

Dobšice a Zeměchy – perspektivní sprašové lokality pro paleoenvironmentální výzkum svrchního pleistocénu

Dobšice and Zeměchy – perspective loess sites for paleoenvironmental research of the Upper Pleistocene

JAN HOŠEK^{1, 4} – ULRICH HAMBACH² – LENKA LISÁ³ – PAVEL HAVLÍČEK¹ – ILJA KNĚSL¹

¹ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1;

jan.hosek@geology; pavel.havlicek@geology.cz;

ilja.knesl.@geology.cz

² Katedra geomorfologie, Univerzita Bayreuth, 94450 Bayreuth,

Německo; ulrich.hambach@uni-bayreuth.de

³ Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 02 Praha 6;

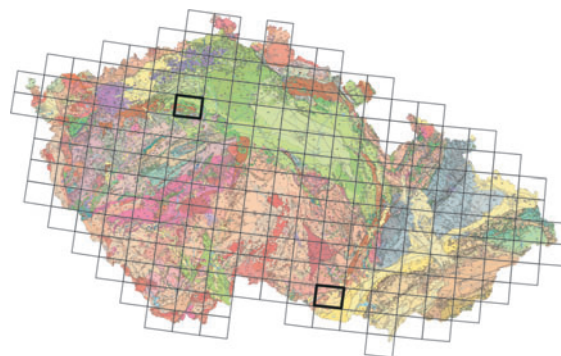
lisa@gli.cas.cz

⁴ Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6,

128 43 Praha 2

Key words: loess/paleosols sequences, Upper Pleistocene, mineral magnetic record, chemical weathering, Czech Republic

Abstract: Sites Dobšice (Southern Moravia) and Zeměchy (Central Bohemia) represent some of the most important currently exposed loess profiles in the Czech Republic, which cover almost the whole Upper Pleistocene. Magnetic properties (concentration and grain size of magnetic minerals) of researched sequences are influenced by intensity of pedogenetic processes. The strongest magnetic signal was measured in interstadial steppe chernozems, whereas the interglacial forest parabraunerde shows weaker signal. Based on correlation of magnetic records with Rb/Sr and



(12-21 Kralupy nad Vltavou, 34-13 Dyjákovice)

Sr/Ca ratios, strong relationship between pedogenesis and intensity of weathering (leaching) was found. Nevertheless, in comparison with magnetic measurements, the highest values of ratios were found in interglacial soils, whereas interstadial soils show weaker weathering (leaching) intensity. Geochemical results also suggest weaker leaching intensity than in Zeměchy, probably due to drier condition in the Southern Moravia in comparison with Central Bohemia. Combination of mineral-magnetic and geochemical analyses therefore provides more complex information about paleoenvironmental changes during the Upper Pleistocene.

V posledních dvaceti letech se klasický výzkum spraší a fosilních půd rozšířil o celou řadu instrumentálních analytických metod. K základním postupům v tomto směru dnes patří nástroje magnetominerální a geochemické analýzy (Liu 2005). Velmi podrobně jsou těmito metodami (s odpovídajícími paleoenvironmentálními interpretacemi) zpracovány nejrozsáhlejší sprašové sledy v čínském platu (zejména série Luochuan, Xifeng, Nanjing; Heller – Liu 1984), částečně také některé lokality v Podunají (Markovič et al. 2008). Na našem území se nachází řada opěrných lokalit, velmi podrobně zpracovaných v dobách klasické fáze sprašového výzkumu (srov. Demek – Kukla 1969). Reprezentativní instrumentální analýzy jsou nicméně do značné míry omezeny na jedinou lokalitu: Dolní Věstonice – bývalá cihelna (viz Oches – Banarjee 1996; Bábek et al. 2011, Antoine et al. 2013).

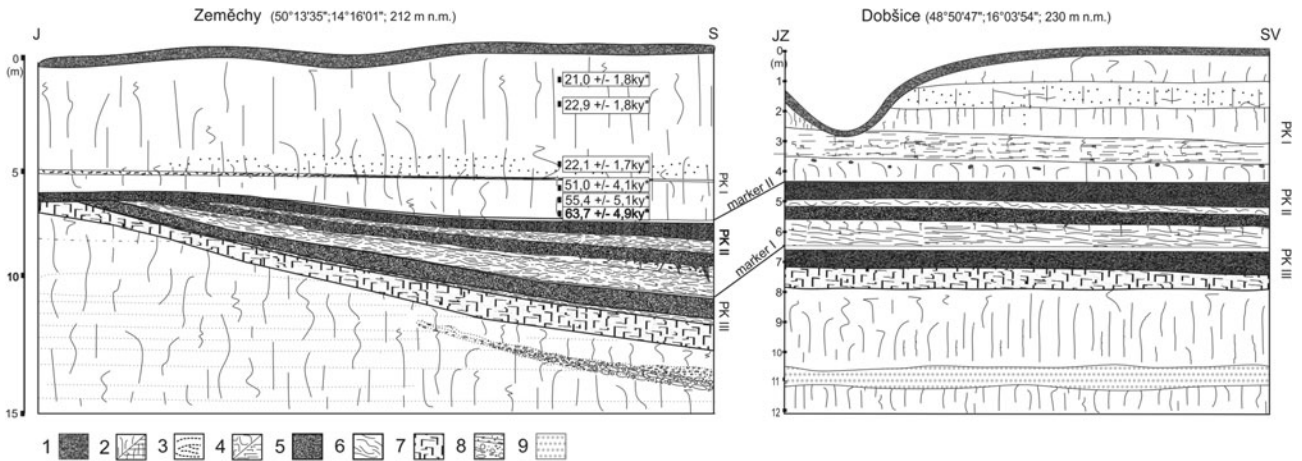
My jsme se v uplynulém roce věnovali profilům, které byly doposud poněkud stranou pozornosti, i když poskytují záznam přinejmenším srovnatelné kvality jako slavný dolnověstonický. Jde o lokality Zeměchy ve středních Čechách a Dobšice na jižní Moravě, z nichž zde uvádíme terénní a předběžné laboratorní výsledky.

Popis lokalit

Schematické znázornění studovaných lokalit Dobšice a Zeměchy je na obr. 1.

Lokalita **Dobšice** u Znojma se nachází v oblasti styku Českého masivu s karpatskou předhlubní, na levém břehu Dyje (800 m sz. od současného toku). Profil je odkryt v areálu bývalých Dřevařských závodů. Celková mocnost sprašového pokryvu, ležícího na hlavní (středněpleistocenní) terase Dyje, je zhruba 16 m. Spodních 8 m, včetně 1 m mocné akumulace větých písků, náleží předposlednímu glaciálu (tj. střední pleistocén, ve starší alpské terminologii riss, v severoevropské saale). Nadložní, až 8 m mocné souvrství spraší, fosilních půd a svahových sedimentů reprezentuje svrchní pleistocén. Ve spraši tohoto stáří jsou přítomny úlomky hornin krystalinika Českého masivu (žuly, kvarcitty, ruly), které byly transportovány saltací z blízkých skalních defilé. Pro odkryv je k dispozici standardní litologická dokumentace a mikromorfologický popis významných horizontů (Havliček – Smolíková 1995).

Profil **Zeměchy** u Kralup se nachází ve sprašové roklí, která vznikla erozí bývalé úvozové cesty. Zmínky o lokalitě



Obr. 1. Schéma zkoumaných lokalit Zeměchy a Dobšice. 1 – holocenní půda, 2 – spraš/písečtá spraš, 3 – (pseudo)glej, 4 – iniciální hnědozem (erodovaná)/pararendzina, 5 – černozem, 6 – koluviální sedimenty, hlínopisky, 7 – parahnědozem (Bth), 8 – deluviofluviální sedimenty, 9 – eolický písek; s hvězdičkou OSL data (tis. let před současností, Zander et al. 2000).

se v literatuře objevují již od počátku 60. let, podrobnější popis nicméně provedli až Tyráček (1995), Cílek (1996), Ložek (2005) a Hošek et al. (2012). Rokle je 150 m dlouhá, 20–35 m široká a až 15 m hluboká. Předkvartérním podložím jsou karbonské arkózy a slepence, částečně překryté fluviálními písčitymi štěrky Knovízského potoka. Na nich během předposledního glaciálu sedimentovala až 13 m mocná sprašová „duna“ (greda). Tato spraš je charakteristická laminární stavbou způsobenou výraznou příměsí písku, který je často koncentrován do 3–5 cm mocných vrstviček. Ve svrchní části sprašové „duny“ se nachází až 1 m mocná poloha deluviofluviálních sedimentů, které se téměř výhradně skládají z valounů karbonských hornin. Předmětem výzkumu byly fosilní půdy, svahové sedimenty a spraše ležící v nadloží popsaného souvrství.

Na obou studovaných lokalitách je zachován pedosedimentární záznam typický pro poslední klimatický cyklus (tj. Marine Isotope Stage – MIS 5 až 2) v suché sprašové oblasti střední Evropy (obr. 1 a 2): poslední interglaciál (R/W, eem, MIS 5e) je reprezentován parahnědozemí (Bt horizont), na které se počátkem posledního glaciálu (würm, viselský glaciál) vyvinula stepní černozem. V Zeměchách jsou tyto půdní horizonty odděleny hlínopisky sensu Kukla et al. (1961). Hlínopisky (v angl. literatuře pellet sands) jsou specifické svahové sedimenty, tvořené hlinitými agregáty velikosti písčitých zrn. Vznikají během plošného splachu a reprezentují tedy spíše vlhčí období s řidším vegetačním pokryvem. Popsané půdy společně s vrstvou hlínopísků tvoří pedokomplex (PK) III (tj. spodní část stillfriedu A). Ten je překryt další sedimentací hlínopísků a sprašových derivátů, na kterých se vyvinul PK II (tj. svrchní část stillfriedu A), tvořený dvěma stepními černozeměmi oddělenými opět hlínopisky. Na povrchu PK III a PK II byly na obou lokalitách nalezeny sprašové markery sensu Kukla (1975), svědčící o prachových bouřích po ukončení pedogenetických procesů. Sedimentace spraše (6 m v Zeměchách; 4,5 m v Dobšicích) probíhala v období pleniglaciálu (MIS 4 a 2). Pedokomplex I (stillfried B) – slabě vyvinutá půda z interstadiálu Denekamp (MIS 3) – je v Dobšicích zastoupen půdou typu pararendzina a nadlož-

ním pseudoglejem v iniciálním vývojovém stadiu. V Zeměchách tomuto období pravděpodobně odpovídá velmi slabě vyvinutá arktická hnědozem, která byla postížena erozí a je zachována jen útržkovitě. Rozsáhlejší erozi a stratigrafickému hiátu v této pozici nasvědčuje také absolutní datování metodou opticky stimulované luminescence (obr. 1), kterou na lokalitě použili Zander et al. (2000).

I přes přítomnost hiátu poskytují lokality velmi ucelený záznam svrchního pleistocénu ve vysokém rozlišení a jsou proto vhodné pro aplikaci metod instrumentální analýzy, které mohou významně upřesnit představy o paleoklimatickém vývoji na našem území.

Metody

Ze začištěných profilů byly odebrány vzorky v intervalu 4–5 cm a podrobeny magnetomineralogické a geochemické analýze. Magnetická měření probíhala v Paleomagnetické laboratoři katedry geomorfologie univerzity v Bayreuthu. Anhysterezní remanentní magnetizace (ARM) a saturační remanentní magnetizace (SIRM) byly měřeny na rotačním magnetometru JR-6A. Vzorky pro ARM byly před měřením magnetizovány stejnosměrným polem 0,05 mT a demagnetizovány střídavým polem 100 mT. Vzorky na SIRM byly vystaveny magnetickému poli 2,5 T. Magnetická susceptibilita (MS), resp. hmotnostně závislá MS (χ), byla měřena na kappamůstku MFK1 při frekvenci 0,976 kHz a 3,904 kHz v laboratoři AGICO Brno, s.r.o. Frekvenčně závislá MS (χ_{fd}) byla vypočítána z rozdílů naměřených při nízké (χ_{lf}) a vysoké (χ_{hf}) frekvenci ($\chi_{fd}\% = (\chi_{lf} - \chi_{hf})/\chi_{lf} \cdot 100$). Magnetické parametry diskutované v tomto článku podávají informace především o obsahu magnetických minerálů v sedimentu a jejich zrnitostní frakci. Provedeny však byly i další analýzy, cílené na získání detailních informací o jednotlivých magnetických minerálech ve vzorcích (teplotně závislá MS, hysterezní parametry, separace magnetických minerálů a další).

Koncentrace vybraných prvků byla měřena XRF spektrometrem Alpha 4000 v laboratoři České geologické služby.

Z celkového počtu 24 měřených prvků jsou zde prezentovány a diskutovány pouze Rb, Sr a Ca.

Výsledky a diskuse

Výsledky analýz jsou shrnuty na obr. 2. Variace magnetické susceptibility sprašových sérií jsou tradičně (srov. Heller et al. 1993) interpretovány jako odraz *in situ* pedogeneze: během humidnějších období je zvýšený počet a aktivita půdních bakterií, jejichž metabolická činnost se podílí na přestavbě krystalických struktur magnetických minerálů a vzniku extrémně jemnozrnných (< 0,02 μm) minerálních částic magnetitu (v menší míře také maghemitu). Tato zrnitostní frakce má – ve srovnání s řádově většími magnetickými zrny charakteristickými pro eolický transport – několikanásobně vyšší magnetický signál. Pedogenní magnetit vzniká také v redukčních podmínkách rozkladem organické hmoty, maghemit dehydratací ferohydrátů. Parametry χ_{fd} a ARM jsou zvláště citlivé na přítomnost ultrajemných zrn, zatímco χ a SIRM nás informují o celkovém magnetickém signálu, tedy o koncentraci jemně i hruběji zrnitých frakcí magnetitu (maghemitu). Na obou lokalitách byly nejvyšší hodnoty všech parametrů naměřeny v černozemích a nejsvrchnější části Bt horizontu parahnědozemí. Střední hodnoty jsou typické pro hlínopísky, v jejichž materiálu je mimo spraš přítomen také půdní sediment. Nejnižší hodnoty byly naměřeny ve spraších a spodní části Bt horizontu parahnědozemí.

Výsledky magnetických měření rozdělují profily vizuálně na dvě části: úsek zahrnující spodní část posledního glaciálu (MIS 5) je typický vysokými hodnotami v souvislosti s teplými (a vlhčími) výkyvy interstadiálních fází. S nástupem pleniglaciální fáze dochází k postupnému poklesu aktivit pedogenních bakterií a tvorbě pedogenního magnetitu/maghemitu, v přímé návaznosti na ochlazování a vysušování klimatu. To je dobře patrné na kontinuálním poklesu magnetických hodnot. V Dobšicích je tento trend přerušen zvyšováním hodnot v horizontu korespondujícím s interstadiální půdou (pararendzina) PK I. Slabě vyvinutá, erozí postižená půda v Zeměchách se na měření neprojevila.

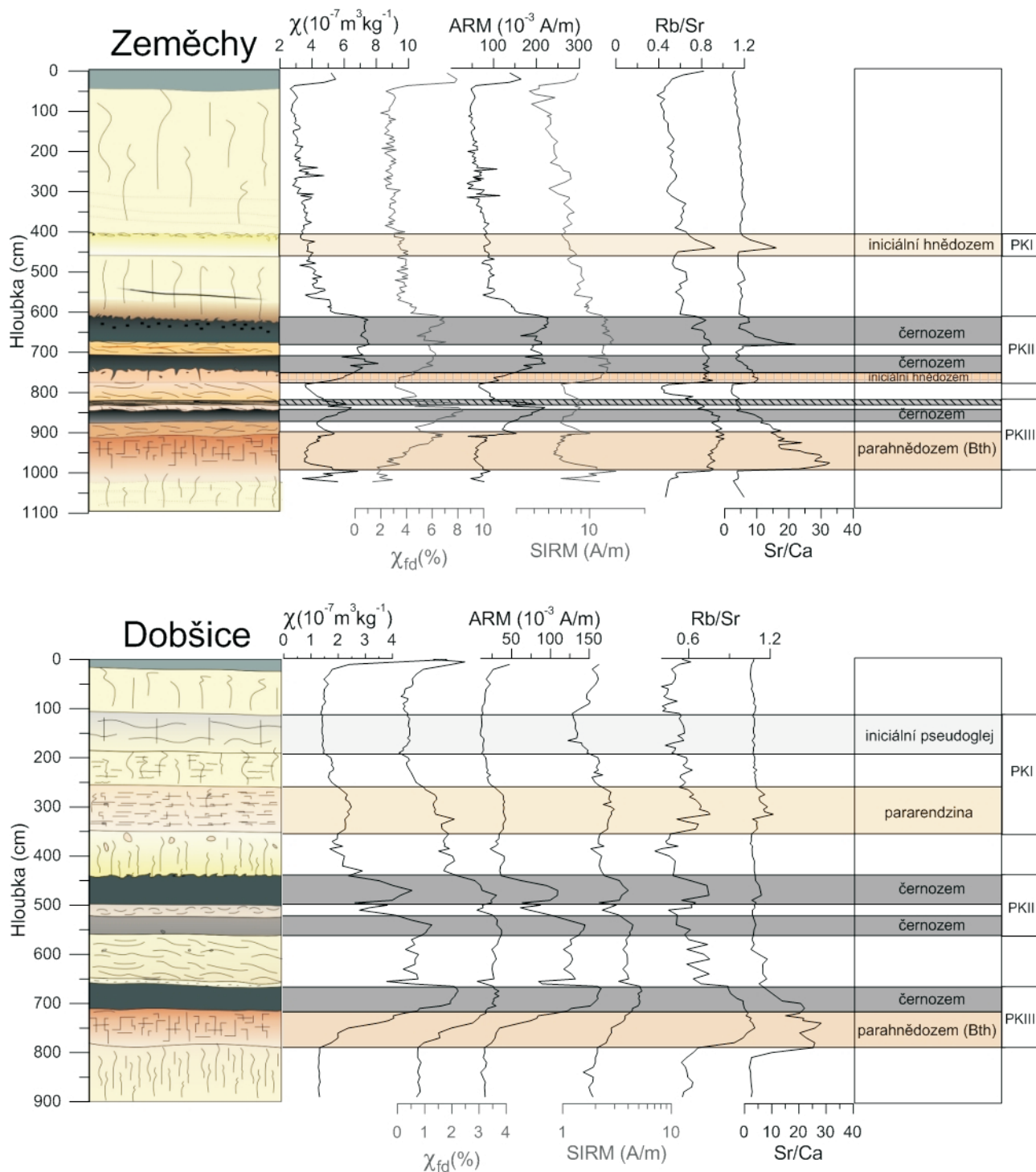
Toto velice generální shrnutí je v dobré shodě s paleopedologickou a paleoekologickou evidencí svrchního pleistocénu na našem území, resp. s oscilací křivky izotopů kyslíku v mořském sedimentu (MIS 5–2). Za povšimnutí ovšem stojí, že interglaciální půda, reprezentant prokazatelně teplejšího a vlhčího období než spodní úsek posledního glaciálu, má magnetický signál viditelně nižší než nadložní černozemě. Tento stav lze vysvětlit chybějícím A horizontem, který je obecně v půdách typu parahnědozem bohatší na feromagnetické minerály ve srovnání s Bt horizontem (Jordanova et al. 2010). Teplotně závislá MS a rtg.-difrakce prokázala nižší koncentrace magnetitu/maghemitu a zvýšenou přítomnost antiferomagnetických minerálů – goethitu a hematitu (tyto magnetické minerály mají o několik řádů nižší magnetický signál než magnetit a maghemit). Dalším důvodem může být postdiagenetické vyplavování ultrajemných částic magnetitu v humidních interglaciálních podmínkách (viz dále). Nezanedbatelný

bude také patrně efekt rozpouštění magnetitu v mírně kyselých podmínkách lesní půdy. Stejně výsledky jsme získali také analýzou fosilních půd posledního interglaciálu na jihomoravských lokalitách Pouzdřany a Bulhary i interglaciálních půd starších cyklů v horním Rakousku (Krems, Stranzendorf). Takováto situace se však liší od poměrů v čínském sprašovém platu i Panonské pánvi, kde nárůst MS prokazatelně souvisí se zvýšením teplot (a srážkových úhrnů) v průběhu celého pleistocénu (viz Heller et al. 1993; Markovič et al. 2008). Nehomogenita magnetických vlastností v pedosedimetárním záznamu působí potíže při korelaci klasické sprašové oblasti střední Evropy s těmito regiony. Částečné řešení tohoto problému nabízí geochemická analýza.

Během postdiagenetického chemického zvětrávání spraší dochází k migraci lépe rozpustných prvků, zatímco postižený horizont je relativně obohacen o prvky imobilní. Toto sylogismu využívají paleoklimatické rekonstrukce, kdy jsou příslušné komponenty dávány do vzájemného poměru. My zde diskutujeme o poměru rubidia a stroncia, resp. stroncia a vápníku. Rubidium je disperzní prvek, který není vázán na žádný konkrétní minerál. Hojně je však přítomen v minerálech bohatých na draslík, tj. slídkách, K-živcích a jílových minerálech. Během chemického zvětrávání a pedogeneze dochází především k dekalifikaci a mechanické migraci jemnozrnných částic. Chemická alterace však nepostihuje silikátové (jílové) minerály. Ty se tak relativně koncentrují v nejzvětralejších částech horizontu. Stroncium je prvek vyskytující se v minerálech bohatých na sodík a vápník, tj. např. kalcit, plagioklasy, amfibolit. Karbonáty, resp. Na- a Ca-aluminosilikáty jsou ve srovnání s K-minerály mnohem citlivější na zvětrávání a během humidnějších podmínek dochází k jejich rozpouštění, a tedy i relativnímu ochuzení profilu o Sr. Poměr Rb/Sr tak ve sprašových profilech velice citlivě reaguje na klimatem řízené diagenetické procesy. Tento princip byl ověřen na kompletních sériích čínského sprašového platu (Chen et al. 1999) a později také na středně a svrchně pleistocenních profilech v Podunají (Bugge et al. 2009).

Ze srovnání magnetického záznamu s poměrem Rb/Sr je patrná přímá vazba pedogenních procesů a intenzity chemického zvětrávání. Interglaciální lesní parahnědozemě ukazují vyšší hodnoty než interstadiální stepní černozemě, během pleniglaciálu na obou lokalitách intenzita zvětrávání plynule klesá, vyjma interstadiální fáze MIS 3 (PK I). Získané výsledky naznačují, že poměr Rb/Sr odráží reálné klimatické výkyvy během svrchního pleistocénu lépe než magnetická měření a je proto možné považovat jej za spolehlivější proxy datum. Tato zjištění by mohla pomoci při korelaci svrchního pleistocénu i starších klimatických cyklů klasické sprašové oblasti střední Evropy s dalšími regiony.

Poměr Sr/Ca nás informuje o rozpouštění a opětovném vysrážení sekundárních karbonátů. Vápník je ve srovnání se Sr vázán na jílové minerály slabší vazbou, a proto je při vyluhování z horizontu vyplavován přednostně. Hodnoty poměru Sr/Ca lze tedy využít jako proxy data množství prosakující vody z povrchu, resp. srážkových úhrnů (Bokhorst et al. 2009).



Obr. 2. Výsledky magnetomineralogické a geochemické analýzy.

Při pohledu na křivky Sr/Ca je zjevné, že nejintenzivnější proces vyluhování probíhal na obou sledovaných lokalitách v interglaciální parahnědozemi, především ve spodní části horizontu. To může být důvodem zmíněného ochuzení horizontů o jemnozrný magnetit. Nasvědčuje tomu poměrně silná negativní korelace poměru Sr/Ca s ARM ve všech půdních horizontech ($r^2 = 0,69$ v Zeměchách a $0,57$ v Dobšicích).

Zatímco na lokalitě Zeměchy je rozpuštění karbonátů v omezené míře charakteristické také pro všechny interstadiální půdy (resp. spodní části horizontů), v Dobšicích je v PK II intenzita vyluhování velmi slabá. Zjištěné rozdíly mohou být způsobeny celkově suššími podmínkami během posledního glaciálu v oblasti jižní Moravy ve srovnání se středními Čechami. Těto možnosti nasvědčují rovněž výsledky mikromorfologického výzkumu (Havlíček – Smolík).

ková 1995), z nichž jsou patrně výrazně slabé hydromorfní znaky příslušných půdních horizontů. Popsaný stav by tedy mohl souviset s reálnými paleoklimatickými odlišnostmi obou sérií, podmíněnými rozdílnou geografickou pozicí lokalit. V této souvislosti je třeba zdůraznit, že lokalita Dobšice je fakticky situována na okraji vlastní Panonské pánve, kde se kontinentalizace klimatu uplatňovala bezpochyby výrazněji než v západněji situovaných regionech. Výsledky tak ukazují nezanedbatelný efekt faciality paleoenvironmentálních procesů i v rámci glaciálních fází nejmladšího kvartéru střední Evropy a naznačují, že geografická proměnlivost těchto procesů je tématem, které zasluhuje zvýšené pozornosti i v další etapě výzkumu.

Poděkování. Hlavní autor děkuje vedení České geologické služby za možnost absolvovat čtyřměsíční pracovní stáž v Paleomagnetické laboratoři Univerzity Bayreuth. Velké díky patří také Martinu Chadimovi (AGICO Brno, s.r.o.) za poskytnutí laboratorního zázemí.

Literatura

- ANTOINE, P. – ROSSEAU, D. D. – DEGEAI, J. P. – MOINE, O. – LAGROIX, F. – KREUTZER, S. – FUCHS, M. – HATTÉ, Ch. – GAUTHIER, C. – SVOBODA, J. – LISÁ, L. (2013): High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the last interglacial-glacial cycle in Central Europe: the loess-palaeosol sequence of Dolní Věstonice (Czech Republic). – *Quat. Sci. Rev.*
- BÁBEK, O. – CHLACHULA, J. – GRYGAR, T. (2011): Non-magnetic indicators of pedogenesis related to loess magnetic enhancement and depletion: Examples from the Czech Republic and southern Siberia. – *Quat. Sci. Rev.* 30, 967–979.
- BOKHORST, M. – BEETS, C. J. – MARKOVIČ, S. B. – GERASIMENKO, N. P. – MATVIISHINA, Z. N. – FRECHEN, M. (2009): Pedochemical climate proxies in Late Pleistocene Serbian-Ukrainian loess sequences. – *Quat. Int.* 198, 113–123.
- BUGGLE, B. – GLASERA, B. – HAMBACH, U. – MARKOVIČ, S. (2009): An evaluation of geochemical weathering indices in loess-paleosol studies. – *Quat. Int.* 29, 1–10.
- CÍLEK, V. (1996): Sprašová rokle v Zeměchách u Kralup nad Vltavou. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 1995*, 31–33.
- DEMEK, J. – KUKLA, J. (1969): Periglaciazone, Loss, und Palioolithikum der Tschechoslowakei. – 158 str. Čs. akad. věd, Geogr. instit., Brno.
- HAVLÍČEK, P. – SMOLÍKOVÁ, L. (1995): Vývoj svrchnopleistocenních eolických sedimentů ve Znojmě-Dřevařských závodech. – *Věst. Čes. geol. Úst.* 70/1, 67–74.
- HELLER, F. – LIU, T.S. (1984): Magnetism of Chinese loess deposits. – *Geophys. J. Roy. astron. Soc.* 77, 125 str.
- HELLER, F. – SHEN, C. D. – BEER, J. – LIU, X. M. – LIU, T. S. – BRONGER, A. – SUTER, M. – BONANI, G. (1993): Quantitative estimates of pedogenic ferromagnetic mineral formation in Chinese loess and paleoclimatic implications. – *Earth planet. Sci. Lett.* 114, 385–390.
- HOŠEK, J. – LISÁ, L. – MESZNER, S. – KNÉSL, I. (2012): Upper Pleistocene loess/paleosols sequence from Central Bohemia. In: ZÖLLER, L. – PETEREK, A., ed.: From Paleozoic to Quaternary: A field trip from the Franconian Alb to Bohemia. – DEUQUA, Hannover 119–124.
- CHEN, J. – ZHISHENG, A. – HEAD, J. (1999): Variation of Rb/Sr Ratios in the Loess-Paleosol Sequences of Central China during the Last 130,000 Years and Their Implications for Monsoon Paleoclimatology. – *Quat. Res.* 51/3, 215–219.
- JORDANOVA, D. – JORDANOVA, N. – PETROV, P. – TSACHEVA, TS. (2010): Soil development of three Chernozem-like profiles from North Bulgaria revealed by magnetic studies. – *Catena* 83, 158–169.
- KUKLA, G. (1975): Loess stratigraphy of central Europe. In: BUTZER, K. W. et al: After the Australopithecines. – Mouton, the Hague, 99–188.
- KUKLA, J. – LOŽEK, V. – ZÁRUBA, Q. (1961): Zur stratigraphie der Lösses in der Tschechoslowakei. – *Quartär* 13, 1–29.
- LIU, Q. S. – TORRENT, J. – MAHER, B. A. – YU, Y. J. – DENG, C. L. – ZHU, R. X. – ZHAO, X. X. (2005): Quantifying grain size distribution of pedogenic magnetic particles in Chinese loess and its significance for pedogenesis. – *J. geophys. Res., Solid Earth*, 110 str.
- LOŽEK, V. (1995): Sprašová rokle u Zeměch. – *Nika Praha*. 15/1, 30–31.
- MARKOVIČ, S. B. – BOKHORST, M. P. – VANDENBERGHE, J. – MCCOY, W. D. – OCHES, E. A. – HAMBACH, U. (2008): Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in the Vojvodina region, north Serbia. – *J. Quat. Sci.*, 23, 73–84.
- OCHES, E. A. – BANERJEE, K. (1996): Rock-magnetic proxies of climate change from loess-paleosol sediments of the Czech Republic. – *Stud. geophys. geod.* 40/3, 287–300.
- TYRÁČEK, J. (1995): Zeměchy – loess gorge: In: SCHIRMER, W., ed.: Quaternary field trips in Central Europe, Eastern Alps Traverse. – INQUA, Berlin, 84–86.
- ZANDER, A. – DULLER, G. A. T. – WINTLE, A. G. (2000): Multiple and single aliquot luminescence dating techniques applied to quartz extracted from Middle and Upper Weichselian loess, Zemechy, Czech Republic. – *J. Quat. Sci.* 15, 51–60.