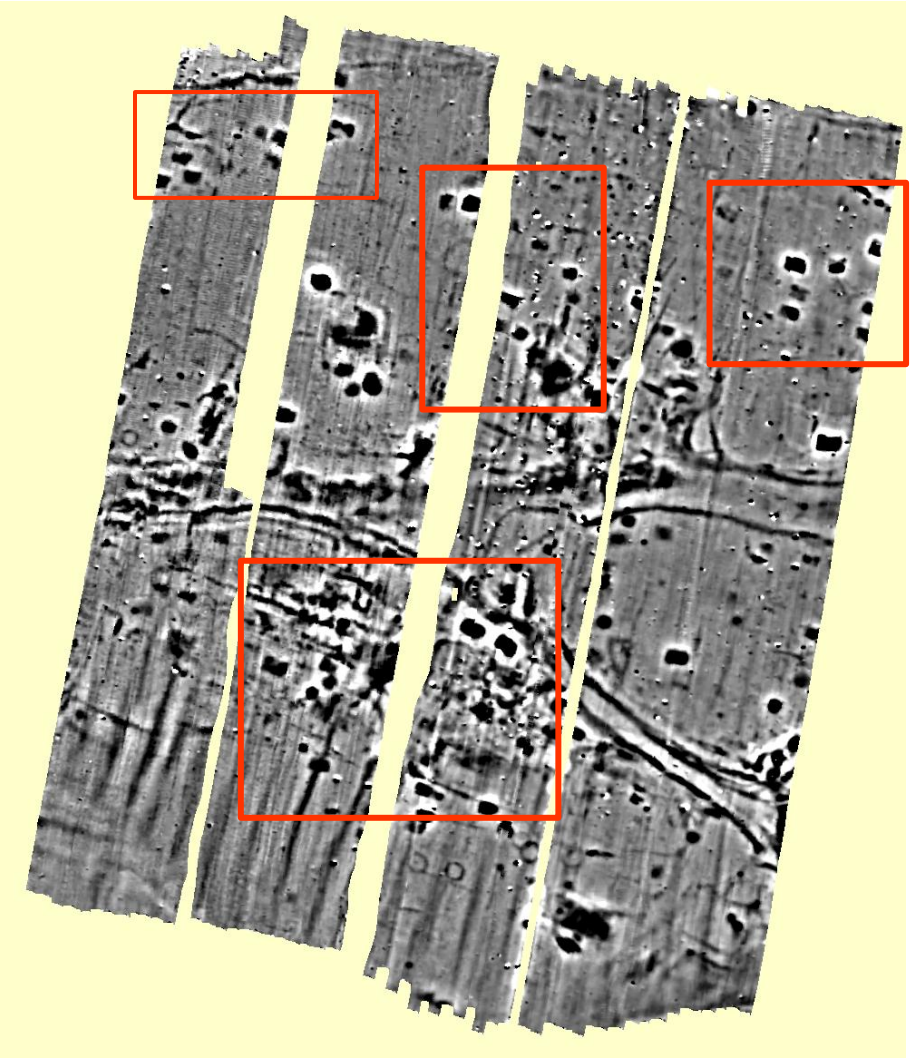
magnetometria

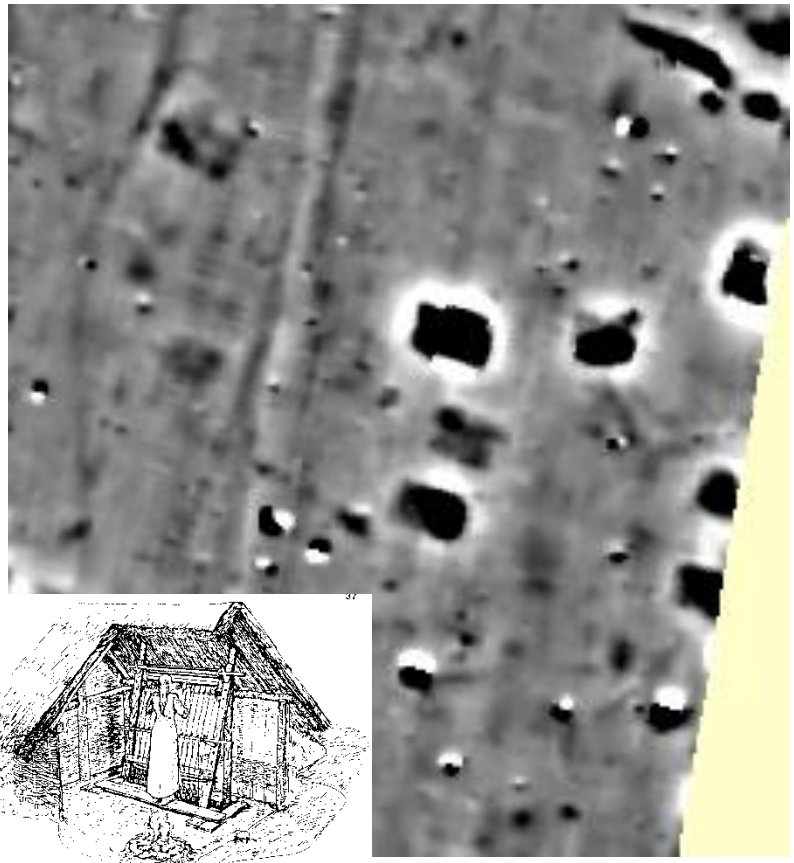


ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné memecko) (priekopy, zemlianky, domy)

využitie magnetometrie

pithouses (zemlianky)





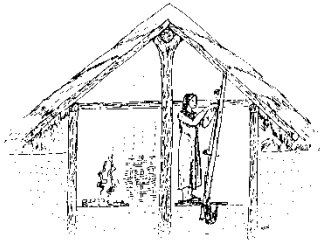
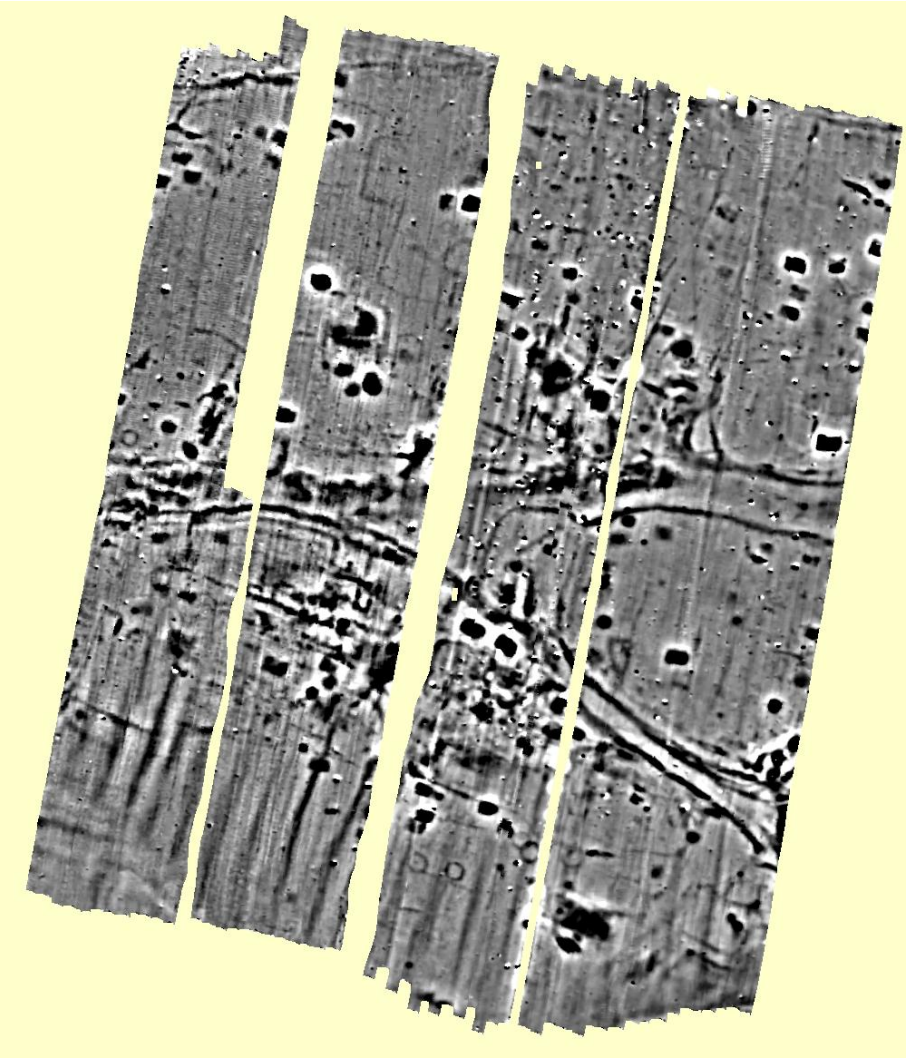


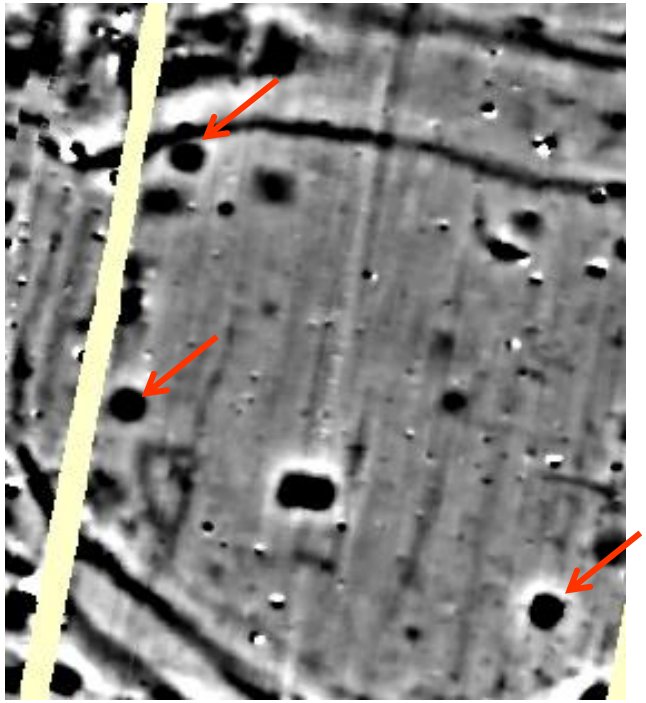
Abb. 7
Wittorf, Stadt Vissel-hövede, Fp. 28
Rekonstruktionsversuch des Grubenhauses 2
mit Webstuhl, der jüngeren Nutzungsphase.

ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné memecko) (priekopy, zemlianky, domy)

využitie magnetometrie



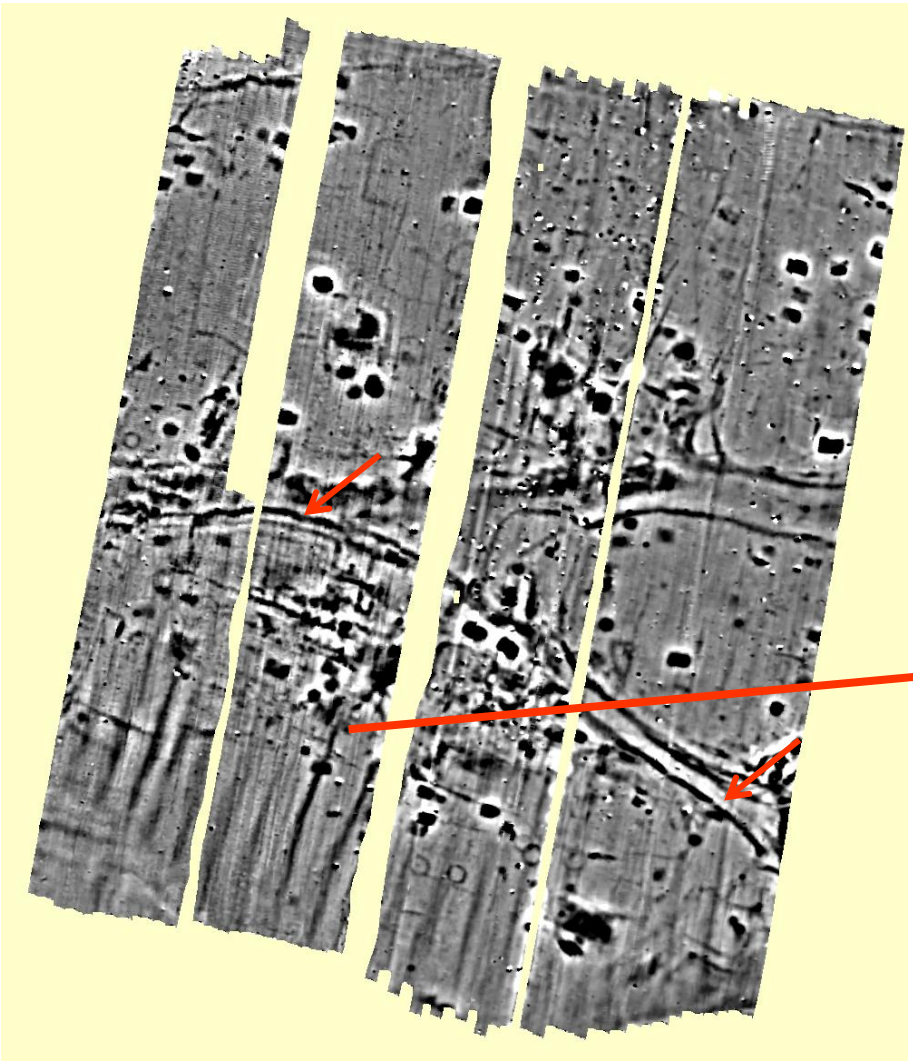
wells (studne)?

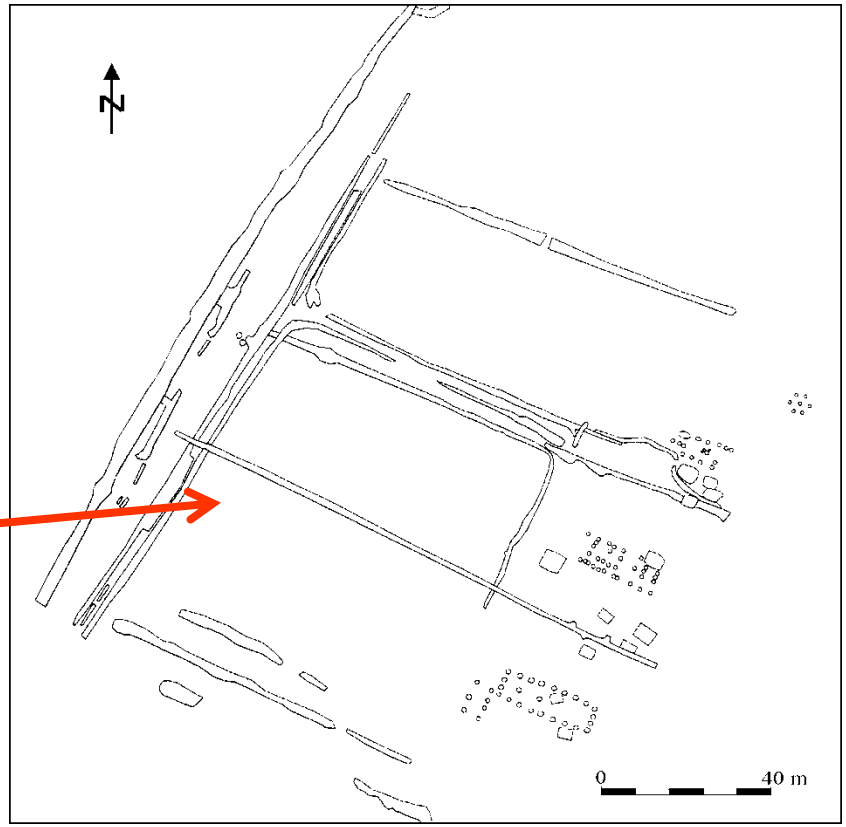


ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné memecko) (priekopy, zemlianky, domy)

využitie magnetometrie

ditches (priekopy)
boundaries of fields ?(hranice polí?)

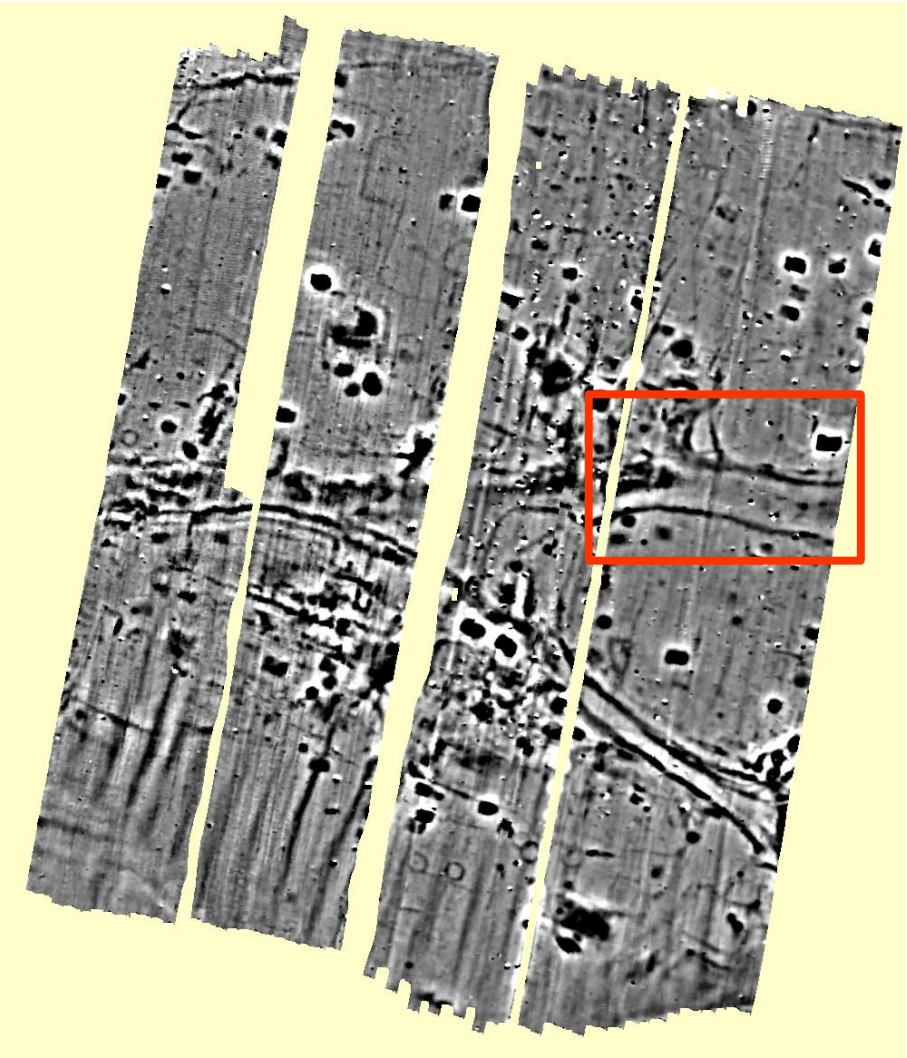


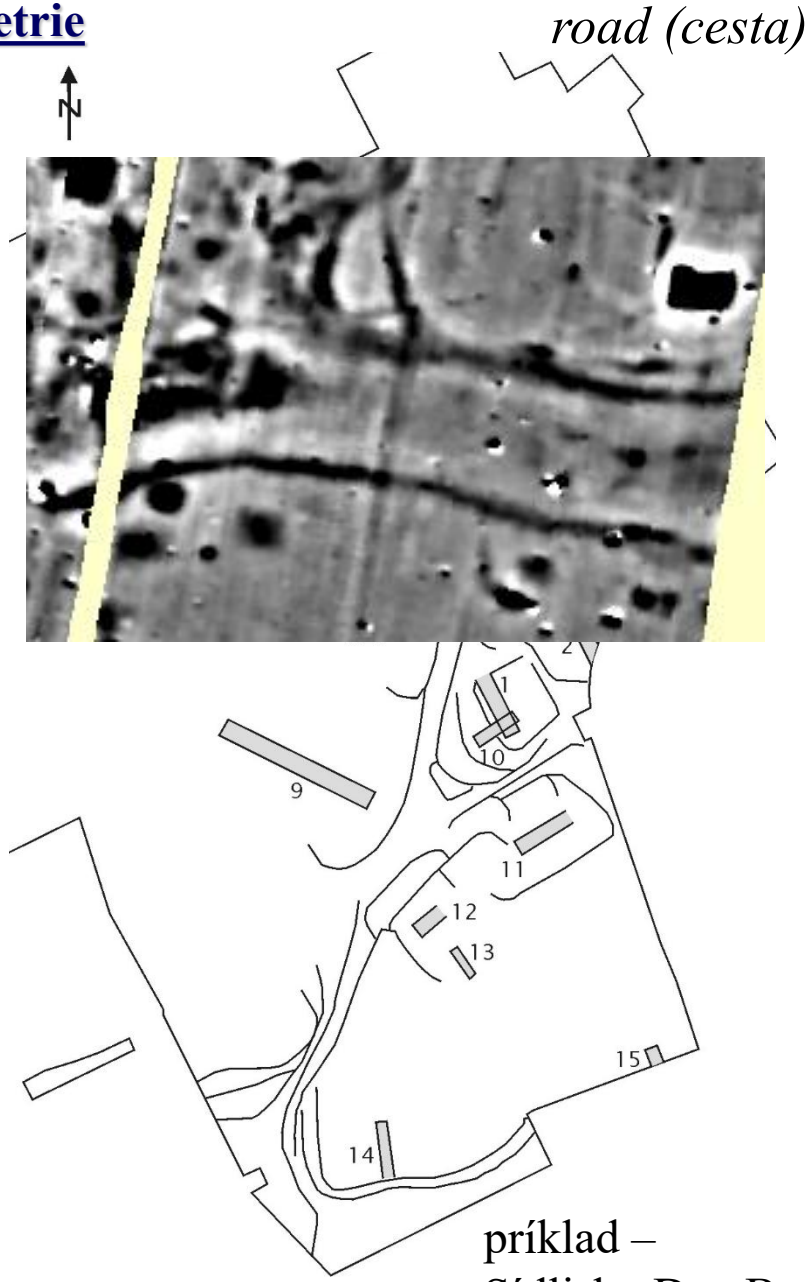


príklad: sídlisko Oelde

ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné memecko) (priekopy, zemlianky, domy)

využitie magnetometrie

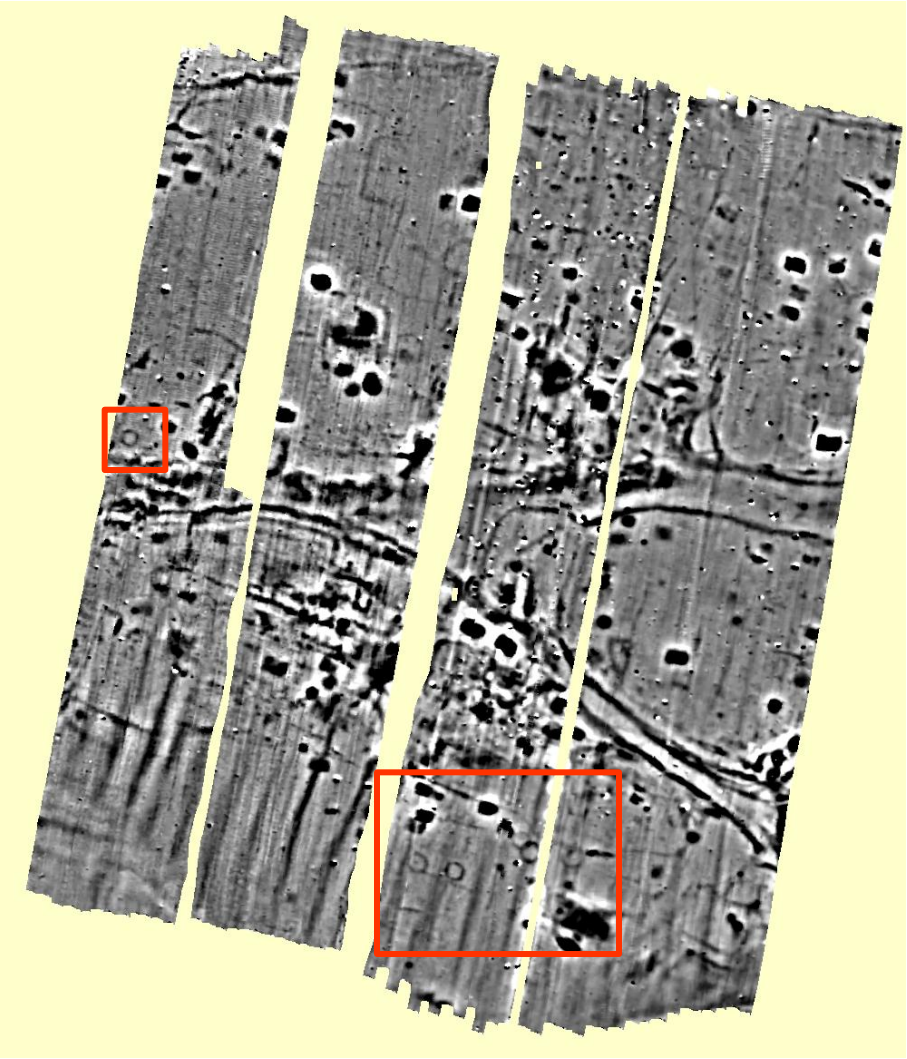




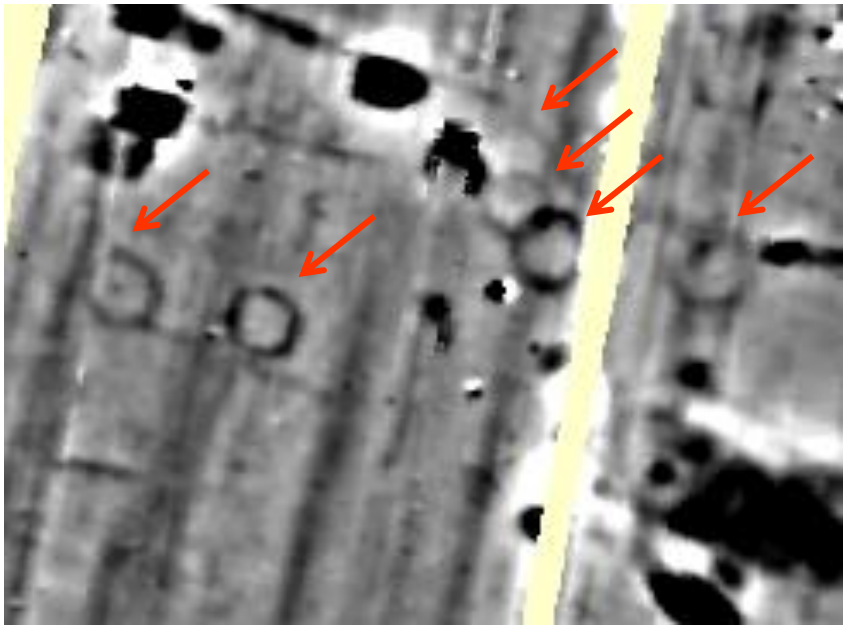
príklad –
Sídlisko Den Burg

ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné memecko) (priekopy, zemlianky, domy)

využitie magnetometrie

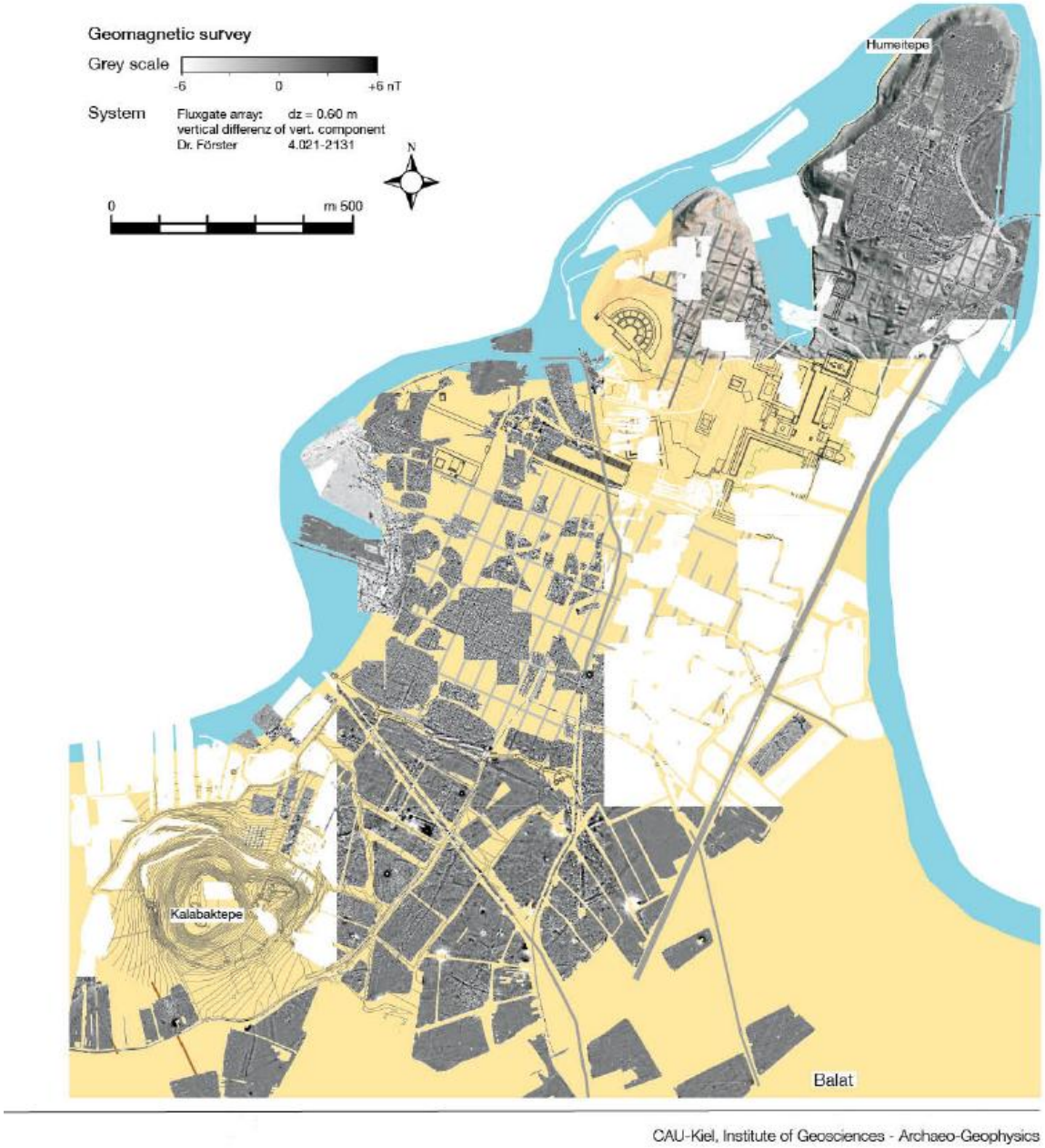


graves, small mounds? (hroby, malé mohyly?)



ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné memecko) (priekopy, zemlianky, domy)

využitie magnetometrie



prieskum veľkých plôch – príklad z Miletu (dnešné Turecko)

využitie magnetometrie

detail (viditeľná architektúra)

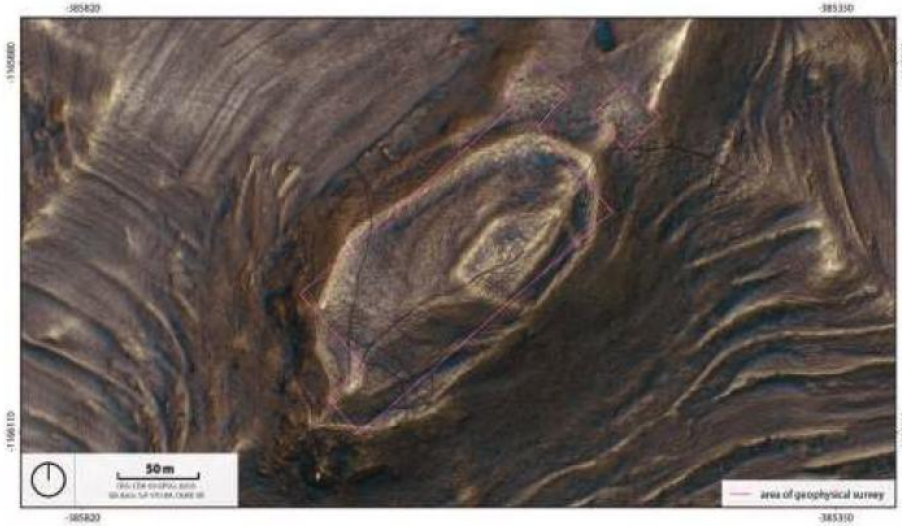
prieskum veľkých plôch – príklad z Miletu (dnešné Turecko)

magnetometrický prieskum „Nižná - Ostražnica (severné Slovensko)“

lokalita: Nižná – Ostražica (staršia a mladšia doba železná)

letecká snímka

LiDAR



magnetometria

magnetometria – Bartington Grad601 Dual

Felcanová et al., 2021

využitie vysokopresnej magnetometrie

<u>hlavné oblasti použitia:</u>

1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie)

(vysoká susceptibilita železa)

2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

(dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)

3. detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu

(vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky)

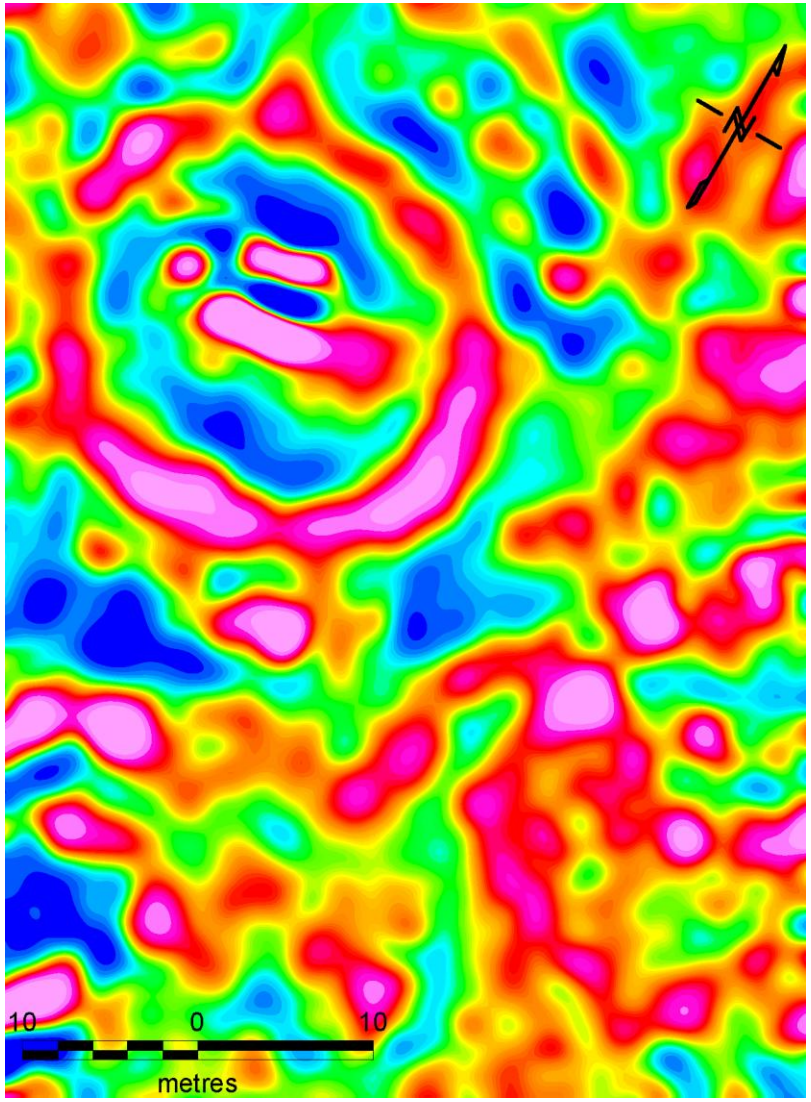
4. detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)

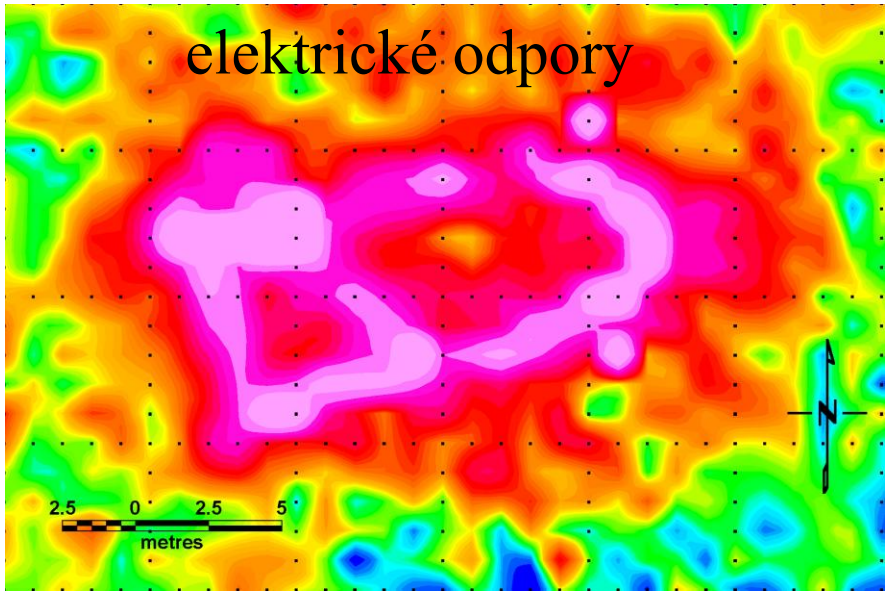
(ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek)

využitie magnetometrie + geolektriky

letecké snímky

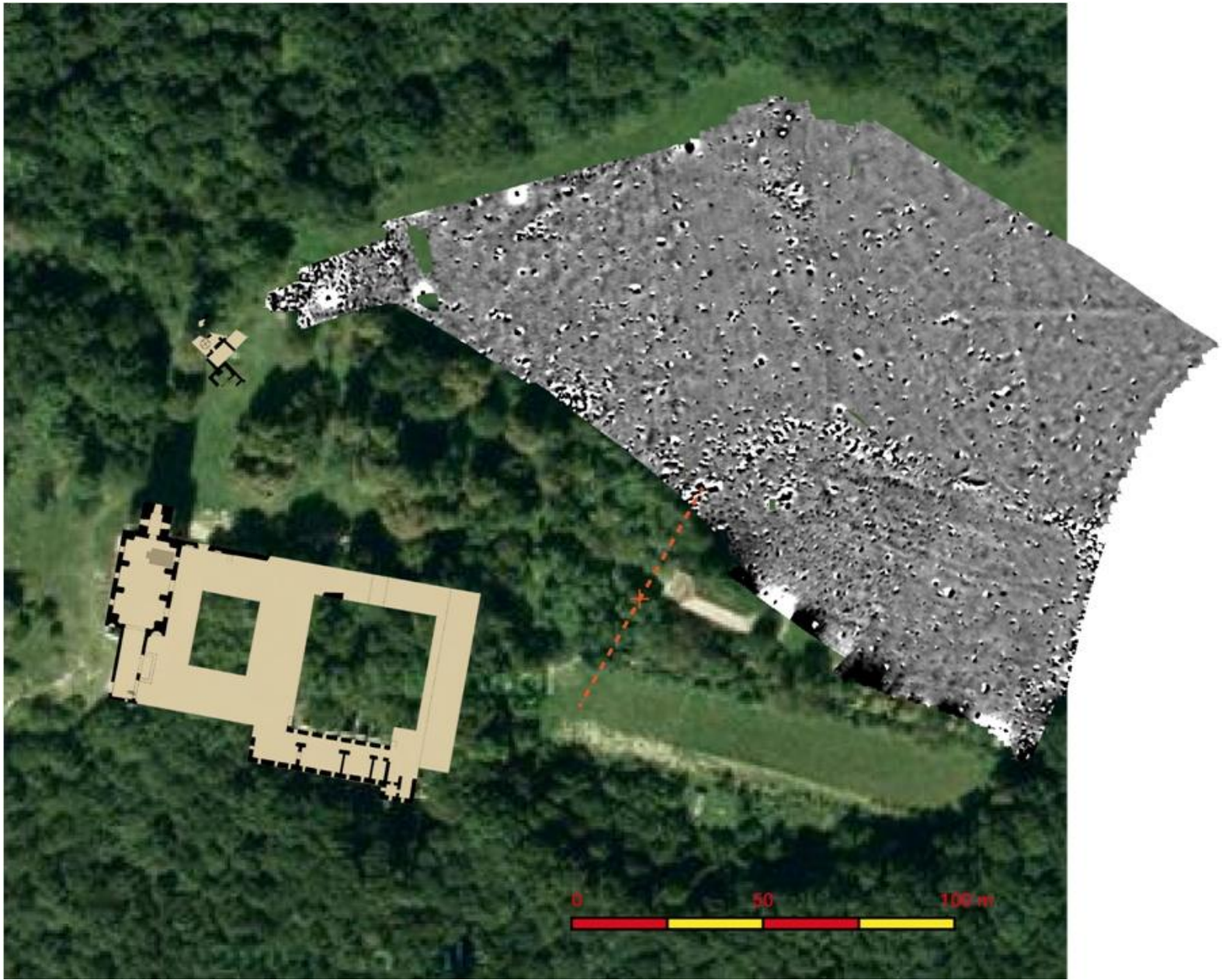
magnetometria (väčšie okolie)



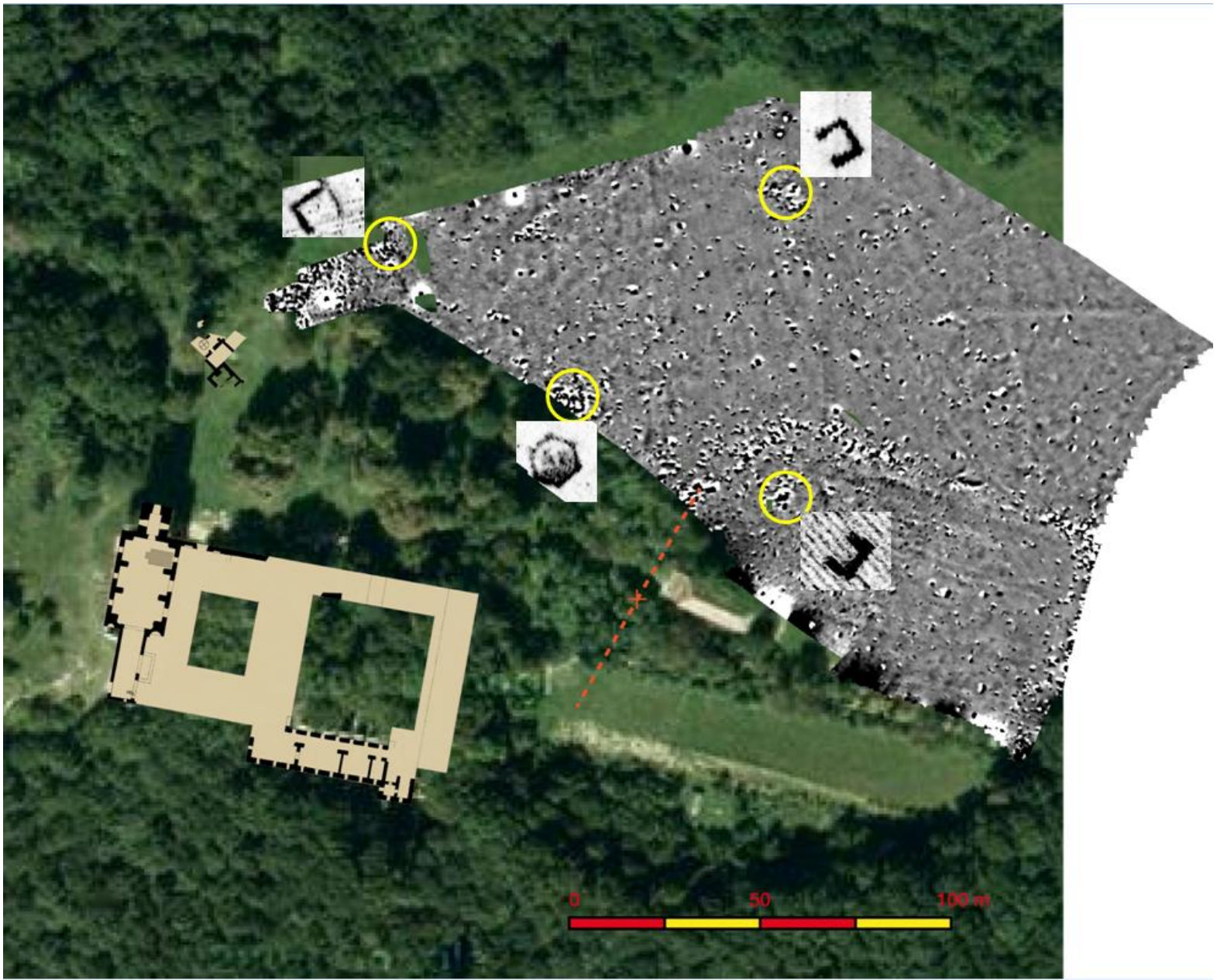


POĽNÝ KESOV, okr. Nitra, obdobie: stredovek - 11. - 13. stor.

ukážka použitia magnetometrie a radaru pri detekcii zvyškov múrov (lokalita Katarínka, JZ Slovensko)



ukážka použitia magnetometrie a radaru pri detekcii zvyškov múrov (lokalita Katarínka, JZ Slovensko)



využitie vysokopresnej magnetometrie

čomu sa vyvarovať:

- pri zbere dát:

rušivým zdrojom: malým na oblečení operátora (kľúče, mobil),
veľkým (odstavené auto, pohodené kladivo)

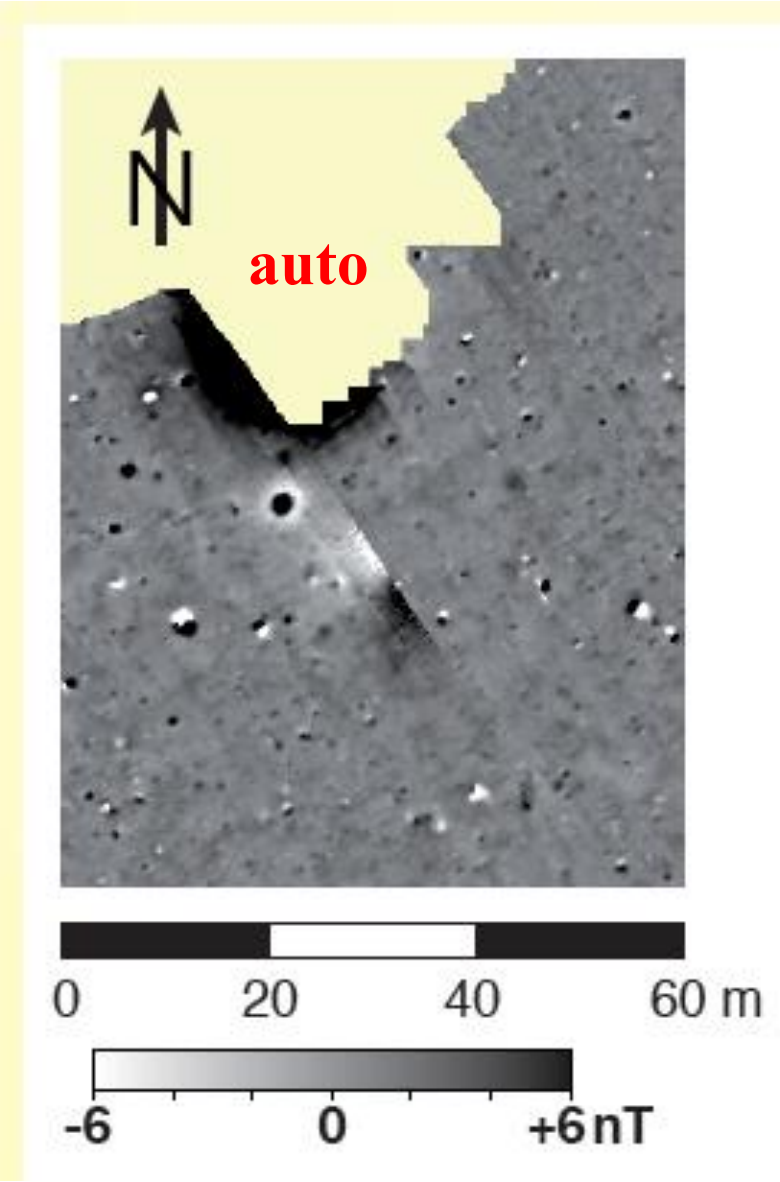
- pri interpretácii:

falošným anomáliám: od nearcheologických objektov,
určité anomálne črty môžu byť spôsobené
smerom chodenia, orbou, atď.

tomu, že niektoré objekty sa vôbec nemusia prejaviť alebo ich prejav je kompletne zastretý pôsobením iných zdrojov

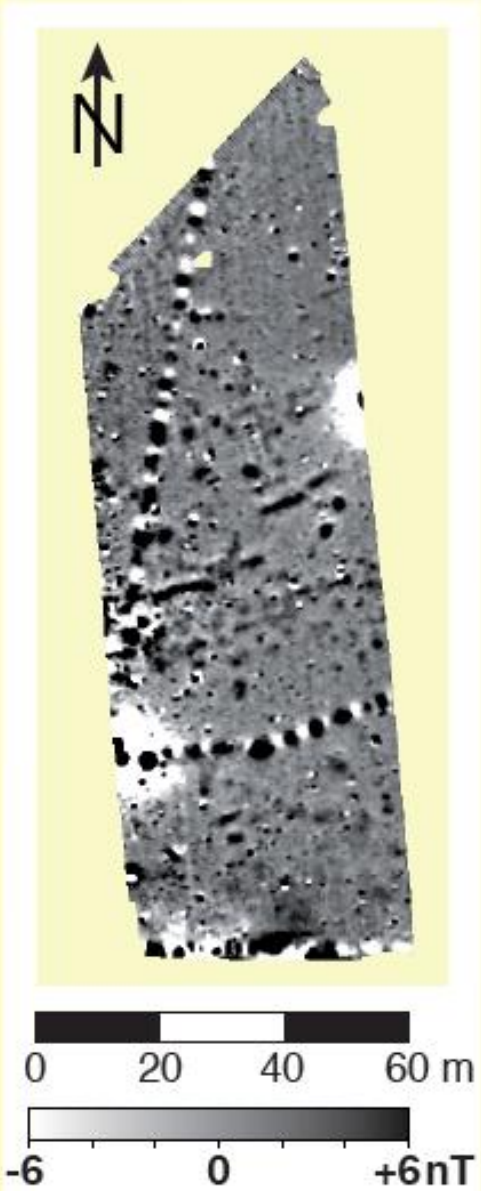
čomu sa vyvarovať:

rušivým zdrojom:

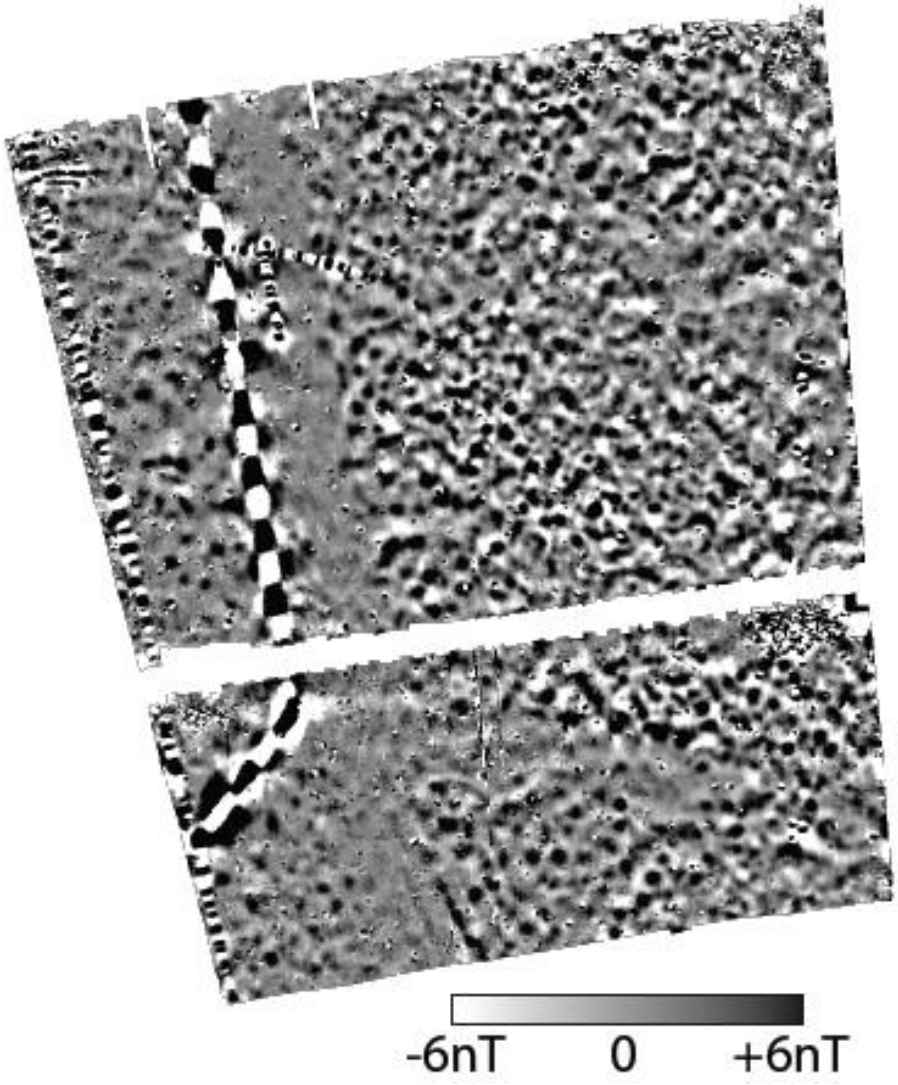


čomu sa vyvarovať:

falošným anomáliám



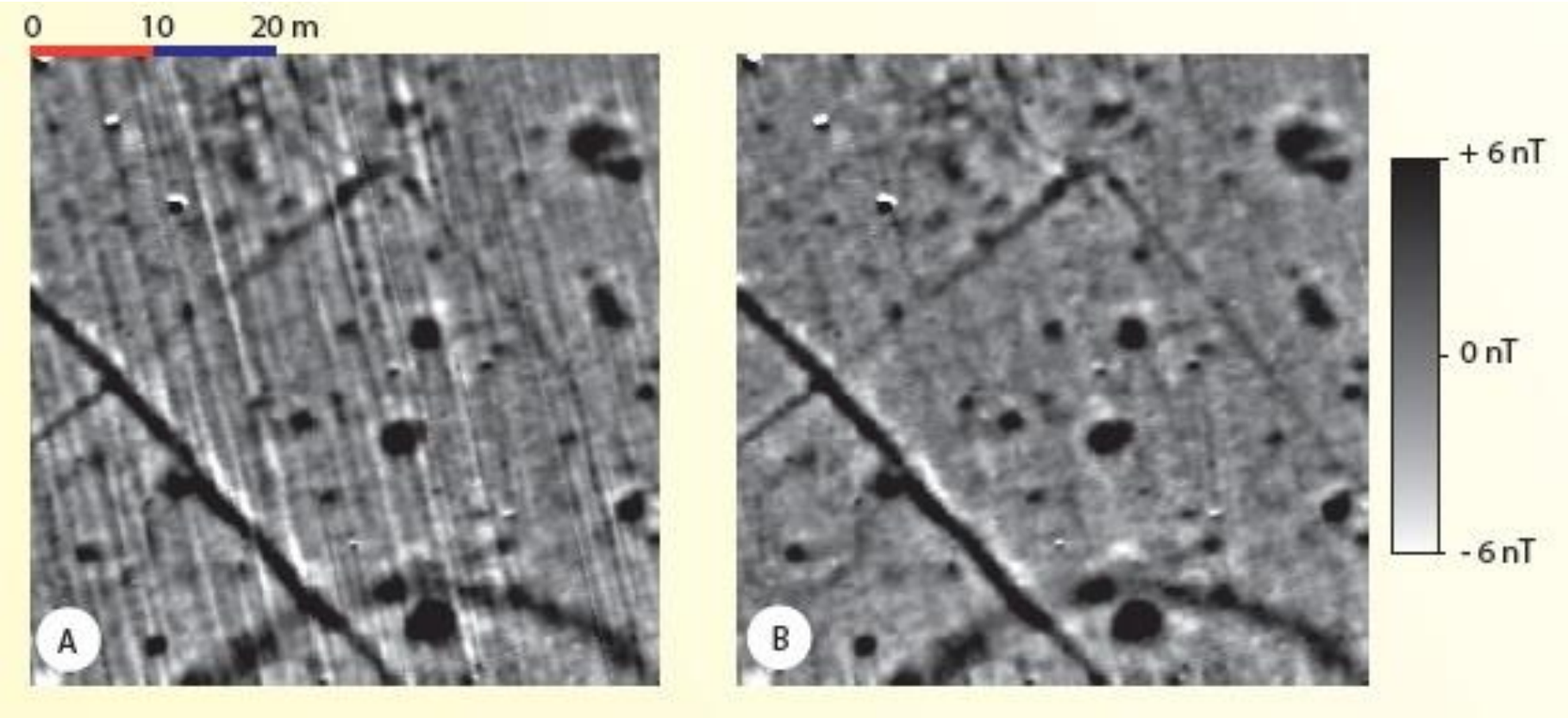
potrubia



čomu sa vyvarovať:

falošným anomáliám

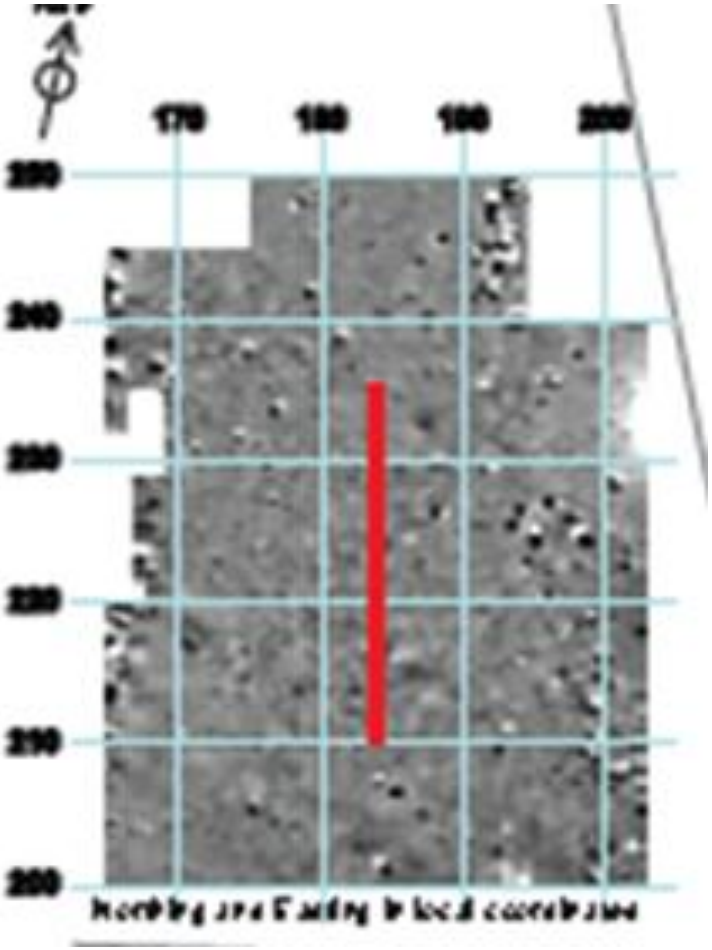
orba



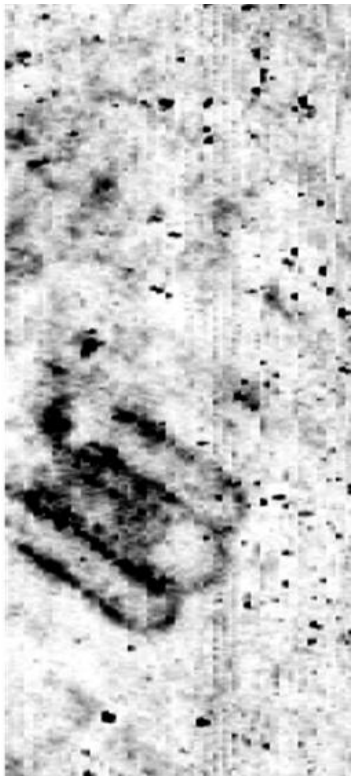
dá sa odstrániť pomocou špeciálnych filtrov

čomu sa vyvarovať:

principiálny problém – nedostatočný kontrast + prekrytie šumom



magnetometria



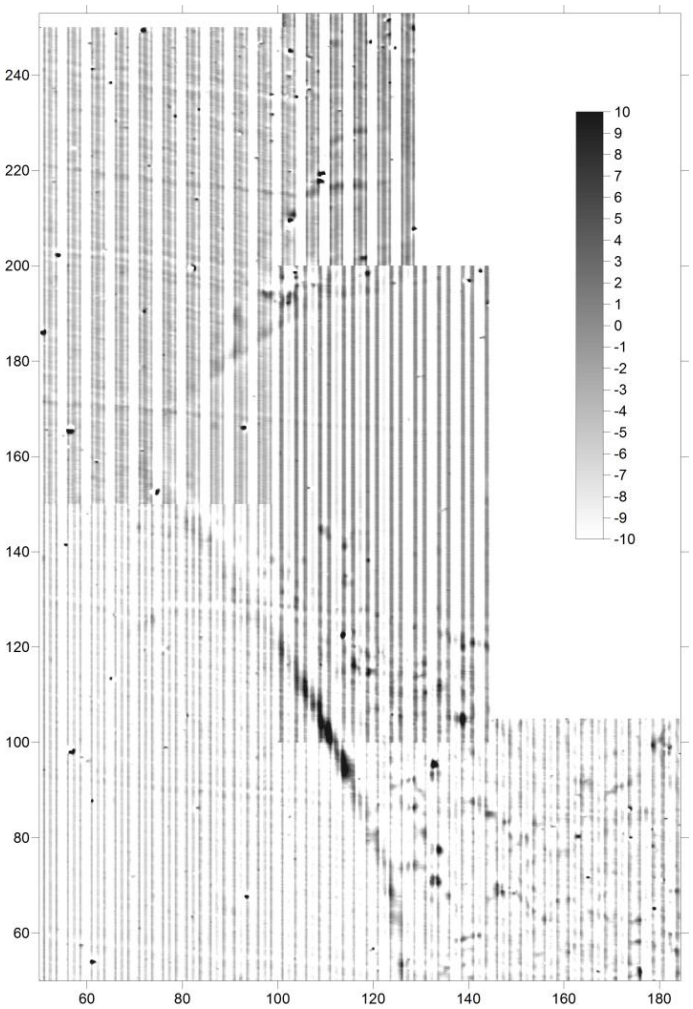
radar

lokalita Iznik (Turecko), bývalé smetisko

čomu sa vyvarovať:

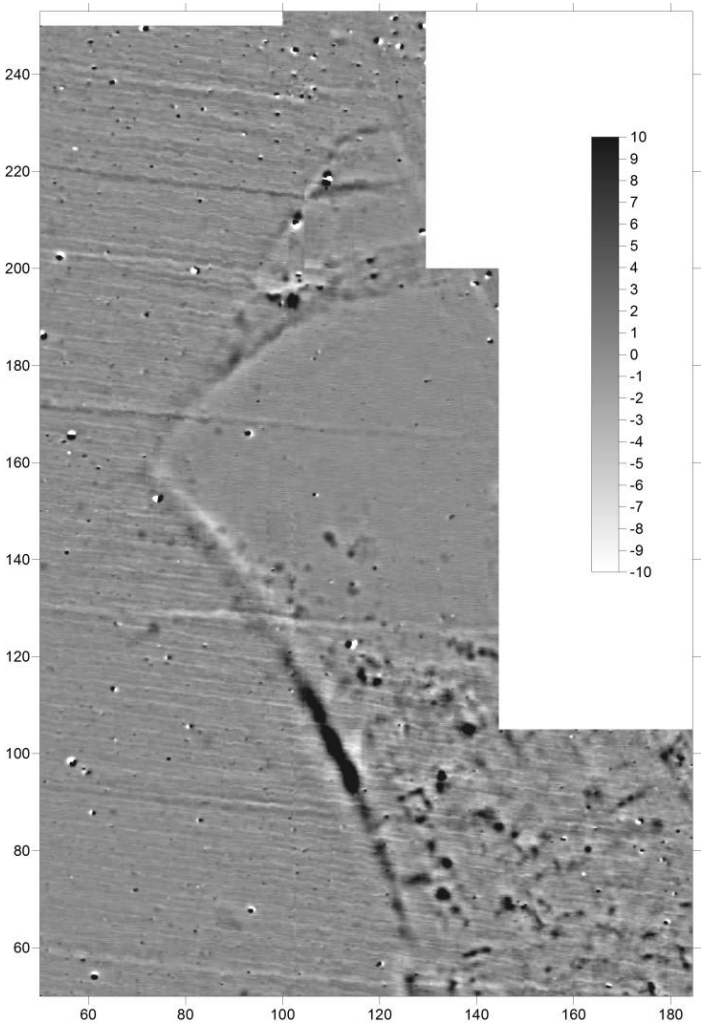
pri spracovaní dát s viacerých paralelne nesených (tlačených) senzorov vzniká tzv. “heading error”, ktorý sa prejavuje “umelými pásikami”

pôvodné dáta



rieši sa pomocou tzv. <u>mediánových filtrovi</u> alebo postupom, ktorý sa nazýva ako tzv. mikroleveling.

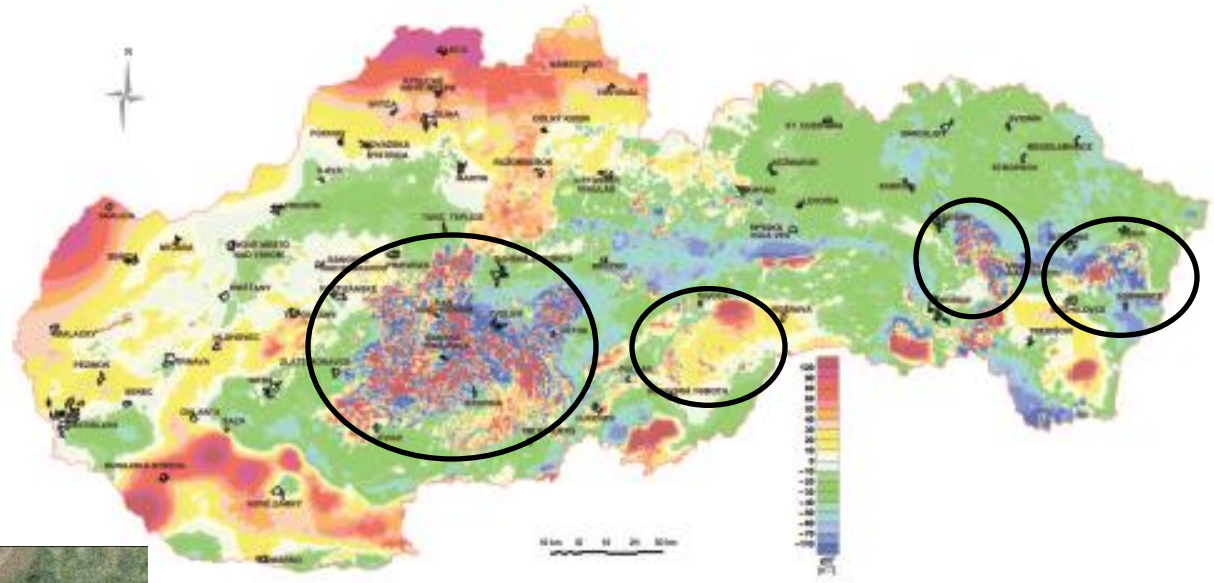
filtrované dáta



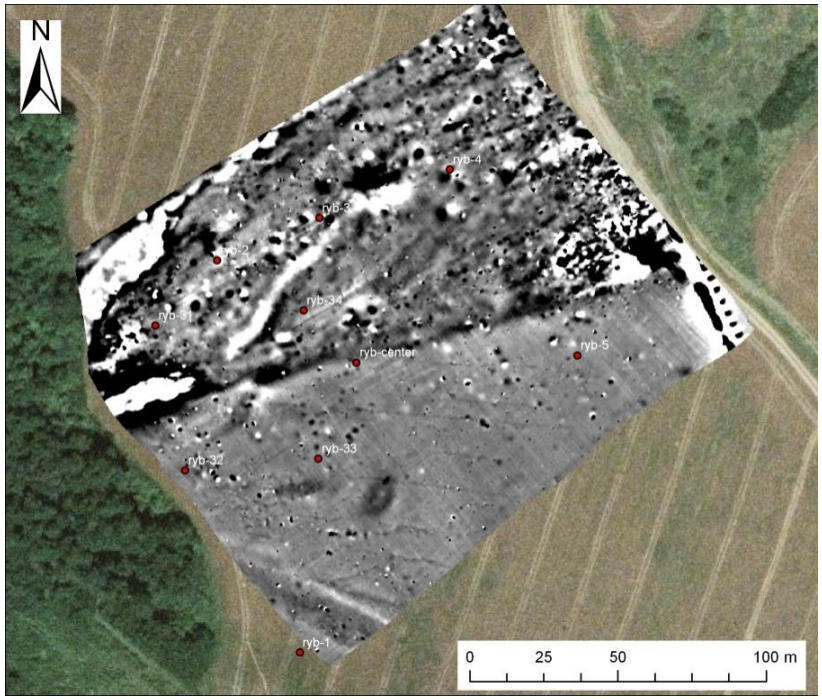
čomu sa vyvarovať:

falošným anomáliám

(vulkanické horniny)



lokalita Rybník
(stredné Slovensko)



problém s vulkanickými horninami (sú často magnetické – hlavne čadiče a andezity),

(Štiavnické vrchy, Kremnické vrchy, Poľana, Javorie, Vtáčnik, Pohronský Inovec, Krupinská planina, Slanské vrchy, Vihorlat)

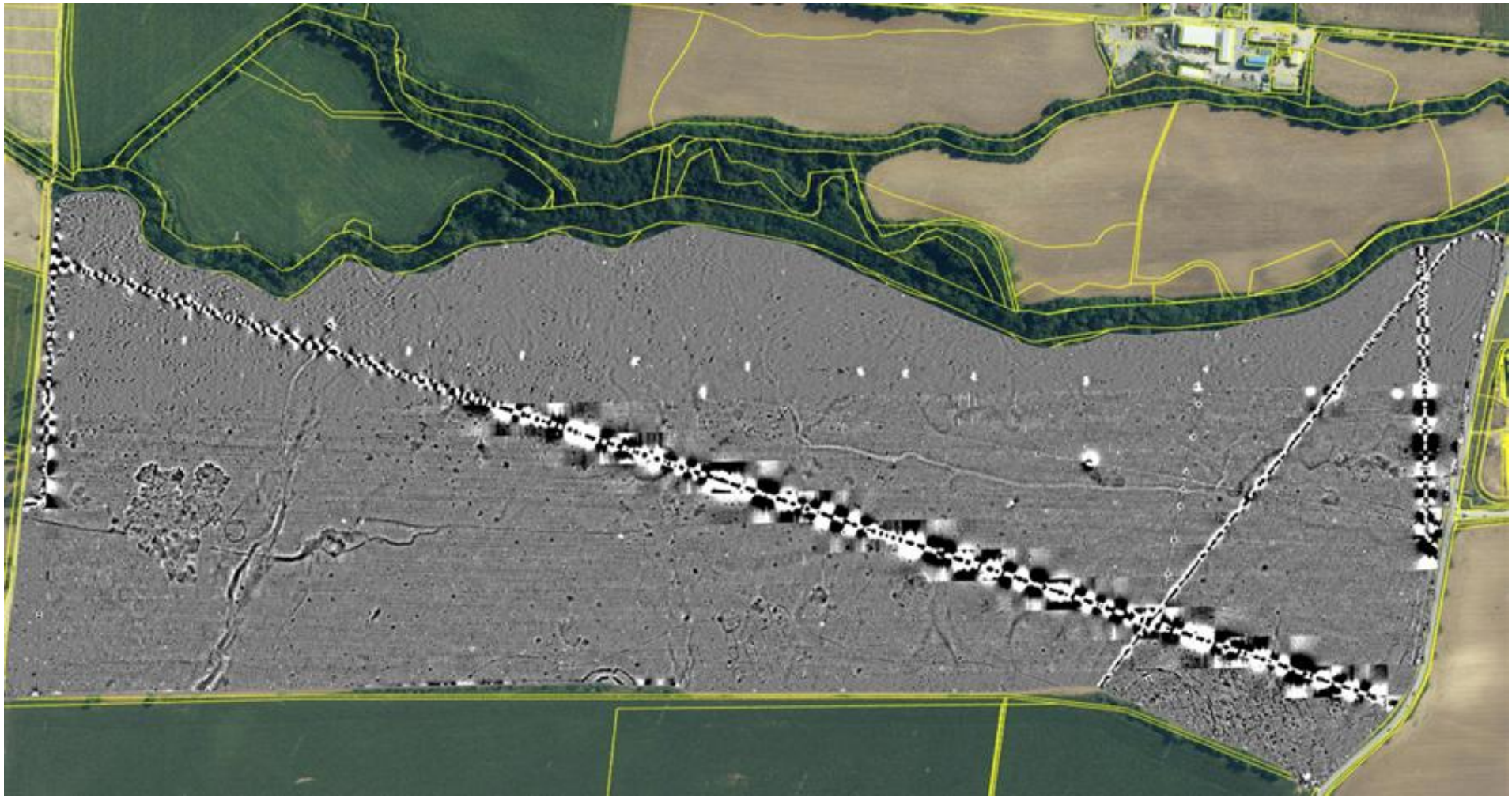
magnetometrický prieskum v rámci projektu „Biokoridor - Parná“

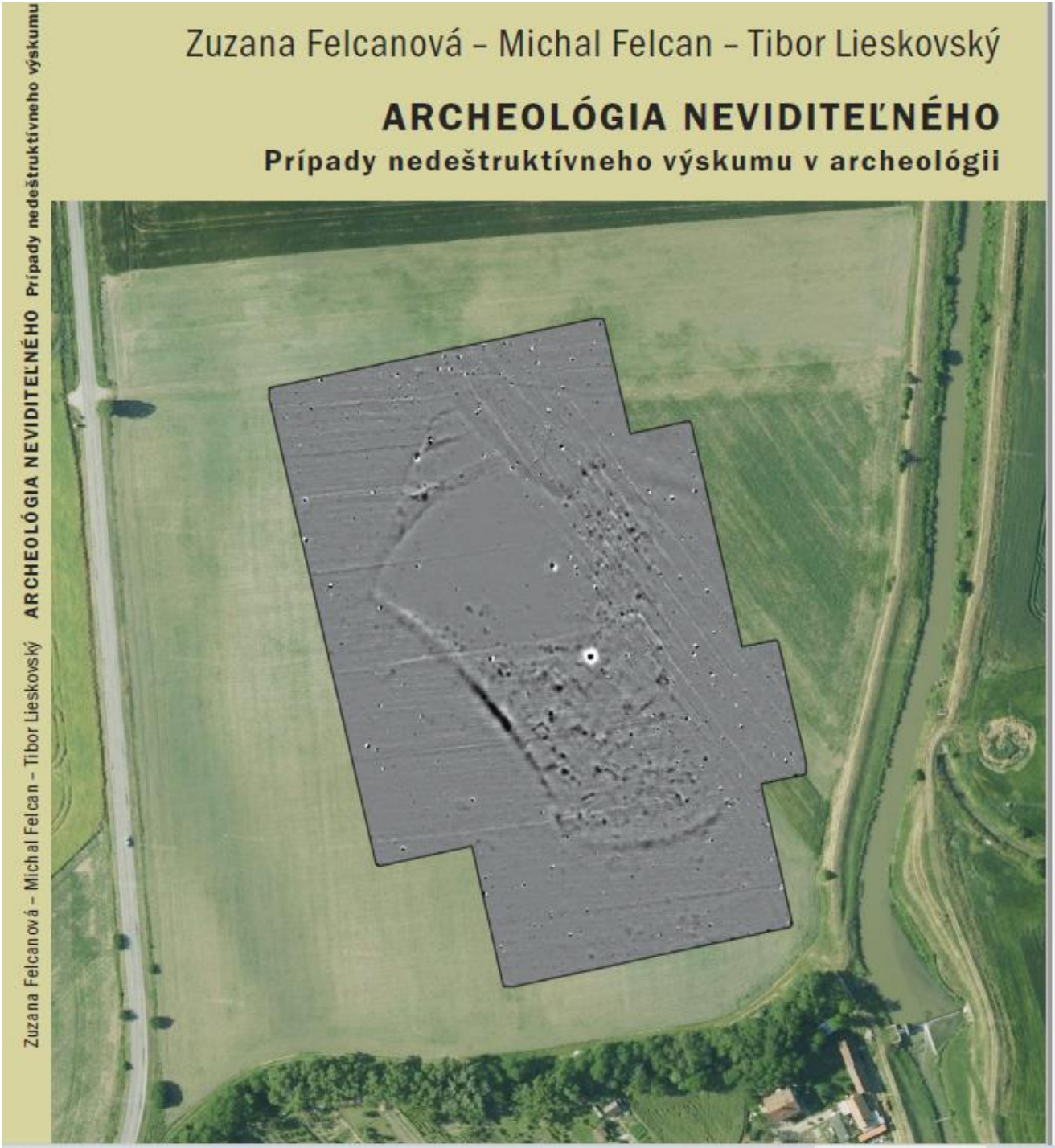
- vyše 100 Ha (doteraz najväčší projekt u nás), realizácia: ArcheoPro sro + G-trend sro

magnetometria – Bartington Grad601 Dual

magnetometria – SENSYS MSXPDA 5 kanálov

magnetometrický prieskum v rámci projektu „Biokoridor - Parná“





Nová kniha od slovenských autorov:

Felcanová a kol.: Archeológia neviditeľného, 2021

Príkladové štúdie (case-studies) z oblasti archeo-geofyziky (magnetometria) ZÁVERY

- vyhľadávanie železných objektov – vhodná je kombinácia s elektromagnetickými detektormi („mínohľadačkami“), nakoľko tieto detekujú všetky kovy

- vyhľadávanie žiarovísk, pecí – zatiaľ u nás nie je mnoho aplikácií

- detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vhodná je kombinácia s leteckým snímkovaním a s geoelektrickými metódami (u nás najmä rondely)

- magnetometrická metóda nie je až taká vhodná na detekciu zakrytých múrov (vhodnejšia je geoelektrická metóda/radar) (vhodná je iba ak sú z magnetických hornín – napr. čadičov)