

Půdní vývoj v nivě řeky Dyje v předpolí hradby hradiska Pohansko u Břeclavi

Soil development on the floodplain of the river Thaya in the foreland of the Pohansko stronghold near Břeclav

Katarína Adameková¹ ✉, Jan Petřík¹, Pavel Dlapa², Michaela Prišťáková³, Slavomír Nehyba¹, Petr Dresler³, Andrej Hrabovský²

¹ Ústav geologických věd, PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika

² Katedra pedologie, PrF UK, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovenská republika

³ Ústav archeologie a muzeologie, FF MU, Arne Nováka 1, 602 00 Brno, Česká republika

Key words:

Holocene dynamics, floodplain, palaeosols, fluvial sediments, soil formation processes

✉ katu.adamekova@mail.muni.cz

Editorka:

Pavla Tomanová Petrová

Abstract

This work provides comprehensive information on soil development on the floodplain of the river Thaya in the area of the foreland of the Early Mediaeval agglomeration of Pohansko near Břeclav. We evaluated the basic properties of late Holocene soils and their genesis, assessed the influence of humans and identified particular soil-forming processes based on a combination of selected physical (grain-size distribution, magnetic susceptibility), chemical (Fe, Mn, P, Ca, soil pH) and biochemical analyses (total organic carbon and soil organic matter) as well as micromorphological observations. Our research revealed three autochthonous soils: two buried soils and one recent soil. All the soils were identified as Gleyic Fluvisols developed from overbank deposits and affected by intensive oxidation-reduction processes. The A horizons of the soils evolved by the formation and accumulation of humus. The upper buried Fluvisol certainly evolved during the 9th and 10th centuries (presence of Great Moravian sherds). However, its pedogenesis possibly started much earlier and ended later. Despite the presence of macroscopic evidence of human activities in this soil, there is no evidence of any anthropic influence on soil formation processes. The basal buried Fluvisol developed even before the Great Moravian settlement. Nevertheless, due to a lack of dating, the exact age of this soil cannot be determined at this stage of our study. Future research focused on dating will advance our understanding of the Holocene dynamic and development of the palaeoenvironment.

Doporučená citace článku:

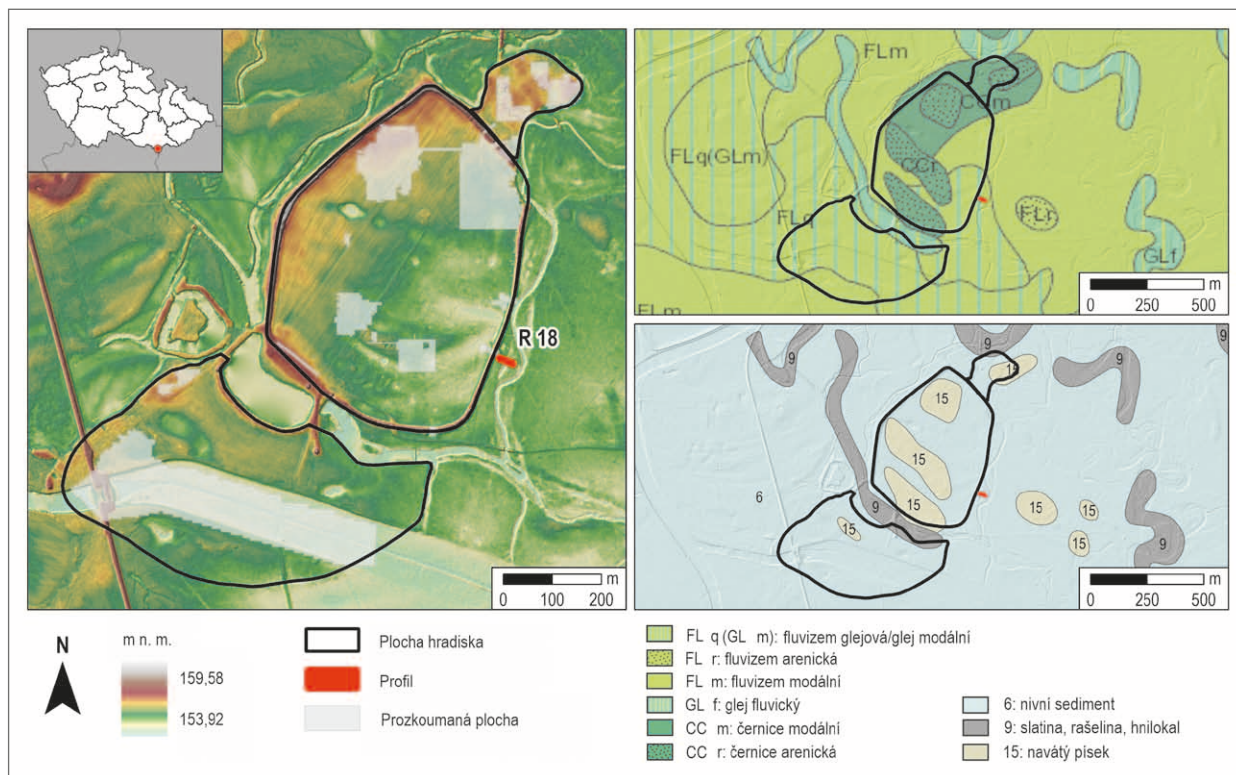
Adameková, K., Petřík, J., Dlapa, P., Prišťáková, M., Nehyba, S., Dresler, P., Hrabovský, A. (2022). Půdní vývoj v nivě řeky Dyje v předpolí hradby hradiska Pohansko u Břeclavi. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Šlezsku*, 29, 1–2, 78–85.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2022-33071>

Úvod

Informace o holocenních geosystémech v lokálním měřítku lze získat studiem pedosedimentárních archivů v nivách. Nivy meandrujících nebo anastomozujících řek jsou tvořeny převážně fluviálními a koluviálními sedimenty, na jejichž povrchu docházelo v obdobích klimaticky relativně stabilních, tj. s nižší nebo žádnou povodňovou aktivitou, k vývoji půd (Retallack 1986; Krause 1987). Pokud došlo k jejich překrytí následující povodňovou aktivitou nebo svahovými pochody, tak zůstaly tyto půdy zakonzervované ve formě tzv. paleopůd anebo pohřbených půd (Yaalon 1971; Catt 1998; Smolíková 1982; Němeček et al. 1990).

Vývoj paleopůd v nivě je spojován s teplými a suchými obdobími, zatímco stádia akumulace sedimentů a eroze spadají do teplých a vlhkých nebo studených a vlhkých fází (např. Sycheva et al. 2003). Sledování klimatických cyklů na základě studia a korelace paleopůd je komplikované z důvodu variability faktorů půdotvorného procesu, včetně ovlivnění člověkem, které v holocénu postupně narůstá (Kalicki et al. 2008; Kadlec et al. 2009). Stratigrafie holocenních sedimentárních profilů se proto může značně lišit i v rámci malé údolní



Obr. 1: Mapa reliéfu velkomoravského centra Pohansko u Břeclavi s polohou řezu R 18 v prostoru v. předpolí, výřez půdní (dostupné na: <https://mapy.geology.cz/pudy/>) a geologické mapy 1: 50 000 (dostupné na: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>) zájmové oblasti. Fig. 1: Map of the relief of the Great Moravian centre of Pohansko near Břeclav, indicating the position of section R 18 in the area of the eastern foreland, soil (available: <https://mapy.geology.cz/pudy/>) and geological map (1: 50 000, available: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>) of the area of interest.

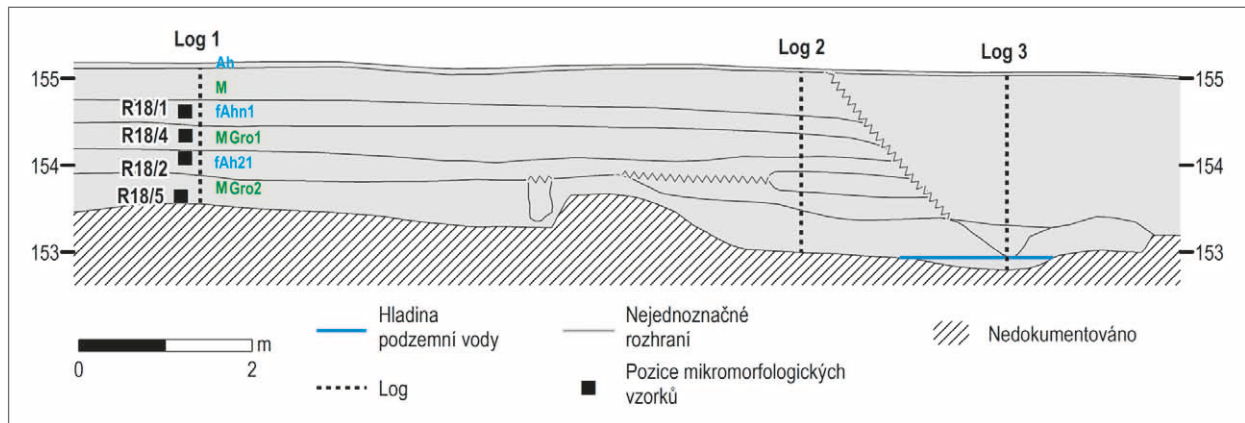
nivy (např. Petřík et al. 2015). Rozklíčování paleopedologického záznamu nám může umožnit rekonstrukce lokálních či regionálních klimatických změn v minulosti (Retallack 1983). Kromě toho může analýza paleopůd poskytnout pohled na to, jak se krajina vyvíjela v průběhu času (Krause, Aslan 1999) a jak byl tento vývoj ovlivněn činností člověka (Brown 1997).

Paleopedologickým výzkumem na archeologické lokalitě Pohansko u Břeclavi a v jejím bezprostředním okolí bylo v minulosti zachyceno několik pohřbených (subfosilních) půd. Nejstarší pohřbené půdy byly zachyceny v písčitéch vyvýšeninách (tzv. hrudách). Přímo na lokalitě byla v písčích na sv. předhradí odkryta slabě vyvinutá půda interpretovaná jako paračernozem (arenická černozem) v iniciálním stádiu (Macháček et al. 2007). Na Barvínkově hrudu, který je vzdálen 2,75 km jv. od archeologické lokality, byla v písčích odkryta pohřbená půda interpretovaná jako tzv. subfosilní polygenetická pseudočernozem (Adamková, Havlíček 2002; Havlíček, Smolíková 2002). V prostoru v. předpolí hradiska (obr. 1) byly při výzkumu konstrukce valu (řez R 18) v letech 2005–2006 zachyceny dvě pohřbené semiterestrické glejové půdy v povodňových sedimentech (Macháček et al. 2007). Kromě mikromorfologického zhodnocení mladší pohřbené půdy časově ztotožněné s velkomoravským osídlením hradiska (9.–10. století) nebyly půdy a sedimenty v tomto řezu studovány detailně.

Tento příspěvek navazuje na výzkum řezu R 18 (Macháček et al. 2007). Cílem tohoto výzkumu je za pomoci vybraných metod vyhodnotit základní vlastnosti pozdně holocenních půd a jejich geneze, včetně posouzení vlivu člověka na jejich vývoj v prostoru v. předpolí velkomoravského hradiska Pohansko u Břeclavi. Dílčí půdní procesy budou identifikovány pomocí půdní mikromorfologie. Studium je také doplněno o podrobné geochemické a fyzikální analýzy půd a sedimentů.

Popis lokality

Archeologická lokalita Pohansko se nachází přibližně 2 km jv. směrem od města Břeclav nedaleko hranic se Slovenskem a Rakouskem (obr. 1). V raném středověku představovala významné velkomoravské centrum, které se rozprostíralo na území cca 50–60 ha (Macháček 2005). Pohansko se nachází v údolní nivě řeky Dyje cca 12 km s. od soutoku s řekou Moravou. Nadmořská výška se zde pohybuje od 155 do 157 m (Macháček, Goláň 2004). Z geomorfologického hlediska je Pohansko součástí podcelku Dyjsko-moravská niva, který patří do Dolnomoravského úvalu (Demek, Balatka 1987). Z geologického hlediska je sedimentární výplň studované oblasti tvořena neogenními uloženinami vídeňské pánve a rozsáhlým kvartérním pokryvem (Havlíček 2001, 2004; Havlíček et al. 2016). Ve studované oblasti jsou dnes rozšířeny převážně jílovitohlinité půdy. Nejrozšířenější půdní typy jsou fluvizemě, černice, černozemě a gleje. Lokálně se také



Obr. 2: Schematické znázornění řezu R 18 s vyznačenými polohami třech logů (v práci popisovány předběžné výsledky hlavního Logu 1), rozhraními horizontů/vrstev a pozicemi mikromorfologických vzorků.

Fig. 2: Schematic drawing of section R 18 with marked positions of three logs (preliminary results of the main Log 1 are presented), the interface between the horizons/layers and the position of micromorphological samples.

objevují regozem a kambizemě, které jsou vázány na výskyt písčitých vyvýšenin (<https://mapy.geology.cz/pudy/>).

Materiál a metodika

Řez s označením R 18 byl znovu vyhlouben na v. předpolí hradiska Pohansko u Břeclavi ve vnějším prostoru jejího fortifikačního systému (obr. 1). Řez byl popsán a ověřován ve třech dokumentačních bodech (Log 1 až Log 3), ze kterých jsou v této práci popsány předběžné výsledky hlavního Logu 1 (obr. 2). Z Logu 1 bylo odebráno sedmáct vzorků v pravidelných 10 cm intervalech.

Zrnitost byla analyzována na granulometru Better-size S3 Plus, který kombinuje laserové a optické metody. Vzorky byly dispergovány hexametrafosforečnanem sodným. Organická složka byla odstraněna oxidací peroxidem vodíku. Získaná data byla rozdělena do zrnitostních tříd: jíl (do 0,002 mm), prach (0,002–0,500 mm) a písek (0,5–2,0 mm) a zpracována v programu R do klasifikačního systému USDA (Moeys 2018).

Hmotnostně specifická magnetická susceptibilita (χ) byla měřena na přístroji Kappabridge MFK1-FA od firmy Agico a byla vyjádřena v jednotkách m^3/kg . Měření proběhlo na dvou frekvencích: nízké ($\chi_{f1} = 967 \text{ Hz}$) a vysoké ($\chi_{f3} = 15\,616 \text{ Hz}$) při amplitudě střídavého pole 200 A/m. Tyto frekvence byly použity pro výpočet frekvenčně závislé magnetické susceptibility (χ_{fd}). Ta byla vypočtena na základě rovnice: $\chi_{fd} = (\chi_{f1} - \chi_{f2}) / (\chi_{f1}) \times 100$ (Dearing et al. 1996) a byla vyjádřena v procentech (%).

Vzorky odebrané pro chemickou analýzu byly vysušeny a následně rozemlety na prášek v achátovém planetárním mlýnu RETSCH PM 100. Navážka 0,8 g byla slisována do kyvet s prolenovou fólií. Takto připravené vzorky byly analyzovány prostřednictvím energiově disperzního fluorescenčního spektrometru (ED-XRF) Rigaku NexCG.

Koncentrace fosforu byla stanovena fotospektrometricky. Vzorky (2 g) se s 10 ml kyseliny dusičné (HNO_3) přivedli k varu v 200 ml baňce. Objem byl po převaření doplněn destilovanou vodou až po rysku a roztok byl filtrován. Potom se z něj odebralo do kádinky 50 ml

a nechala se odpařit do sucha. Do kádinky bylo přidáno 5 ml koncentrované HNO_3 . Takto připravený roztok byl zabarven do žluta přidáním směsi molybdenanu amonného a vanadičnanu amonného. Intenzita žlutého zabarvení byla měřena fotometrem při vlnové délce 410 nm.

Aktivní půdní reakce byla stanovena ve vodní suspenzi s destilovanou vodou při poměru půda : voda 1 : 10. K měření půdní reakce (pH) byl použit přístroj Metrohm 914 pH/Conductometer s kombinovanou skleněnou elektrodou. Obsah organického uhlíku (Corg) byl stanoven Walkley-Blackovou metodou (FAO 2020), při které byl organický uhlík oxidován dvojchromanem draselným v prostředí kyseliny sírové.

Celkový obsah organické hmoty (humusu, SOM) v půdě byl vypočten vynásobením hodnoty Corg konstantou 1,724 (Welteho koeficient). Corg, SOM a pH byly popsány a vyhodnoceny podle Čurlíka a Šuriny (1998).

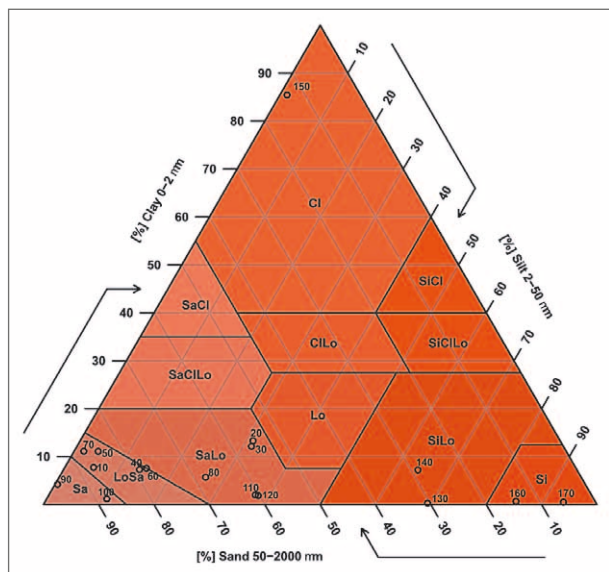
Barva půdních horizontů byla stanovena v terénu (za vlhka) podle Munsellova systému (Munsell Color 2009). V laboratorních podmínkách byla sledována přítomnost skvrn.

Čtyři půdní výbrusy byly studovány pod polarizací mikroskopem OLYMPUS CX41 při zvětšení $4\times-40\times$ a naskenovány skenerem EPSON při rozlišení 3 200 dpi. Při popisování vzorků se postupovalo podle standardní metodické příručky (Bullock et al. 1985; Stoops 2003).

Výsledky

Makroskopický popis půdního profilu

Ve studovaném řezu R 18 (obr. 2) bylo vyčleněno 6 půdních horizontů. Na bázi byl v hloubce 170–140 cm vyčleněn MGro2 horizont olivově hnědé až tmavě šedo-hnědé (2,5YR 4/3 až 4/2) barvy. Nad ním byl v hloubce 140–115 cm identifikován velmi tmavě šedý až velmi tmavě šedohnědý (10YR 3/1 až 3/2) fAhn2 horizont. Dále byl v hloubce 115–85 cm vyčleněn MGro1 horizont, který měl tmavě šedohnědou (2,5YR 4/2) barvu. Následující fAhn1 horizont tmavě šedé až velmi tmavě šedé (10YR 4/1 až 3/1) barvy se nacházel v hloubce 85–55 cm. M horizont tmavě až velmi tmavě šedohnědé (10YR 4/2 až 3/2) barvy byl identifikován v hloubce 55–30 cm. Povrchový Ah horizont



Obr. 3: Vyhodnocení zrnitostních kategorií podle USDA klasifikace (Moeys 2018).

Fig. 3: Evaluation of grain-size distribution based on the USDA classification (Moeys 2018).

sahal do hloubky 30 cm a byl velmi tmavě šedohnědý (10YR 3/2). Skvrnitost se objevovala od báze až po 60 cm (MGro2, MGro1 a fAhn1 horizont), s výjimkou fAhn2 horizontu.

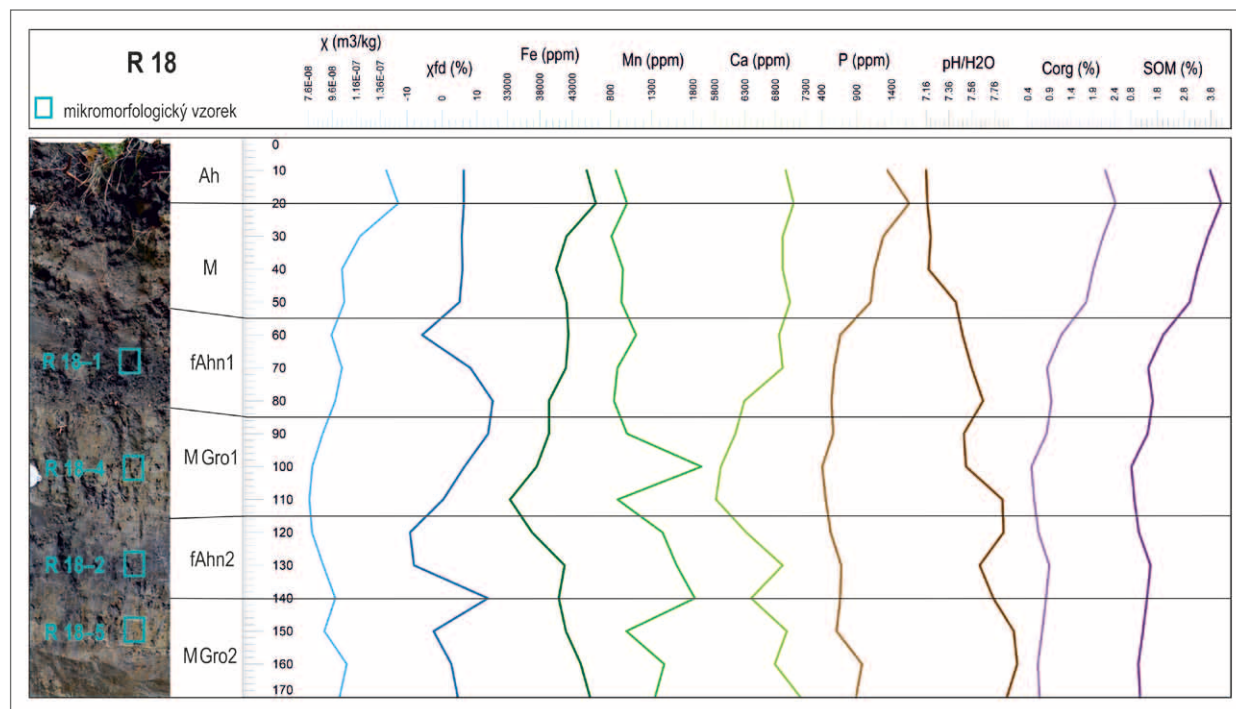
Fyzikální a chemické vlastnosti půd

V zrnitostní distribuci je viditelných několik trendů. MGro2 horizont je tvořený prachem až prachovitou hlínou (obr. 3). Výjimkou je jeden vzorek, ve kterém byl naměřený vysoký podíl jílu (85 %). Směrem do nadloží,

v fAhn2 horizontu, se množství prachu postupně snižuje na úkor písku, kterého přibývá. V MGro1 horizontu se zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí postupně mění z písčité hlíny až na písek. Písčítá frakce převyšuje prachovou a také se začíná zvyšovat množství jílu. Takový trend pokračuje až do nadloží v horizontech fAhn1, M a Ah, kde byl materiál klasifikovaný jako písčítá hlína až hlinitý písek.

Křivky χ a χ_{fd} nemají stejný trend (obr. 4). Křivka χ má více méně stabilní hodnoty až do M horizontu, kde se prudce zvyšuje a vysoké hodnoty dosahuje také v Ah horizontu, kde byla v 20 cm naměřená nejvyšší hodnota. Křivka χ_{fd} je rozkolísaná, přičemž maximální hodnoty dosahuje na přechodu z MGro2 do fAhn2 horizontu a také na přechodu z MGro1 do fAhn1 horizontu. Po nízké hodnotě v 60 cm jsou ve vrchní části sondy, v M a Ah horizontu, hodnoty zvýšené a trend se viditelně nemění.

Obsahy Fe se v sondě R 18 pohybují v intervalu od 33 400 do 46 600 ppm (tab. 1). V MGro2 horizontu byly zaznamenány vyšší hodnoty. Křivka Fe směrem do fAhn2 horizontu klesá a nejnižší hodnoty byly pozorovány v MGro1 horizontu v hloubce 110 cm (obr. 4). Následně křivka Fe postupně stoupá. V M horizontu opět trochu klesá a dosahuje maxima v Ah horizontu. Hodnoty Mn jsou poměrně rozkolísané a dosahují hodnoty od 812 po 1 900 ppm (tab. 1). Nejvyšší hodnoty dosahuje křivka Mn na rozhraní MGro2 do fAhn2 horizontu a v MGro1 horizontu. Obecně jsou hodnoty obsahu Mn nižší v fAhn1 horizontu a v M a Ah horizontech. Křivka Ca má velmi podobný trend jako křivka Fe (obr. 4). Naměřené hodnoty Ca se pohybují mezi 5 820 a 7 210 ppm (tab. 1). Hodnoty P dosahují v sondě R 18 408 až 1651 ppm. Všeobecně jsou



Obr. 4: Řez R 18, fotografie, označení půdních horizontů, vyznačená místa odběru mikromorfologických vzorků, křivky magnetické susceptibilita a jednotlivých chemických prvků, pH, celkový organický uhlík a půdní organická hmota.

Fig. 4: Section R 18, photograph with the indication of soil horizons, the positions of micromorphological samples, curves of magnetic susceptibility and of individual chemical elements, soil pH, total organic carbon and soil organic matter.

Tab. 1: Výsledky magnetické susceptibility, chemických analýz a obsahu organické hmoty.

Tab. 1: Results of analyses of magnetic susceptibility, chemical composition, soil organic matter and total organic carbon content.

Půdní horizont	Hloubka (cm)	χ (m ³ /kg)	χ_{fd} (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ca (ppm)	P (ppm)	pH/H ₂ O	Corg (%)	SOM (%)
Ah	10	0,00000014081	6,21	864	45 200	6 970	1 338	7,16	2,19	3,77
Ah	20	0,00000015057	6,24	1 000	46 600	7 100	1 651	7,17	2,42	4,18
M	30	0,00000011914	5,62	812	42 100	6 920	1 281	7,20	2,14	3,68
M	40	0,000000104	5,84	951	40 500	6 920	1 153	7,18	1,91	3,29
M	50	0,00000010563	4,98	932	42 100	7 040	1 099	7,42	1,75	3,01
fAhn1	60	0,00000009523	-5,70	1 110	42 400	6 860	666	7,48	1,17	2,02
fAhn1	70	0,00000010392	8,09	885	42 000	6 920	578	7,56	0,84	1,46
fAhn1	80	0,00000009844	14,48	842	39 400	6 290	540	7,66	0,94	1,63
MGro1	90	0,000000087916	13,17	1 000	39 400	6 140	565	7,49	0,83	1,43
MGro1	100	0,000000079247	6,40	1 900	37 500	5 900	408	7,51	0,48	0,83
MGro1	110	0,000000076837	0,32	886	33 400	5 820	458	7,83	0,54	0,94
fAhn2	120	0,000000079006	-9,17	1 430	36 800	6 320	529	7,84	0,64	1,11
fAhn2	130	0,000000088384	-8,01	1 600	41 800	6 920	680	7,63	0,89	1,54
fAhn2	140	0,000000098404	13,13	1 820	40 900	6 400	666	7,75	0,82	1,41
MGro2	150	0,000000089314	-2,42	993	42 000	6 990	613	7,93	0,73	1,26
MGro2	160	0,0000001075	2,67	1 450	44 300	6 790	977	7,96	0,63	1,09
MGro2	170	0,00000010154	4,49	1 340	45 700	7 210	891	7,87	0,67	1,15

obsahy Ca nižší v horizontech MGro2, fAhn2, MGro1 a fAhn1. Prudce se zvyšují v C horizontu s maximální hodnotou na hranici s Ah horizontem.

Hodnoty půdní reakce (pH) se v sondě R 18 pohybují v rozmezí od 7,2 do 8,0. Tyto hodnoty odpovídají neutrální až středně alkalické půdní reakci (tab. 1, obr. 4). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v MGro2 horizontu, který je středně alkalický. V horizontech fAhn2, MGro1 a fAhn1 je pH slabě alkalické s nižšími hodnotami v horizontech fAhn2 a MGro1. Neutrální půdní reakce byla naměřena v horizontech M a Ah.

Obsahy organického uhlíku (Corg) se pohybují v intervalu 0,5 až 2,4%. Obsahy je proto možné hodnotit jako velmi nízké až vysoké (tab. 1, obr. 4). V horizontech MGro2 a fAhn2 byly naměřeny nízké obsahy organického uhlíku s trochu vyššími hodnotami v fAhn2 horizontu. V MGro1 horizontu byly obsahy velmi nízké a v fAhn1 horizontu nízké. V M horizontu se hodnoty postupně zvyšují na střední obsah Corg a od 40 cm dosahují obsahy vysokých hodnot. Nejvyšší hodnota byla naměřena v Ah horizontu. Celkové obsahy organické hmoty (SOM) se v sondě R 18 pohybují od 0,8 do 3,8%, co odpovídá slabě až silně humózní půdě. Křivka kopíruje trend křivky Corg.

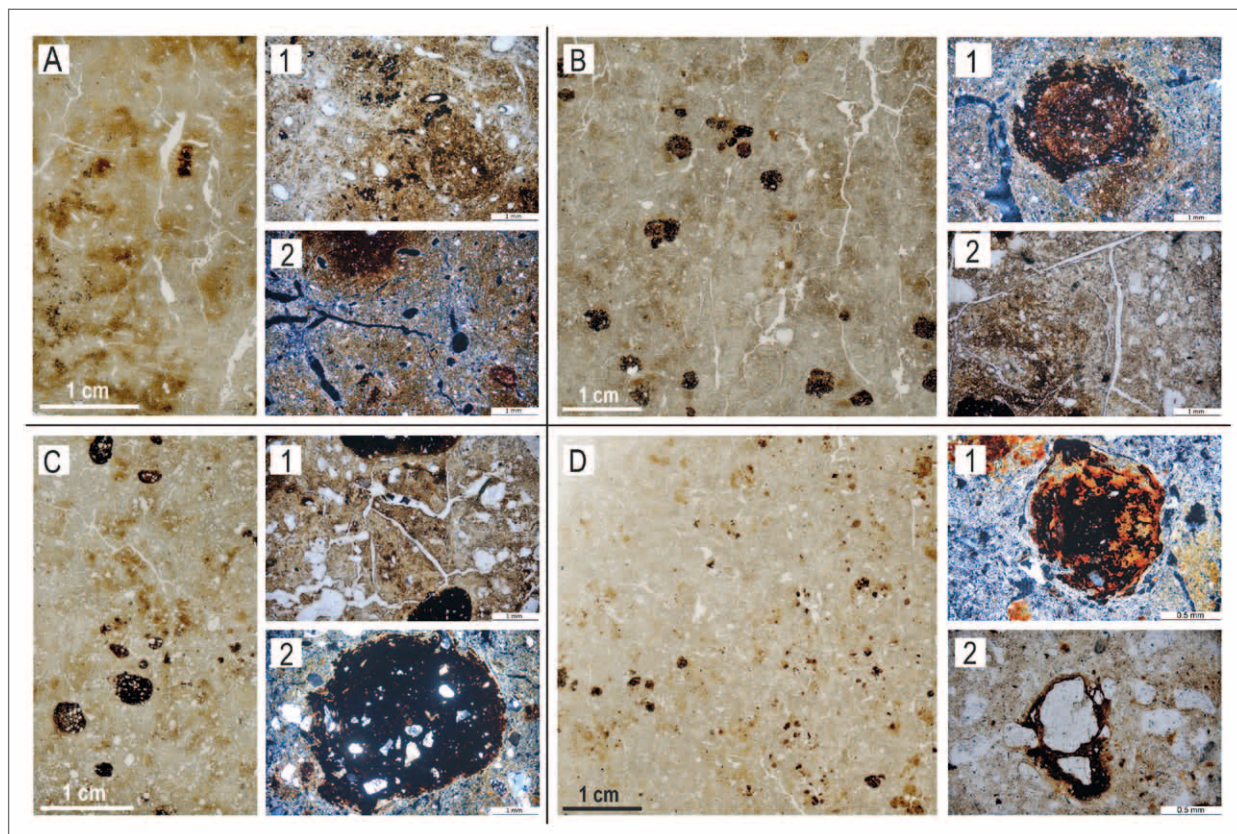
Půdní mikromorfologie

Mikromorfologický vzorek R 18–5 byl odebrán z MGro2 horizontu z hloubky 140–147 cm (obr. 4). Převládá v něm poměrně dobře vytříděný prach světle hnědé barvy. Mikrostruktura je místy kanálkovitá a místy subangulárně polyedrická s převahou plošných a kanálkovitých pórů (obr. 5A). V hrubé frakci převládá zaoblený až polozaoblený křemen, živec, plagioklas a slídy. Mikroskladba zhášení je striální, tzn. vyznačuje se přednostní orientací jílových minerálů s lokálním výskytem granostriální (orientace paralelní s povrchem zrn minerálů) a zkříženě striální mikroskladby (dvě skupiny paralelních pruhů). Uhlíky nejsou přítomné. Horizont obsahuje poměrně málo organické hmoty (do 2 %).

Sporadicky se objevují karbonátové nodule. Fe/Mn nodule jsou přítomny ojediněle. Železo je koncentrováno hlavně v obohacených zónách základní hmoty. Novotvary odnosu (zóny ochuzené o Fe/Mn hydroxidy a oxidy) jsou v tomto horizontu nejvýraznější (obr. 5A).

Mikromorfologický vzorek R 18–2 byl odebrán z fAhn2 horizontu z hloubky 123–130 cm (obr. 4). Je tvořen poměrně dobře vytříděným písčitém prachem hnědé barvy. Minerální složení je stejné jako v předchozím vzorku. Na základě převažujících plošných a kanálkovitých pórů (ojediněle dutinkovitých) je mikrostruktura popsána jako typická polyedrická, místy kanálkovitá (obr. 5B). Mikroskladba zhášení je striální, lokálně je vyvinutá také granostriální a monostriální (jílové minerály vytváří izolované nezávislé pruhy) mikroskladba. Vzorek neobsahuje velké množství organické hmoty (do 5 %), ojediněle jsou přítomné uhlíky (do 1 %). V A2 horizontu je viditelné zeslabení oxidačně-redukčních procesů oproti MGro1 horizontu. Projevuje se to vyšším zastoupením Mn novotvarů při současné absenci Fe novotvarů. Manganové oxidy a hydroxidy jsou přítomny ve formě hypopovlaků a nodulí (typické, impregnační, ojediněle koncentrické), jejichž velikost místy dosahuje až 3 mm (obr. 5B). Novotvary odnosu jsou stejně jako v ostatních vzorcích v okolí pórů.

Mikromorfologický vzorek R 18–4 byl odebrán z MGro1 horizontu z hloubky 90–97 cm (obr. 4). Tvoří ho světle hnědý špatně vytříděný prachovito-jílovitý písek. V celém vzorku převládají plošné a kanálkovité póry, které vytvářejí typickou polyedrickou mikrostrukturu s lokálním výskytem kanálkovité mikrostruktury (obr. 5C). Dominuje striální mikroskladba zhášení, která je lokálně vyvinutá jako porostriální (orientace jílových minerálů paralelní s povrchem pórů) a granostriální mikroskladba. Minerální a horninové složení je stejné jako v předchozích vzorcích. Obsah organické hmoty je opět nízký (do 2 %) a uhlíky se vyskytují jen ojediněle (do 1 %). Horizont MGro1 je intenzivně hydromorfně ovlivněný. Zóny



Obr. 5: A – sken mikromorfologického vzorku R 18–5 z C2 horizontu; 1 – kanálovitá mikrostruktura, kanálovité póry, novotvary odnosu a zóny akumulace Mn a Fe; 2 – plošné póry, novotvary odnosu v okolí plošných pórů, Fe/Mn nodule, striální mikroskladba zhášení při zkřížených nikolech (XPL). B – sken mikromorfologického vzorku R 18–2 z A2 horizontu; 1 – koncentrická Fe/Mn nodule, striální mikroskladba zhášení při zkřížených nikolech (XPL); 2 – typická polyedrická mikrostruktura, novotvary odnosu v okolí plošných pórů. C – sken mikromorfologického vzorku R 18–4 z C1 horizontu; 1 – typická polyedrická mikrostruktura, Mn nodule; 2 – typická Mn nodule, striální mikroskladba zhášení při zkřížených nikolech (XPL). D – sken mikromorfologického vzorku R 18–1 z A1 horizontu; 1 – typická Fe/Mn nodule, striální mikroskladba zhášení při zkřížených nikolech (XPL); 2 – povlaky Fe/Mn okolo minerálních zrn.

Fig. 5: A – scan of micromorphological sample R 18–5 from the C2 horizon; 1 – channel microstructure, channel voids, depletion pedofeatures and zones of Mn and Fe accumulation; 2 – plane voids, depletion pedofeatures around planar voids, Fe/Mn nodules, striated b-fabric in cross-polarized light (XPL). B – scan of micromorphological sample R 18–2 from the A2 horizon; 1 – concentric Fe/Mn nodule, striated b-fabric in cross-polarized light (XPL); 2 – angular blocky microstructure, depletion pedofeatures around planar voids. C – scan of the micromorphological sample R 18–4 from the C1 horizon; 1 – angular blocky microstructure, Mn nodules; 2 – typical Mn nodule, striated b-fabric in cross-polarized light (XPL). D – scan of micromorphological sample R 18–1 from the A1 horizon; 1 – typical Fe/Mn nodule, striated b-fabric in cross-polarized light (XPL); 2 – Fe/Mn coating around mineral grains.

odnosu se vytvořily hlavně v okolí pórů. V obohacených zónách se koncentruje převážně Fe. Nodule (typické), převážně Mn (obr. 5C), jsou větší než v nadložním fAhn1 horizontu, dosahují velikosti až 4 mm. Často se vyskytují také Fe/Mn hypopovlaky.

Mikromorfologický vzorek R 18–1 byl odebrán z fAhn1 horizontu z hloubky 66–73 cm (obr. 4). Je tvořen poměrně dobře vytríděným písčítým prachem světle hnědošedé barvy. Hrubá frakce je reprezentována zrny křemene, živce, plagioklasů, slíd a fragmenty křemence. Převažují hlavně plošné a kanálovité póry (přítomné jsou také vezikulární a dutinkovité póry), které vytvářejí kanálovitou a ve vrchní části subangulárně polyedrickou mikrostrukturu. Ve vzorku byla identifikována převážně monostriální mikroskladba zhášení. Ojedinele se vyskytují uhlíky (do 1 %). Horizont fAhn1 obsahuje poměrně málo organické hmoty (do 5 %) a je jen slabě ovlivněný bioturbací. Probíhaly v něm oxidačně-redukční procesy,

o kterých svědčí běžně se vyskytující zóny odnosu ochuzené o Fe/Mn hydroxidy a oxidy. Vyskytují se Fe/Mn hypopovlaky a povlaky a také nodule (typické, impregnační), které jsou poměrně malé (do 2 mm), ale časté (obr. 5D). Okolo některých nodulek je viditelná intenzivní striální mikroskladba zhášení. Okolo některých minerálních zrn jsou přítomné železité povlaky (obr. 5D).

Diskuze a závěr

V Logu 1 v řezu R 18 byly rozlišeny tři samostatné půdy charakterizované identickou stratografií půdního profilu (A–M). Půdotvorný substrát všech tří dokumentovaných půd tvoří fluviální sedimenty, které jsou označovány jako nivní sediment (<https://mapy.geology.cz/geocr50/>) nebo tzv. povodňové hlíny (např. Havlíček 2001; Havlíček et al. 2016). Z hlediska depozičního prostředí a procesů se jedná převážně o tzv. přelivové/mimokorytové sedimenty (overbank deposits), které se v minulosti

i dnes ukládají během záplav (Scott 2007). Nejmladší záplava/přeliv z koryta byla v tomto prostoru zaznamenána v roce 2006, kdy se voda dostala skrze otevřenou sondu v destrukci hradby až do vnitřního prostoru hradiska (Macháček et al. 2007). Jednotlivé M horizonty se liší zrnitostí i geochemickým signálem. Zatímco nejstarší MGro2 horizont je spíše jemnozrný a zrnitostně v něm převládá prachová a jílová frakce, tak v recentním (M) a středním (MGro1) minerálním horizontu převládá spíše prachovitý písek až písčité prach. I tyto horizonty se však liší, protože MGro1 horizont vykazuje vyšší přítomnost písčité frakce (obr. 3). Rozdíly v zrnitosti lze interpretovat jako projev distálnější a proximálnější pozice aktivního koryta, případně určitými rozdíly v provenienci (rozdílná míra eroze blízkého písčitého hrúdu?).

A horizonty (Ah, fAhn1, fAhn2) vznikly procesem akumulace a tvorby humusu, tzv. humifikací. Všechny mají mocnost do 30 cm. Nejvyšší obsah Corg a SOM má recentní Ah horizont (obr. 4). V pohřbených A horizontech (fAhn1, fAhn2) je proces humifikace méně intenzivní, což bylo pravděpodobně způsobeno pravidelným narušováním půdotvorného procesu zaplavením a akumulací sedimentů.

Od hloubky 60 cm byly zachyceny makroskopické (skvrnitost) i mikroskopické (Fe/Mn nodule, novotvary odnosu; obr. 5) známky oxidačně-redukčních procesů, což svědčí o intenzivním hydromorfním ovlivnění celého půdního profilu. Taktéž byly detekovány vysoké obsahy Fe a Mn (obr. 4). Množství vápníku je celkově nízké a neprojevuje se na výsledcích pH (obr. 4). Hodnoty vápníku jsou nepatrně zvýšené v nejspodnější (fAhn2–MGro2) a v recentní půdě (Ah–M), což souvisí s přítomností Ca v povodňových hlínách v MGro2 a M horizontu. Mikroskopickým pozorováním byly ojediněle zachyceny karbonátové nodule.

Tři studované půdy se mezi sebou liší věkem, intenzitou hydromorfních procesů a zrnitostní distribucí půdotvorného substrátu. Svrchní půda odpovídá recentní půdě klasifikované jako fluvizem glejová (FLq) (<https://mapy.geology.cz/pudy/>). Dvě pohřbené půdy byly během předchozího výzkumu interpretovány jako

subfosilní semiterestrické glejové půdy (Macháček et al. 2007). Na základě morfoloických, vybraných fyzikálních a chemických parametrů a výsledcích půdní mikromorfologie mohou být dle terminologie Němečka et al. (2011) klasifikovány shodně s recentní půdou, tj. jako fluvizem glejová (FLq). Tyto půdy vznikají na stanovištích s vysokou hladinou podzemní vody. Diagnostickým kritériem jsou výraznější reduktomorfní znaky, které zasahují i níže než 60 cm (Rejšek, Vácha 2018). Povrch fluvizemě (fAhn1–MGro1), pohřbené pod recentním M horizontem, byl aktivní v době, kdy bylo hradisko osídleno (Macháček et al. 2007), což také potvrzuje přítomnost fragmentů velkomoravské keramiky, mazanice a uhlíků v jejím A horizontu. Půda se tedy určitě vyvíjela během 9. a 10. století, přičemž pedogeneze mohla začít výrazně dříve a skončit později. Bazální fluvizem (fAhn2–MGro2) se vyvinula ještě před velkomoravským osídlením. Kvůli nedostatku dat však nelze v této fázi studia stanovit přesné stáří této půdy.

Na lokalitě Pohansko u Břeclavi byly půdy a sedimenty v nivě hodnoceny v několika profilech (např. Macháček et al. 2007; Petřík et al. 2018; 2019; Nehyba et al. 2018; 2020). Znamky lidské aktivity byly v zájmovém prostoru zachyceny od doby železné (7., resp. 8. století před n. l.) s vrcholem osídlení v raném středověku (9. a první polovina 10. století n. l.). V prostoru v předpolí hradby nebylo archeologicky dokumentováno žádné trvalé osídlení. Ačkoliv byly ve fluvizemi (fAhn1–MGro1) pohřbené pod recentní půdou makroskopicky identifikované doklady lidské činnosti (fragmenty keramiky, mazanice a uhlíky), tak se tyto nijak neprojevily ve výsledcích fyzikálních a chemických analýz (např. zvýšenými hodnotami χ nebo P), stejně jako v mikromorfologii.

Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem GAČR GA20-18929S – Fortifikační systémy velkomoravského centra Pohansko u Břeclavi (Fortification Systems of the Great Moravian Centre Pohansko near Břeclav). Práce byla rovněž podpořena projektem ECOPOLARIS, číslo CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_013/0001708 financovaným Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky. Autoři děkují recenzentům J. Hoškovi a J. Janderkové za podnětné připomínky a také editorce P. Tomanové Petrové.

Literatura

- Adamová, M., Havlíček, P. (2002). Geochemický výzkum subfosilní polygenetické pseudočernozemě a navátých písků při soutoku Dyje s Moravou. – Zprávy o geologických výzkumech, 35, 117–118.
- Brown, A. G. (1997). Alluvial geoarchaeology. Floodplain archaeology and environmental change. – Cambridge university press. Cambridge. 377 pp.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel, T. (1985). Handbook for Thin Section Description. – Waine research Publications. Wolverhampton. 152 pp.

- Catt, J. A. (1998). Report from Working Group on definitions used in paleopedology. – *Quaternary International*, 51/52, 81–86.
- Čurlík, J., Šurina, B. (1998). Příručka terénního průzkumu a mapování půd. – Výzkumný ústav půdoznalství a ochrany. Bratislava. 134 s.
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A., O'Grady, K. (1996). Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. – *Geophysical Journal International*, 124, 1, 228–240.
- Demek, J., Balatka, B. (1987). Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. – Academia. Praha. 584 s.
- FAO (2020). Standard operating procedure for soil organic carbon: Walkley-Black method. Titration and colorimetric method. – Global Soil Laboratory Network. United Nations. 28 s.
- Havlíček, P. (2001). Geologická stavba velkomoravského mocenského centra Břeclav – Pohansko a jeho okolí. – *Zprávy o geologických výzkumech*, 34, 71–73.
- Havlíček, P. (2004). Geologie soutokové oblasti Dyje s Moravou. – In: Hrib, M., Kordiovský E. (eds): Lužní les v Dyjsko-moravské nivě, 11–19. Břeclav.
- Havlíček, P., Smolíková, L. (2002). Subfossilní polygenetická pseudočernozem v navátých píscích při soutoku Dyje s Moravou (Barvínkův hrád), Jižní Morava. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 9, 2–3.
- Havlíček, P., Břizová, E., Hošek, J., Sidorinová, T. (2016). Geologický výzkum na soutoku Dyje, Kyjovky a Moravy. – *Zprávy o geologických výzkumech*, 49, 225–232.
- Kadlec, J., Grygar, T., Světlík, I., Ettlér, V., Mihaljević, M., Diehl, J. F., Beske-Diehl, S., Svitavská-Svobodová, H. (2009). Morava River floodplain development during the last millennium, Strážnické Pomoraví, Czech Republic. – *The Holocene*, 19, 3, 499–509.
- Kalicki, T., Sauchy, S., Calderoni, G., Simakova, G. (2008). Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: Examples from the upper Dnieper basin, Belarus. – *Quaternary International*, 189, 1, 91–105.
- Krause, M. J. (1987). Integration of Channel and Floodplain Suites, II. Lateral relations of alluvial palaeosols. – *Journal of Sedimentary Research*, 57, 602–612.
- Krause, M. J., Aslan, A. (1999). Palaeosol sequences in floodplain environments: a hierarchical approach. – *Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits*, 27, 303–321.
- Moeys, J. (2018). Soil texture: Functions for Soil Texture Plot, Classification and Transformation. R package version 1.5.1. – Dostupné na: <https://CRAN.Rproject.org/package=soiltexture>, 10. 7. 2021.
- Macháček, J. (2005). Raně středověké centrum na Pohansku u Břeclavi: munitio, palatium nebo emporium moravských panovníků? – *Archeologické rozhledy*, 57, 100–138.
- Macháček, J., Golán, J. (2004). Velkomoravské hradisko Pohansko a jeho zázemí. – In: Hrib, M., Kordiovský, E. (eds): Lužní les v Dyjsko-moravské nivě, 515–526. Břeclav.
- Macháček, J., Doláková, N., Dresler, P., Havlíček, P., Hladilová, Š., Přichystal, A., Roszková, A., Smolíková, L. (2007). Raně středověké centrum na Pohansku u Břeclavi a jeho přírodní prostředí. – *Archeologické rozhledy*, 59, 278–314.
- Munsell Color 2009: Munsell Soil Color Book. – Munsell Color. Michigan. 68 pp.
- Nehyba, S., Dvořáková, M., Doláková, N., Dresler, P. (2018). Kvartérní sedimenty na Severním předhradí lokality Pohansko u Břeclavi. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 25, 1–2, 34–40.
- Nehyba, S., Dresler, P., Doláková, N., Kuda, F., Přišťáková, M., Šimík, J., Škojec, J., Kirchner, K. (2020). Raně středověké říční koryto v blízkosti fortifikačního systému velkomoravského hradiska Pohansko u Břeclavi. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 27, 1–2, 54–62.
- Němeček, J., Smolíková, L., Kutílek, M. (1990). Pedologie a paleopedologie. – Academia. Praha. 546 s.
- Němeček, J., Muhlhanselová, M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P. (2011). Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, druhé upravené vydání. – Česká zemědělská univerzita. Praha. 94 s.
- Petrík, J., Libor, P., Šabatová, K., Doláková, N., Lukšíková, H., Dohnalová, A., Chadimová, L., Blaško, D., Milo, P. (2015). Reflections of Prehistoric and Medieval human activities in floodplain deposits of the Únanovka Stream, South Moravia, Czech Republic. – *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59, 3, 393–412.
- Petrík, J., Doláková, N., Nehyba, S., Lendáková, Z., Přišťáková, M., Adameková, K., Petr, L., Dresler, P., Macháček, J. (2018). Zaniklý meandr u Severního předhradí archeologické lokality Pohansko u Břeclavi. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 25, 1–2, 41–48.
- Petrík, J., Petr, L., Adameková, K., Přišťáková, M., Potůčková, A., Lendáková, Z., Frączek, M., Dresler, P., Macháček, J., Kalicki, T., Lisá, L. (2019). Disruption in an alluvial landscape: settlement and environment dynamics in the alluvium of the river Dyje at the Pohansko archaeological site (Czech Republic). – *Quaternary International*, 511, 124–139.
- Rejšek, K., Vácha, R. (2018). Nauka o půdě. – Agriprint. Olomouc. 527 s.
- Retallack, G. J. (1983). A paleopedological approach to the interpretation of terrestrial sedimentary rocks: the mid-Tertiary fossil soils of Badlands National Park, South Dakota. – *Bulletin of the Geological Society of America*, 94, 823–840.
- Retallack, G. J. (1986). Fossil soils as grounds for interpreting long term controls on ancient rivers. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 1–18.
- Scott, A. E. (2007). Encyclopedia of Quaternary Science. – Elsevier Science. Amsterdam. 2 600 pp.
- Smolíková, L. (1982). Pedologie I. – Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 129 s.
- Stoops, G. (2003). Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith thin Sections. – Soil Science Society of America. Madison. 184 pp.
- Sycheva, S., Glasko, M., Chichagova, O. (2003). Holocene rhythms of soil formation and sedimentation in the Central Russian Upland. – *Quaternary International*, 106–107, 203–213.
- Yaalon, D. H. (1971). Paleopedology: Origin, Nature, and Dating of Paleosols. – International Society of Soil Science. Jerusalem. 350 pp.