

Výzkum sedimentů zaniklého Leštinského rybníku na Zábřežsku

Research of sediments of the extinct Leštinský pond in the Zábřeh region

Lukáš Maloušek¹ ✉, Jan Sedláček¹, Zuzana Lendáková¹, Aleš Létal¹, Jan Pacina², Dominik Brétt^{2,3}

¹ Katedra geologie, Univerzita Palackého v Olomouci, Tř. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc, Česká republika

² Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Pasteurova 3632/15, 400 96 Ústí nad Labem, Česká republika

³ Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 – Dejvice, Česká republika

Key words:

Mohelnice Graben, historical ponds, geophysical survey, GPR, ERT, drill cores, geochemical and physical analyses

✉ lukas.malousek01@upol.cz

Editorka:

Katarína Adameková

Abstract

Several ponds were built in the vicinity of the city of Zábřeh (Czech Republic) during the 15th century, all of which disappeared over time, leaving only one (Oborník) that survived to the present day. Currently, the only proof of the existence of these ponds in the landscape are the dams, preserved in varying degrees of quality. Another potential proof of the presence of ponds is pond sediment, the existence and extent of which are the subject of this text. The abandoned Leštinský pond, located to the east of Zábřeh, was chosen for this research. This pond was only captured on the maps from the 1st military mapping, it is no longer depicted on newer maps. Its presence is indicated by a partially preserved dam, which is not very distinct in the landscape but is visible in Lidar images. The pond sediments were investigated through a combination of geological survey (shallow boreholes) and geophysical prospecting (electrical resistivity tomography and ground penetrating radar). A total of 5 drill cores were taken on which magnetic susceptibility, grain size, geochemical composition and spectral reflectance were measured. Four facies were identified based on the lithology and the used analyses. These facies are interpreted as a recent soil (facie P1), pond sediment (facie R) and buried alluvial soil developed on fluvial sediments (facie P2) and coarse-grained sands (facie F). The data from geophysical survey correlates with boreholes lithology and extends this information spacially. Above all, ground penetrating radar (GPR) of facie RF3, interpreted as the base of pond sediments, can be easily observed in GPR profiles. The obtained results provide information about the presence and thickness of the pond sediment. Pond sediment was captured in boreholes at thickness ranging from 12 to 38 cm, with no internal pond sediment stratigraphy being observed. The probable reason for such a limited sediment thickness could be the initially shallow depth of the pond or the pond's summering process ("letnění"), during which no water was present in the pond and the removal of the pond sediment occurred in regular cycles.

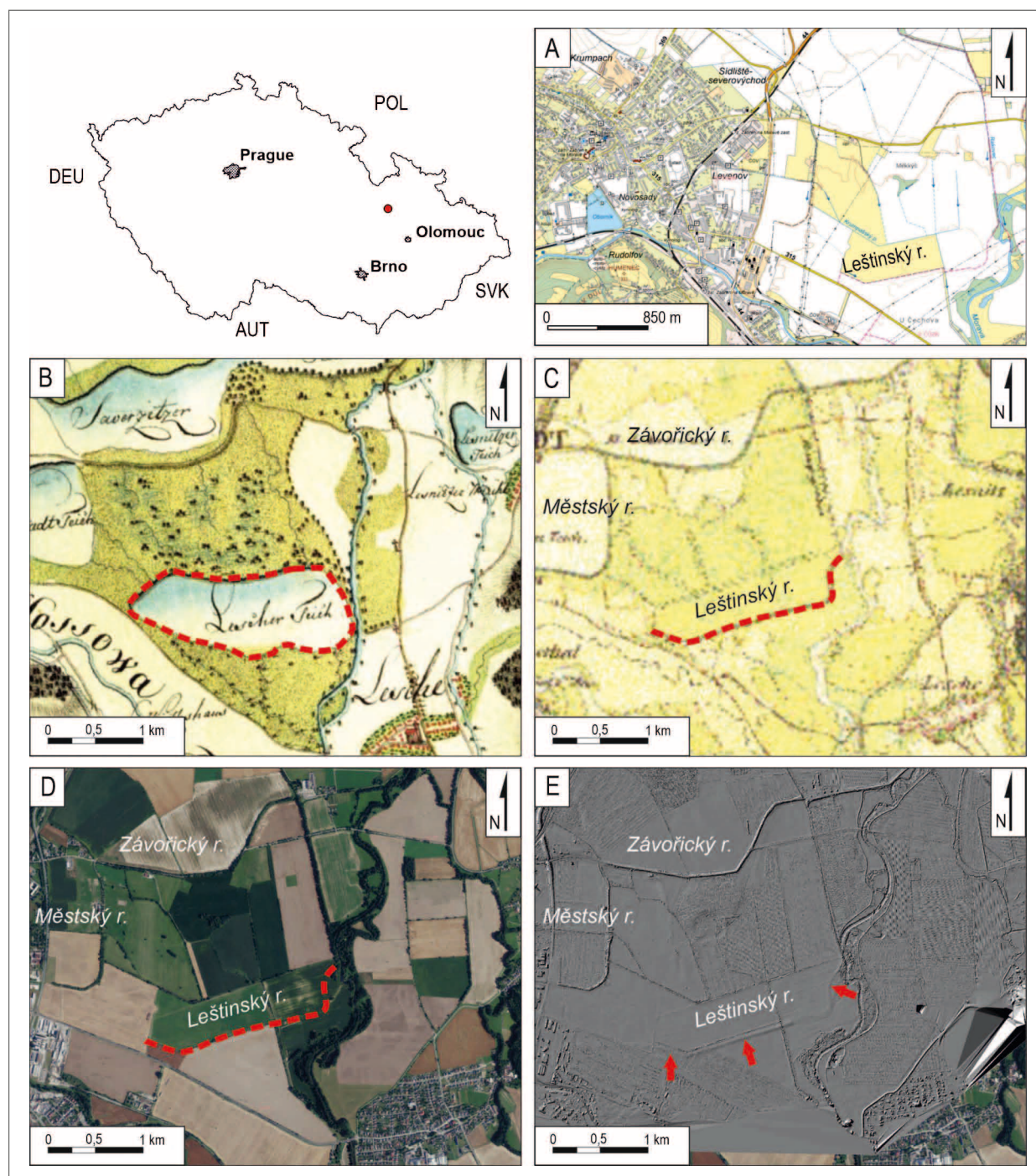
Doporučená citace článku:

Maloušek, L., Sedláček, J., Lendáková, Z., Létal, A., Pacina, J., Brétt, D. (2023). Výzkum sedimentů zaniklého Leštinského rybníku na Zábřežsku. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 30, 1–2, 45–55.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-33668>

Úvod

Ve střední Evropě má výstavba rybníků a rybníčních soustav tradici již od středověku, kde se stala významnou součástí ekonomiky. Výstavba rybníků proběhla v několika vlnách, a tak se měnil jejich počet, rozloha a celkový ráz krajiny. Mnoho ze starých rybníků zaniklo (Vrána & Beran 2002; Petřík et al. 2017). Rybníční sedimenty tak mohou fungovat jako archivy klimatických změn a změn ve využívání půdy (Stolz & Grunert 2008; Laine et al. 2010). V hustě obydlených oblastech mohou také sloužit jako pasti antropogenních znečišťujících látek, které mohou být do svého okolí uvolněny těžební, hutní nebo zemědělskou činností (Graney & Eriksen 2004; Power & Worsley 2009). Rybníky představují nestabilní depoziční systémy, které mohou ve velmi krátkém časovém úseku ztratit zásobní



Obr. 1: Historický vývoj rybníků v okolí Zábřehu na Moravě s vyznačenou zkoumanou plochou (červeně). A – Dnešní situace okolí zaniklého Leštinyho rybníku; B – I. vojenské mapování; C – II. vojenské mapování; D – recentní ortofoto snímek; E – digitální model reliéfu (hráze Leštinyho rybníka vyznačena červenými šipkami).

Fig. 1: Historical development of ponds in the surroundings of Zábřeh na Moravě with the study area marked (red). A – Present-day situation of the surroundings of the extinct Leštiny Pond; B – I. military mapping; C – II. military mapping; D – recent orthophoto image; E – digital model of relief (the dam of Leštiny Pond is marked with red arrows).

kapacitu nebo zaniknout v důsledku rychlého zanášení, které může být ovlivněno malou hloubkou, omezeným akomodačním prostorem, vysokým přínosem sedimentů nebo hydrologickým režimem (Bábek et al. 2021).

Rybníční soustavy byly na Moravě budovány časněji než v Čechách v důsledku mírnějších škod během husitských válek. První rybníky v okolí Zábřehu na Moravě vznikly během 15. století, kdy bylo vybudováno několik

rybníků, které značně změnily krajinný ráz (obr. 1). Za budovatele je považován Jiří Tunkl z Brníčka a Zábřehu. Rybníky v této oblasti lze najít na mapách z I. vojenského mapování, přičemž některé z nich jsou zaznamenány i v mapách stabilního katastru a v mapách II. vojenského mapování. Na mapách z III. vojenského mapování a v nedávných leteckých snímcích je v dané oblasti zachován pouze jeden jediný rybník – Oborník. Avšak rozloha

tohoto posledního rybníku se zmenšila téměř o polovinu (Pavelková et al. 2014; Šarapatka et al. 2014).

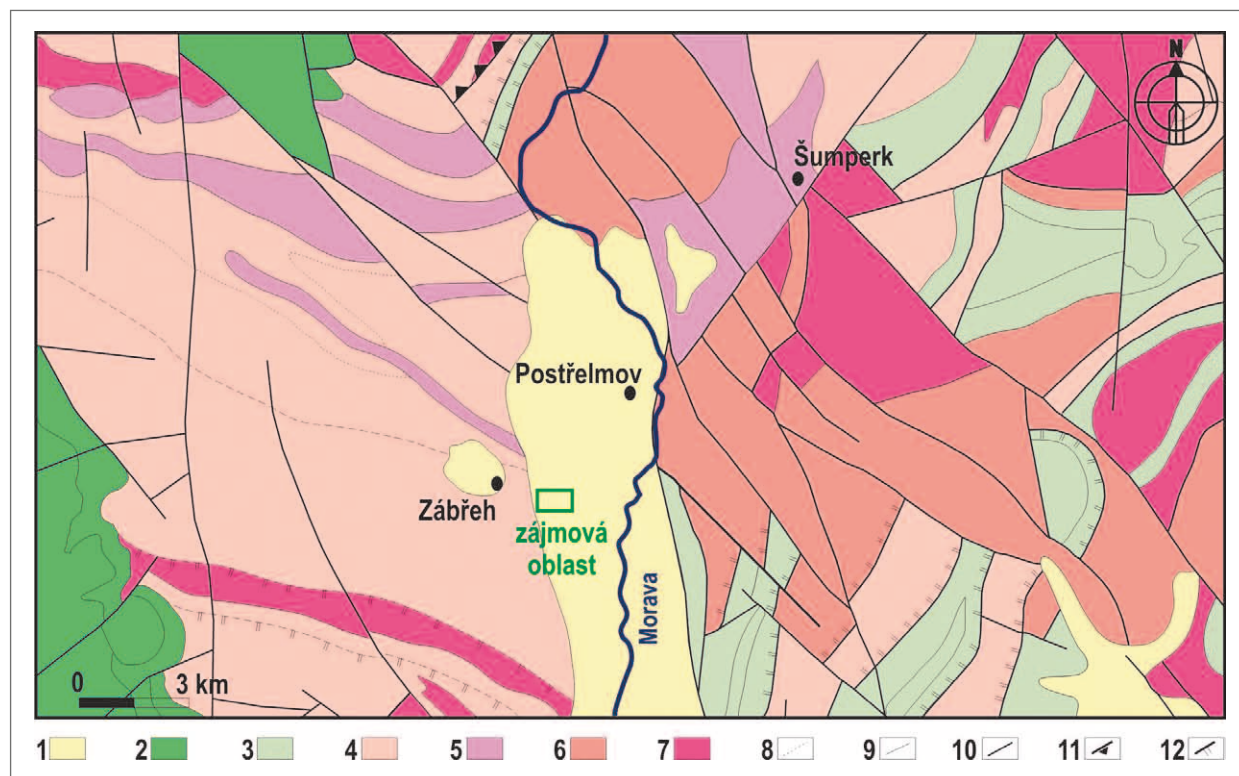
Příčinou postupného rušení rybníků v okolí Zábřehu byla stále klesající cena rybiho masa. Následkem zvyšujících se cen obilí a dobytka se většina majitelů rozhodla rybníky vypouštět a přeměňovat je na pastviny a louky (Pavelková et al. 2014; Pavelková et al. 2016). Pravidelnou součástí obhospodařování rybníků v dřívějších dobách bylo tzv. letnění (Sychra et al. 2008). Tento proces napomáhal k celkovému obnovení a ozdravení přirozené rovnováhy rybníka. Účelem bylo zlepšení fyzikálních a chemických vlastností, provzdušnění dna, rozklad nežádoucích látek a zvýšení produkčního potenciálu daného rybníku (Gergel & Husák 1997; Sychra et al. 2008). Rybník se měl sušit po dobu jednoho léta co 8 až 10 let, u rybníků, které byly velmi špinavé, se tento proces měl opakovat každé 2 až 3 roky (Hurt 1960). Často se rybník ponechaný bez vody pohnojil a využíval k pěstování zemědělských plodin (Hurt 1960; Frajer 2021). V dnešní době stojíme před opačným problémem, jelikož většina rybníků trpí nadbytkem živin z důvodu intenzivního chovu, který vede ke spoustě dalších problémů (Sychra et al. 2008). V současnosti jsou jediným dochovaným vizuálním důkazem existence těchto rybníků pozůstatky hrází. Rozsáhlejší hráze jsou dobře patrné v krajině a jsou dodnes využívány např. jako místní komunikace, menší hráze jsou pak rozpoznatelné z digitálního modelu reliéfu.

Jednou z možností, jak získat bližší informace o fungování těchto rybníků, jejich přesném časovém zařazení či případné přítomnosti antropogenních kontaminantů v tehdejších rybnících, je studium jejich sedimentů. Ukládání sedimentů v rybnících je dobře dokumentované jak v již zaniklých rybnících (Pavelková et al. 2016), tak v těch stále funkčních (Bábek et al. 2021). Mocnosti rybníčních sedimentů tak mohou být indikátorem nejen délky fungování rybníku, ale i archívem změn využití krajiny.

Pro výzkum nejstarších sedimentů v okolí Zábřehu byl vybrán zaniklý Leštinský rybník zachycený pouze na mapách I. vojenského mapování. Pozůstatky tohoto rybníku se nacházejí 2,3 km v. směrem od města Zábřeh. Jedná se o jeden z nejstarších rybníků v oblasti a zároveň jeden z prvních zaniklých. Rybník pravděpodobně zanikl během poslední čtvrtiny 18. století až počátku 19. století. Cílem této studie bylo zjistit výskyt a případně mocnost rybníčního sedimentu v oblasti již zaniklého rybníku. Rybníční sedimenty byly zkoumány s využitím geofyzikálních metod (georadar a elektrická odporová tomografie) a mělkého vrtného průzkumu s použitím metod magnetické susceptibility, spektrální odraznosti, zrnitostního a prvkového složení.

Geografie a geologie

Zájmové území se nachází v Mohelnické brázdě (MB), která je součástí Jesenické oblasti (Demek et al. 2006). MB tvoří úzkou, protáhlou a 4–5 km širokou



Obr. 2: Geologická mapa širšího okolí zkoumané oblasti s tokem řeky Moravy. 1 – pliocén; 2 – křída; 3 – devon; 4 – prekambrium–paleozoikum; 5 – variská intruziva; 6 – předvariská intruziva; 7 – prekambrium; 8 – neznámé hranice hornin; 9 – známe hranice hornin; 10 – tektonická linie; 11 – hlavní násunový zlom; 12 – vedlejší násunový zlom.

Fig. 2: Geological map of the wider surroundings of the study area with the course of the Morava River. 1 – Pliocene; 2 – Cretaceous; 3 – Devonian; 4 – Precambrian–Palaeozoic; 5 – Variscan intrusives; 6 – Pre-variscan intrusives; 7 – Precambrian; 8 – Unknown rock boundaries; 9 – Known rock boundaries; 10 – Tectonic line; 11 – Main thrust fault; 12 – Secondary thrust fault.

asymetrickou brázdu ve směru SSZ–JJV (Demek et al. 1987; Špaček et al. 2015). V celé délce brázdy protéká sj. směrem řeka Morava (Demek et al. 1987; Demek et al. 2006).

Z geologického hlediska (obr. 2) spadá území především do Českého masivu, ale okrajově zasahuje i do Západních Karpat (Bábek et al. 2018). Geologické podloží MB tvoří horniny Českého masivu – lugičum a moravosilezikum (ruly, kvarcity, tonality) (Barnet et al. 1999).

Výplň brázdy tvoří neogenní až kvartérní sedimenty. Pliocenní sedimenty v podobě písčitých štěrků, štěrkovitých písku a pravděpodobně i jílovitých sedimentů lze nalézt v podloží pleistocenních teras řeky Moravy. Sedimentace těchto usazenin byla ovlivněna přínosem z okolních svahů a pozicí v sedimentační pánvi (Barnet et al. 1999). Pliocenní akumulace usazenin lze rozdělit do dvou nad sebou ležících jednotek. Spodní jednotka je tvořena sledem štěrků, písků, prachů, prachovitých jílu a jílu. Typickým znakem pro tuto jednotku je pestré zbarvení, kde dochází ke střídání červenohnědých, rezavých a modrozelených barev (Čtyrský 1995). Nadložní jednotka je tvořena písky, prachy a jíly převážně v šedých, šedozelených a černohnědých odstínech (Čtyrský 1995).

Během spodního pleistocénu došlo pravděpodobně k vyplnění MB sedimenty, jejichž zdrojové oblasti jsou Hanušovická a Zábřežská vrchovina. Největší akumulace v podobě výplavových kuželů tvoří deluviofluviální písčité hlíny a hlinité písky, které se ukládaly v různých stupních holocénu. Nejmladší výplň údolních niv tvoří fluviální hlíny, písky, štěrkovité jíly a písčité štěrky, které dosahují mocnosti přes 4 m (Barnet et al. 1999).

Metodika

Laserové snímání – LiDAR

Data laserového snímání byla získána v červnu roku 2021 skenerem Riegl VUX 1-LR (RIEGL, Rakousko) umístěném na malém letadle. Skener byl vybaven IMU Applanix a přesným přijímačem GNSS. Parametry skenování byly následující: výška letu přibližně 300 m nad zemí, rozteč skenovacích linií 180 m, boční překrytí skenů 50 %, zorný úhel skeneru 80°, opakovací frekvence pulzů 400 kHz a rychlost skenování 40 lps (Line per second – počet řad za sekundu). Trajektorie letu byla upřesněna následným zpracováním v prostředí PosPac (Applanix, Kanada) a mračno bodů bylo zpracováno v softwaru RiProcess (RIEGL, Rakousko). Mračno bodů bylo filtrováno na body „holé země“ – výsledkem byla hustota bodů přibližně 25–30 bodů na m². Z mračna bodů byl dále odvozen DEM s prostorovým rozlišením 0,5 m.

Vrtný průzkum

Za účelem zjištění přítomnosti rybníčních sedimentů a jejich mocnosti bylo ve zkoumané oblasti odebráno 5 vrtných jader (tab. 1). Vrtky RA1 a RA2 byly odebírány pomocí žlábkového vrtáku (Eijkelkamp, Nizozemsko). Maximální dosažená hloubka byla v těchto vrtech 46 cm. Vzhledem k poloze štěrkopísků v podloží nebylo možné žlábkovým vrtákem dosáhnout větších hloubek. Vrtky RA4, RA5 a RA6 byly získány pomocí pneumatické vrtné

soupravy (Stitz GmbH, Německo). V těchto vrtech bylo dosaženo maximální hloubky 1 m. Vrtky byly zaměřovány terénní GPS s přesností cca 3 m. Vzorky byly z jádra odebírány ve vertikálním intervalu 1, 2 nebo 6 cm dle stratigrafie vrtných jader.

U všech odebraných vzorků byla analyzována hmotnostně specifická magnetická susceptibilita (MS) kapamístkem KLY-4 (AGICO s.r.o., ČR). Zrnitost byla stanovena pomocí laserového granulometru FRITSCH Analysette 22 MicroTec Plus (Fritsch, Německo) se zrnitostním rozmezím 0,0008–2,0000 mm. Prvkové složení všech vzorků bylo analyzováno pomocí rentgenové fluorescenční spektrometrie (EDXRF) v modu Geochem přístrojem DELTA (Innov-X, Inc., USA) po dobu 240 s. Spektrální odraznost byla u vzorků analyzována pomocí ručního spektrofotometru SP 62 (X-Rite, USA). Všechny analýzy probíhaly na přístrojovém vybavení Katedry geologie Univerzity Palackého v Olomouci.

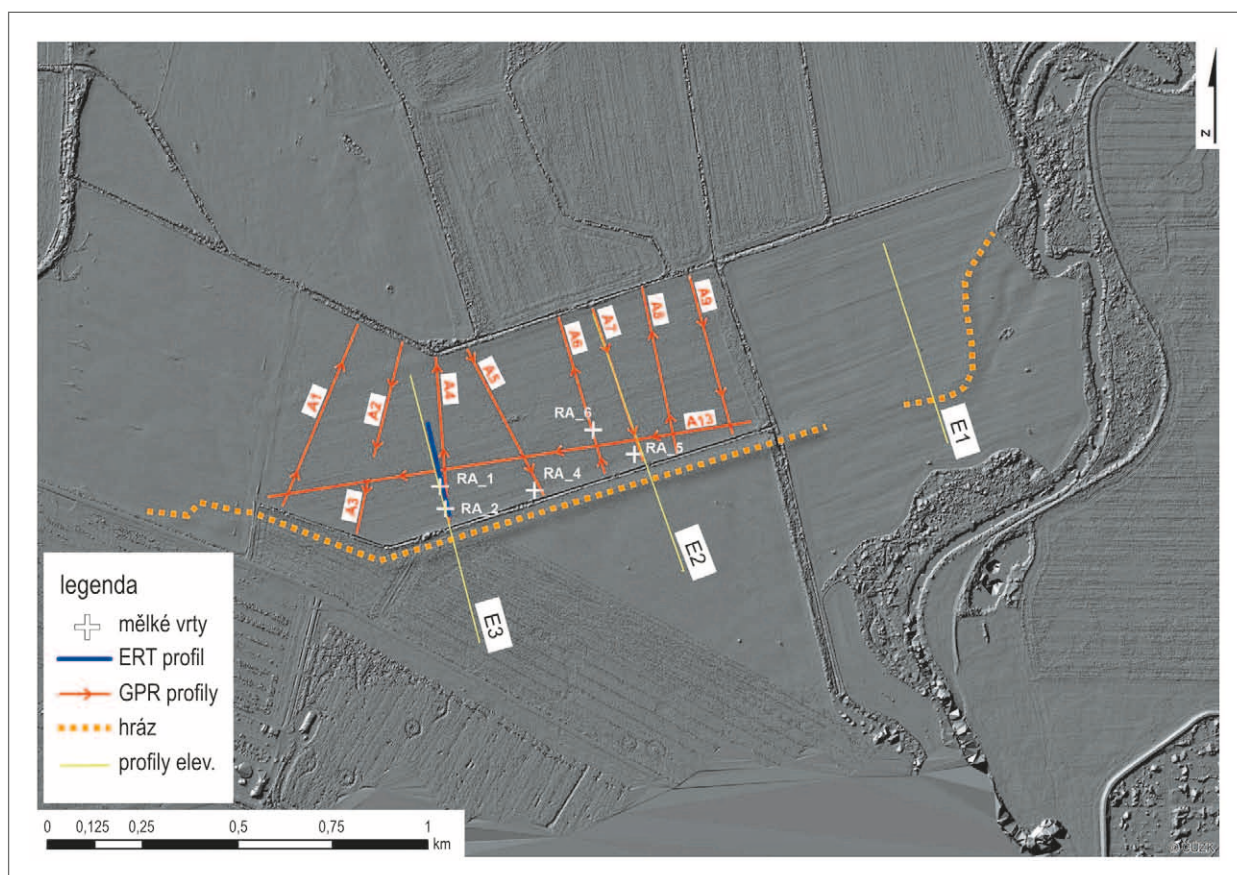
Geofyzikální prospekce

K měření elektrické odporové tomografie (ERT) byl použit přístroj od společnosti ARES (GF Instruments s.r.o., ČR). Rozestupy mezi jednotlivými elektrodami byly 2 m a byla použita Wenner-Schlumbergerova konfigurace. Celková proměřená délka profilu byla 158 m a maximální hloubkový dosah 12 m. Měřený profil byl zaměřen pomocí terénní GPS s přesností cca 3 m. Naměřená data byla zpracována v softwaru RES2DINV (Geotomo, Malajsie) a Surfer (Golden Software LLC, USA). Měření georadarem probíhalo s využitím přístroje Ground Explorer od společnosti MALÅ (MALÅ, Švédsko) s anténou o frekvenci 450 MHz. Celkem bylo naměřeno 10 profilů (obr. 3) o délkách od 95 do 828 m. Celková délka všech profilů byla 3176 m o hloubce 50 ns. Na všech profilech byla hustota měřených bodů nastavena na 1,7 cm. Naměřená data byla filtrována v softwaru ReflexW (Sandmeier geophysical research, Německo), kde byly provedeny jednotlivé filtrační kroky pro zlepšení výsledného signálu (background removal, gain, bandpass filter, FK filter). Pomocí analýzy hyperbol byla zjištěna přibližná rychlost šíření GPR signálu 0,1 m/ns, což při maximální hloubce 50 ns odpovídá hloubce 2,45 m. Polohy GPS byly zaměřovány integrovaným GPS přijímačem georadaru s přesností 0,3 m.

Tab. 1: Parametry jednotlivých vrtů.

Tab. 1: Parameters of individual boreholes.

Identifikace vrtu	Dosažená hloubka (cm)	GPS souřadnice
RA1	25	N 49°52'29.646" E 16°54'26.327"
RA2	46	N 49°52'28.429" E 16°54'26.782"
RA4	95	N 49°52'29.486" E 16°54'34.469"
RA5	100	N 49°52'31.531" E 16°54'42.917"
RA6	100	N 49°52'32.902" E 16°54'39.365"



Obr. 3: Mapa zkoumané oblasti se všemi použitými metodami na lidarovém podkladu.

Fig. 3: Map of the study area with all methods used on lidar base.

Výsledky a diskuze

Laserové snímání – LiDAR

Ve studované oblasti byly laserovým snímáním zjištěny zbytky původních hrází zaniklých rybníků a jejich průběh v současném reliéfu.

Digitální model reliéfu byl využit pro výpočet rozdílů nadmořských výšek v prostoru zaniklého Leštinského rybníka a prostoru před hrází (obr. 4) tak, aby bylo možné zjistit případnou aggradaci sedimentu v prostoru rybníka. Ve třech profilech vedených kolmo k hrází (obr. 3) byla průměrná nadmořská výška v místě bývalého rybníka vždy vyšší než za hrází. V profilech E1 a E2 cca o 0,2 m a v profilu E3 o 2,8 m. V profilu E3 lze pozorovat velkou kolísavost hodnot v prostoru za hrází, kterou může způsobit výraznější rozdíl v nadmořské výšce v prostoru rybníka a za hrází.

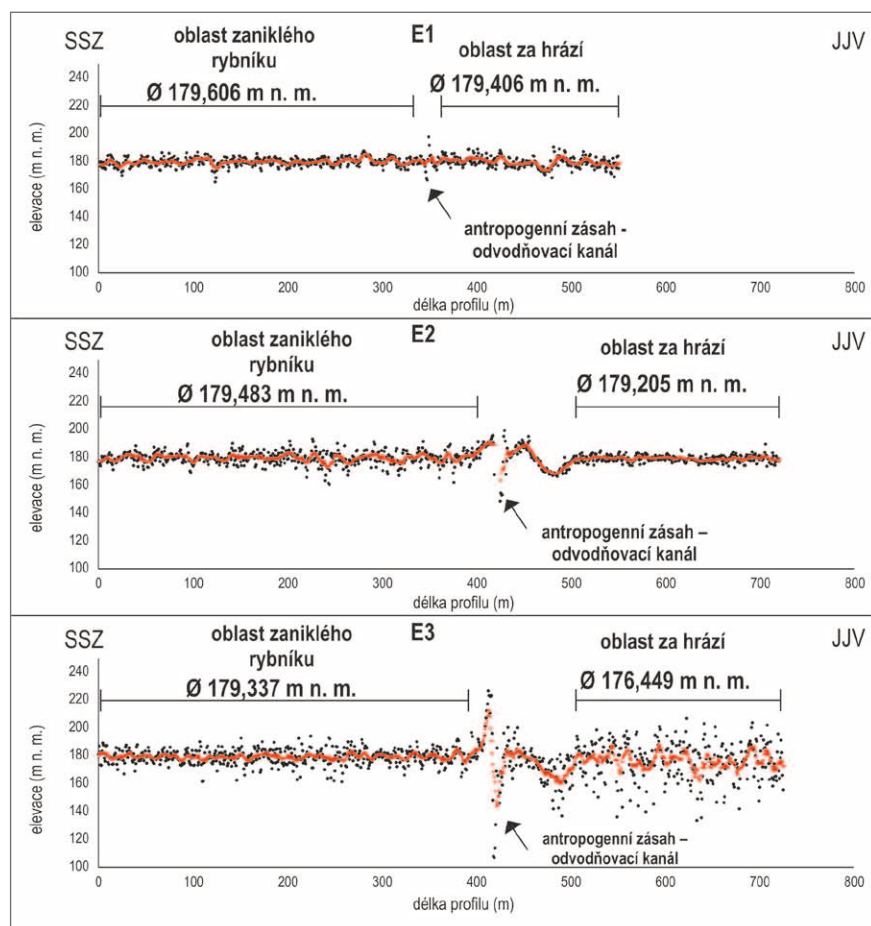
Vrtný průzkum

Na základě litologie, fyzikálních a chemických proxy-parametrů byly ve vrtech identifikovány 4 facie (obr. 5 a 6). Ve všech vrtech byla při povrchu zachycena facie P1, která má tmavě hnědou až světle hnědou barvu. Typickým znakem pro tuto facii je vyšší obsah kořínků a zastoupení poloostrohranných až polozaoblenných úlomků hornin. Facie je tvořena hlavně jílem a prachem. Ve vrtech RA1 a RA4 je v této facii také větší zastoupení písčité frakce. Pro facii P1 jsou charakteristické zvýšené hodnoty MS, větší tmavost materiálu, vyšší poměr železa, fosforu a Al/Si. Báze se vyznačuje mírným nárůstem

červenosti sedimentu. Maximální mocnost facie P1 je 39 cm ve vrtu RA4. Odlišná mocnost této facie může být způsobena následkem vyrovnávání původně zvlněného terénu po vypuštění rybníka. Facie P1 je vzhledem ke stratigrafické pozici, obsahu organického materiálu a svými chemickými a fyzikálními proxy-parametry představitelem půdy (Boyd 1995; Chudaničová et al. 2016).

Pod facií P1 se nachází facie R, která pozvolna přechází do světle šedé až tmavě šedé barvy. Tato facie je zachycena ve vrtech RA2, RA4, RA5 a RA6. Největší mocnost má tato facie ve vrtu RA6 (38 cm), ve vrtu RA2 (12 cm), RA4 (20 cm) a RA5 (28 cm). Typickým rysem pro tuto facii je mramorování a polohy rezavých konkréci. Pro tuto facii jsou charakteristické nižší hodnoty MS, indexu červenosti, obsahu železa a fosforu. Naopak stoupají hodnoty celkového jasu materiálu.

Ve vrtech RA5 a RA6 je materiál facie R téměř tvořen jílem a prachem. Průměrné obsahy jílu (15,2 %) a prachu (82,5 %) ve vrtu RA5. Ve vrtu RA6 je průměrný obsah jílu menší (11,0 %) a obsah prachu je velmi podobný (82,8 %). Ve vrtu RA2 a RA6 se v některých hloubkách zvyšuje podíl písčité frakce, kde maximální hodnoty dosahují 8,3 % resp. 23,3 %. Odlišností je chování ve vrtu RA4, kde je obsah písčité frakce vyšší a směrem do podloží velmi proměnlivý (max. hodnota 43,8 %). Pokles MS, obsahu železa a indexu červenosti u facie R obecně koreluje s nárůstem parametru světlosti (brightness). Báze facie je ve vrtech charakterizována náhlou změnou hodnot a často pozvolnou změnou do nadloží.



Obr. 4: Výškové profily E1, E2 a E3 ve zkoumané oblasti.
Fig. 4: Elevation profiles E1, E2 and E3 in the study area.

Na základě těchto parametrů se pravděpodobně jedná o rybníční sediment. V recentních přehradních sedimentech (Sedláček et al. 2013) je rybníční materiál výrazně tmavší a obsahuje větší podíl organické hmoty. To stejné by se dalo předpokládat i o rybníčním sedimentu u Zábřehu. Avšak zde dochází k výraznému poklesu obsahu fosforu, jakožto biogenního prvku, což může být způsobeno rozdílným režimem chovných rybníků (hnojení, letnění), kdy byly během letních sezón rybníky vypouštěny (Gergel & Husák 1997; Sychra et al. 2008). Další faktorem nízkého obsahu fosforu může být přeplavování sedimentů následkem pravidelného odstraňování rybníčního sedimentu, což by vysvětlovalo, že v sedimentu nebyly zachyceny laminace a ani zbytky organické hmoty (Hurt 1960; Gergel & Husák 1997). V důsledku neustálého ukládání látek na dně rybníku, např. suspendované látky v povrchových vodách, částice půdy a organické látky, které byly erodovány ze dna rybníku a vnitřku hrází vodními proudy a vlnami, docházelo k neustálým změnám fyzikálních a chemických vlastností (Boyd 1995). Dalším potenciálním vlivem na rozdílné vlastnosti rybníčního sedimentu a sedimentu dnešních nádrží je, že rybníční sediment byl v důsledku pohybu ryb bioturbován (Hurt 1960; Duras 2022).

Třetí vrstvou je facie P2, která byla zachycena ve vrtech RA4, RA5 a RA6. Přechod z facie R je pozorovatelný hlavně vyšším obsahem kořínků, drobných

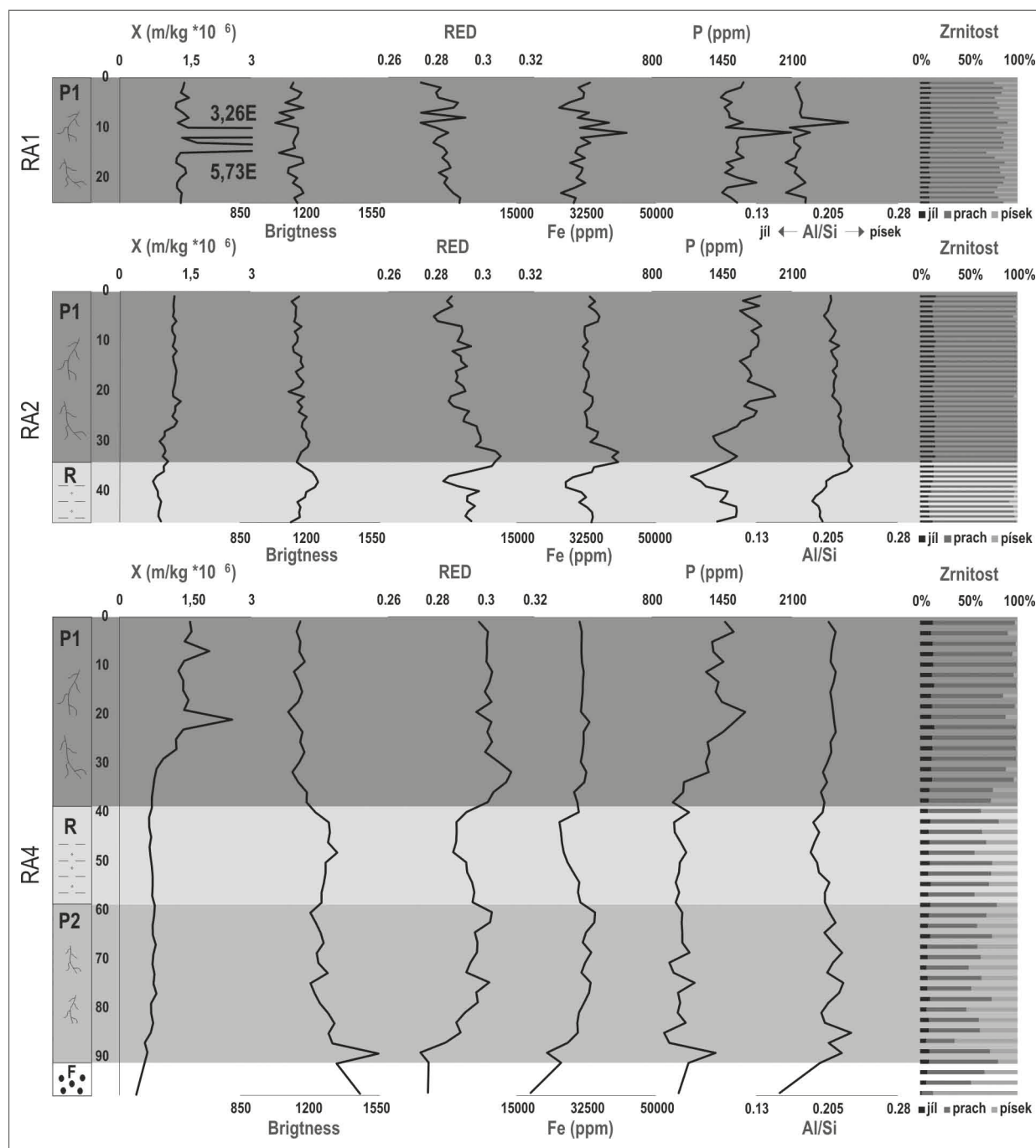
uhlíků a zvětralých úlomků hornin. Sediment mění barvu do tmavě hnědé až načervenalé barvy. Největšího rozsahu dosahuje ve vrtu RA4, kde má mocnost 33 cm, RA5 (29 cm), RA6 (22 cm). Pro tuto facii jsou charakteristické zvyšující se hodnoty MS, indexu červenosti, obsahu železa a fosforu. Opač jsou snižující se hodnoty celkového jasu. Ve vrtu RA4 jsou obsahy jednotlivých zrnitostních frakcí velmi nekonzistentní. Ve vrtu RA5 lze pozorovat souvislý nárůst písčité frakce a naopak se snižující množství jílu a prachu. Ve vrtu RA6 dochází se zvyšující se hloubkou ke snižování obsahu jílové frakce. Zvyšující se MS a především obsah organického materiálu v kombinaci se stratigrafickou pozicí naznačuje, že by tato facie mohla představovat nivní půdu předrybníční etapy či přechodovou facii mezi pohřbenou nivní půdou a facíí R, která vznikala v méně dynamickém prostředí. Půda pod těmito rybníky může mít rozdílné chemické a fyzikální vlastnosti než měla původně.

Po zaplavení rybníků se vlastnosti půdy mění v důsledku kontinuálního zaplavování a přísunem látek z rybníční vody (Boyd 1995; Yuvanatemiyi & Boyd 2006).

Poslední facii, která se nachází na bázi vrtů RA4, RA5 a RA6 je vrstva F, pro kterou je typická tmavší hnědá barva s naoranžovými odstíny. Místy se vyskytují větší poloostrohranné úlomky hornin. Hodnoty MS ve všech vrtech lehce klesají. Ve vrtech RA4 a RA5 lze pozorovat největší zastoupení písčité frakce ze všech vrtů. Naopak nejnížší je podíl jílové frakce. Ostatní parametry se v rámci těchto tří vrtů odlišují, ale na základě ne moc velké mocnosti této vrstvy nelze určit jejich postupující charakter. Tyto podložní sedimenty na bázích vrtů RA4, RA5 a RA6 nebyly dále proniknuty do větších hloubek, jelikož jejich přítomnost na dně jádra se projevovala drtivým hlukem a zvýšeným odporem při vrtání (Sedláček et al. 2020). Na základě těchto projevů je tento materiál určený jako hrubozrnný sediment. Jedná se o písky až šterkovité písky, které dle geologické situace na lokalitě budou patrně fluvialního původu.

Geofyzikální průzkum

Naměřené odpory v profilu (obr. 6) zachycují široká spektra hodnot měrného odporu od 1 do 800 Ω .m, v profilu lze vyčlenit tři domény. Doména A, s nejnižšími hodnotami měrného odporu (1–100 Ω .m), vystupuje mělce při povrchu do hloubky maximálně 1 m. Hodnoty



Obr. 5: Křivkové trendy vybraných geochemických a fyzikálních parametrů ve vrtných jádrech RA1, RA2 a R4.

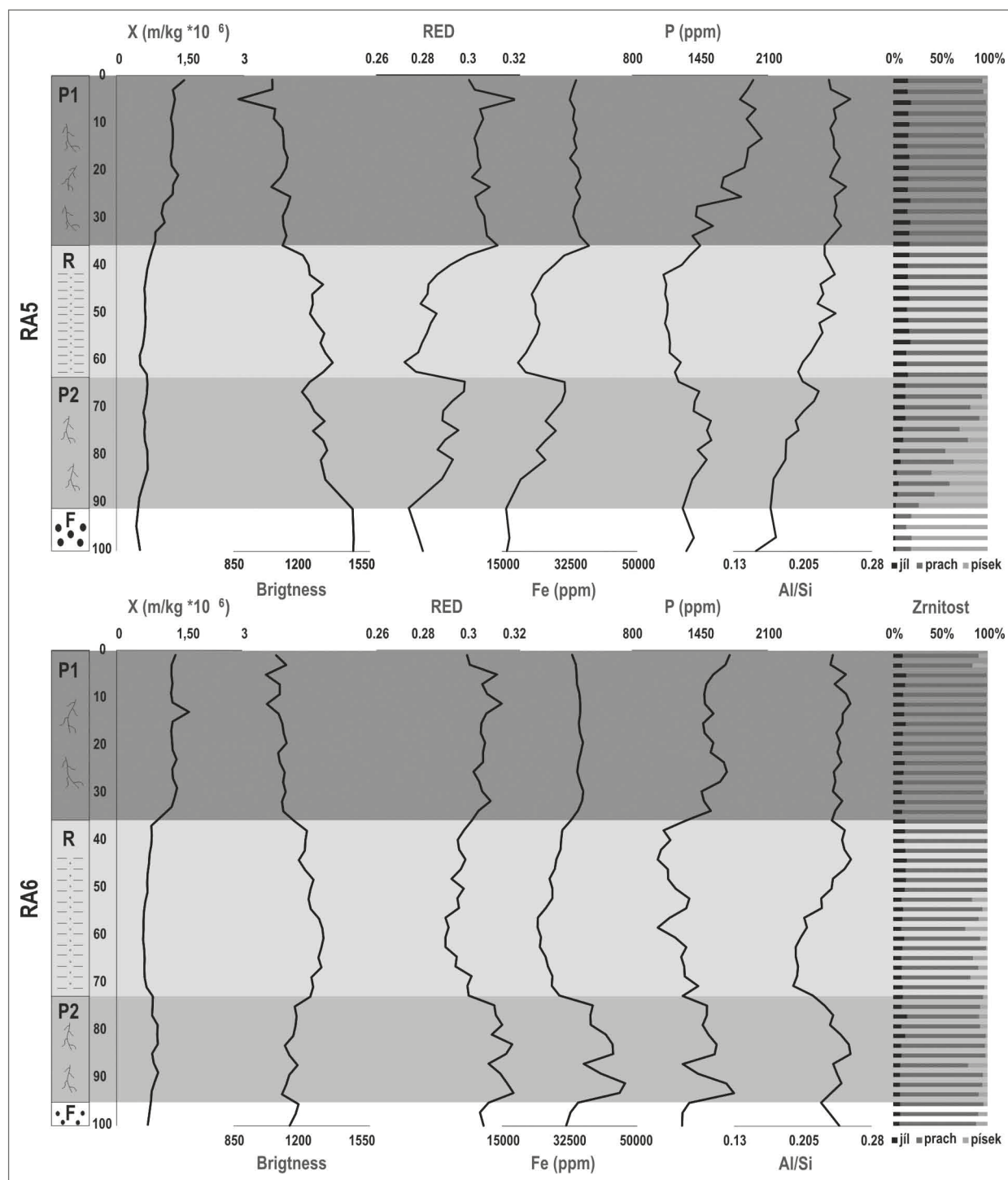
Fig. 5: Curve trends of selected geochemical and physical parameters in RA1, RA2 and R4 drill cores.

od 200 do 500 $\Omega \cdot m$ představují doménu B a dosahují největší hloubky a rozsahu. Hloubkový rozsah této domény je 1–12 m. Největší naměřené hodnoty měrného odporu lze nalézt v SSZ části profilu a v přepovrchové části mezi 40 až 60 m. Tyto vysoké hodnoty jsou pojmenovány doménou C. Měrné odpory zde dosahují hodnot 650 až 800 $\Omega \cdot m$.

Nízké hodnoty rezistivity domény A je možné korelovat s jemnozrnným sedimentem facie P1 a R, které představují rybníční sediment a recentní půdu. Gómez-Ortiz et al. (2010) přiřazuje ve své práci jílovitý a prachovitý materiál k hodnotám rezistivity do 25 $\Omega \cdot m$. Facií B a C svými odpory odpovídají hodnotám hrubozrnnějších fluvialních sedimentů (písky a štěrky). Obdobné měrné

odpory jsou charakteristické pro fluvialní prostředí (Bábek et al. 2018; Petřík et al. 2018).

V georadarových profilech (obr. 7 a obr. 8) lze rozlišit tři typy radarových facií (tab. 2). Chaoticky zvlněné reflektory s vysokou amplitudou, které jsou uspořádány nepravidelně lze označit jako RF1. Hloubkový rozsah těchto reflektorů v jednotlivých profilech je v rozmezí 60–200 cm. Průběžné reflektory s nízkou amplitudou představují radarovou facií RF2. Viditelnost těchto reflektorů je v některých profilech velmi nízká, nejčastěji jsou však zřetelné v hloubkách od 70 do 150 cm. Třetí facií RF3 je tvořena průběžně zvlněnými reflektory s drobnými hyperbolami v přepovrchových částech jednotlivých profilů.



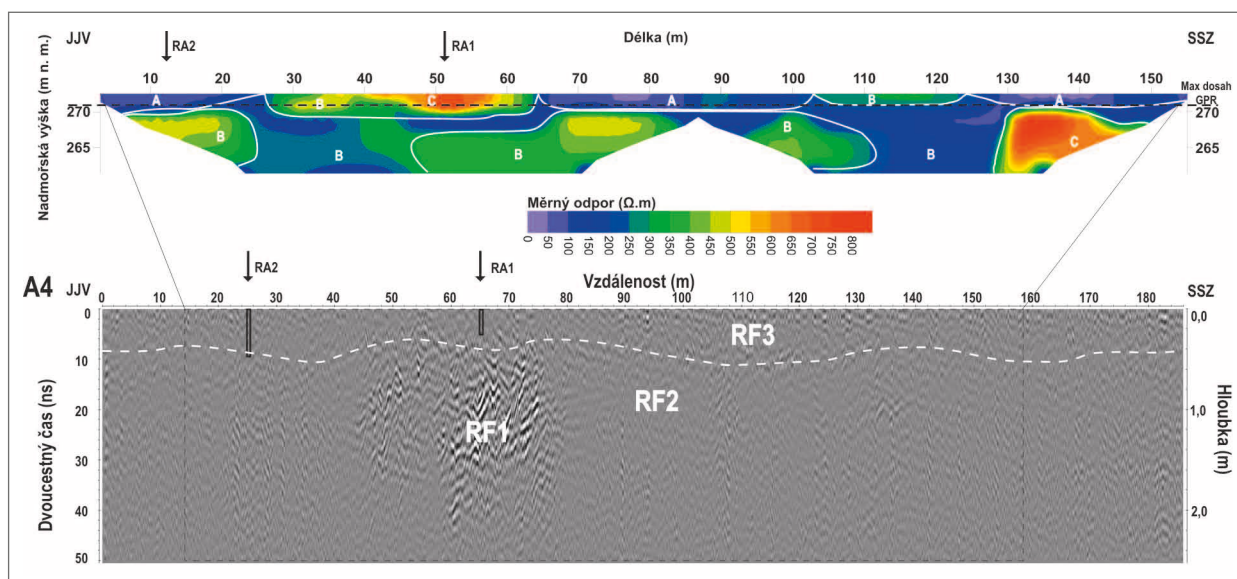
Obr. 6: Křivkové trendy vybraných geochemických a fyzikálních parametrů ve vrtných jádrech RA5 a RA6.

Fig. 6: Curve trends of selected geochemical and physical parameters in RA5 and RA6 drill cores.

Zdrojem chaotických reflektorů jsou ve fluvialním prostředí převážně hrubozrnné sedimenty (šterky) (Bábek et al. 2021; Elznicová et al. 2022), nárůst amplitudy je spojen s rychlou změnou prostředí doprovázenou velkým rozdílem relativních dielektrických permitivit (Bristow & Jol 2003; Neal 2004). Ve fluvialním prostředí se takto nejčastěji projevují náhlé změny zrnitosti sedimentu, např. rozhraní jeseptní val/nivní půda (Petřík et al. 2018; Elznicová et al. 2022). RF1 je typickým představitelem projevu hrubozrnných sedimentů (šterků) v radarovém záznamu fluvialního prostředí. Prostorová korelace s ERT profilem

dává RF1 do souvislosti s vysoko-odporovou doménou C, což je také typické pro hrubozrnné fluvialní sedimenty (Baines et al. 2002; Bábek et al. 2021).

V hlubších částech radarových profilů byla mimo RF1 zachycena i RF2, nízká amplituda těchto průběžných reflektorů naznačuje buď na poměrně homogenní prostředí, nebo pozvolnou změnu do podloží, která je pro georadar jen velmi těžko zachytitelná a projevuje se jako oblast bez výrazných reflektorů (Neal 2004; Bábek et al. 2021; Elznicová 2022). V ERT profilech této facii odpovídá především doména B se středními odpory.



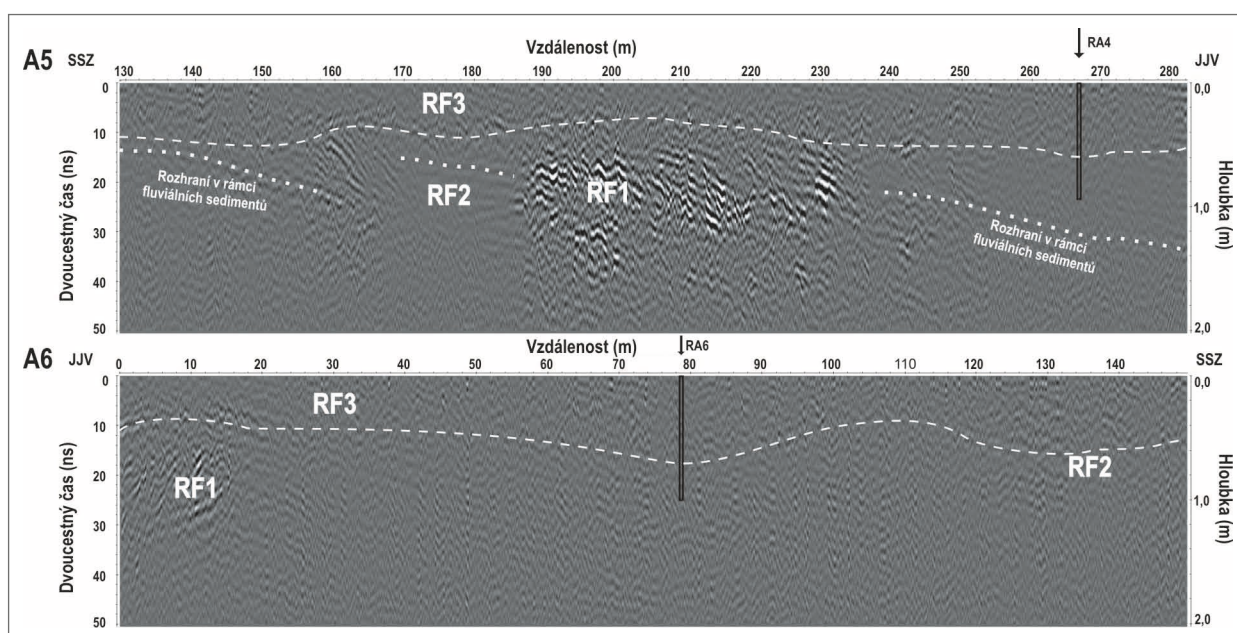
Obr. 7: Výsledný ERT profil korelovaný na GPR profil A4. Vyznačená pozice vrtů RA1 a RA2.

Fig. 7: The resulting ERT profile correlated to the GPR profile A4. Marked position of boreholes RA1 and RA2.

Vzhledem k charakteru reflektorů a hodnotám rezistivity se pravděpodobně jedná o fluvialní písky a šterky, které byly dokumentovány na bázi vrtů RA4, RA5 a RA6. Radarová facie RF3 se projevuje jako více méně průběžná, zvlněný reflektor se střední intenzitou amplitudy. Vzhledem ke stratigrafické pozici a hloubce reflektoru (max. zaznamenaná hloubka 74 cm) je možné tento reflektor považovat za rozhraní mezi původním povrchem říční krajiny a rybníčním sedimentem. Pozici RF3 odpovídá ERT doména A. Změny v hloubce zjištěného rybníčního sedimentu ve vrtech odpovídají nerovnoměrnému rozložení mocností rybníčního sedimentu zjištěného z geofyzikálního měření.

Za přibližně 300 let existence Leštinského rybníku bylo ve vrtech dokumentováno maximálně 38 cm

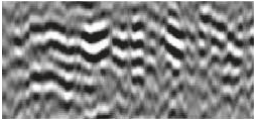
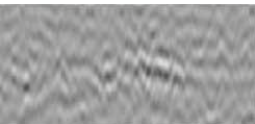
rybníčního sedimentu, což plošně potvrdily i georadarové průzkumy s maximální zjištěnou hloubkou báze facie R v 74 cm. To odpovídá přibližnému přírůstku sedimentu ve studovaném rybníku cca o 0,13 cm/rok. Pro porovnání rychlost sedimentace v rybnících okolo Malešova byla velmi proměnlivá a pohybovala se od 0,4 cm/rok mimo koryta až po 5,2 cm/rok v bývalých říčních korytech (Bábek et al. 2021). Dále Balascio et al. (2019) ve své studii uvádí míru sedimentace v mlýnských rybnících okolo 0,5 cm/rok. V českých přehradních nádržích se rychlost sedimentace obvykle pohybuje od 0,3 do 4,6 cm/rok (Sedláček et al. 2016). Podobně jako u přehradních nádrží je rychlost sedimentace v rybnících velmi specifická pro každou danou lokalitu (Bábek et al. 2021). Nízké mocnosti sedimentu jsou zde pravděpodobně



Obr. 8: Georadarové profily A5 a A6 s vyznačenými vrtů RA4 a RA6.

Fig. 8: Georadar profiles A5 and A6 with boreholes marked RA4 and RA6.

Tab. 2: Typy georadarových reflektorů zaznamenaných na zkoumané lokalitě, jejich charakterizace a následná interpretace.
 Tab. 2: Types of GPR reflectors recorded at the study area, their characterization and subsequent interpretation.

Reflektory	Označení	Typ reflektoru	Charakterizace reflektoru	Interpretace
	RF1	Chaotické	zvlněné reflektory, vysoká amplituda, nepravidelné uspořádání	Hrubozrnný fluvialní sediment
	RF2	Průběžné	průběžné reflektory, nízká amplituda	Jemnozrnný fluvialní sediment
	RF3	Zvlněné	průběžně zvlněné reflektory, drobné hyperboly	Báze rybníčního sedimentu – původní povrch nivy

důsledkem původní mělké hloubky rybníka, procesem letnění i pravidelným odstraňováním sedimentu. Dalším aspektem nízké mocnosti sedimentu je, že málokterý rybník byl průtočný a většina byla regulována náhonem mimo hlavní tok (obtokový rybník). Část sedimentů, hlavně jemná frakce, potom odcházela při výlovu, kdy se rybník vypouštěl a vířil sediment. V rybníčním sedimentu nebyla zjištěna žádná stratigrafie pravděpodobně z důsledku hospodářských okolností. S tím se nejspíše pojí i nízký obsah fosforu, jakožto indikátoru organické hmoty, kdy pravidelné letnění rybníků zamezilo sezónní přísunu organické hmoty.

Závěr

V oblasti zaniklého Leštinského rybníku byl rybníční sediment studován s využitím geofyzikálních metod a mělkého vrtného průzkumu. Celkem byly ve vrtech identifikovány 4 facie, které se lišily fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Tyto facie byly identifikovány jako recentní půda, rybníční sediment, pochovaná nivní půda vyvinutá z fluvialních sedimentů a hrubozrnné písky.

Tyto sedimenty dobře korelují s radarovými faciemi i vodivostními doménami zjištěnými elektrickou odporovou tomografií. Na základě kombinace zvolených metod je možné usuzovat na prostorovou distribuci rybníčního sedimentu a jeho maximální mocnost. Obě použité metody ukázaly, že báze rybníčního sedimentu je uložena poměrně mělce pod povrchem (max. 76 cm). Facie byla zachycena ve vrtech RA2, RA4, RA5 a RA6. Ve vrtu RA6 byla zjištěna maximální mocnost rybníčního sedimentu 38 cm. Ve vrtu RA2 (12 cm), RA4 (20 cm) a RA5 (28 cm). Důvodem tak nízké mocnosti rybníčního sedimentu je pravděpodobně letnění rybníku, při kterém docházelo k pravidelnému vysoušení a odstraňování rybníčního sedimentu, což mohlo mít za následek nepřítomnost vnitřní stratigrafie (laminace, zbytky organické hmoty).

Poděkování

Tento výzkum byl finančně podpořen grantem IGA_PřF 2022_021 (Historická a současná kontaminace sedimentárních archivů). Autoři děkují recenzentům M. Vágnerovi a T. M. Grygarovi za podnětné komentáře a připomínky.

Literatura

- Bábek, O., Sedláček, J., Novák, A., Létal, A. (2018). Electrical resistivity imaging of anastomosing river subsurface stratigraphy and possible controls of fluvial style change in a graben-like basin, Czech Republic. – *Geomorphology*, 317, 139–156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.012>
- Bábek, O., Sedláček, J., Lendáková, Z., Elznicová, J., Tolaszová, J., Pacina, J. (2021). Historical pond systems as long-term composite archives of anthropogenic contamination in the Vrchlice River, Czechia. – *Anthropocene*, 33, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100283>
- Baines, D., Smith, D. G., Froese, D. G., Bauman, P., Nimack, G. (2002). Electrical Resistivity ground imaging (ERGI): a new tool for mapping the lithology and geometry of channel-belts and valley-fills. – *Sedimentology*, 49, 441–449. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2002.00453.x>
- Balascio, N. L., Kaste, J. M., Meyer, M. G., Renshaw, M., Smith, K., Chambers, R. M. (2019). A high-resolution mill pond record from eastern Virginia (USA) reveals the impact of past landscape changes and regional pollution history. – *Anthropocene* 25. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100190>
- Barnet, I., Čurda, J., Holásek, O., Koverdinský, B., Manová, M., Müller, V., Opletal, M., Rejchrt, M., Skácelová, D., Šalanský, K., Večeřa, J. (1999). Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000. List, 14-41 Šumperk. – Praha, Český geologický ústav, 82 s. Edice ekologických map České republiky.

- Boyd, C. E. (1995). Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. – Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1785-6>
- Bristow, C. S., Jol, H. M. (2003). Ground Penetrating Radar in sediments. – Geological Society, London.
- Duras, J. (2022). Jak (ne)snadné je mít rybník s čistou vodou – příběh Velkého Boleveckého rybníka v Plzni. – Nakladatelství Academia, SSČ AV ČR. Časopis Živá 3/2022, 129–132.
- Elznicová, J., Kiss, T., Von Suchodoletz, H., Bartyik, T., Sipos, G., Lendáková, Z., Fačevicová, K., Pavlů, I., Kovárník, J., Matys Grygar, T. (2022). Was the termination of the Jizera River meandering during the Late Holocene caused by anthropogenic or climatic forcing? – Earth Surface Processes and Landforms. <https://doi.org/10.1002/esp.5509>
- Frajer, J. (2021). Mezi vrstvami palimpsestu: historickogeografický výzkum proměn funkcí malých vodních nádrží na příkladu města Časlav. – Geografie, 126, 4, 393–418. <https://doi.org/10.37040/geografie2021126040393>
- Gergel, J., Husák, Š. (1997). Revitalizace vodních nádrží. – 1. Vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 56 s.
- Hurt, R. (1960). Dějiny rybníkářství na Moravě a ve Slezsku. I. díl. – Ostrava: Krajské nakladatelství.
- Chudaničová, M., Hutchinson, S. M., Hradecký, J., Sedláček, J. (2016). Environmental magnetism as a dating proxy for recent overbank sediments of (peri-)industrial regions in the Czech Republic and UK. *Catena* 142, 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.008>
- Čtyroký, P. (1995). Stratigrafie svrchního miocénu a pliocénu Hornomoravského úvalu. – Zprávy o geologických výzkumech, 1994, 28–31.
- Demek, J., Balatka, B., Buček, A., Czudek, T., Dědečková, M., Hrádek, M., Ivan, A., Lacina, J., Loučková, J., Raušer, J., Stehlík, O., Sládek, J., Vaněčková, L., Vašátko, J. (1987). Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. – Academia. Praha
- Demek, J., Mackovčin, P., Balatka, B., Buček, A., Cibulková, P., Culek, M., Čermák, P., Slavík, P., Vašátko, J. (2006). Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. – AOPAK ČR, Brno.
- Gómez-Ortiz, D., Martín-Velázquez, S., Martín-Crespo, T., De Ignacio-San, J. C., Lillo-Ramos, J. (2010). Application of electrical resistivity tomography to the environmental characterization of abandoned massive sulphide mine ponds (Iberian Pyrite Belt, SW Spain). – Near Surf. Geophys. 8, 65–74. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2009052>
- Graney, J. R., Eriksen, T. M. (2004). Metals in pond sediments as archives of anthropogenic activities: a study in response to health concerns. – Appl. Geochem. 19 (7), 1177–1188. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.01.014>
- Laine, A., Gauthier, E., Garcia, J. P., Petit, C., Cruz, F., Richard, H. (2010). A three-thousand-year history of vegetation and human impact in Burgundy (France) reconstructed from pollen and non-pollen palynomorphs analysis. – C. R. Seances Soc. Biol. Fil. 333 (11–12), 850–857. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.08.006>
- Neal, A. (2004). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. – Earth-Sci Rev 66(3):261–330. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>
- Pavelková Chmelová, R., Frajer, J., Netopil, P. (2014). Historické rybníky České republiky: srovnání současnosti se stavem v 2. polovině 19. století. – Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka.
- Pavelková, R., Frajer, J., Havlíček, M., Netopil, P., Rozkošný, M., David, V. (2016). Historical ponds of the Czech Republic: an example of the interpretation of historic maps. – J. Maps 12 (suppl), 551–559. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1203830>
- Petrík, J., Hlavica, M., Petr, L., Chmela, T., Schenk, Z., Lukšíková, H., Milo, P., Vrla, R., Odehnal, P., Petrůj, Z., Petrůj, M., Kočár, P. (2017). Rybník jako součást hospodářství vrchnostenského panství a indikátor podoby krajiny jižního Valašska v 15. až 17. století. – Archaeologica historica. Brno: Muni Press, roč. 42, č. 2, s. 789–817.
- Petrík, J., Doláková, N., Nehyba, S., Lendáková, Z., Přistáková, 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. <https://doi.org/10.5817/GVMS2018-1-2-41>
- Power, A. L., Worsley, A. T. (2009). Using urban man-made ponds to reconstruct a 150-year history of air pollution in northwest England. *Environment. Health* 31 (2), 327. <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9215-4>
- Sedláček, J., Bábek, O., Matys Grygar, T. (2013). Trends and evolution of contamination in a well-dated water reservoir sedimentary archive: the Brno Dam, Moravia, Czech Republic. – Environ. Earth Sci. 69, 2581–2593. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2089-x>
- Sedláček, J., Bábek, O., Kiehl, O. (2016). Sediment accumulation rates and high-resolution stratigraphy of recent fluvial suspension deposits in various fluvial settings, Morava River catchment area, Czech Republic. – Geomorphology 254, 73–87. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.11.011>
- Sedláček, J., Tolasová, J., Kříženecká, S., Bábek, O., Zimová, K. (2020). Regional contamination history revealed in coal-mining-impacted Oxbow Lake sediments. – Water Air Soil Pollut. 231:208. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04583-1>
- Stolz, C., Grunert, J. (2008). Floodplain sediments of some streams in the Taunus and Westerwald Mts., western Germany, as evidence of historical land use. – Zt. Geomorphol. 52 (3), 349–373. <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2008/0052-0349>
- Sychra, J., Danihelka, J., Heralt, P., Horal, J., Horský, M., Chytil, J., Kubíček, F., Květ, J., Macháček, P., Příkrýl, I., Roleček, J. (2008). Letnění rybníka Nesyt v roce 2007. – Živa LVI(XCIV), č. 4, 189–192.
- Šarapatka, B., Pavelková Chmelová, R., Frajer, J. (2014). The Development of Pond-Management as an Integral Part of the Cultural Inheritance of the Czech Republic Focusing on the Situation from the Mid-19th Century. – Životné prostredie, 48, 1, S29–32.
- Špaček, P., Bábek, O., Štěpánčiková, P., Švancara, J., Pazdírková, J., Sedláček, J. (2015). The Nysa-Morava Zone: an active tectonic domain with Late Cenozoic sedimentary graben in Western Carpathians' foreland (NE Bohemian Massif). – Springer – Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s00531-014-1121-7>
- Vrána, K., Beran, J. (2002). Rybníky a účelové nádrže. – Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- Yuvanatiya, V., Boyd, C. E. (2006). Physical and chemical changes in aquaculture pond bottom soil resulting from sediment removal. – Aquac. Eng. 35, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.02.001>