

30

Geologické výzkumy

na Moravě a ve Slezsku

Geological Research

in Moravia and Silesia

kenozoikum
mezozoikum
paleozoikum
krystalinikum
aplikovaná geologie



30. ročník/2023/1–2
Brno 2023



Slepence a pískovce palkovického souvrství slezské jednotky odkryté v hradním příkopu na Starojickém kopci. Silné lavice středno- a hrubozrnných nevytřídných slepenců uložených v proximální části turbiditního vějíře jsou z větší části produkty úlomkotoků. Některé hrubě klastické vrstvy odpovídají svým charakterem produktům tzv. hybridních událostí. Autor L. Maceček, 2020.



Pohled na část odlučné hrany nově vzniklého sesuvu v roce 2006 v Halenkovicích na Zlínsku. Autor O. Krejčí, 2006.



Proudový sesuv z roku 2006 v Halenkovicích na Zlínsku. Autor O. Krejčí, 2013.

Snímek na 1. straně: Morfologicky nápadná příkrovová troska Starojického kopce tvořená slepenci a pískovci palkovického souvrství slezské jednotky nasunutými na pelitických souvrstvích podslezské jednotky. Pohled od jihu (od Janovic). Autorka H. Gilíková, 2006.

GEOLOGICKÉ VÝZKUMY NA MORAVĚ A VE SLEZSKU

Geological research in Moravia and Silesia

Redakce – adresa a kontakty:

Marek Slobodník, šéfredaktor,
Ústav geologických věd MU,
Kotlářská 2, 611 37 Brno,
e-mail: marek@sci.muni.cz,
tel.: +420 549 497 055
Helena Gilíková, technická redakce,
Česká geologická služba,
Leitnerova 22, 658 69 Brno,
e-mail: helena.gilikova@geology.cz,
tel.: +420 543 429 233

Sazba a technická redakce:

Pavel Klímeček, Helena Gilíková

Obal, tiráž, web:

Helena Gilíková, Martin Knížek
Koncept obálky vytvořil Jan Kudělásek

Jazyková úprava:

Eva Žáčková

Zpracování pro tisk:

Adobe InDesign CS5.5

Adobe Photoshop CS5

Tisk: POINT CZ spol. s r. o.

Vydává Masarykova univerzita,
Žerotínovo nám. 9, 601 77 Brno
IČO 00216224
Vychází dvakrát ročně,
toto číslo vychází 22. 12. 2023
v nákladu 50 výtisků

Časopis je evidován MK ČR
pod č. E 19837
ISBN 978-80-280-0263-3 (print)
ISBN 978-80-280-0264-0 (on-line)
ISSN 1212-6209 (print)
ISSN 2336-4378 (on-line)

© 2023 Masarykova univerzita

Časopis Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku (GVMS) je recenzovaným periodikem zařazeným do databáze SCOPUS, EBSCO a CrossRef. Zaměření GVMS spočívá v publikování kvalitních zjištění a faktů, nových dat z různých geologických disciplín a regionů a jejich základní diskuse a interpretace. Cílem publikace je informování geologické veřejnosti o nových výzkumech, objevech a pokroku řešených projektů a jejich dílčích závěrech. Elektronické vydání je dostupné v archivu na adrese: <http://journals.muni.cz/gvms/>

Redakční rada:

Katarína Adameková, Ústav geologických věd, PřF MU
Roman Aubrecht, KGP UK Bratislava
Aleš Bajer, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně
David Buriánek, Česká geologická služba
Jiří Faimon, Ústav geologických věd, PřF MU
Milan Geršl, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně
Helena Gilíková, Česká geologická služba
Radomír Grygar, Hornicko-geologická fakulta VŠB-TU
Mathias Harzhauser, Naturhistorisches Museum Wien
Martin Ivanov, Ústav geologických věd, PřF MU
Václav Kachlík, Ústav geologie a paleontologie, PřF UK
Karel Kirchner, Ústav geoniky AV ČR
Martin Knížek, Ústav geologických věd, PřF MU
Zdeněk Losos, Ústav geologických věd, PřF MU
Martin Netoušek, Kamenolomy ČR
Marek Slobodník, Ústav geologických věd, PřF MU
Pavla Tomanová Petrová, Česká geologická služba

Editoři článků (executive editors):

Katarína Adameková, Aleš Bajer, David Buriánek, Jiří Faimon,
Martin Ivanov, Zdeněk Losos, Marek Slobodník, Pavla Tomanová
Petrová

Na vydání čísla 30. ročníku se podíleli, včetně finanční podpory:
Ústav geologických věd PřF, Masarykova univerzita
Česká geologická služba
RNDr. Karel Martyčák – www.mikroskopy-prodej.cz
Českomoravský štěrk, a.s.

Redakce přijímá články v českém nebo anglickém jazyce, připravené podle pokynů pro autory. Příspěvky se přijímají po celý rok prostřednictvím redakčního systému na adrese <http://journals.muni.cz/gvms/>. Články budou průběžně recenzovány, redakčně zpracovány a publikovány on-line. Po naplnění kapacity čísla do tisku budou později přijaté texty k publikování zařazeny do následujícího vydání. Redakce si vyhrazuje právo odmítnout špatně připravený příspěvek! Pokyny pro autory, další informace, typografické značky a formát citací naleznete na adrese: <http://journals.muni.cz/gvms/about/submissions#authorGuidelines>

EDITORIAL

Vážení čtenáři a spolutvůrci časopisu *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, dovoluji mi na tomto místě uvést několik zamyšlení či úvah. Je mi ctí v úvodu publikace výročního 30. ročníku časopisu připomenout také několik milníků za dobu jeho historie.

Jsem rád, že jsem se mohl v posledních 16 letech (od r. 2007), také v roli šéfredaktora, účastnit zveřejnění a publikování dlouhé řady článků o výzkumech s různou problematikou geologie. Za těch 30 let se zaměření časopisu nezměnilo ve smyslu informování o nových výzkumech procesů ze všech geologických oborů a útvarů, protože potřeba kvalitních regionálních informací trvá. Časopis se proměnil z pohledu formy a technické produkce. Protože v časopisu nejsme redakce na plný úvazek (každý z redakce máme svoje jiné pracovní povinnosti a pozice i v jiných institucích), tak bylo třeba postupně přizvat další kolegy a rozdělit si práci a jednotlivé funkce v redakci včetně technických. Dobrá redakční práce vedla k podstatnému zlepšení grafiky a sazby jak vlastních článků, tak i obálky. Časopis postupně rozšířil i možnosti v publikaci článků a v šíření odborných informací. V začátcích to byly jen fyzické výtisky jednotlivých ročníků, později měl časopis i svoje internetové stránky, které vznikaly doslova na koleně (2000–2010) a s nimiž jsem se hodně natrápil. V poslední době je časopis součástí databáze a publikačního serveru MU a využívá redakční systém univerzity a asistenci nakladatelství Munipress. Kromě zákonem daných povinných výtisků má časopis i další vzájemné výměny mezi knihovnami a institucemi. Publikace časopisu v režimu open access umožnila zařazení do různých časopisových databází. V současné době je časopis zařazen také v databázích CrossRef, SCOPUS anebo EBSCO. Jednotlivé články jsou od roku 2023 publikovány v rámci licence Creative Commons pod typem CC BY-NC-ND, což umožňuje autorům mít lepší představu o tom, jak s jejich informacemi a publikacemi bude nakládáno.

V posledních letech jsme bohužel svědky trendu snižování počtu menších či regionálních publikací v časopisech s geologickými výzkumy. Často se dnes autoři setkávají s velkým tlakem do publikací jen v mezinárodních časopisech Q1–Q2 s nejvyššími IF. Svoji podstatou jde o působení čistě ekonomických faktorů, jejichž extrémní působení považuji za systémovou chybu, která neprospívá publikování výsledků výzkumu a limituje svobodu vědy. V neposlední řadě je ve výsledku odpracováno/odbadáno a publikováno méně, než by mohlo být. Důsledek tohoto ekonomického tlaku je možné pozorovat až na mezinárodní úrovni, když se jako recenzenti setkáváme s častějším výskytem nekvalitních publikací, a dokonce i podvodných skutků u publikací, a s existencí predátorských časopisů/vydavatelství.

Celý náš redakční tým se činí, aby udržel poslání časopisu, jeho kvalitu a tuto posouval k lepšímu výsledku. A tak bych touto cestou chtěl poděkovat celé řadě kolegyní a kolegů či spolupracovníků, kteří stáli anebo stojí při tvorbě časopisu dnes a usilují o to, aby byl užitečný a úspěšný i nadále. Díky patří i kolegům v nakladatelství MU, kteří bdí nad publikací našeho časopisu a jeho publikačními a právními standardy.

Marek Slobodník

OBSAH

CONTENTS

Ověření výsledků statistického modelu náchylnosti k sesouvání v oblasti Chřibů a severní části Kyjovské pahorkatiny

Verification of the results of the statistical model of susceptibility to landslides in the area of the Chřiby (Highland) and northern part of the Kyjovská pahorkatina (Hilly land)
 Vladimíra Krejčí, Dagmar Kašperáková, Oldřich Krejčí, Pavla Tomanová Petrová 7

Nový pohled na pozici slepenců od Starého Jičína ve slezské jednotce flyšového pásma Karpat

New insight on position of conglomerates from Starý Jičín in the Silesian Unit of the Carpathian Flysch Belt
 Lukáš Maceček, Miroslav Bubík 18

Registrace seismických jevů stanicí VRAC v letech 2011 až 2022 v porovnání s globální seismicitou

Registrations of seismic events by station VRAC in the period from 2011 to 2022 in comparison to global seismicity
 Josef Havíř 30

New record of Middle Miocene (Badenian) brachiopods from Moravia, Czech Republic

Maria Aleksandra Bitner, Šárka Hladilová, Stanislav Hrouzek 38

Výzkum sedimentů zaniklého Leštinského rybníku na Zábřežsku

Research of sediments of the extinct Leštinský pond in the Zábřeh region
 Lukáš Maloušek, Jan Sedláček, Zuzana Lendáková, Aleš Létal, Jan Pacina, Dominik Brétt 45

Vyhodnocení fluvialních sedimentů a paleoekologická rekonstrukce prostoru ulice Křenová v Brně

Assessment of fluvial sediments and palaeoecological reconstruction of the area of Křenová street in Brno
 Kristína Majorošová, Jan Petřík, Libor Petr, Jarmila Bíšková, Róbert Antal, Hynek Zbranek, Katarína Adameková 56

Hydrogeologické poměry hydrogeologického rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy z hlediska tvorby podzemní vody jako zdroje vody pitné

Hydrogeological conditions of hydrogeological area 4232 Ústí syncline in the drainage basin of the Svitava river from the point of view of groundwater formation as a source of drinking water

Jitka Novotná, Roman Hadacz, Kristián Drahoš, Jan Sedláček, Eva Kryštofová, Vít Baldík, Jiří Rez, David Honek 66

Ověření výsledků statistického modelu náchylnosti k sesouvání v oblasti Chřibů a severní části Kyjovské pahorkatiny

Verification of the results of the statistical model of susceptibility to landslides in the area of the Chřiby (Highland) and northern part of the Kyjovská pahorkatina (Hilly land)

Vladimíra Krejčí✉, Dagmar Kašperáková, Oldřich Krejčí, Pavla Tomanová Petrová

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, Česká republika

Key words:

Chřiby (Highland), Kyjovská pahorkatina (Hilly land), landslides, multivariate statistical method, landslide susceptibility assessment

✉ vladimira.krejci@geology.cz

Editor:

Aleš Bajer

Abstract

The aim of our work was to use a statistical model to determine the degree of susceptibility assessment in the area of the Chřiby (Highland) and northern part of the Kyjovská pahorkatina (Hilly land) and then compare the results with field verification of their actual occurrence in a part of this previously unmapped area. Studied part with a total area of 353.47 km² is frequently affected by landslides (580 landslides covering 9% of the area). The mapped area and the results comparing with the final landslide susceptibility map showed that more than 85 % of the mapped landslides are located in areas of high and very high landslide susceptibility. For locations that were not detected by this statistical method, but where landslides were nevertheless subsequently mapped, it was found that their origin was initiated by phenomena other than the input conditions used for the analysis. The results of the analysis were verified by field research of the territory, which had not previously been comprehensively mapped (south part of the model area). A total of 98 landslides were newly identified or revised, covering a total area of 4 km², corresponding to 7.4 % of the area reconnaissanced.

Úvod

Svahové deformace, jež způsobují rozsáhlé škody na majetku, zdraví i lidských životech, jsou celosvětovým problémem. Četné práce zabývající se stanovením náchylnosti území k sesouvání pocházejí z Itálie (Guzzetti et al. 1999). Pozornost společnosti se v současné době upírá na predikci sesuvného nebezpečí a rovněž na včasné varování (<https://nhess.copernicus.org/articles/18/1427/2018/>, <https://earthobservatory.nasa.gov/images/92018/predicting-landslide-hazards-in-near-real-time>).

Sesuvným hazardem nazýváme pravděpodobnost výskytu potenciálně škodlivého sesuvu určité intenzity v daném prostoru a čase (Varnes 1984; Havlín a Šikula 2017). Lze ho hodnotit různými metodami, jejichž výběr závisí na velikosti studovaného území, kvalitě a množství vstupních dat, na měřítku a mnoha dalších faktorech (Petrýdesová 2012). Z takto vzniklých prognózních map je možné odvodit kritická místa, kde se dá v budoucnosti, za předpokladu výskytu příčinných událostí, přednostně očekávat vznik svahových deformací (Bednarik 2014). Statistické zpracování hodnocení nebezpečí sesuvů je založeno na geologickém principu aktualismu, tzn., že sesuvy se budou vyskytovat v místech, kde se vyskytly již v minulosti, resp. v současnosti za podobných aktivačních podmínek (Tornyai a Dunčko 2013).

Doporučená citace článku:

Krejčí, V., Kašperáková, D., Krejčí, O., Tomanová Petrová, P. (2023). Ověření výsledků statistického modelu náchylnosti k sesouvání v oblasti Chřibů a severní části Kyjovské pahorkatiny. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 30, 1–2, 7–17.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-21547>

Příklady použití statistických metod při hodnocení sesuvného hazardu publikovali Carrara (1983, 1988), Carrara et al. (1991), Clerici (2002), Guzzetti et al. (1999), Nandi a Shakoor (2010), Pasang a Kubíček (2020) a další. Buechi et al. (2019) porovnávali přístup mapování indexu stability (SINMAP) s empirickými statistickými modely využívajícími logistickou regresi a model hustoty sesuvů. Na Slovensku se ve svých pracích touto tematikou zabývali Pauditš a Bednarik (2002), Pauditš (2006), Magulová (2009), Bednarik a Pauditš (2010) a Bednarik et al. (2010), Vojteková a Vojtek (2020). Další srovnání z důvodu potřeby vyhodnotit vypovídací hodnotu výsledných map provedli Tornyai a Dunčko (2013), Bednarik et al. (2014) a Holec et al. (2018). Buša et al. (2019) použili bivariační a multivariační analýzu a prostorové rozložení nebezpečí svahových pohybů vypočetli pomocí metod vícerozměrné a bivariační analýzy. Analýzu neuronových sítí aplikoval při hodnocení sesuvného hazardu a výsledky porovnal s bivariační a multivariační statistickou analýzou Tornyai et al. (2016). Hodasová a Bednarik (2021) hodnotili účinek použití různých přístupů k vážení v procesu hodnocení náchylnosti k sesuvům. Přehlednou mapu sesuvného hazardu Slovenska sestavenou bivariační statistickou analýzou na podkladech v měřítku 1 : 100 000 a 1 : 50 000 zkompilevali Bednarik a Liščák (2010).

Z českých autorů tuto tematiku zpracovával Klimeš (2008) na příkladu Vsetínských vrchů, kdy identifikoval nejvíce náchylné části území pomocí modelu náchylnosti SINMAP. Křivka (2009) ve své bakalářské práci porovnával sesuvný hazard v oblasti Chřibů stanovený multivariační a bivariační analýzou. Havlín et al. (2011) využili v případové studii ve střední části pohoří Chřibů pro hodnocení náchylnosti k sesuvům logistickou regresi a analytické nástroje implementované v geografickém informačním systému (GIS). Analýzou rizika sesuvů v oblasti Vnějších Západních Karpat se zabývali Klimeš a Blahůt (2012). Předkládaný příspěvek je zaměřen regionálně a analyzuje v tomto rozsahu i následná řešení

včetně podkladových materiálů při rozboru metodického přístupu a následně i ve výsledcích.

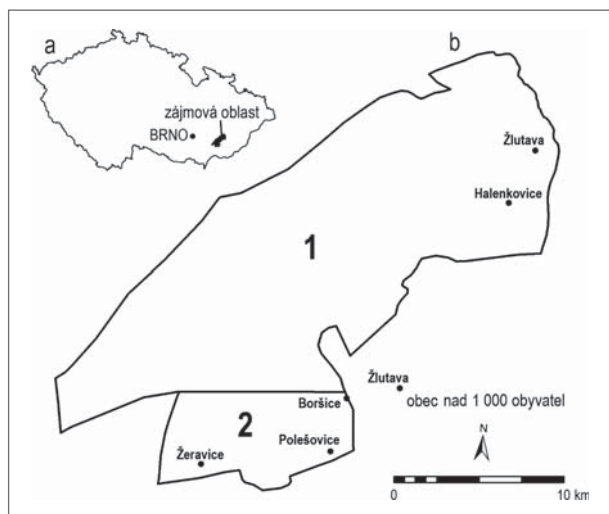
Flyšové pásmo Západních Karpat je typické výskytem svahových deformací. Příčinou je geologická stavba flyšových hornin, což znamená střídání pískovců a jílovců, mezi kterými se výrazně mění hydrogeologické a geotechnické vlastnosti. Důležitý je také různý stupeň zvětvávání flyšových hornin.

Cílem naší práce bylo pomocí statistického modelu určit míru náchylnosti ke svahovým deformacím na vybraném území (plocha 1+2 na obrázku 1b) a výsledky pak následně porovnat s terénním ověřením jejich skutečného výskytu v části této dříve plošně nezmapované oblasti (plocha 2 na obrázku 1b). Pro toto hodnocení bylo účelově vybráno území zahrnující Chřiby a část Kyjovské pahorkatiny o celkové rozloze 353,47 km², resp. oblast račanské jednotky vnějšího flyšového pásma Západních Karpat a vídeňské pánve. Jedná se o oblast, kde se hojně vyskytují svahové deformace, především typu sesouvání, a kde bylo provedeno zaměstnanci České geologické služby (ČGS) jejich plošné mapování v měřítku 1 : 10 000 (oblast 1 na obrázku 1b).

Přehled předchozích výzkumů v oblasti Chřibů

Oblast Chřibů byla z hlediska sesuvů a jejich sanace zkoumána zejména v souvislosti s projekty a provozem liniových staveb ať už silničních nebo produktovodů. Jednalo se o projektovanou dálnici Praha–Zlín, jejíž stavba byla v roce 1939 zahájena, ale v průběhu 2. světové války byla přerušena (Lídl a Janda 2006) a později již nebyla obnovena, mj. z důvodu výskytu rozsáhlých svahových deformací v plánované trase (Čížek et al. 1982; Provazník 1980). Hlavním dopravním koridorem v oblasti Chřibů je silnice I/50, která je významnou spojnici mezi Českou a Slovenskou republikou. V rámci inženýrskogeologických a geotechnických průzkumných prací byly místně zpracovány laboratorní analýzy zastižených zemin a hornin, ve většině případů však užívali autoři (například Provazník 1980) pouze směrné normové charakteristiky dle ČSN 73 6133, dnes již neplatné. Celou trasu silnice I/50 z hlediska výskytu svahových deformací zhodnotil a provedl její inženýrskogeologickou rajonizaci Woznica (2001). Zprávy o geologických průzkumných pracích jsou v ČGS evidovány v Databázi archivu zpráv a posudků (ASGI, <http://www.geology.cz/app/asgi/>).

Po roce 1997 zde probíhalo systematické mapování svahových deformací v měřítku 1 : 10 000 (Krejčí et al. 2008a, b), kdy byly postupně dokumentovány nové sesuvy nebo byly překlasifikovány sesuvy staré. Rovněž se uskutečnil inženýrskogeologický průzkum a monitoring vybraných sesuvů jako modelových lokalit za účelem poznání obecných kritérií spojených se vznikem sesuvů, např. sesuv v Halenkovicích (Krejčí et al. 2002; Bíl et al. 2014). Území Chřibů bylo významně postiženo během sesuvných událostí spojených s vysokými hodnotami srážek v letech 2006 a 2010 (Baldík et al. 2006 a Krejčí et al. 2010). Určením sesuvného hazardu a hodnocením náchylnosti části vybraného území k sesouvání se zabýval Havlín (2010) a Havlín et al. (2011, 2013).



Obr. 1: a – Pozice zájmové oblasti v rámci ČR; b – plošně zmapovaná (1) a plošně nezmapovaná (2) část území.

Fig. 1: a – Position of the area of interest within the Czech Republic; b – mapped (1) and non-mapped (2) part of the area.

Geologie zájmového území

V reliéfu studovaného území výrazně vystupuje geomorfologický celek vrchovinného charakteru Chřibů, který charakterizují sevřená údolí, strmé svahy a časté ostré vrcholy. Jižní svahy Chřibů přecházejí do tektonické sníženiny Vídeňské pánve (Boháč a Kolář 1996; Demek a Mackovčín, eds 2014).

Na geologické stavbě tohoto území se podílejí příkrovové jednotky flyšového pásma magurské flyšové skupiny. V jižní části na flyšových sedimentech spočívá svrchní miocén a pliocén vídeňské pánve. Značná část území je překryta kvartérními sedimenty pleistocénu a holocénu. Geologická stavba oblasti byla popsána z podkladů geologického mapování 1 : 25 000 (Chmelík et al. 1973), 1 : 50 000, listy Bučovice a Uherské Hradiště (Havlíček a kol. 1994; Stráník 1998) a přehledné geologické mapy 1 : 500 000 (Cháb et al. 2007).

Račanská jednotka zahrnuje sedimenty o stratigrafickém rozsahu svrchní křída–spodní oligocén (Picha et al. 2006 a Stráník et al. 2021).

Kaumberské souvrství stáří cenoman–maastricht je v zájmové oblasti nejstarším zjištěným vrstevním členem. Charakterizují je rudohnědé jílovce doprovázené křemito-vápnitými pískovci. Soláňské souvrství v jeho nadloží je členěno na ráztocké a lukovské vrstvy. Ráztocké vrstvy jsou typické středně rytmičným flyšovým charakterem se střídáním pískovců a šedých, často tmavě skvrnitých jílovců. Stáří vrstev je maastricht až spodní paleocén. Lukovské vrstvy představují hrubě písčité flyš s častými tělesy a polohami blokových slepenců. Belovežské souvrství má drobně rytmičkový flyšový vývoj s převahou jílovců, ve spodních polohách s rudými jílovci. Stratigraficky odpovídají vyššímu paleocénu až spodnímu eocénu.

Zlínské souvrství je nejmladším vrstevním členem račanské jednotky. V severní části Chřibů má v celé své mocnosti charakter středně rytmičného flyše s převahou vápnitých jílovců s typicky střepovitým rozpadem. Doprovázejí je pískovce zpravidla glaukonitické. Tento vývoj zlínského souvrství je označován jako vsetínské vrstvy. V jižní části Chřibů jsou ve spodní části zlínského souvrství vyvinuta tělesa a polohy arkózových a křemených pískovců středního eocénu. Popisovaná litofacie je označována jako luhačovické vrstvy.

Neogenní sedimenty vídeňské pánve jsou rozšířeny v j. části Chřibů svými svrchnomiocenními a pliocenními členy hradištského příkopu (Stráník et al. 2021). Vyšší sarmat (bílovické souvrství) transgreduje na magurský flyš písčitémi šterky, které do nadloží přecházejí v jíly až jílovce s vložkami uhelných jílovců. Sedimenty pannonu (bzenecké souvrství) se místy vyvíjejí z vyslazených jílovců vyššího sarmatu nástupem mocných klastik spodních zón pannonu (zóna A, B) a světlých prachových písků s bohatou makrofaunou, doprovázených kyjovskou uhelnou slojí. V nadloží kyjovské sloje jsou vyvinuty prachové písky s hojnou makrofaunou zóny C. Do nadloží přecházejí v jílovité sedimenty zóny D, které představují prohloubení sedimentačního prostředí.

Kvartérní pokryv tvoří eolické sedimenty pleistocénu značně rozšířené zejména v nižších výškových

úrovních mírně modelovaného morfologického reliéfu. Pleistocenního stáří jsou rovněž fluvialní šterky v terasách vodních toků. Holocén je reprezentován především svahovými a splachovými sedimenty a fluvialní výplní niv.

Stavbu flyšových příkrovů a miocénu hradištského příkopu porušují systémy příčných i podélných zlomů. Koncem svrchního miocénu, pliocénu a v pleistocénu zaznamenává převážná část území trvalý výzdvih.

Geologická stavba je zobrazena v mapové aplikaci <https://mapy.geology.cz/geocr50/>.

Metodika hodnocení sesuvného hazardu

Pro zvolené zájmové území byla pro modelování náchylnosti k sesouvání zvolena multivariační statistická metoda, která kombinuje několik vstupních parametrů současně a následně je porovnává s výskytem svahových deformací na daném území (Carrara 1983; Bednarik et al. 2014). V našem případě se jedná o 7 vstupních parametrů, které mají vliv na stabilitu svahů/vznik a vývoj svahových pohybů: geologie (ovlivňuje geomorfologické a hydrogeologické poměry území a je tak určující podmínkou vzniku svahových pohybů), využití území, nadmořská výška (ovlivňuje klimatické poměry oblasti, jako např. množství srážek nebo teplotu), sklon svahů, orientace ke světovým stranám, křivost reliéfu a výskyt svahových deformací. Při této analýze nevstupuje do hodnocení geohazardu proces vážení (Havlín – Šíkula 2017). Pro přípravu dat byla použita datová sada ZABAGED – ZM 10, polohopis a výškopis. Tato data byla poskytnuta v rámci nevýhradní licenční smlouvy mezi Zeměměřickým úřadem a Ministerstvem životního prostředí. Pro každý parametr byla z těchto dat vytvořena parametrická mapa (obr. 2).

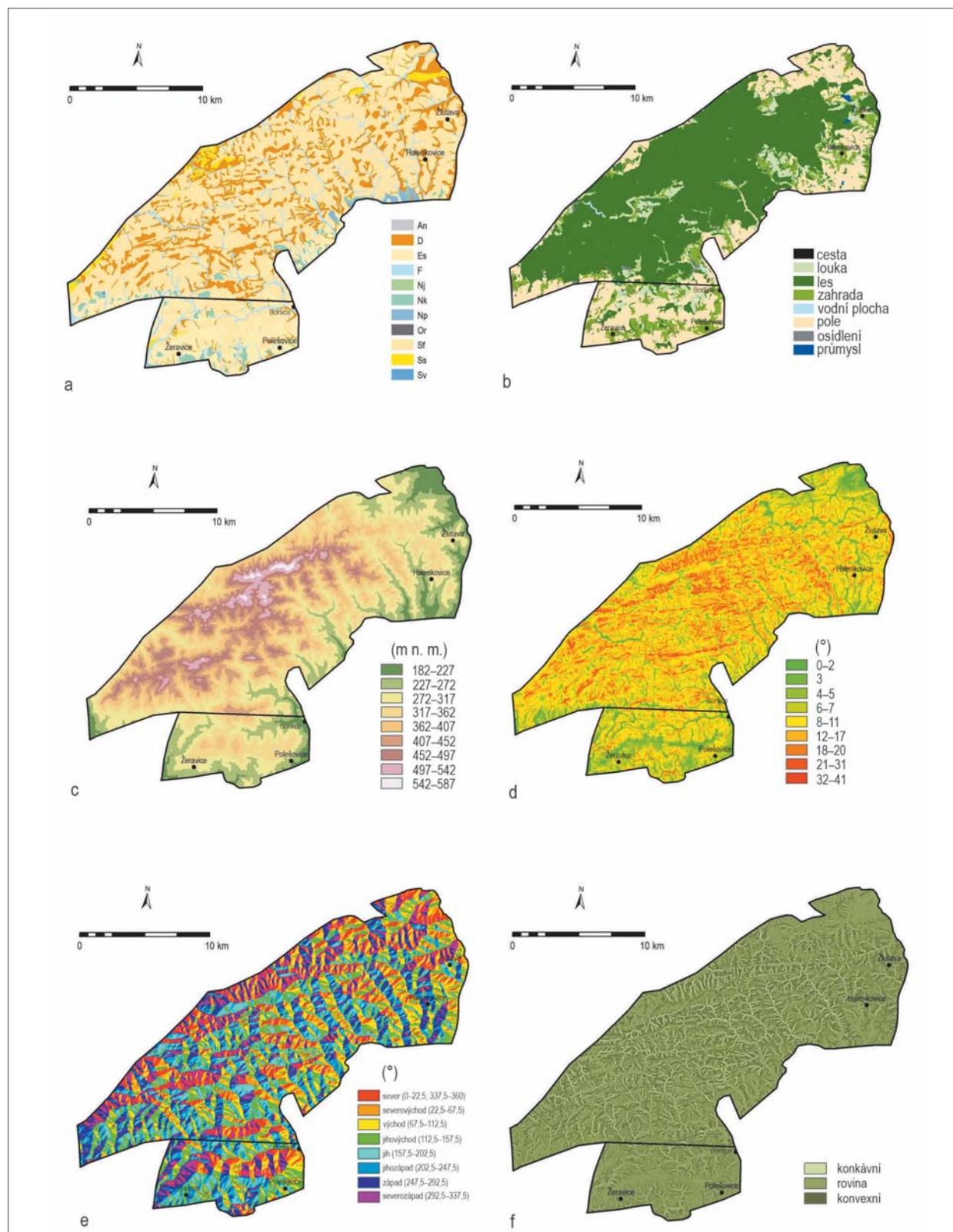
Parametrická mapa geologie byla vytvořena rozčleněním jednotlivých položek z geologické mapy 1 : 50 000 do 11 tříd podle metodiky pro inženýrskogeologické rajonování (Hanžl et al. 2009). Jednotlivé rajóny byly vymezeny na základě geneticko-litologické podobnosti (obr. 2a).

Parametrická mapa využití území – vytvořená z digitálních dat ZABAGED® – polohopis a rozčleněná do 8 tříd podle Metodiky určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami (Havlín a Šíkula 2017) – obr. 2b.

Parametrická mapa nadmořských výšek – vytvořená z digitálních dat ZABAGED® – výškopis a rozčleněná do 9 tříd v konstantních intervalech po 45 výškových metrech. Nejnižší bod zájmového území se nachází v nadmořské výšce 182 m, nejvyšším bodem je vrch Brdo – 587 m n. m. Výškový rozdíl mezi těmito body činí 405 m (obr. 2c).

Parametrická mapa sklonů svahů – vytvořená z digitálních dat ZABAGED® – výškopis pomocí nástroje Slope a rozdělená podle Hrašny (1980) do 9 tříd (obr. 2d).

Parametrická mapa orientace ke světovým stranám – vytvořená z digitálních dat ZABAGED® – výškopis pomocí nástroje Aspect a rozčleněná do 9 tříd po stupních, přičemž u kategorie 1 se jedná o ploché území bez vztahu ke světovým stranám (obr. 2e).



Obr. 2: Parametrické mapy pro jednotlivé parametry. a – geologie [An – antropogenní uloženiny; D – deluviální a deluviofluviální sedimenty; Es – spraš až sprašové hlíny; F – náplavy toků; Nj – jílovito-prachovité sedimenty; Nk – střídající se jemnozrnné, písčité a štěrkovité sedimenty; Np – písčité sedimenty; Or – organické sedimenty; Sf – flyšoidní (anizotropní) horniny; Ss – pískovcové a slepencové horniny; Sv – vápencové a dolomitické horniny]; b – využití území (dle Corine Land Cover); c – nadmořská výška (v m n. m.); d – sklon svahu; e – orientace ke světovým stranám; f – křivost reliéfu.

Fig. 2: Parametric maps for individual parameters. a – geology [An – anthropogenic deposits; D – deluvial and deluviofluviál sedimenty; Es – loess and loess loam; F – alluvia of streams; Nj – clayey-silty sediments; Nk – alternating fine-grained, sandy and gravelly sediments; Np – sandy sediments; Or – organic sediments; Sf – flysch (anisotropic) rocks; Ss – sandstone and conglomerate rocks; Sv – limestone and dolomitic rocks]; b – land use (after Corine Land Cover); c – altitude (in m a. s. l.); d – slope; e – aspect; f – curvature.

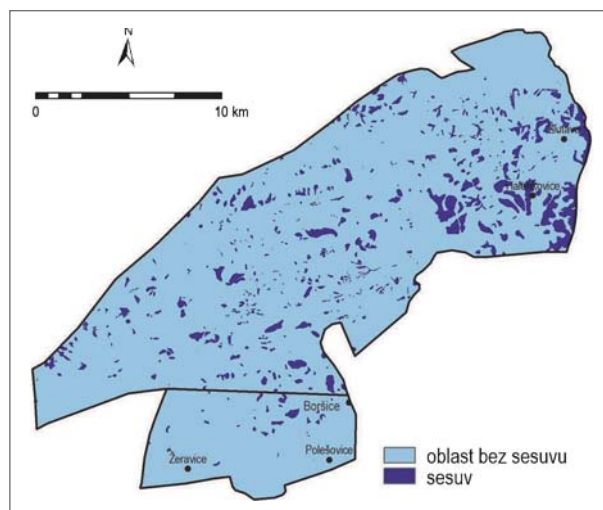
Parametrická mapa křivosti reliéfu – vytvořená z digitálních dat ZABAGED® – výškopis pomocí nástroje Curvature s rozčleněním do 3 tříd (obr. 2f).

Pro parametrickou mapu sesuvů (obr. 3) – byly vybrány plošné svahové deformace (sesuvy, jejichž alespoň jeden rozměr dosahuje 50 m a v mapě jsou zobrazeny jako polygony) z Registru svahových nestabilit – https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/, které byly již dříve plošně zmapovány v měřítku 1 : 10 000 na území o rozloze 300 km², což je téměř 85 % z celkové plochy zájmového území (plocha č. 1 na obrázku 1b). Jedná se o 580 sesuvů, které zde pokrývají 9 % území. Pro potřeby modelování byly dílčí sesuvy, které jsou součástí stejného složeného sesuvného území, spojeny vždy do jednoho polygonu. Zbylá část území (plocha č. 2 na obrázku 1b) byla doplněna sesuvy z registrační databáze ČGS, (dříve odboru Geofond), která vznikla mapováním v celostátním měřítku v letech 1961–1963 (Špůrek 1978, 1983) či v rámci posudkové činnosti ČGS. Tím byla parametrická mapa doplněna o 27 dalších zákresů. Přítomnosti sesuvu v mapě byla přiřazena hodnota 1, absenci sesuvu hodnota 0.

Význam každého parametru je dán jeho četností a opakováním třídy parametru ve více kombinacích v rámci UCU (unique condition units). Tato metoda částečně zohledňuje i vzájemné interakce mezi jednotlivými vstupními faktory (Paudiš 2006). Příprava parametrických map a následné modelování bylo provedeno v programu ArcGIS, verze 10.6.1 s využitím nadstaveb Spatial Analyst a 3D Analyst.

Část parametrických map (geologie, využití území a sesuvů) pak byla převedena do rasteru tak, aby všechny získaly jednotnou podobu a následně byly reklasifikovány. Pro tuto reklasifikaci byl použit nástroj Reclassify. Velikost buňky byla zvolena 10 × 10 m, což odpovídá 3 011 × 2 532 buňkám na celé ploše území.

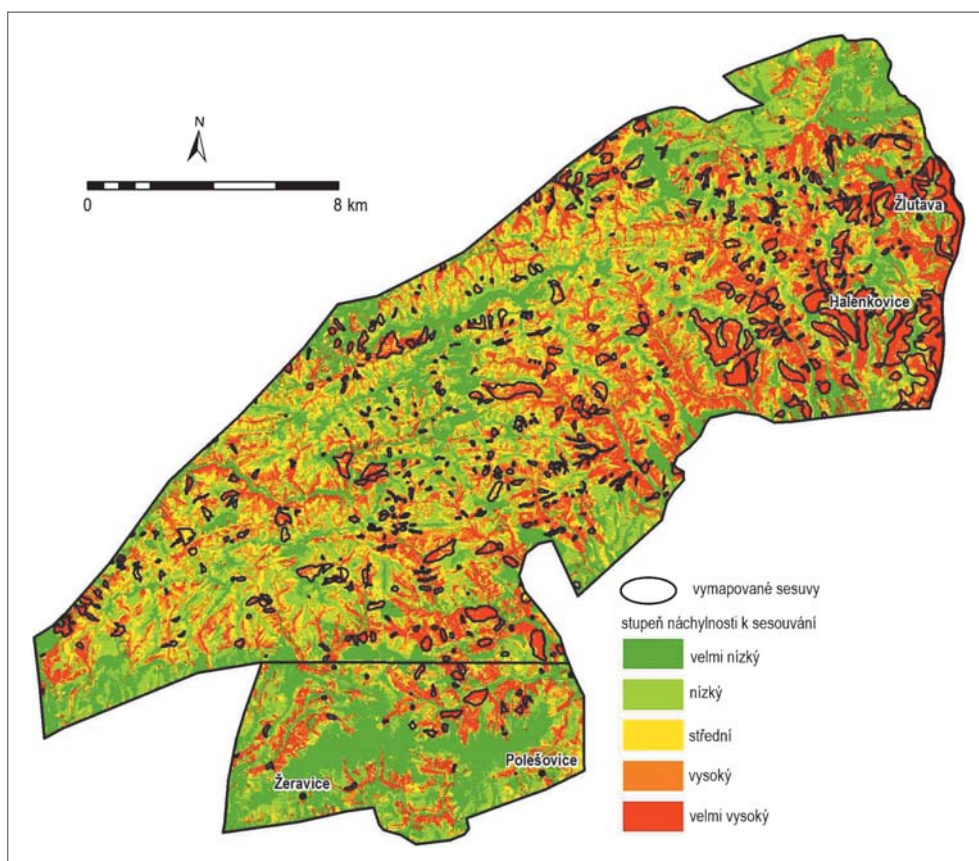
K o m b i n a c í reklasifikovaných



Obr. 3: Parametrická mapa sesuvů.

Fig. 3: Parametric map of landslides.

parametrických vrstev byly vymezeny kvazihomogenní jednotky (UCU) se všemi kombinacemi hodnot parametrů, které se na daném území vyskytují. Tyto byly následně



Obr. 4: Výsledná mapa náchylnosti k sesouvání s vyznačenými sesuvy. Velmi nízký stupeň náchylnosti k sesouvání – hodnota 0; nízký stupeň náchylnosti k sesouvání – interval hodnot 0–0,02745098; střední stupeň náchylnosti k sesouvání – interval hodnot 0,02745098–0,070588235; vysoký stupeň náchylnosti k sesouvání – interval hodnot 0,070588235–0,149019608; velmi vysoký stupeň náchylnosti k sesouvání – interval hodnot 0,149019608–1.

Fig. 4: Final landslide susceptibility map with marked landslides. Very low rate of susceptibility to landslides – value 0; low rate of susceptibility to landslides – interval of values 0–0,02745098, moderate rate of susceptibility to landslides – interval of values 0,02745098–0,070588235, high rate of susceptibility to landslides – interval of values 0,070588235–0,149019608, very high rate of susceptibility to landslides – interval of values 0,149019608–1.

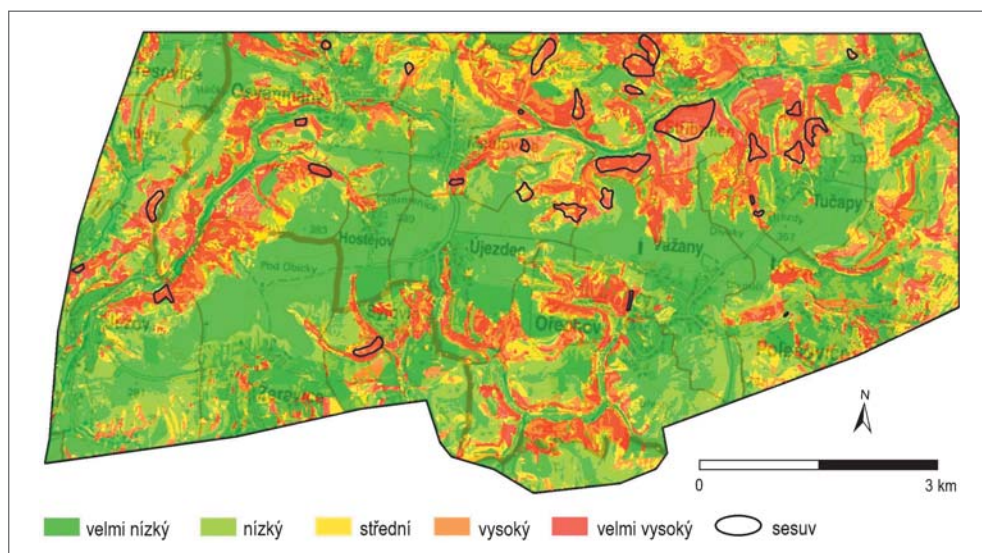
porovnány s vrstvou sesuvů a statistickými postupy byla určena míra náchylnosti, která se pohybuje v rozmezí hodnot 0 až 1, kde hodnota 0 znamená území stabilní a hodnota 1 území maximálně náchylné ke vzniku sesuvů. Výslednou vrstvu bylo nutné z důvodu vizuální reprezentace reklasifikovat do několika tříd. Pro tuto klasifikaci jsme zvolili metodu kvantilů, při které jsou prvky rozděleny do kategorií bez ohledu na hodnoty do jednotlivých skupin rovnoměrně, což v modelovém území vykazovalo nejlepší shodu s výskytem sesuvů. Mapa byla následně klasifikována s barevným rozlišením do jednotlivých tříd – nejnižší stupeň náchylnosti je zobrazen zelenou a nejvyšší stupeň červenou barvou (obr. 4).

Výsledky

Výsledná mapa byla verifikována pro vyhodnocení její výpovědní hodnoty. K ověření úspěšnosti byl použit nejjednodušší způsob verifikace a to mapové, resp. rastrové překrytí registrovaných sesuvů s prognózní mapou (Bednarik et al 2014; Nandi a Shakkor 2010). Certifikovaná „Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami“ Havlína a Šikuly (2017) uvádí pro multivariální analýzu úspěšnost větší jak 80 %, to znamená, že víc jak 80 % aktuálně registrovaných svahových nestabilit se nachází ve třídách 4 a 5, tedy ve třídách s vysokým, resp. velmi vysokým stupněm sesuvného hazardu. Na námi studovaném

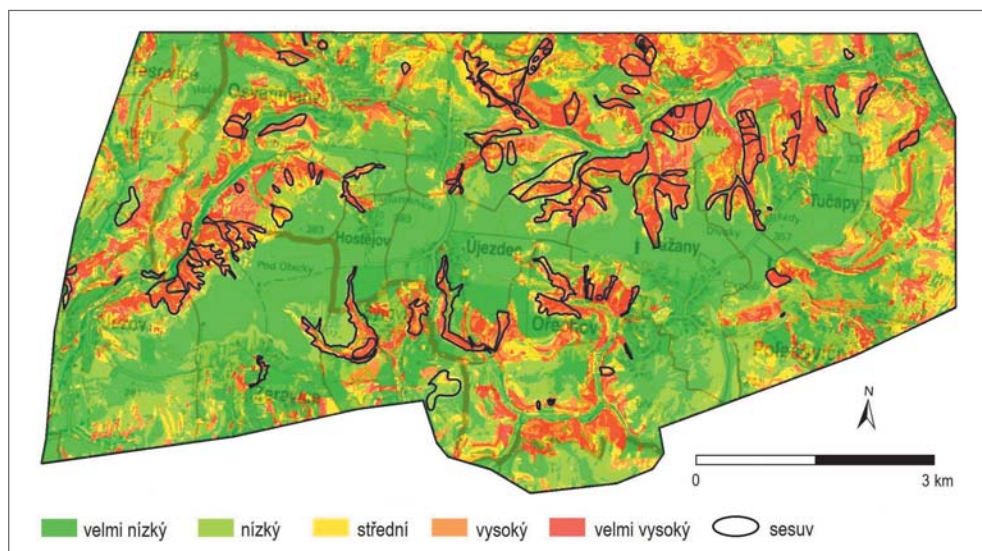
Tab. 1: Shrnutí jednotlivých tříd náchylnosti k sesouvání s rozlohou a procentuálním zastoupením.
Tab. 1: Summary of the individual landslide susceptibility classes with area and their percentages.

Třída náchylnosti	Celková plocha území (km ²)	%	Plocha verifikovaného území (km ²)	%
1	78,88	22,32	23,67	44,06
2	77,83	22,02	11,44	21,30
3	63,64	18,00	5,46	10,16
4	63,25	17,89	6,30	11,73
5	69,87	19,77	6,85	12,75
součet	353,47	100,00	53,72	100,00



Obr. 5: Jižní, předem plošně nezmapovaná část zájmového území. Legenda viz obr. 4.

Fig. 5: South, previously unmapped part of the area of interest. Legend see Fig. 4.

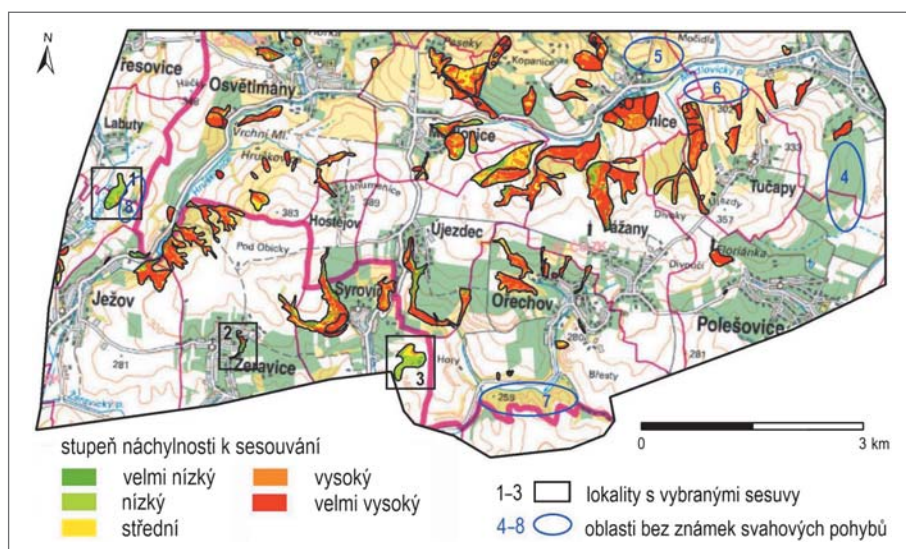


Obr. 6: Stejná část zájmového území s nově vymapovanými sesuvy. Legenda viz obr. 4.

Fig. 6: Part of the area of interest with newly mapped landslides. Legend see Fig. 4.

území vyšla po verifikaci úspěšnost 85,96 %, což dokládá správnost zvolené analýzy.

Z výsledků analýzy vyplynulo, že zastoupení jednotlivých tříd ploch je poměrně vyrovnané. Z celkové plochy zájmového území se největší část nalézá v kategorii s velmi nízkým (22,32 %) a nízkým stupněm náchylnosti (22,02 %), střední stupeň je reprezentován 18 %, vysoký 17,89 % a nejvyšší stupeň náchylnosti k sesuvům zaujímá



Obr. 7: Přehled lokalit s vybranými sesuvy k bližšímu zkoumání a oblastmi bez známek svahových pohybů.

Fig. 7: View of sites with selected landslides for detailed analysis and areas with no signs of slope movements.

19,77 %. Jednotlivé třídy s plochami a procentuálním zastoupením jsou uvedeny v tabulce 1.

Výsledky analýzy byly ověřeny terénní rekognoskací území, které předtím nebylo plošně zmapováno (obr. 5). Jedná se o j. část modelového území o rozloze necelých 54 km², což je přibližně 15 % z celkové plochy použité pro modelování. Zde bylo nově identifikováno či zrevidováno 98 svahových deformací (včetně jejich dílčích částí) o celkové ploše 4 km², což odpovídá 7,4 % rekognoskovaného území (obr. 6).

Jak je z obrázku 6 patrné, vyskytují se zde lokality, kde byly zmapovány sesuvy, ale multivariační analýzou byly vyhodnoceny jako území s nízkým či velmi nízkým stupněm rizika k sesouvání. Na tyto lokality jsme se

vežské souvrství s převahou pestrých jílovců račanské jednotky flyšového pásma a transgresivní nepevněné písků a jíly bíloveckého souvrství sarmatu vídeňské pánve. Sesuv byl stabilizován v roce 2011.

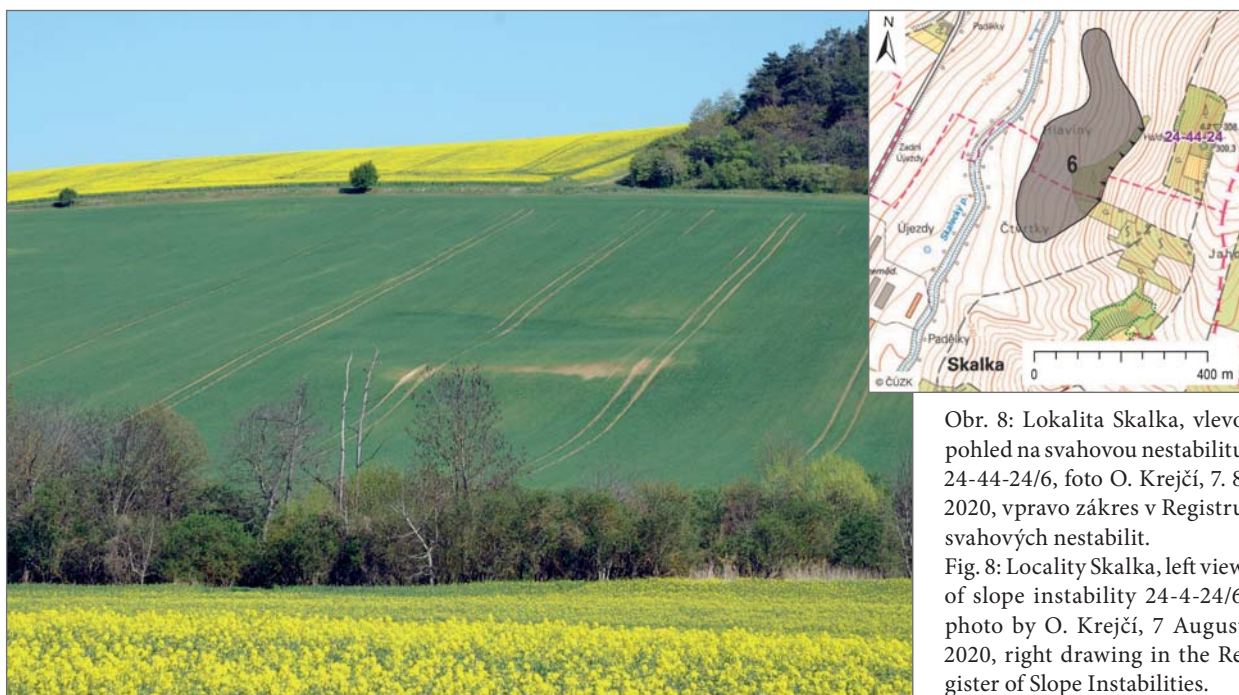
Lokalita 3 (obr. 10) – frontální sesuv v polích v blízkosti obce Syrovín o rozměrech 325 × 530 m, svah zde má sklon 8–11°. V podloží se nacházejí klastické sedimenty pannonu vídeňské pánve, překryté spraší. Sesuv vznikl následkem nadměrných úhrnů srážek v roce 1997, oživen byl v roce 2010.

Z obrázku 6 je dále zřejmé, že se zde vyskytují oblasti, které vykazují vysoký či velmi vysoký stupeň náchylnosti k sesouvání, přesto se zde sesuvy téměř nevyskytují. Tyto konkrétní oblasti (obr. 7) se odlišují od zbytku území

zaměřili, abychom zjistili, čím je výsledek způsoben (lokality 1–3 na obrázku 7).

Lokalita 1 (obr. 8) – frontální sesuv nacházející se sv. od obce Skalka o rozměrech 220 × 520 m. Vznikl na sedimentech neogénu vídeňské pánve (nezpevněné písků a jíly bzeneckého souvrství pannonu). K aktivaci sesuvu došlo v roce 2010 po povodních, v roce 2020 byl oživen. Příčinou byly lokální vysoké úhrny srážek.

Lokalita 2 (obr. 9) – sesuv o rozměrech 100 × 430 m se nachází na svazích jz. od zemědělského družstva v obci Žeravice. Vznikl na místě rozsáhlé skládky. V podloží se nachází belo-



Obr. 8: Lokalita Skalka, vlevo pohled na svahovou nestabilitu 24-4-24/6, foto O. Krejčí, 7. 8. 2020, vpravo zakres v Registru svahových nestabilit.

Fig. 8: Locality Skalka, left view of slope instability 24-4-24/6, photo by O. Krejčí, 7 August 2020, right drawing in the Register of Slope Instabilities.



Obr. 9: Lokalita Žeravice, vlevo pohled na svahovou nestabilitu 34-22-04/4, foto O. Krejčí, 7. 8. 2020, vpravo zakres v Registru svahových nestabilit.

Fig. 9: Locality Žeravice, left view of slope instability 34-22-04/4, photo by O. Krejčí, 7 August 2020, right drawing in the Register of Slope Instabilities.

buď provedenými stabilizačními opatřeními, nebo nepřítomností kvartérních svahových sedimentů. Oblast 4 na V od Tučap byla již dříve stabilizována výstavbou teras pro zemědělskou činnost. V oblasti 5 na SV od Stříbrnic, v oblasti 6 vjv. od Stříbrnic, v oblasti 7 jjz. od Ořechova a v oblasti 8, která lemuje svahovou deformaci 24-4-24/6 u obce Skalka, se svahové nestability nevyskytují z důvodů geologické stavby. V případě oblastí 5 a 6 se jedná o svahy přímo na skalních výchozech podkladu vsetínských vrstev zlínského souvrství. Oblasti 7 a 8 jsou na svazích se skalním podkladem odolných luhačovických vrstev zlínského souvrství.

Závěr

Naše práce ukázala, že multivariační statistickou analýzu lze úspěšně použít pro vyhodnocení náchylnosti

území k sesouvání pro oblast flyšových jednotek Západních Karpat, která je ve velké míře postižena svahovými pohyby. Na území, které bylo plošně zmapováno a výsledky porovnány s výslednou mapou sesuvného hazardu vyšlo, že více než 85 % zmapovaných sesuvů se nachází v oblastech s vysokým a velmi vysokým stupněm náchylnosti k sesouvání. U lokalit, které tato statistická metoda neodhalila, ale sesuvy zde byly přesto následně zmapovány, bylo zjištěno, že jejich vznik byl iniciován jinými jevy, než jsou vstupní podmínky, které byly využity pro analýzu. V případě lokalit Skalka a Syrovín to byl nadměrný úhrn srážek, v obci Žeravice byl sesuv způsobem skládkou. Vždy se jednalo o činitele místního charakteru, a proto je nelze zahrnout do vstupních parametrů určených pro modelování celého území. V opačném případě, kdy výsledný model ukázal vysoký či velmi



Obr. 10: Lokalita Syrovín, vlevo pohled na svahovou nestabilitu 34-22-04/1, foto O. Krejčí, 7. 8. 2020, vpravo zakres v Registru svahových nestabilit.

Fig. 10: Locality Syrovín, left view of slope instability 34-22-04/1, photo by O. Krejčí, 7 August 2020, right drawing in the Register of Slope Instabilities.

vysoký stupeň náchylností k sesouvání, ale ten následně nebyl při rekognoskaci prokázán skutečným výskytem sesuvů, bylo zjištěno, že v těchto konkrétních oblastech vzniku sesuvů bránila odlišná geologická stavba či byl terén proti sesouvání upraven lidskou činností.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen v rámci interního projektu č. 321070, který je součástí DKRVO/ČGS (2018–2022), Oblast výzkumu 5: Výzkum geologických rizik. Autoři děkují editorovi doc. Mgr. Aleši Bajerovi, Ph.D., recenzentovi doc. RNDr. Karlovi Kirchnerovi, CSc., a anonymnímu recenzentovi za podnětné připomínky.

Literatura

- Baldík, V., Havlín, A., Kašperáková, D., Kirchner, K., Klimeš, J., Krejčí, O., Repková, H., Slavík, M. (2006). Svahové nestability vzniklé jako důsledek jarního tání v březnu a dubnu 2006. – MS Archiv ČGS Praha. 2 str.
- Bednarik, M., Liščák, P. (2010). Landslide susceptibility assessment in Slovakia. – *Mineralia Slovaca*, 42, 193–204.
- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M., Marschalko, M. (2010). Landslide susceptibility assessment of the Kraľovany-Liptovský Mikuláš railway case study. – *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 3–5, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.002>
- Bednarik, M., Paudiš, P. (2010). Different ways of landslide geometry interpretation in a process of statistical landslide susceptibility and hazard assessment: Horná Suča (Western Slovakia) case study. – *Environmental Earth Sciences*, 61, 733–739. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0387-8>
- Bednarik, M., Paudiš, P., Ondrášik, R. (2014). Rôzne spôsoby hodnotenia úspešnosti máp zosuvného hazardu: bivariačný verzus multivariačný štatistický model. [Various techniques for evaluating landslide hazard maps reliability: bivariate vs. multivariate statistical model]. – *Acta Geologica Slovaca*, 6, 1, 71–84.
- Bíl, M., Krejčí, O., Bílová, M., Kubeček, J., Sedoník, J., Krejčí, V. (2014). A chronology of landsliding and its Impacts on the Village of Halenkovice, Outer Western Carpathians, Czech Republic. – *Geografie Prague*, 119, 4, 342–363. <https://doi.org/10.37040/geografie2014119040342>
- Boháč, P., Kolář, J. (1996). Geografické názvoslovné seznamy OSN-ČR. Vyšší geomorfologické jednotky České republiky. – Český úřad zeměměřický a katastrální. 1–54.
- Bueechi, E., Klimeš, J., Frey, H., Huggel, C., Strozzi, T., Cochachin, A. (2019). Regional-Scale Landslide Susceptibility Modelling in the Cordillera Blanca, Peru - A Comparison of Different Approaches. – *Landslides*, 16, 395–407. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1090-1>
- Buša, J., Tornyai, R., Bednarik, M., Greif, V., Rusnák, M. (2019). Hodnotenie zosuvného hazardu pomocou multivariačnej a bivariable štatistickej analýzy v Košickej kotline (Západné Karpaty). – *Geografický časopis/Geographical journal*, 71, 4, 383–405. <https://doi.org/10.31577/geogrcas.2019.71.4.20>
- Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. – *Mathematical Geology*, 15, 3, 403–427.
- Carrara, A. (1988). Landslide hazard mapping by statistical method: A „Black Box“ approach. – In: *Proceedings of workshop on Natural Disaster in European Mediterranean Countries*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Perugia, Italy, 205–224.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 5, 427–445. <https://doi.org/10.1002/esp.3290160505>
- Clerici, A. (2002). A GRASS GIS based shell script for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. – In: Ciolli, M., Zatelli, P. (eds): *Proceedings of the Open source GIS GRASS users conference*, Trento, Italy.
- Čížek, P., Jurášová, F., Menčík, E., Novák, Z., Pesl, V., Peslová, H., Plička, M., Stráník, Z. (1982). Zpráva o geologických poměrech území pro výstavbu dálnice D1 Brno - Trenčín ve Chřibech (Brno, Cetechovice, Chřiby, Staré Hutě, Střílky, Trenčín). – MS Archiv ČGS. Praha.
- Demek, J., Mackovčin, P. (eds) a kol. (2014). *Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny*. – 1–595, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multicase study, central Italy. – *Geomorphology*, 31, 181–216. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1)
- Hanzl, P., Čech, S., Čurda, J., Doležalová, Š., Dušek, K., Gürtlerová, P., Krejčí, Z., Kycl, P., Man, O., Mašek, D., Mixa, P., Moravcová, O., Pertoldová, J., Petáková, Z., Petrová, A., Rambousek, P., Skácelová, Z., Štěpánek, P., Večeřa, J., Žáček, V. (2009). *Směrnice pro sestavení Základní geologické mapy České republiky 1 : 25 000*. Praha. 1–36. – Česká geologická služba, Ministerstvo životního prostředí ČR, MS Archiv ČGS. Praha.
- Havlíček, P., Novák, Z., Krejčí, O. (1994). Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 25-33 Uherské Hradiště. – Český geologický ústav. Praha.
- Havlín, A. (2010). Hodnocení náchylnosti k sesouvání ve střední části Chřibů. – *Geotechnika* 13, 3–4, 3–9.
- Havlín, A., Bednarik, M., Magulová, B., Vlčko, J. (2011). Použití logistické regrese pro hodnocení náchylnosti k sesouvání ve střední části Chřibů (Česká republika). – *Acta Geologica Slovaca*, 3, 2, 153–161.
- Havlín, A., Magulová, B., Bednarik, M. (2013). Využití map sesuvného hazardu k plánování trasy liniových staveb v prostředí náchylném ke vzniku svahových deformací. – *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012*, 46, 323–327.
- Havlín, A., Šikula, J. (2017). Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami. Česká republika. – MS Archiv ČGS. Praha.
- Hodasová, K., Bednarik, M. (2021). Effect of using various weighting methods in a process of landslide susceptibility assessment. – *Natural Hazards*, 105, 481–499. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04320-1>
- Holec, J., Bednarik, M., Liščák, P., Žilka, A., Vitovič, L. (2018). Assessment of debris flow susceptibility using bivariate and multivariate statistical analyses and verification based on catastrophic events from 2014 in the Krivánska Fatra Mountains, Slovakia. – *Acta Geologica Slovaca*, 10, 1–19.
- Hrašna, M. (1980). Inžinierskogeologické hodnotenie krajinného prostredia. – *Záverečná výskumná správa*, 1–220. MS, Geologický ústav PFUK. Bratislava.
- Cháb, J., Stráník, Z., Eliáš, M. (2007). *Geological map of the Czech Republic 1 : 500 000*. Czech Geological Survey, Prague.
- Chmelík, F., Čtyrtek, P., Dorníč, J., Eliáš, M., Havlíček, P. (1973). Vysvětlující text k základní geologické mapě 1 : 25 000, list M33-107-D-c Polešovice. – MS Archiv ČGS. Praha.
- Klimeš, J. (2008). Deterministický model náchylnosti území ke vzniku svahových deformací ve Vsetínských vrších. – *Geografie-Sborník ČGS*, 113, 1, 48–60. <https://doi.org/10.37040/geografie2008113010048>

- Klimeš, J., Blahůt, J. (2012). Landslide risk analysis and its application in regional planning: an example from the highlands of the Outer Western Carpathians, Czech Republic. – *Natural Hazards*, 64, 1779–1803. DOI 10.1007/s11069-012-0339-6. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0339-6>
- Krejčí, O., Bíl, M., Jurová, Z., Kirchner, K., Hubatka, F. (2002). Some examples of deep-seated landslides in the Flysch Belt of the Western Carpathians. – In: Rybář, J., Stemberk, J., Wagner, P. (eds): *Landslides*, 373–380. A. A. Balkema Publishers, Lisse, Netherlands. <https://doi.org/10.1201/9780203749197-51>
- Krejčí, O., Kycil, P., Baroň, I., Šikula, J., Čoupek, O., Moravcová, O., Petrová, V., Krejčí, Z., Zemková, M., Kašperáková, D., Poul, I., Rybář, J., Kirchner, K., Klimeš, J., Hubatka, F., Nešvara, P., Sekyra, Z., Bíl, M., Bílová, M. (2008a): Podprogram „ISPROFIN“ č. 215124-1 Dokumentace a mapování svahových pohybů v ČR. Přehled provedených prací. – MS Archiv ČGS. Praha. 1–114.
- Krejčí, O., Baroň, I., Hubatka, F., Kirchner, K. (2008b). Podprogram „ISPROFIN“ č. 215124-1 Dokumentace a mapování svahových pohybů v ČR. Hodnocení svahových nestabilit ve flyšovém pásmu Karpat. – MS Archiv ČGS. Praha. 1–95.
- Krejčí, O., Havlín, A., Kašpárek, M., Klimeš, J., Petrová, V., Šikula, J. (2010). Hodnocení svahových nestabilit ve Zlínském kraji po extrémních srážkách v květnu a červnu 2010. Závěrečná zpráva. – MS Archiv ČGS. Praha. 1–18.
- Křivka, T. (2009). Geostatistická analýza sesuvného hazardu v oblasti severních Chřibů. – MS, Bakalářská práce. MS UJEP Olomouc. 1–56.
- Lídl, V., Janda, T. (2006). Stavby, kterým doba nepřála. Výstavba dálnic v letech 1938–1950 na území Čech a Moravy. – MS, Ředitelství silnic a dálnic, a.s. Praha. 1–120.
- Magulová, B. (2009). Použitie GIS pre tvorbu map geohazardov ako podkladov pre urbanizačné planovanie. – *Acta Geologica Slovaca*, 1, 25–32.
- Nandi, A., Shakoor, A. (2010). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. – *Engineering Geology*, 110, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.10.001>
- Pasang, S., Kubiček, P. (2020). Landslide Susceptibility Mapping Using Statistical Methods along the Asian Highway, Bhutan. – *Geosciences* 10, 11, 430. <https://doi.org/10.3390/geosciences10110430>
- Pauditš, P. (2006). Hodnotenie náchylnosti územia na zosuvanie s využitím štatistických metod v prostredí GIS. – *Geologické práce, Správy*, 112, 41–58.
- Pauditš, P., Bednarik, M. (2002). Using GIS in evaluation of landslide susceptibility in Handlovská kotlina basin. – In: *Proceedings of the 1st European conference on landslide*. – Lisse, Praha (Swets & Zeitlinger), 437–441. <https://doi.org/10.1201/9780203749197-61>
- Petrýdesová, L. (2012). Hodnotenie zosuvného hazardu medzi mestami Hlohovec–Sereď. – In: *Člověk, stavba a územní plánování VI*. 129–133. Fakulta stavební, ČVUT Praha.
- Picha, F. J., Stráník, Z., Krejčí, O. (2006). Geology and Hydrocarbon Resources of the Outer West Carpathians and their Foreland, Czech Republic. – In: Golonka, J., Picha, F. J. (eds): *The Carpathians: Geology and Hydrocarbon Resources*. AAPG Memoir 84, 49–175. <https://doi.org/10.1306/985607M843067>
- Provazník, J. (1980). Závěrečná zpráva o předběžném inženýrskogeologickém průzkumu trasy dálnice D1 Brno–Trenčín. – MS Archiv ČGS. Praha. 1–55.
- Stráník, Z. (1998). Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 24-44 Bučovice. – Český geologický ústav. Praha.
- Stráník, Z., Bubík, M., Gilíková, H., Tomanová Petrová, P. (2021, eds.): *Geologie Vnějších Západních Karpat a jihovýchodního okraje Západoevropské platformy v České republice*. Praha: Česká geologická služba. 1–319. 2021.
- Špůrek, M. (1978). Využití výpočetní techniky při registraci sesuvů v ČSR. – *Geologický průzkum*, 20, 2, 44–46.
- Špůrek, M. (1983). Sto let výzkumu sesuvů na území ČSSR (1878–1978). – *Geologický průzkum*, 25, 1, 21–23.
- Tornyai, R., Bednarik, M., Havlín, A. (2016). Application of neural network to assess landslide hazard and comparison with bivariate and multivariate statistical analyses. – *Acta Geologica Slovaca*, 8, 1, 2016, 109–118.
- Tornyai, R., Dunčko, M. (2013). Použitie bivariablej a multivariablej analýzy na hodnotenie zosuvného hazardu Kysuckého regiónu (Západné Karpaty). – *Acta Geologica Slovaca*, 5, 2, 179–193.
- Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. UNESCO, Paris, 1–63.
- Vojteková, J., Vojtek, M. (2020). Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. – *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11, 1, 131–148. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1713233>
- Woznica, L. (2001). Geotechnická studie sesuvů v trase silnice I/50 třídy E 50 na území přírodního parku Chřiby. MS pro Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. Brno Woznica – kancelář inženýrské geologie a geotechniky, Brno.
- ZABAGED® – Výškopis – DMR 5G. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace. <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/shlédnuto> (2022)
- ASGI – Databáze archivu zpráv a posudků. <http://www.geology.cz/app/asgi/> shlédnuto (2022)
- Geologická mapa 1 : 50 000, Klad listů ZM50. In: *Geovědní mapy 1 : 50 000* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- Mapované svahové nestability, Oblasti mapování svahových nestabilit, Registrační záznamy. In: *Svahové nestability* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/

Nový pohled na pozici slepenců od Starého Jičína ve slezské jednotce flyšového pásma Karpat

New insight on position of conglomerates from Starý Jičín in the Silesian Unit of the Carpathian Flysch Belt

Lukáš Maceček , Miroslav Bubík

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00 Brno, Česká republika

Key words:

Outer Western Carpathians, Flysch Belt, Silesian Unit, Cretaceous, stratigraphy, petrography, sedimentology

 lukas.macecek@geology.cz

Editor:

Pavla Tomanová Petrová

Abstract

The conglomerates and sandstones on the castle hill of Starý Jičín Castle, assigned by previous authors to units of different age and tectonic position, were studied from the point of view of petrography and sedimentology in connection with detailed geological survey of the area. Thick-bedded conglomerates are characterized by sharp bases, massive or normal gradation and, in places, by imbrication of coarse clasts. They are product of high-density turbidite currents, debris flow, alternatively some layers may be products of hybrid sediment gravity flow deposits. The clastic component of the conglomerates is highly dominated by Štramberk-type limestones. Clasts of dolomitized limestones, Těšín-type detrital limestones and calcareous sandstones, and altered trachyte occur very rarely. Medium- and coarse-grained calcareous sandstones contain abundant lithoclasts and a relatively small proportion of quartz grains (20–30 %). A comparison with the conglomerate and sandstone of the Palkovice Formation from Kozlovice and Myslík showed considerable similarity. The sediments of both areas range within the upper Turonian–middle Coniacian interval based on previous micropalaeontological data. The conglomerates from Starý Jičín represent the proximal facies of the submarine fan in the lower slope (Kelč Facies Succession of the Silesian Unit), while the gravity flow deposits of the Palkovice Formation represent the more distal facies of the middle part of the submarine fan in continental rise (Baška Facies Succession). Based on sedimentological features, conglomerates from Starý Jičín can be classified as high-density turbidites, debris flow or hybrid sediment gravity flow deposits deposited in the upper part of a submarine fan. High-density and classical turbidites intercalated with claystone interlayers occurs in the Palkovice Formation of the Baška Facies Succession. Such an idea is in accordance with current knowledge on submarine fan architecture and with the assumed morphology of the former Silesian Basin.

Doporučená citace článku:

Maceček, L., Bubík, M. (2023). Nový pohled na pozici slepenců Starého Jičína ve slezské jednotce flyšového pásma Karpat. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 30, 1–2, 18–29.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-33408>

Úvod

Slepence v okolí Starého Jičína jsou již více než století předmětem dohadů, chybných interpretací a zmatení pro geology, kteří se jimi zabývali. Beck (1911) je řadil do „Grodischer Schichten (Hauterivien)“, které odpovídají hradištským vrstvám těšínsko-hradištského souvrství ve smyslu Menčíka et al. (1983). Hohenegger (1861) ve své geologické mapě zahrnul do hradištských vrstev veškerá hrubá klastika slezské a podslezské jednotky v širší oblasti Starého Jičína. Stejně i Leicher (1935, str. 18) považoval slepence ze Starojického kopce, Hůrky a Svince za „hradištské slepence“ a zahrnul k nim jmenovitě i lithothamniové pískovce podslezské jednotky.

V době sestavování generálních map po druhé světové válce byla, díky novým terénním pozorováním a mikrobiostratigrafickému datování, rozpoznána vazba lithothamniových pískovců na pelity frýdlantského (podmenilového) souvrství (Roth 1963). Do frýdlantského souvrství však byly zařazeny i slepence Hůrky, Svince a Starojického kopce. Pouze slepence a pískovce vystupující spolu s černými jílovci spodní křídly byly vymezeny zvláště jako součást těšínsko-hradištského souvrství.

Během podrobného mapování 1 : 25 000 v 70. letech 20. století byly parakonglomeráty na Svinci zařazeny předběžně k badenu, vzhledem k nízkému stupni litifikace (Roth et al. 1973).

Eliáš (1979, str. 333) interpretoval výskyty křídových slepenců v okolí Starého Jičína jako součást jím definovaného starojičinského podmořského vějíře situovaného mezi Starojickým kopcem a Mořkovem. Slepence Starojického kopce podle něj představují proximální facii vějíře (výplň podmořského kaňonu). Za distálnější facie tohoto vějíře považoval pískovcovo-jílovcový flyš s výlevy těšínsko-vulkanitů mezi Kojetínem a Mořkovem.

Menčík et al. (1983) prokázali svrchnokřídové stáří parakonglomerátů ze Svince u Kojetína a zavedli pro ně označení kojetínské vrstvy. Srovnávají je s palkovickým souvrstvím bašského vývoje, ale zároveň připouštějí, že může jít o nejvyšší část milotického souvrství kelčského vývoje. V přehledné geologické mapě 1 : 100 000 Menčíka a Tyráčka (1985) jsou parakonglomeráty ze Svince již označeny jako kojetínské vrstvy. Slepence Starojického kopce a Hůrky jsou však nadále zařazeny k hradištským vrstvám (hauteriv–apt).

Stráňák et al. (1997) získali z jílovitých vložek ve slepencích Starojického kopce planktonické foraminifery a vápnitý nanoplankton, které dokládají stáří v rozmezí svrchní turon až střední coniac. Na základě biostratigrafie a faciálního charakteru uvažují o zařazení slepenců k bašskému nebo kelčskému vývoji slezské jednotky, vylučují však příslušnost k podslezské jednotce,

Tab. 1: GPS souřadnice studovaných výchozů.

Tab. 1: GPS coordinates of studied sections.

Lokalita	bod	list mapy	GPS souřadnice
St. Jičín – zářez u kostela	A134	25-124	N 49° 34' 42,2" E 17° 57' 40,5"
St. Jičín – hradní příkop	A135	25-124	N 49° 34' 55,6" E 17° 57' 48,0"
Kozlovice – lom Strážnice	MB007	25-214	N 49° 36' 41,6" E 18° 14' 41,3"
Kozlovice-Hradisko	MB008	25-214	N 49° 36' 44,9" E 18° 14' 44,8"
Myslík – lom Kožná	MB002	25-214	N 49° 37' 10,0" E 18° 14' 24,1"

kojetínským vrstvám, milotickému souvrství a chlebovickým slepencům.

Následná geologická mapa 1 : 50 000 označuje slepence ze Starojického kopce, Hůrky a Svince jako kojetínské souvrství (alb–senon) bašského faciálního vývoje slezské jednotky (Pálenský 1998).

S pozicí slepenců v oblasti Starého Jičína se znovu potýkalo geologické mapování 1 : 25 000 provedené v letech 2005–2007 (Adámek et al. 2007). Zatímco většina slepencových těles na území listu byla jednoznačně přiřazena pískovcům strážského typu, hradištským pískovcům a slepencům či kojetínským vrstvám, samotné slepence Starojického kopce byly jako lokální facie zařazeny do kelčského vývoje slezské jednotky pod označením pískovce a slepence typu Starý Jičín. K nim byly ještě přiřazeny menší výskyty slepenců u Jičiny, Janovic a Petřkovic.

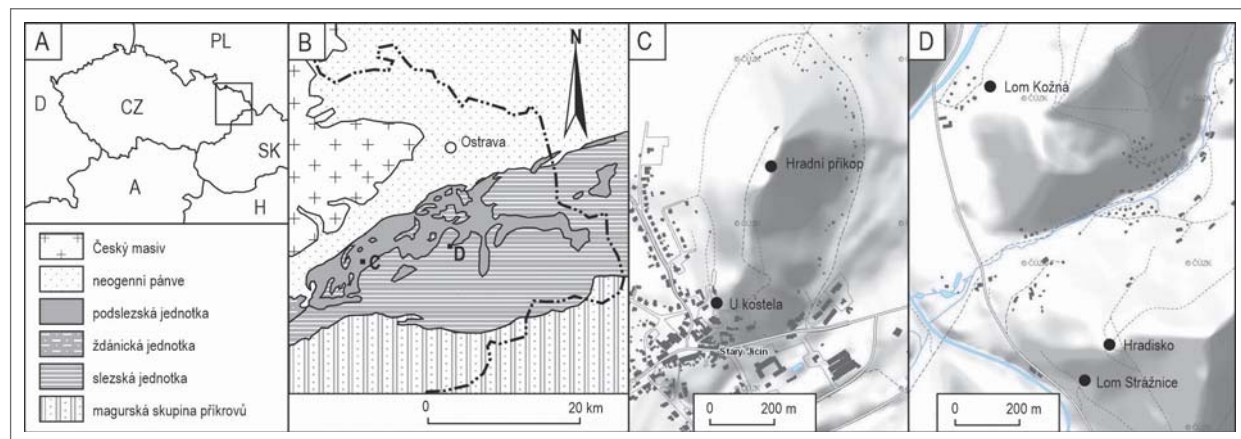
Z důvodu nedořešené litostratigrafie a tektonické stavby byla geologická mapa v letech 2019 až 2021 reambulována a všechny výskyty slepenců byly znovu kriticky přehodnoceny.

Významný podnět přineslo přímé srovnání slepenců ze Starojického kopce a slepenců palkovického souvrství obdobného stáří i petrografického charakteru.

Předložený článek shrnuje výsledky výzkumu, jehož cílem bylo definitivní vyřešení pozice slepenců Starojického kopce v rámci vrstevního sledu slezské jednotky.

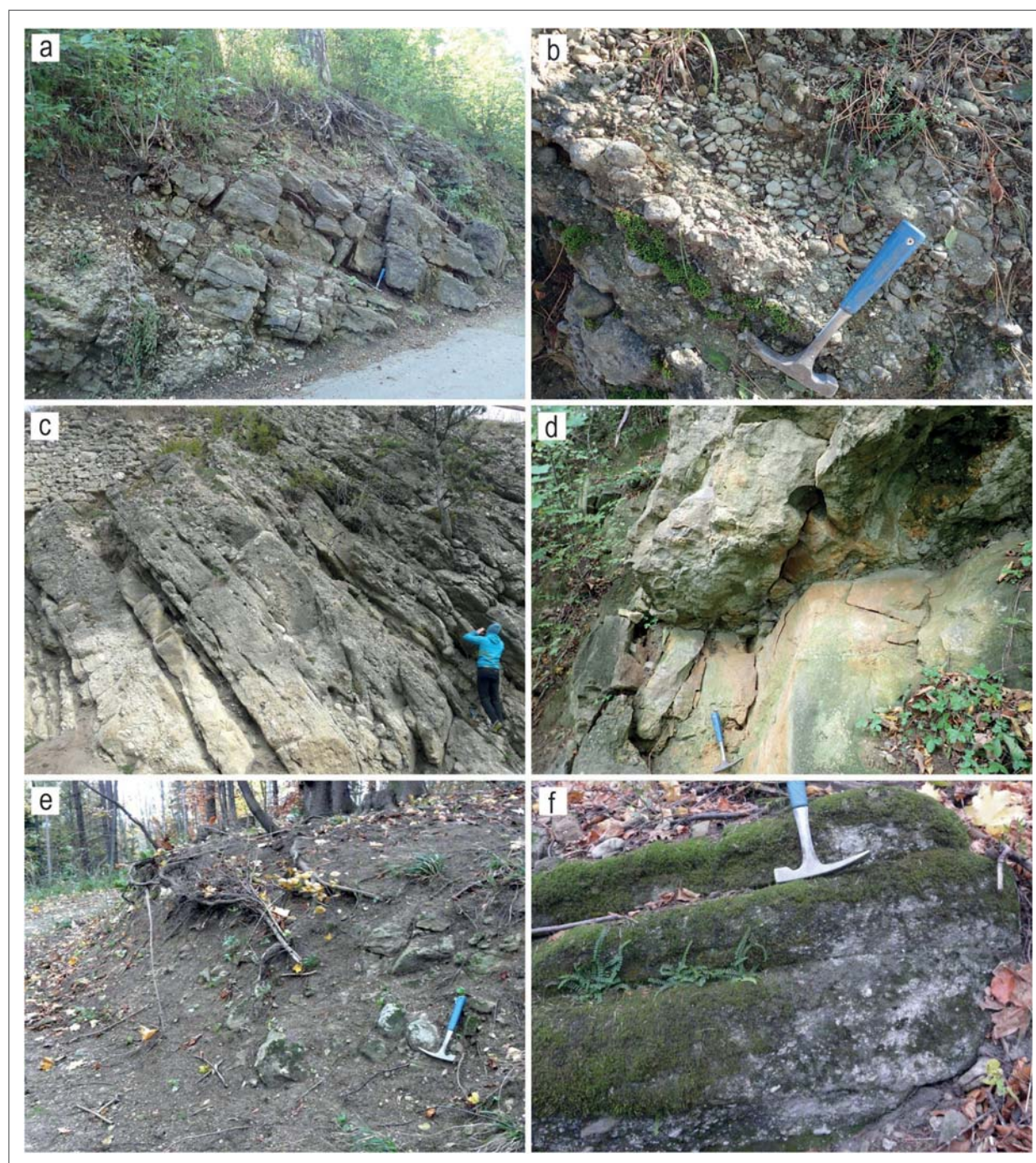
Metodika a materiál

Primárním předmětem výzkumu byly dva profily ve slepencích na Starojickém kopci: zářez cesty u kostela



Obr. 1: Studovaná oblast: A, B – tektonická mapa flyšového pásma Západních Karpat, C – lokality ve Starém Jičíně, D – lokality v Kozlovicích a Myslíku.

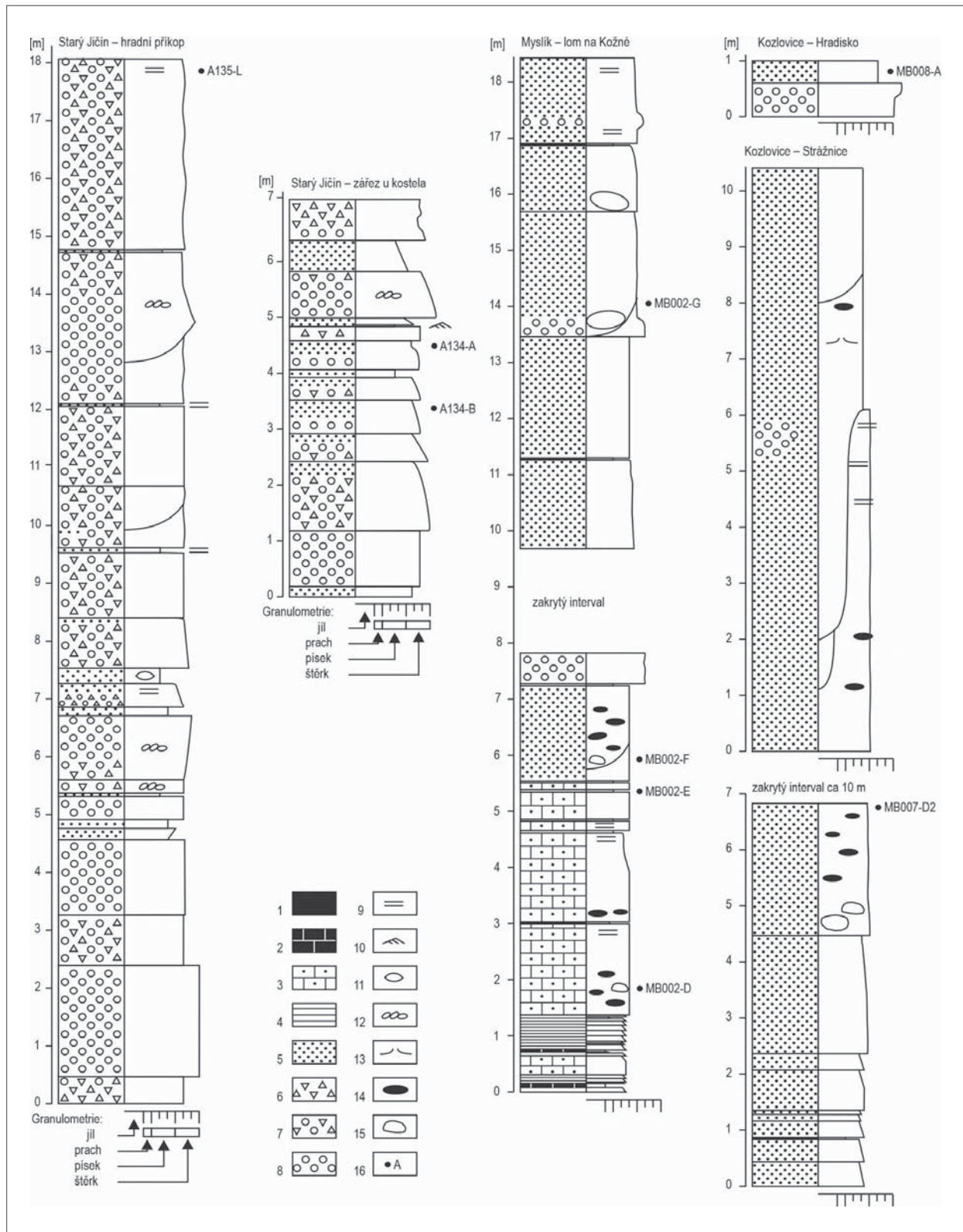
Fig. 1: Study area: A, B – tectonic map of the Western Carpathian Flysch Belt, C – sections in Starý Jičín, D – sections in Kozlovice and Myslík.



Obr. 2: Slepence palkovického souvrství: a – zářez u kostela, Starý Jičín; b – slepenec s náznakem imbrikace klastů (uprostřed), tamtéž; c – zářez hradního příkopu, Starý Jičín; d – masivní pískovec a hrubozrnný slepenec na bázi souvrství, Myslík – lom Kožná; e – hrubozrnný slepenec v zářezu lesní cesty, Kozlovice–Hradisko; f – výchoz drobnozrnného slepence, Kozlovice–Hradisko. Fig. 2: Palkovice Formation: a – section near church, Starý Jičín; b – conglomerate with imbricated clasts (in the middle), ibidem; c – section in castle moat, Starý Jičín; d – massive sandstone and coarse conglomerate at the base of the formation, Myslík – Kožná quarry; e – coarse conglomerate in forest trail cut, Kozlovice–Hradisko; f – outcrop of granule conglomerate, Kozlovice–Hradisko.

sv. Václava ve Starém Jičíně a stěna hradního příkopu (obr. 1, 2a–c, tab. 1). Pro srovnání byl dokumentován opuštěný lom na úpatí Kožné v Myslíku, opuštěný lom na úbočí Hradiska v Kozlovicích (lom Strážnice, obr. 1, 2d) a o něco výše ležící drobné výchozy v zářezu lesní cesty (Hradisko, obr. 2e, f). Pozornost byla v průběhu terénních prací soustředěna zejména na sedimentologický popis vybraných profilů (obr. 3) a odběr vzorků pro další laboratorní zpracování. Sedimentologická interpretace

studovaných profilů se opírá o práce Lowa (1982), Stowa a Smillieho (2020). Kvantitativní složení štěrkové frakce v rozsahu 1–10 cm bylo studováno ve slepencích z hradního příkopu na základě analýzy 300 klastů. Petrografické výbrusy byly zhotoveny v brusírně laboratoří ČGS v Praze. Modální složení pískovců bylo analyzováno na 7 výbrusech ze Starého Jičína, Kozlovic a Myslíku. Petrografie pískovců a slepencových klastů byla studována na 11 výbrusech z hradního příkopu ve Starém Jičíně.



Obr. 3: Litologie a sedimentologie studovaných profilů. 1 – jílovec; 2 – vápenec; 3 – písčitý vápenec; 4 – drobně rytmičné střídání písčitého vápence a jílovců; 5 – pískovec; 6 – sedimentární brekcie; 7 – brekcie/slepenec; 8 – slepenec; 9 – planární zvrstvení; 10 – proudové čeříny; 11 – čočkovité zvrstvení; 12 – imbrikace klastů; 13 – struktury po úniku vody; 14 – závalky jílovců; 15 – bloky (velké klasty); 16 – vzorky.

Fig. 3: Lithology and sedimentology of studied sections. 1 – claystone; 2 – limestone; 3 – sandy limestone; 4 – thin-rhythmic sandy limestones and claystones; 5 – sandstone; 6 – sedimentary breccia; 7 – breccia/conglomerate; 8 – conglomerate; 9 – planar bedding; 10 – flute marks; 11 – lenticular bedding; 12 – imbrication of clasts; 13 – water-escape structures; 14 – claystone intraclasts; 15 – rock blocks (large clasts); 16 – samples.

Výbrusy byly prohlíženy pod polarizačním mikroskopem Nikon Eclipse ME 600 vybaveném kamerou Nikon DS-FI 2 a digitálním zpracováním obrazu v programu NIS Elements D. Dokladové vzorky a výbrusy jsou součástí hmotné dokumentace ČGS v Brně.

Psefitická tělesa v křídě a paleogénu v okolí Starého Jičína

Ve Starém Jičíně a širším okolí se vyskytuje několik typů psefitů (slepenců, brekcií a parakonglomerátů) lišících se petrograficky, stářím a tektonickou příslušností. Terénní pozorování a výsledky biostratigrafie z posledních let dovolily rozlišit následující typy:

1) Slepence hradištského souvrství: zpravidla masivní slepence tvořené různě opracovanými klasty štramberského vápence a základní hmotou charakteru hrubozrnného vápnitého pískovce hradištského typu (lomy na Horečkách u Janovic a lomy v. od Petřkovic, Petřkovická hora).

2) Parakonglomeráty kojetínských vrstev: slepence s převahou písčitojíllovité základní hmoty se závalky jílovců, bloky štramberského vápence, vápence těšínského typu, růžových ryolitů, pískovců, rohovců, vulkanitů těšínitové asociace aj. (kopce Svinec a Hůrka).

3) Slepence a pískovce frýdlantského a frýdeckého souvrství: vápnité pískovce a slepence strážského typu (s příměsí řasových bioklastů), ale i vápnité pískovce a slepence s karbonátovými litoklasty a nevápnité pískovce (ploché pahorky z. a ssz. od Starojického kopce, lom na jz. okraji Starého Jičína – U Větráku).

4) Slepence Starojického kopce: hrubě lavicovitě středno- až hrubozrnné slepence až sedimentární brekcie s klasty štramberského vápence (více než 95 %) a ojediněle dalších hornin (masív Starojického kopce).

5) Slepence u Dubu: lokální čočka středno- až hrubozrnného slepence s vysoce převládajícími klasty štramberského vápence, patrně součást mladší části jasnického souvrství popsán Eliášem (1979) jako dubské souvrství; polohu slepence na stejné lokalitě popsali již Hanzlíková a Matějka (1958).

Petrografie slepenců ze Starojického kopce a jejich ekvivalentů z dalších lokalit Slepence a pískovce

Dva vzorky šedého, hnědošedě navětralého masivního hrubozrnného vápnitého pískovce byly odebrány z vyšší části gradačních slepencovo-pískovcových vrstev v zářezu u kostela. Klastickou složku tvoří převážně litoklasty (jílovce a různé typy vápenců; kolem 60 mod. %), dále polozaoblený až zaoblený křemen (kolem 30 mod. %), K-živce (do 5 mod. %) a ojediněle zelené agregáty glaukonitu (obr. 4a, b). Zastoupení monokrystalických a polykrystalických zrn křemene je přibližně stejné. Undulózní zhášení je možno pozorovat u 45 % zrn. Pojivo je tvořeno křemenem, karbonáty a jílovými minerály. Základní hmota a tmel nebyly rozlišovány.

Světle šedý drobnozrnný vápnitý slepenec z hradního příkopu (obr. 4c) ve výbrusu ukazuje převahu litoklastů, především biotritických vápenců štramberského typu

a méně šedých a šedohnědých jílovců (kolem 75 mod. %). Dále je zastoupen křemen do 20 mod. %. Monokrystalická zrna lehce převažují (60 %). Undulózní zhášení je přítomno přibližně u 70 % zrn. Složení pojiva je podobné jako u pískovců ze zářezu u kostela.

Šedý, hnědošedě navětralý masivní hrubozrnný vápnitý pískovec pochází z bazální části palkovického souvrství z lomu Strážnice (obr. 4e). Klastickou složku tvoří polozaoblený až zaoblený křemen (60 mod. %), litoklasty (vápnité pískovce se slídami, jílovce, biotritické vápence; kolem 35 mod. %), živce do 2 mod. %, biotit a muskovit (do 1 mod. %), ojediněle glaukonit. Monokrystalická zrna křemene převažují kolem 70 %. Undulózní zhášení je přítomno u 70 % zrn. Mezi živci převažují K-živce, místy jsou patrné dvojčaté srůsty. Pojivo je tvořeno karbonáty, křemenem a jílovými minerály.

Šedý, hnědošedě navětralý masivní hrubozrnný vápnitý pískovec ze zářezu lesní cesty na Hradisku (obr. 4d) představuje základní hmotu středozrnného slepence. Ve výbrusu má řadu shodných rysů s pískovcem z lomu Strážnice a výrazněji se liší jen nižším podílem klastického křemene (45 mod. %).

Šedý masivní středozrnný vápnitý pískovec pochází z bazální části palkovického souvrství v lomu Kožná (obr. 4f). Klastickou složku tvoří polozaoblený až zaoblený křemen (60 mod. %), litoklasty (pískovce, jílovce, vápence; kolem 35 mod. %), K-živce a plagioklasy (do 3 mod. %), muskovit a biotit (do 1 mod. %) a glaukonit. Zrna křemene jsou převážně monokrystalická (75 %). Undulózní zhášení lze pozorovat u 60 % zrn. Složení základní hmoty je obdobné jako u předchozích vzorků.

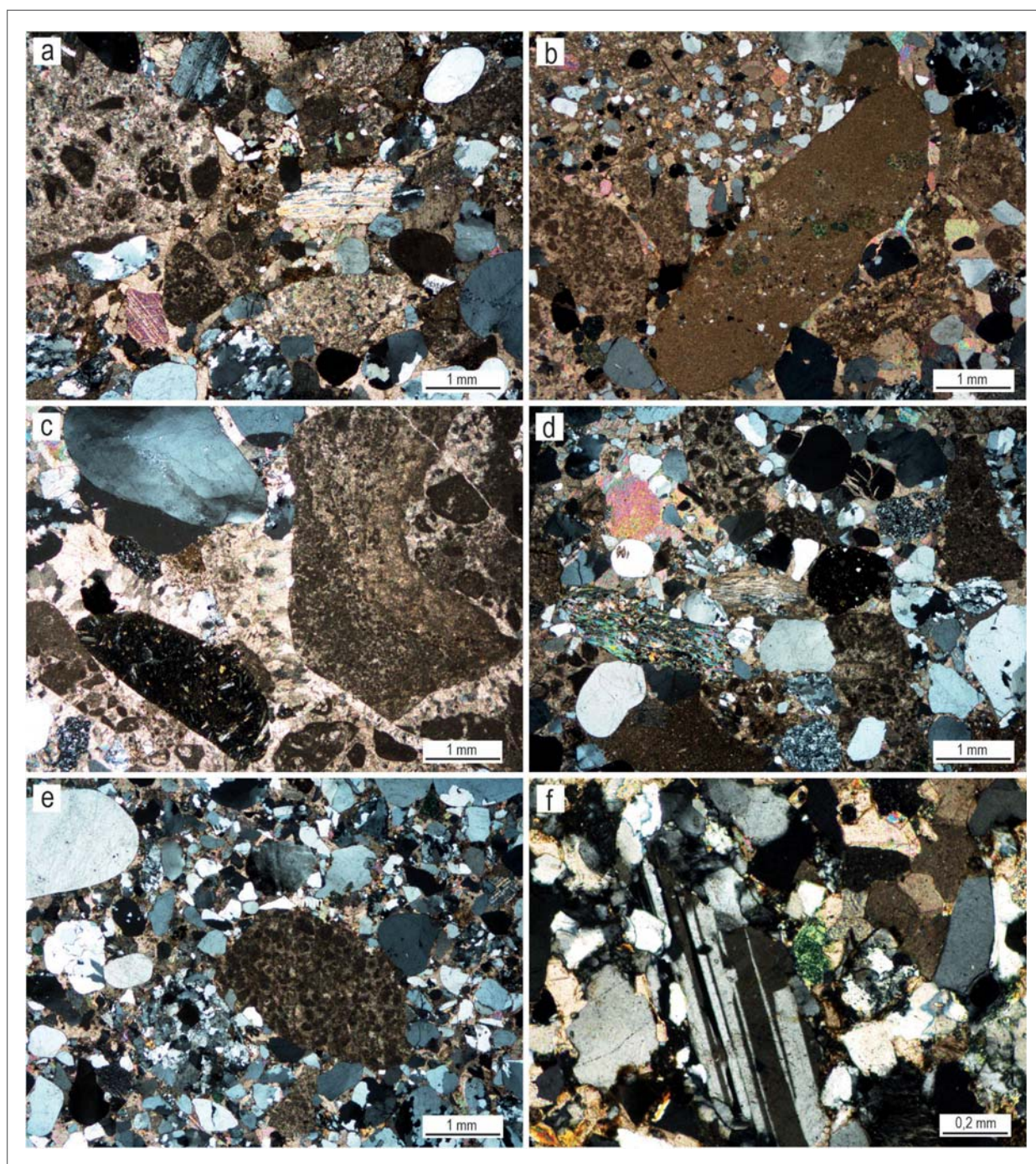
Jílovce a prachovce

Jílovce a prachovce tvoří v palkovickém souvrství Starojického kopce pouze tenké vložky mocné do 5 cm. V zářezu u kostela je jejich podíl jen 1 % mocnosti, v profilu hradního příkopu chybí úplně. Jílovce jsou hnědošedě navětralé, vápnité, proměnlivě prachovité. Vápnitý prachovec tvoří laminy a čočky v jílovcích.

Složení klastů psefitické frakce

97 % klastů ve slepencích Starojického kopce je tvořeno vápenci štramberského typu. Makroskopicky jde o světle šedé až hnědošedé, bělavě navětralé biotritické vápence. Mikroskopicky lze tyto vápence označit jako intrabiomikrity (obr. 5e), intraobiomikrity, biointramikrity (obr. 5c) a biopelmikrity (obr. 5b). Tyto typy se vyskytují někdy v rámci jednoho výbrusu, kde tvoří enklávy a čočky. Mikritová základní hmota bývá více či méně rekrystalovaná na sparit. Ojediněle byla pozorována čočka krinoidového intrabiosparitu s osikulami krinoidů (obr. 5d). Vápenec s korály a mikrobiálními nárůsty *Crescentiella moronensis*, které se zdají být v původní růstové pozici, lze považovat za bindstone (obr. 5a).

Mezi bioklasty jsou zastoupeny úlomky mlžů, plži, úlomky korálů, stromatopor, osikuly krinoidů a ježovek, dasykladální řasy, rourky sedentárních červů *Terebella lapilloides*, mechovky a foraminifery *Protoperoplis ultragranulata*, *Nautiloculina broennimanni*



Obr. 4: a – hrubozrnný vápnitý pískovec, A134-A; b – hrubozrnný vápnitý pískovec, A134-B; c – vápnitý slepenec, A135-L; d – hrubozrnný vápnitý pískovec, MB008; e – hrubozrnný vápnitý pískovec, MB007-D2; f – střednozrnný vápnitý pískovec, MB002-G. Zkřížené nikoly.

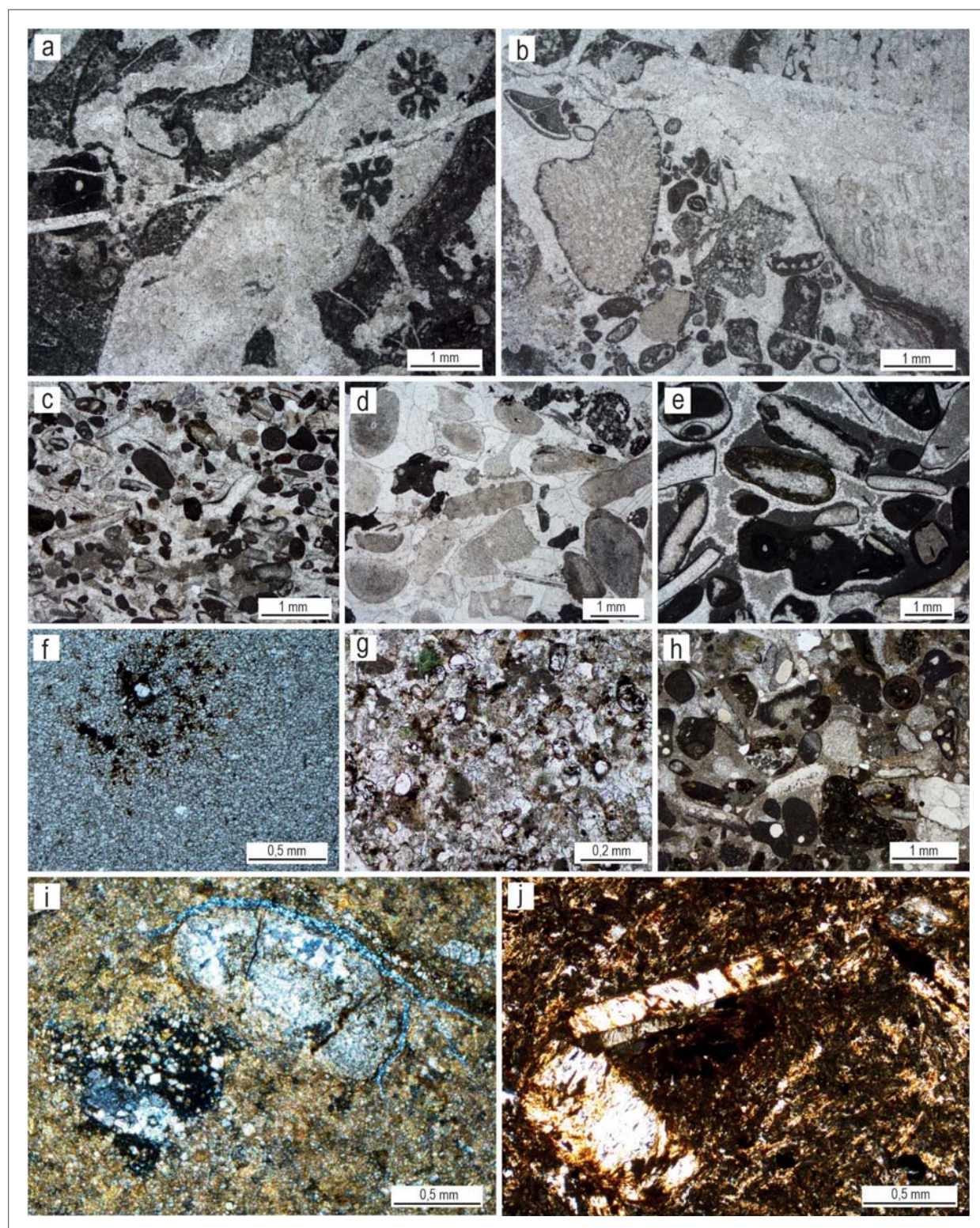
Fig. 4: a – coarse-grained calcareous sandstone, A134-A; b – coarse-grained calcareous sandstone, A134-B; c – calcareous conglomerate, A135-L; d – coarse-grained calcareous sandstone, MB008; e – coarse-grained calcareous sandstone, MB007-D2; f – medium-grained calcareous sandstone, MB002-G. Cross-polarized light.

a *Pseudogaudryinella uvigeriniformis* (obr. 6d–g) aj. Hojně se vyskytují mikrobiální krusty *Crescentiella moronensis*, *Koskinobullina socialis*, *Lithocodium aggregatum* a *Radiomura cautica* povlékající bioklasty nebo jako úlomky (obr. 6a–c).

1) Dolomitizovaný vápenec (obr. 5i): makroskopicky se jeví jako šedožlutý dolomitický vápenec. Ve výbrusu lze pozorovat, že hornina je tvořena především klenci dolomitu v jílovito-vápnité základní hmotě. Místy

obsahuje klasty (bioklasty?) tvořené blokovým sparitem a obkroužené cirkumgranulárními prasklinami vyhojenými křemenem.

2) Dolomitizovaný vápenec (obr. 5f): makroskopicky se hornina jeví jako zelenošedý slínovec. Ve výbrusu lze vidět, že hornina je dominantně složena z klenců dolomitu velkých 0,02 až 0,06 mm, v jílovité základní hmotě. Ojediněle byla pozorována nodosariidní foraminifera s kalcitovou výplní schránky a vápnité cysty dinoflagelátů



Obr. 5: Klasty ze slepenců, Starý Jičín – hradní příkop: a – částečně rekrystalovaný pelmikrit s korálem a mikrobiálními povlaky v růstové pozici (bafflestone?), MB135-E; b – čočka biotritického floatstone v biopelmikritu (vlevo dole), MB135-F; c – částečně rekrystalovaný biointramikrit (wackestone), MB135-C; d – krinoidový biosparit; MB135-B; e – intrabiomicrit s kortoidy (wackestone), MB135-D; f – dolomitizovaný biomicrit, MB135-I; g – jemnozrný písčité vápenec s jehlicemi hub a glaukonitem, MB135-H; h – hrubozrný detritický vápenec s bodovou silicifikací (světlé tečky), MB135-G; i – dolomitický vápenec s jílovitými enklávami a rekrystalovaným bioklastem? ohraničeným cirkumgranulární trhlinou, MB135-A; j – alterovaný trachyt s vyrostlými plagioklasu, MB135-K.

Fig. 5: clasts from conglomeration, Starý Jičín – castle moat: a – partly recrystallised pelmicrite with corral and microencrusts in growing position (bafflestone?), MB135-E; b – lens of biotrititic floatstone in biopelmicrite (lower left corner), MB135-F; c – partly recrystallised biointramicrite (wackestone), MB135-C; d – crinoidal biosparite; MB135-B; e – intrabiomicrite with corroids (wackestone), MB135-D; f – dolomitized biomicrite, MB135-I; g – fine-grained sandy limestone with sponge spicules and

Cadosina fusca a *C. semiradiata olzae* (obr. 6k, l), které se vyskytují ve stratigrafickém intervalu svrchní tithon–alb (Reháková 2000).

3) Detritický vápenec těšínského typu (obr. 5h): makroskopicky šedý, homogenní. Ve výbrusu je patrná podpůrná úloha klastů a vápnito-jílovitá základní hmota. Klasty o průměru 0,2 až 2 mm jsou tvořeny převážně pelmikitovým vápencem (wackestone a packstone), často s drobnými silicifikovanými enklávami tvořenými chalcedonem. Dále jsou hojné bioklasty, ooidy, hlízky mikrobiálního mikritu *Crescentiella moronensis* a glaukonit. Klastický křemen tvoří přibližně 5 mod. %. K tomuto typu vápence lze přiřadit i vzorek MB135-C, který se makroskopicky jevil jako šedý laminovaný vápnitý pískovec. Z výbrusu je zřejmé, že jde o detritický vápenec s podpůrnou úlohou mikritové, částečně sparitizované základní hmoty (mudstone). Klastickou složku tvoří bioklasty, ooidy, mikritové intraklasty, klastický křemen do 5 mod. %. Lokálně lze pozorovat silicifikaci.

4) Jemnozrnný silně vápnitý pískovec až vápenec (obr. 5g): makroskopicky je šedý, hnědošedě navětralý, homogenní. Ve výbrusu lze pozorovat hojné jehlice hub ledvinkovitěho tvaru (sterraster), ostrohranný křemen do 10 mod. %, živce do 5 mod. % (převážně K-živce), sparitová zrna kalcitu (rekrytalované bioklasty?), mikritové intraklasty, méně glaukonit a vápnité cysty dinoflagelátů. Cysty *Cadosina parvula*, *C. semiradiata olzae* a *Comitosphaera czestochowiensis* (obr. 6h–j) se vyskytují ve svrchním tithonu (Reháková 2000). Základní hmota je vápnito-jílovitá.

5) Trachyt (obr. 5j): makroskopicky růžový jemnozrnný vulkanit. Ve výbrusu lze vidět trachytickou strukturu. Hornina je částečně propylitizovaná a obsahuje vyrostlice alkalických živců (někdy s dvojčatnými srůsty) a plagioklasů, xenomorfní zrna opakních minerálů, křemene a pseudomorfózy chloritu a oxy-hydroxidů železa po amfibolech. Základní hmotu tvoří jílové minerály, karbonáty a jemný sericit.

Sedimentologická charakteristika slepenců

Starojického kopce a jejich ekvivalentů

v bašském vývoji

Starý Jičín – hradní příkop

Slepence, brekciovitě slepence a brekcie tvoří více než 90 % mocnosti. Jednotlivé psefitické polohy jsou mocné 25 až 340 cm. Báze rytmů jsou ostré. Zaoblené, polozaoblené až ostrohranné klasty o průměru 2–20 cm (maximálně 100 cm) jsou neuspořádaně rozptýleny v drobnozrnné základní hmotě, popřípadě tvoří šňůrovité polohy. Místy byla pozorována imbrikace klastů ukazující na směr turbiditního proudu k V. V rámci psefitických vrstev byla na přechodu drobnozrnného a střednozrnného slepence pozorována normální i inverzní gradace. Většina vrstev vykazuje masivní texturu. Některé psefitické polohy do nadloží přecházejí gradačně do pískovců. Místy byla

pozorována erozní koryta s orientací S–J. Mezi psefitické polohy se podřízeně vkládají 4–27 cm mocné polohy jemnozrnných až hrubozrnných pískovců s čočkovitou nebo planární laminací. Pelitické vložky chybí.

Starý Jičín – zářez u kostela

Vrstevní sled je v překocené pozici. Psefity tvoří kolem 80 % mocnosti. Jedná se převážně o drobnozrnné, místy až hrubozrnné, brekciovitě slepence a sedimentární brekcie. Mocnost vrstev se pohybuje v rozmezí 30 až 125 cm. Poměrně častá je normální gradace – přechod ze slepence až brekciovitěho slepence do hrubozrnného pískovce. Průměr klastů je převážně 2–10 cm (maximálně 35 cm). V některých slepencových polohách byla pozorována imbrikace klastů ukazující na směry turbiditních proudů k JJZ a V. Pískovce jsou převážně hrubozrnné, místy gradačně přecházejí do střednozrnných. Ojedinele byla pozorována vložka jemnozrnného pískovce s proudovými čerínami. Vzácně se ve stropě jemnozrnných pískovců vyskytují prachovce a vápnité jílovce mocné do 2 cm.

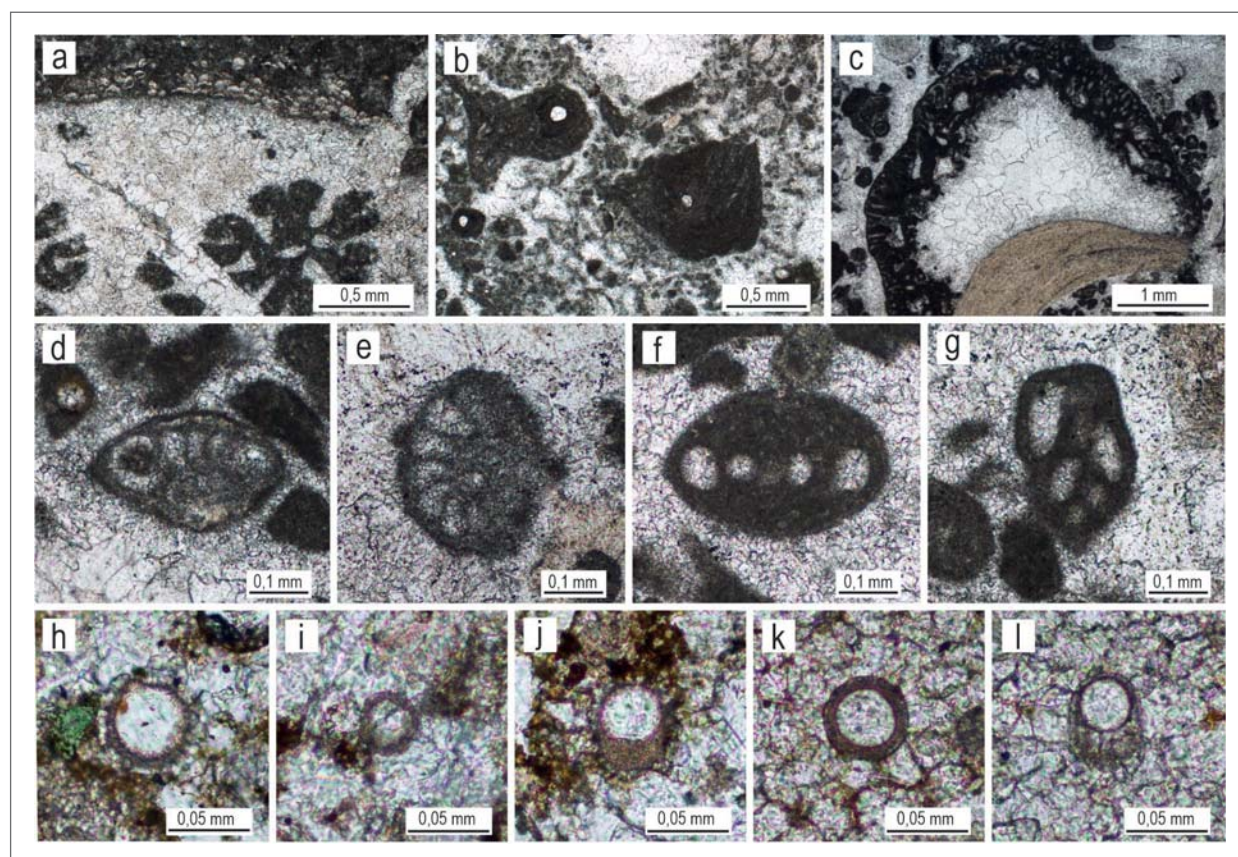
Myslík – lom Kožná

V lomu je odkryt přechod mezi sekvencí drobně rytmických turbiditů bašského souvrství a bazální částí palkovického souvrství. Na přechodu obou souvrství se vyskytuje několik poloh až 160 cm mocných tvořených písčitémi vápenci typu bašského souvrství obsahující četné závalky slínů a kalových vápenců. Palkovické souvrství tvoří 1–2 m mocné lavice masivních pískovců a podřízeně slepenců. Častá jsou erozní koryta hluboká kolem 1 m (osa jednoho z nich orientovaná ZSZ–VJV). Báze koryt jsou tvořeny zpravidla střednozrnným petromiktním slepencem, který gradačně přechází do hrubozrnného a popřípadě střednozrnného pískovce. Na bázi koryt se vyskytují ojedinele bloky chloritizované pararuly a pelokarbonátu velké až 1 m. Ve svrchní části pískovcových vrstev lze sporadicky pozorovat planární zvrstvení. Některé pískovcové polohy jsou od sebe odděleny laminami šedého jílovce mocnými jen asi 5 mm.

Kozlovice

Spodní část stěny lomu Strážnice tvoří drobně až středně rytmická sekvence jílovcovo-pískovcových turbiditů bašského souvrství. Převažují jemno- až střednozrnné vápnité pískovce nad jílovci. Pískovce místy obsahují proužky diagenetických rohovců. Podřízeně se vyskytují tenké vložky mikritového vápence. Do nadloží přibývá lavic mocných 30 až 90 cm. Bázi palkovického souvrství vyznačuje náhlé objevení 2 a více m mocných poloh středno- až hrubozrnných pískovců obsahujících bloky vápenců, ortoruly a závalky jílovců. Ojedinele byl pozorován závalek jílovce tvořící 70 cm mocnou a 7 m dlouhou plotnu. Výše ve svahu lomu byla ve zbytku stěny pozorována přes 10 m mocná amalgamovaná poloha hrubozrnných až střednozrnných pískovců s řadou až 4 m hlubokých

glauconite, MB135-H; h – coarse-grained detritic limestone with spotty silicification (light points), MB135-G; i – dolomitic limestone with clayey enclaves and recrystallised bioclast? surrounded by circumgranular crack, MB135-A; j – altered trachyte with plagioclase phenocryst, MB135-K.



Obr. 6: Fosílie v karbonátových klastech: a – korál s nárůstem *Koskinobullina socialis*, A135-E; b – *Crescentiella moronensis*, A135-E; c – *Lithocodium aggregatum*, A135-J; d, e – *Protopeneroplis ultragranulata*, A135-J; f – *Nautiloculina bronnimanni*, A135-J; g – *Falsogaudryinella uvigeriniformis*, A135-J; h – *Comitosphaera czenstochowiensis*, A135-H; i – *Cadosina parvula*, A135-H; j – *Cadosina semiradiata olzae*, A135-H; k – *Cadosina fusca*, A135-I; l – *Cadosina semiradiata olzae*, A135-I.

Fig. 6: Fossils within carbonate clasts: a – corral with encrusting *Koskinobullina socialis*, A135-E; b – *Crescentiella moronensis*, A135-E; c – *Lithocodium aggregatum*, A135-J; d, e – *Protopeneroplis ultragranulata*, A135-J; f – *Nautiloculina bronnimanni*, A135-J; g – *Falsogaudryinella uvigeriniformis*, A135-J; h – *Comitosphaera czenstochowiensis*, A135-H; i – *Cadosina parvula*, A135-H; j – *Cadosina semiradiata olzae*, A135-H; k – *Cadosina fusca*, A135-I; l – *Cadosina semiradiata olzae*, A135-I.

erozních koryt (obr. 2). Pískovce jsou převážně masivní, ve vyšší části někdy planárně zvrstvené. V různých úrovních se vyskytují závalky jílovců. Pozorováno bylo ojedinělé jazykovité těleso drobnozrnného slepence a struktury po úniku vody (vrásovité struktury uvnitř masivního pískovce s amplitudou kolem 1 m). V zářezu lesní cesty asi 50 m výše (Hradisko) jsou odkryty hrubozrnné slepencovité pískovce a drobné až hrubozrnné slepence. Slepence jsou masivní nebo s nevýraznou normální gradací.

Diskuze

Stáří slepenců Starojického kopce v rozmezí svrchní turon–střední coniac bylo mikropaleontologicky prokázáno již dříve (Stráník et al. 1997). Spolu s litologickou podobností se stejně starými slepenci bašského vývoje to dovoluje jejich zařazení k palkovickému souvrství. Toto souvrství bylo dosud známo pouze z bašského faciálního vývoje, kde má stratigrafický rozsah coniac–maastricht. Stratigrafickým ekvivalentem v godulském vývoji je vyšší část mazáckého, celé godulské a nižší část istebňanského souvrství a v kelčském vývoji milotického souvrství (Skupien et al. 2009; Stráník et al. 2021). Vzhledem k tomu, že v okolí Starého Jičína patří další svrchnokřídové sedimenty slezské jednotky k vývoji kelčskému, zdá se,

že palkovické souvrství zde zasahuje lokálně do kelčského vývoje. Podobné laterální přesahy facií a souvrství mezi třemi uvedenými vývoji byly pozorovány již dříve v jiných stratigrafických úrovních a potvrzují, že jde o facie v různých částech téže hlubokomořské pánve (Eliáš 1979; Menčík et al. 1983).

Mocnost palkovického souvrství v příkrovové trosce Starojického kopce je odhadována na 150 m a nikde jinde v okolí se již nevyskytuje. Lze proto přijmout interpretaci Eliáše (1979, str. 333), podle které jsou slepence Starojického kopce proximálními sedimenty horní části hlubokomořského vějíře. Jde patrně o výplň podmořského kaňonu v dolní části svahu. Převažující sedimenty v sousedství kaňonu byly nejspíše pelity milotického souvrství. Nelze souhlasit s Eliášovou (1979) představou, že by pískovcovo-jílovcový flyš mezi Kojetínem a Mořkovem představoval distálnější facie tohoto vějíře. Jsou totiž stratigraficky mnohem starší (hauteriv–barrem). Pokračování svrchnokřídového vějíře patrně podlehl denudaci a nejbližší výskyt palkovického souvrství je až u Mniší, 17 km v. od Starojického kopce.

Eliáš (1979) interpretuje hrubá klastika palkovického souvrství jako turbidity, fluxoturbidity, skluzu a v malé míře i zrnitosti v rámci progradujícího turbiditního vějíře.

Na základě nového sedimentologického výzkumu lze sedimenty ze Starojického kopce interpretovat jako produkty turbiditních proudů, úlomkotoků, případně sedimentů hybridních událostí uložených převážně v korytech proximální části turbiditního vějíře. Některé vrstvy lze klasifikovat jako vysokohustotní turbidity – high-density turbidites (Lowe 1982; Walker 1978; Mutti 1992; Šlomoňka 1995). Shanmugam (2019) zpochybňuje mechanismus usazování nevytřídněného materiálu s převahou středno až hrubozrnných klastů bez výrazné normální gradace u vysokohustotních turbiditních proudů s tím, že vysoká koncentrace sedimentárních částic snižuje schopnost turbulentního chování jednotlivých částic. Stow a Smillie (2020) rozlišují jednotlivé skupiny turbiditních sedimentů na základě jejich zrnitostní charakteristiky. Skupiny hrubozrnných a střednozrnných turbiditů Stowa a Smillieho (2020) mají shodné znaky s vysokohustotními turbidity výše uvedených autorů.

Část slepenců a pískovců Starojického kopce a z oblasti Kozlovic a Myslíku se vyznačuje zřetelnou vrstevnatostí a ostrou bází rytů, což jsou charakteristické znaky turbiditů (Stow a Smillie 2020). Primární textury ve formě planárního a čočkovitého zvrstvení a proudových čeřin, které jsou dalším typickým znakem turbiditů (Bouma 1962; Stow a Smillie 2020), se vyskytují spíše ojediněle. Naproti tomu normální gradační zvrstvení, typické pro turbidity (Lowe 1982; Mutti 1992; Mutti et al. 2008; Stow a Smillie 2020), je poměrně časté v profilu v zářezu u kostela. Zdánlivě inverzní gradace v zářezu u kostela ve Starém Jičíně byla interpretována na základě všech texturních znaků jako překocený vrstevní sled. Bazální část palkovického souvrství u Kozlovic a Myslíku je na primární textury chudší. Na druhou stranu zde byly pozorovány struktury po úniku vody svědčící o překotné sedimentaci výplně koryt. Tyto slepence a pískovce lze označit za produkty vysokohustotních turbiditních proudů. Jedná se zejména o vrstvy v profilu zářezu u kostela ve Starém Jičíně a pískovcové vrstvy ve spodní části profilu Strážnice v Kozlovicích. Masivní slepence a pískovce zejména v profilu Hradního příkopu na Starojickém kopci a částečně v profilu v bývalém lomu Kožná v Myslíku svou charakteristikou odpovídají produktům úlomkotoků (debris flow) tak, jak je popisuje Shanmugam (2020). Napadná je u většiny vrstev absence primárních textur. Přítomny jsou jak zaoblené, tak i ostrohrané klasty. Vrstvy s přítomností ostrohraných klastů svou charakteristikou odpovídají brekciovitým slepencům až sedimentárním brekciím. Přítomny jsou i klasty o rozměrech dosahujících až několika desítek centimetrů (zaoblené klasty štramberských vápenců). U několika vrstev byla pozorována inverzní gradace a imbrikace klastů. U několika hrubě klastických vrstev bylo v nejsvrchnějších částech pozorováno normální gradační zvrstvení a slabá planární laminace. V tomto případě by se mohlo jednat o produkty hybridních událostí, které svými charakteristikami nelze zařadit k úlomkotokům nebo vysokohustotním turbiditním proudům (Haughton et al. 2009).

Složení klastů s výraznou převahou vápenců štramberského typu ukazuje na dominantní zdroj v oblasti

štramberského útesového komplexu. Ve výbrusech vápenců lze pozorovat charakteristickou makrofaunu útesových a přiútesových facií, foraminifery, dasykladální řasy a mikrobiální povlaky. Foraminifery *Protopeneroplis ultragranulata*, *Nautiloculina broennimanni* a *Pseudogaudryinella uvigeriniformis* jsou charakteristické pro přiútesové facie vápenců tithonu a berriasu (např. Ivanova a Kolodziej 2010; Olszewska et al. 2008).

Výsledky studia výbrusů a modálních analýz ukazují na velkou podobnost pískovců z oblasti hlavního rozšíření palkovického souvrství a pískovců ze Starojického kopce. Sedimenty báze palkovického souvrství z lomu Kožná a lomu Strážnice se od sedimentů Starojického kopce liší vyšším zastoupením křemenných klastů a převahou psamitů nad psefity. Pokud však srovnáme slepencovité pískovce a slepence ze zářezu cesty na Hradisku se slepenci ze Starojického kopce, jsou rozdíly zanedbatelné. Pískovce ze Starojického kopce odpovídají svým složením vápnitým drobovým pískovcům palkovického souvrství popisovaným Eliášem (1970). Rovněž složení klastů ve slepencích je shodné (Eliáš 1970; Stráník et al. 2021).

V bašském faciálním vývoji dosahuje palkovické souvrství mocnosti až 500 m. Nasedá na souvrství bašské, které lze charakterizovat jako drobně až středně rytmický flyš s charakteristickými pásy spongolitového rohovce (Menčík et al. 1983; Stráník et al. 2021). Báze palkovického souvrství je ostrá a tvoří ji často tělesa masivních střednozrnných pískovců (výplně erozních koryt). Výše převažuje hrubě rytmický pískovcový flyš, charakterizovaný středno až hrubozrnnými či drobně slepencovitými vápnitými pískovci s čočkovitými tělesy tilloidních slepenců. Klasty slepenců jsou tvořeny křemenem, štramberským vápencem, pískovci a rohovci (Menčík et al. 1983; Stráník et al. 2021). Ve vyšších částech souvrství se střídají jemno až střednozrnné pískovce s tenkými vložkami šedých jílovců (Eliáš 1970). Slepence Starojického kopce mají litologicky nejbližší ke střední části palkovického souvrství v oblasti hlavního výskytu bašského faciálního vývoje.

Závěry

Po více než sto letech dohadů jsou slepence a pískovce Starojického kopce zařazeny k palkovickému souvrství slezské jednotky. Výsledky petrografického a sedimentologického studia ukázaly značnou podobnost pískovců a slepenců ze Starého Jičína s pískovci a slepenci palkovického souvrství v oblasti hlavního výskytu bašského vývoje. Stejně stáří sedimentů obou oblastí bylo doloženo již dříve mikropaleontologicky. Podle sedimentologických znaků lze slepence a pískovce ze Starého Jičína interpretovat jako produkty úlomkotoků, vysokohustotních turbiditních proudů, a případně také jako produktů hybridních událostí. Ačkoli je palkovické souvrství charakteristickou součástí bašského faciálního vývoje slezské jednotky, proximální facie ve Starém Jičíně je součástí vývoje kelčského. Výskyt proximálních facií v oblasti svahu (kelčský vývoj) a distálnějších facií na úpatí (bašský vývoj) je v souladu s dnešními poznatky o architektuře hlubokomořských vějířů. Slepence a pískovce ve Starém Jičíně jsou od nejbližších výskytů palkovického

souvrství u Mniší vzdáleny 17 km. Izolovanost výskytu ve Starém Jičíně lze nejspíše vysvětlit denudací strukturně vyšších tektonických šupin, které obsahovaly pokračování turbiditního vějíře směrem k V.

Poděkování

Výzkum slepenců slezské jednotky byl proveden v rámci projektu č. 321186 Základní geologické mapování ČR v měřítku 1 : 25 000, oblast střední Morava a je součástí tématu 1.4 DRKVO. Autoři děkují D. Buriánkovi za určení vulkanické horniny v klastu ze slepenců.

Literatura

- Adámek, J., Bubík, M., Buriánek, D., Geršl, M., Godány, J., Havíř, J., Maštera, L., Novák, Z., Novotný, R., Havlín Nováková, D., Nývlt, D., Otava, J., Pálenský, P., Tomanová Petrová, P., Skácelová, Z., Skácelová, D., Stráník, Z., Švábenická, L. (2007). Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25000, list 25-124 Starý Jičín. 126 s. – MS, Archiv České geologické služby. Praha.
- Beck, H. (1911). Die tektonischen Verhältnisse der beskidischen Oberkreideablagerungen im nordöstlichen Mähren. – *Jahrbuch Der Kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt*, 61, 3–4, 711–780.
- Bouma, A. H. (1962). *Sedimentology of Some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation*. – Elsevier, Amsterdam.
- Eliáš, M. (1970). Litologie a sedimentologie slezské jednotky v Moravskoslezských Beskydech. – *Sborník geologických věd, Geologie*, 18, 7–99. Praha.
- Eliáš, M. (1979). Facies and paleogeography of the Silesian unit in the western part of the Czechoslovak flysch Carpathians. – *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 54, 6, 327–339.
- Hanzlíková, E., Matějka, A. (1958). O cenomanu v podhůří Moravskoslezských Beskyd. – *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 33, 171–177.
- Haughton, P., Davis, Ch., McCaffrey, W., Barker, S. (2009). Hybrid sediment gravity flow deposits – Classification, origin and significance, *Marine and Petroleum Geology*, 26, 10, 1900–1918. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.02.012>
- Hohenegger, L. (1861). Die geognostischen Verhältnisse der Nord-Karpathen in Schlesien und den angrenzenden Theilen von Mähren und Galizien. – Justus Perthes, 1–50, Gotha.
- Ivanova, D., Kołodziej, B. (2010). Late Jurassic–Early Cretaceous foraminifera from Štramberg-type limestones, Polish outer Carpathians. – *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia*, 55(2): 3–31. <https://doi.org/10.5038/1937-8602.55.2.1>
- Leicher, J. (1935). *Geologie der mähr.-schles. Beskiden u. des sudetischen Randgebietes*. – L. V. Enders'sche K.-A. Neu-Titschein. 45 s.
- Lowe D. L. (1982). Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, 1, 279–297. <https://doi.org/10.1306/212F7F31-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Menčík, E., Adamová, M., Dvořák, J., Dudek, A., Jetel, J., Jurková, A., Hanzlíková, E., Houša, V., Peslová, H., Rybářová, L., Šmíd, B., Šebesta, J., Tyráček, J., Vašíček, Z. (1983). *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. – Ústřední ústav geologický. Praha. 304 s.
- Menčík, E., Tyráček, J., red. (1985). *Přehledné geologické mapy 1 : 100 000. Beskydy a Podbeskydská pahorkatina*. – Ústřední ústav geologický. Praha.
- Mutti, E. (1992). *Turbidite Sandstones*. Milan. – Agip, Istituto di geologia, Università di Parma: Parma, Italy.
- Mutti, E., Bernoulli, D., Lucchi, F., Tinterri, R. (2008). Turbidites and turbidity currents from Alpine 'Flysh' to the exploration of continental margins. *Sedimentology*, 56, 267–318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.01019.x>
- Olszewska, B., Szydło, A., Jugowiec-Nazarkiewicz, M., Nescieruk, P. (2008). Zintegrowana biostratygrafia węglanowych osadów warstw cieszyńskich w polskich Karpatach Zachodnich. – *Geologia*, 34 (3/1), 33–59.
- Pálenský, P., red. (1998). *Geologická mapa ČR 1 : 50000. List 25-12 Hranice*. – Česká geologická služba. Praha.
- Reháková, D. (2000). Evolution and distribution of the Late Jurassic and Early Cretaceous calcareous dinoflagellates recorded in the Western Carpathian pelagic carbonate facies. – *Mineralia Slovaca*, 32: 79–88.
- Roth, Z., red. (1963). *Geologická mapa ČSSR. Mapa předčtvrtohorních útvarů 1 : 200 000, M-33-XXIV Olomouc*. – Ústřední ústav geologický. Praha.
- Roth, Z., Jurková, A., Škvorová, A., Papalová, J., Prokop, I. (1973). Vysvětlující text k základní geologické mapě 1 : 25 000. list M-34-85-A-c Mořkov. – MS, Archiv České geologické služby. Praha.
- Shanmugam, G. (2019). Reply to discussions by Zavala (2019) and by Van Loon, Hüeneke, and Mulder (2019) on Shanmugam, G. (2018). *Journal of Palaeogeography*, 7 (3), 197–238) the hyperpycnite problem. – *Journal of Palaeogeography* 8 (4), 408–421. <https://doi.org/10.1186/s42501-019-0047-1>
- Shanmugam, G. (2020). Gravity flows: Types, definitions, origins, identification markers, and problems. *Journal Indian Association of Sedimentologists*, 37, 2, 61–90. <https://doi.org/10.51710/jias.v37i2.117>
- Skupien, P., Bubík, M., Švábenická, L., Mikuláš, R., Vašíček, Z., Matýsek, D. (2009). Cretaceous Oceanic Red Beds in the Outer Western Carpathians of Czech Republic. – Final Volume IGCP 463, SEPM. <https://doi.org/10.2110/sepmsp.091.099>
- Słomka, T. (1995): Deep – marine siliciclastic sedimentation of the Godula beds, Carpathians. – *Prace geologiczne PAN*, 139, 132 s.
- Stow, D., Smillie, Z. (2020). Distinguishing between deep-water sediment facies: Turbidites, contourites and hemipelagites. – *Geosciences* 10, 68. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020068>
- Stráník, Z., Bubík, M., Švábenická, L. (1997). Svrchnokřídové stáří konglomerátů od Starého Jičína. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1996*, 43–44.
- Stráník, Z., Adámek, J., Brzobohatý, R., Buchta, Š., Dudek, A., Grygar, R., Nývlt, D., Otava, J., Pálenský, P., Tyráček, J., Bubík, M., Gilíková, H., Tomanová Petrová, P. (2021). *Geologie Vnějších Západních Karpat a jihovýchodního okraje Západoevropské platformy v České republice*. – Česká geologická služba, Praha, 320 s.
- Walker, R. G. (1978). Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps. – *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 62, 932–966. <https://doi.org/10.1306/C1EA4F77-16C9-11D7-8645000102C1865D>

Registrace seismických jevů stanicí VRAC v letech 2011 až 2022 v porovnání s globální seismicitou

Registrations of seismic events by station VRAC in the period from 2011 to 2022 in comparison to global seismicity

Josef Havíř 

Ústav fyziky Země, PřF MU, Tvrdeho 12, 602 00 Brno, Česká republika

Key words:

seismic monitoring, teleseismic events, station VRAC, detection capability, global seismicity

 havir@ipe.muni.cz

Editor:

David Buriánek

Abstract

Broadband seismic station VRAC (Vranov u Brna), operated by IPE (Institute of physics of the Earth, Masaryk University) is one of certified stations of the IMS CTBTO (International Monitoring System of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization). That is why its capability to record the signal of distant seismic events is very important. This article tries to show, for which seismically active regions in the world the usage of station VRAC for global seismic monitoring could be suitable. For this purpose the distribution of events registered by station VRAC in the period 2011–2022 was compared with global seismicity characteristics evaluated on the base of the REB bulletins (Reviewed Event Bulletin) of the CTBTO.

In the period 2011–2022, station VRAC registered 81 110 seismic events, 60 120 are events with known location (calculated in the IPE or adopted from another seismological institutes), and the epicentral distance from the station VRAC exceeds 3° for 24 314 of them. During same period IMS located 440 787 seismic events listed in the REB bulletins, data of station VRAC were used for evaluation of 21 453 of these events.

The poor detection of seismic events by station VRAC was observed not only in the case of regions towards which the station VRAC is situated in the seismic shadow zone but also for regions in the distances from 90° to 103° from the station. It means less registrations of events from the seismically active regions of Sumatra, Philippines or Central America. The worse detectability of events in distances from 90° to 103° was expected, but not to that extent. On the contrary, as a result of the caustic zone of PKP wave the number of registrations, including moderate or weak seismic events, strongly increases, in the case of station VRAC. So the events from the southern part of New Hebrides Trench or from the Samoa region are well registered by station VRAC.

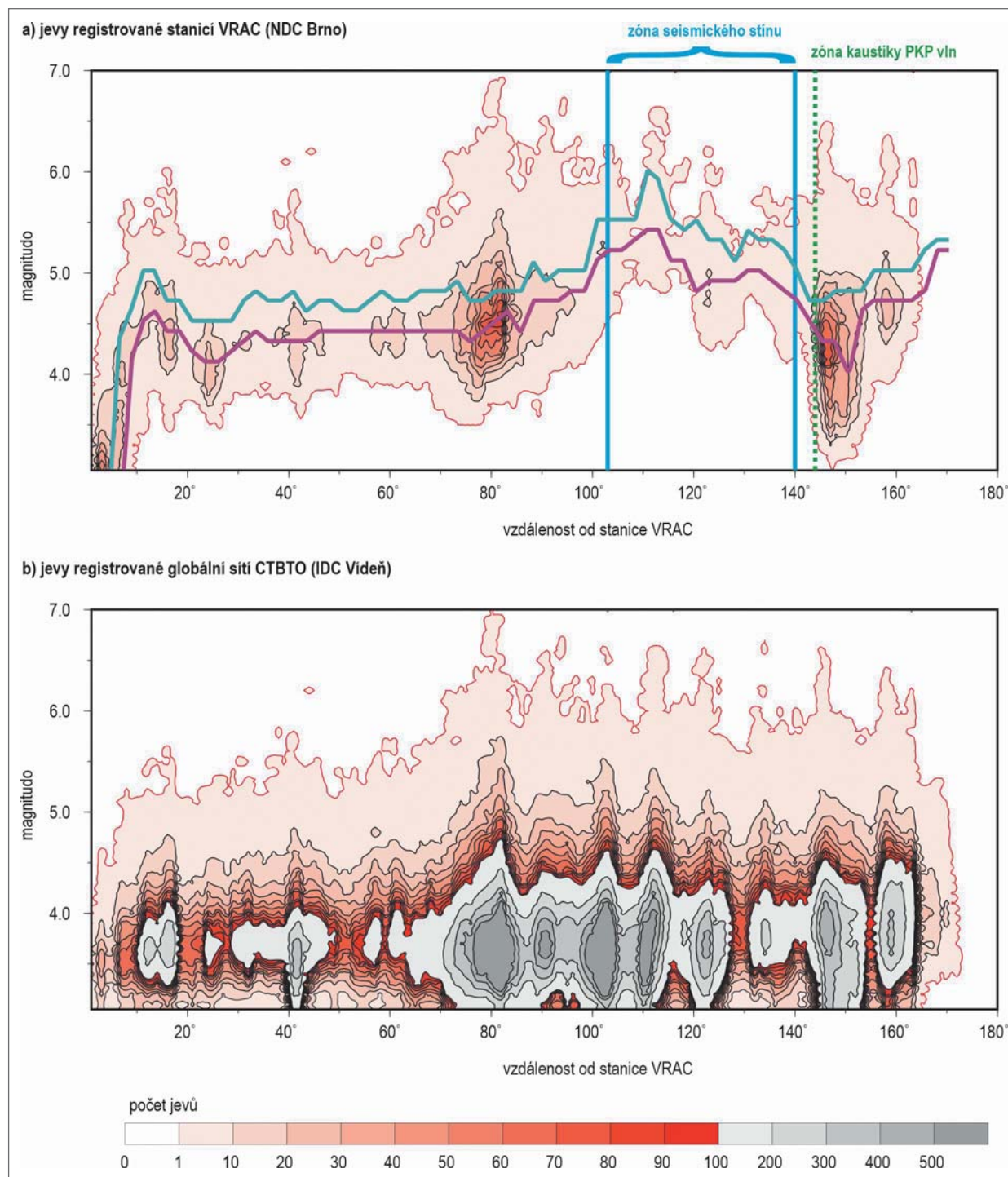
Doporučená citace článku:

Havíř, J. (2023). Registrace seismických jevů stanicí VRAC v letech 2011 až 2022 v porovnání s globální seismicitou. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 30, 1–2, 30–37.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-33603>

Úvod

Širokopásmová seismická stanice VRAC (Vranov u Brna) je, mimo jiné, jednou z certifikovaných stanic globální seismické sítě IMS CTBTO (International Monitoring System of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization). Proto je důležité sledovat také její schopnost registrovat vzdálené seismické jevy, s epicentry situovanými v různých částech světa. Smyslem tohoto článku je stručně ukázat, jaké vzdálené jevy, tj. z jakých regionů, jsou stanicí VRAC běžně registrovány. Pro porovnání relativních počtů otřesů registrovaných stanicí VRAC s celkovým rozložením projevů globální seismicity byly využity výsledky zpracování dat globální seismické sítě IMS CTBTO získané v Mezinárodním datovém centru (IDC – International Data Centre) ve Vídni.



Obr. 1: Graf distribuce seismických jevů registrovaných v letech 2011 až 2022 vzhledem k magnitudu a k epicentrální vzdálenosti zdroje od stanice VRAC. a) Seismické jevy zjištěné na stanici VRAC v datovém centru ÚFZ v Brně (fialová křivka vyznačuje hodnoty nejčastějšího magnitudu na základě magnitudo-frekvenční analýzy, zelená křivka vyznačuje hodnoty magnitudu blízké předpokládanému detekčnímu prahu stanice VRAC – převzato z práce Havíř 2022) b) Seismické jevy zahrnuté do REB bulletinu CTBTO.

Fig. 1: Distribution of seismic events recorded in the period from 2011 to 2022 shown in the graph plotting the magnitude against epicentral distance from the station VRAC. a) Seismic events recorded by station VRAC evaluated in data centre IPE Brno (the purple curve shows the most frequent magnitude based on the magnitudo-frequency analysis, the green curve indicated the magnitudo value close to the assumed detection threshold of the VRAC station – after Havíř 2022) b) Seismic events listed in REB bulletins CTBTO.

Celkové počty registrovaných jevů

Stanice VRAC je provozována Ústavem fyziky Země (ÚFZ) Masarykovy univerzity. Data stanice VRAC jsou nezávisle zpracovávána ve dvou centrech, a to v datovém

centru ÚFZ v Brně a v Mezinárodním datovém centru CTBTO ve Vídni (viz Havíř et al. 2003).

Ve zpracovatelském centru ÚFZ v Brně jsou data stanice VRAC využita spolu s daty dalších širokopásmových

stanic provozovaných Ústavem fyziky Země pro sledování projevů lokální i vzdálené seismicity. V letech 2011 až 2022 bylo ve zpracovatelském centru ÚFZ na stanici VRAC zjištěno 126 220 seismických fází příslušející 81 110 seismickým jevům. Některé jevy (typicky exploze v lomech) nebyly lokalizovány. Parametry zdroje tak byly ve zpracovatelském centru ÚFZ v letech 2011 až 2022 určeny anebo převzaty pro 60 120 seismických jevů zaznamenaných stanicí VRAC. Více než polovina těchto otřesů se známou lokací měla epicentra situovaná v malé vzdálenosti od stanice VRAC (tj. do 3°), v naprosté většině byly tyto blízké jevy reprezentovány mikrootřesy s magnitudem pod hodnotou 3. Ze vzdálenosti větší než 3° od stanice bylo zaznamenáno jen 24 314 seismických jevů, v teleseismické vzdálenosti (tj. ve vzdálenosti vyšší než 20°) se nacházelo 20 699 z těchto otřesů.

Současně jsou autentikovaná data (tedy data kódovaná tak, aby nemohlo dojít k jejich záměně) přenášena také do Mezinárodního datového centra (IDC) ve Vídni, kde jsou využita k rutinnímu zpracování dat celé globální sítě k určení lokace, popřípadě dalších parametrů, vybraných seismických jevů. Výsledky zpracování dat v IDC jsou po revizi spolupracujícím organizacím dostupné ve formě tzv. REB bulletinů (Reviewed Event Bulletin). V letech 2011 až 2022 bylo do REB bulletinu CTBTO zařazeno 440 787 seismických jevů, data stanice VRAC byla využita při zpracování 21 453 z těchto otřesů.

Distribuce seismických jevů v závislosti na epicentrální vzdálenosti

Epicentra zemětřesení jsou na zemském povrchu distribuována značně nerovnoměrně. Prostorová vazba převážné většiny epicenter přirozených seismických jevů na okraje litosférických desek je známa již od 60. let minulého století, kdy byla teorie litosférických desek formována (viz např. Isacks et al. 1968). Z pohledu konkrétní seismické stanice, v tomto případě stanice VRAC, se tato nerovnoměrnost ostře odráží také v nerovnoměrné distribuci seismických jevů vztahených k epicentrální vzdálenosti od dané stanice. Graficky zmíněnou distribuci seismických jevů z pohledu stanice VRAC znázorňuje obrázek 1, přičemž dolní graf (obr. 1b) zahrnuje všechny seismické jevy, které vyskytly v letech 2011 až 2022 (na základě REB bulletinů CTBTO), zatímco horní graf (obr. 1a) zahrnuje pouze ty otřesy, jejichž signál byl stanicí VRAC zaregistrován. V případě otřesů, jejichž epicentrální vzdálenost od stanice VRAC se pohybovala v rozmezí od 15° do 85° a od 140° do 180°, korespondují zvýšené počty otřesů registrovaných na stanici VRAC (obr. 1a) s maximy

v globální distribuci jevů sledovanou na základě REB bulletinů CTBTO (obr. 1b).

V souladu s očekáváním je patrný nedostatek registrací jevů, vůči jejichž epicentru se stanice VRAC nachází v zóně seismického stínu, tedy jevů s epicentrální vzdáleností v rozmezí od 103° do 140°. V zóně seismického stínu nelze detekovat signál přímé vlny, a jsou tak registrovány pouze sekundární odražené a difrakované fáze, což vede ke zvýšení detekčního prahu. Zatímco v epicentrálních vzdálenostech odpovídajících zóně seismického stínu se hodnota nejčtenějšího magnituda jevů registrovaných na stanici VRAC pohybuje na úrovni 5,2 až 5,4 a detekční práh (tj. hodnota magnituda, od níž lze předpokládat spolehlivou detekci seismických jevů) se blíží hodnotě 6, v případě teleseismických jevů ze vzdáleností 20° až 80° se nejčtenější hodnota magnituda pohybuje v rozmezí od 4,1 do 4,5 a detekční práh se pohybuje mezi hodnotami 4,5 až 4,9 (Havíř 2022). Přitom naprostá většina globálně registrovaných jevů je reprezentována relativně slabými otřesy s magnitudem menším než 5. Tyto slabé jevy tvoří cca 98,4 % všech záznamů obsažených v REB bulletinu CTBTO. Jestliže tedy stanice VRAC z epicentrálních vzdáleností odpovídajících seismickému stínu spolehlivě registruje teprve silné otřesy s magnitudem přibližně o hodnotě 6 a více, je zřejmé, že celkový počet takto registrovaných otřesů nemůže být vysoký, a to i přesto, že se v těchto epicentrálních vzdálenostech nachází hned několik seismicky vysoce aktivních regionů. Jisté slabé maximum v distribuci seismických jevů registrovaných stanicí VRAC, odpovídající také zvýšenému počtu jevů zaznamenaných v REB bulletinu, lze v oblasti seismického stínu pozorovat pouze v epicentrálních vzdálenostech 121° až 123°. V těchto vzdálenostech se již projevují relativně vyšší amplitudou fáze PKiKP (podélná vlna odražená od rozhraní vnějšího a vnitřního jádra) a PKP_{df} (podélná vlna procházející vnitřním jádrem, dříve běžně označovaná jako PKIKP – viz Storchak et al. 2003). Přehled závislosti amplitudy na epicentrální vzdálenosti těchto fází podávají např. Bormann et al. (2009), Hellfrisch, Mainprice (2019), Mizoue (1977) či Sweetser a Blandford (1973).

Méně samozřejmý je zásadní nedostatek registrací stanice VRAC v případě zemětřesení z epicentrálních vzdáleností kolem 90°. V této epicentrální vzdálenosti je sice možné očekávat pokles v počtu registrovaných jevů s ohledem na klesající relativní amplitudu P vln od vzdálenosti cca 85°, ve vzdálenosti 90° by měl být ale podle publikovaných křivek popisujících závislost amplitudy na vzdálenosti tento pokles ještě relativně mírný (např. Veith, Clawson 1972; Young, Lay 1989), což korespondovalo také s výsledky odhadu detekční schopnosti stanice

Obr. 2: Schematická mapa distribuce seismických jevů (počet jevů na plochu 1° čtvereční) s hodnotou magnituda 4 a vyšší registrovaných v letech 2011 až 2022. Modré křivky vymezují oblasti, vůči kterým se stanice VRAC nachází v seismickém stínu (tyto oblasti jsou zvýrazněny modrou barvou podkladu). Zelená tečkovaná čára vyznačuje vzdálenost odpovídající zóně kaustiky PKP vln. a) Seismické jevy zjištěné na stanici VRAC v datovém centru ÚFZ v Brně b) Seismické jevy zahrnuté do REB bulletinu CTBTO. Regiony vyznačené v mapě: 1 – Balkánský poloostrov a Helénský oblouk, 2 – Island, 3 – Zagros, 4 – Hindúkuš, 5 – Sumatra, 6 – Filipíny, 7 – Japonsko a Kurilské ostrovy, 8 – Aleuty a jižní Aljaška, 9 – jižní Mexiko a Střední Amerika, 10 – centrální Chile, 11 – Jižní Sandwichovy ostrovy, 12 – Nová Guinea a Šalamounovy ostrovy, 13 – jižní část příkopu Nových Hebrid, 14 – Samoa, 15 – Tonga.



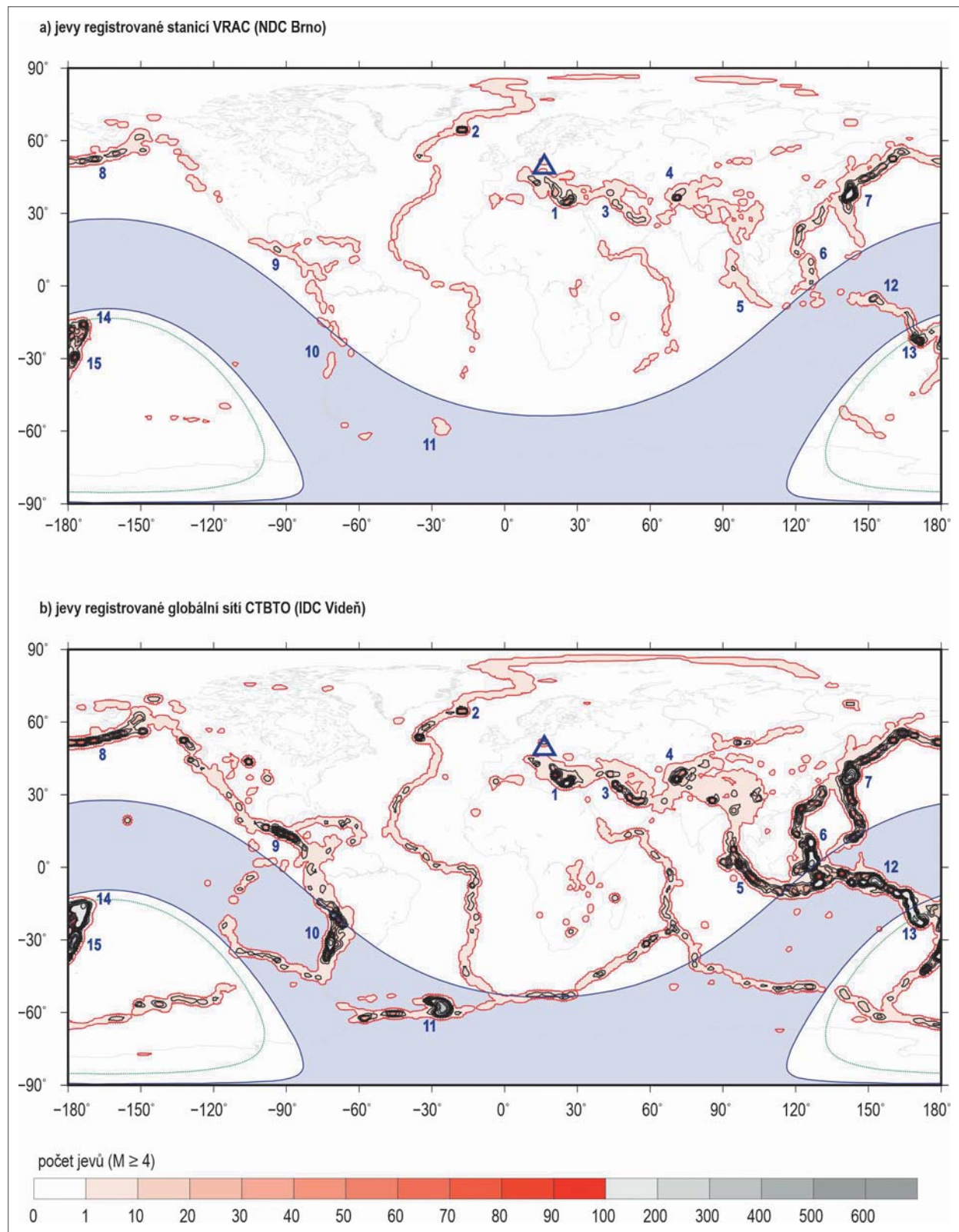
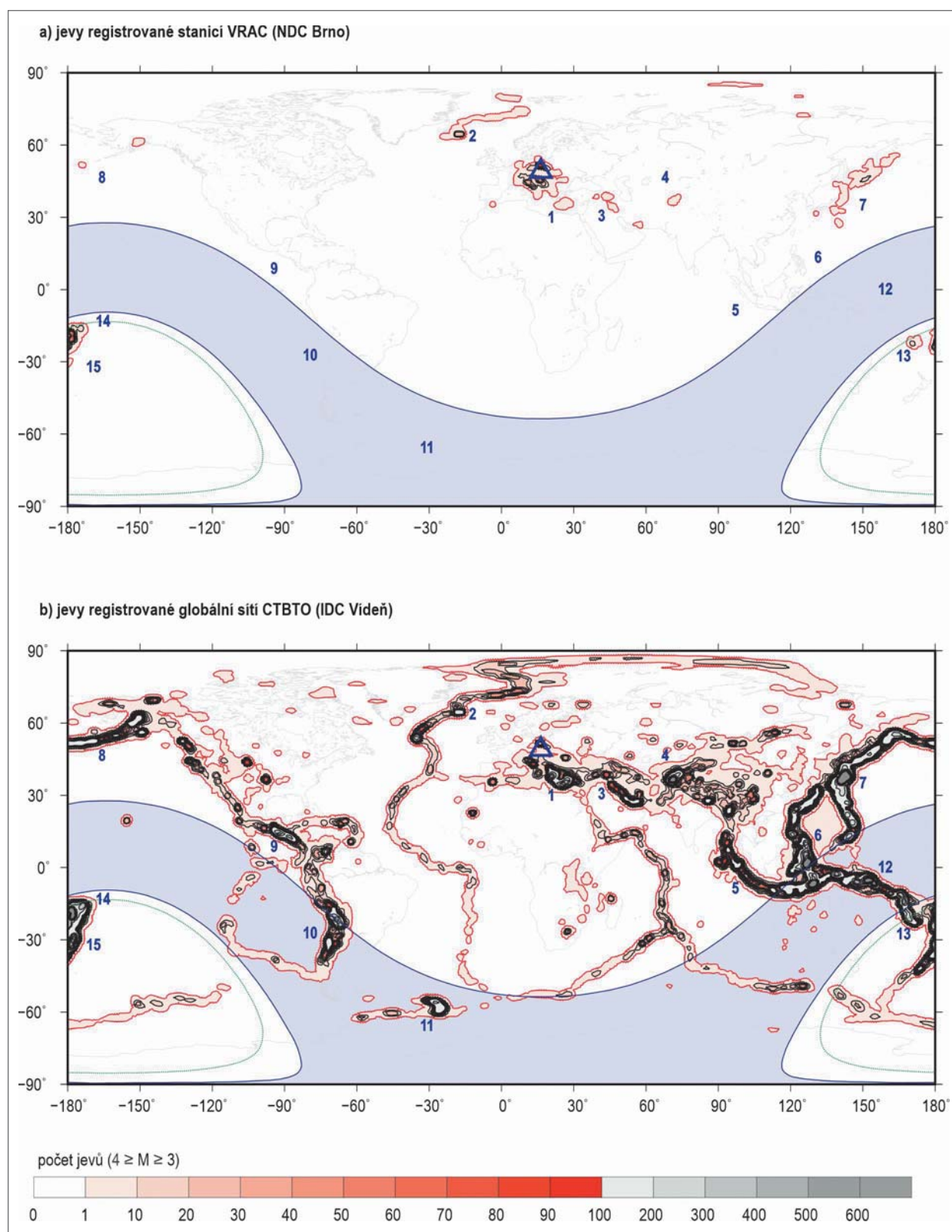
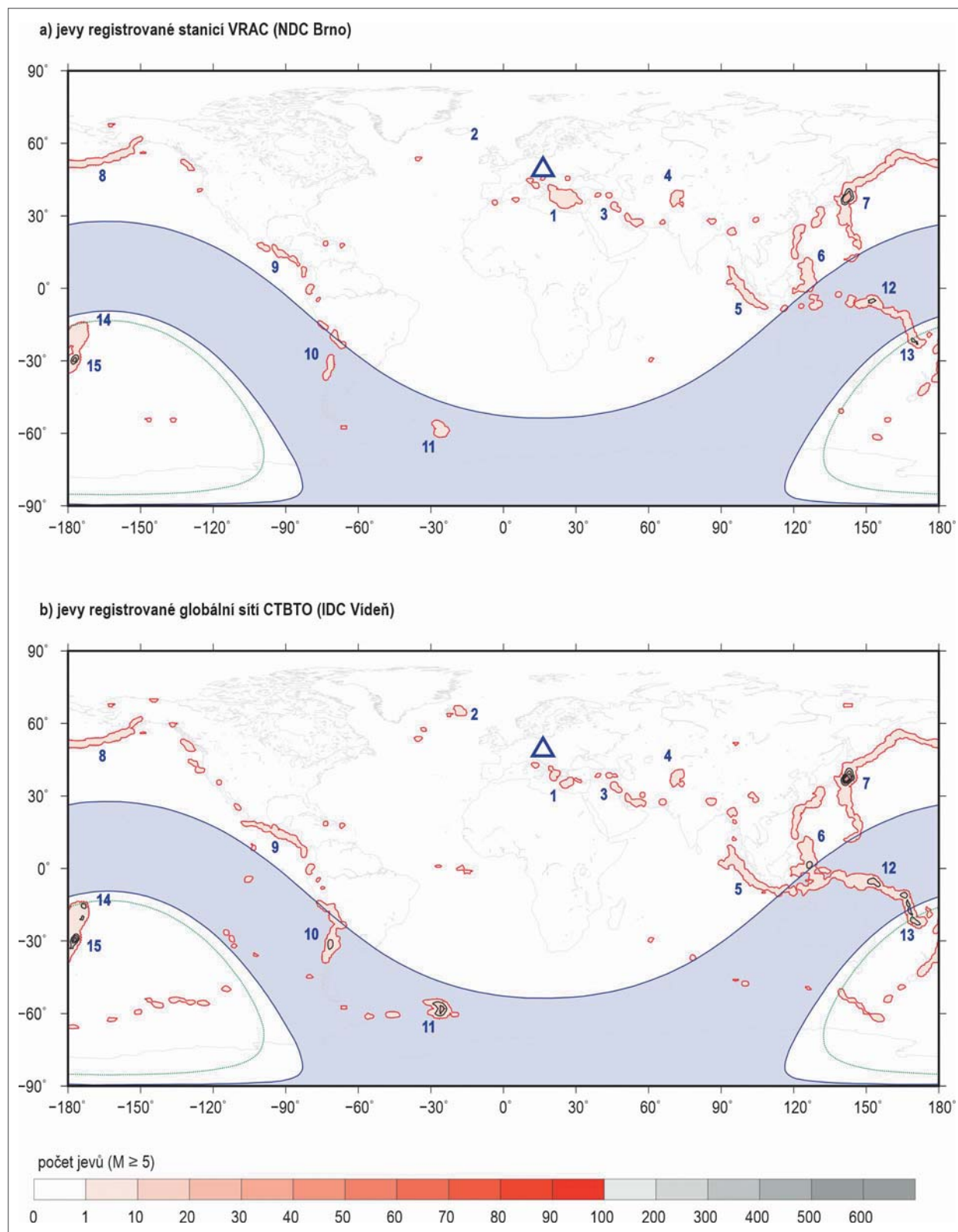


Fig. 2: Schematic map of the seismic event distribution (number of events per 1° squared area) with magnitude of value 4 or higher registered in the period from 2011 to 2022. The blue solid curves delineate the area to which the station VRAC is situated in the seismic shadow zone (this area is highlighted with a blue background). The green dotted curve represents the distances corresponding to the caustic zone of PKP waves. a) Seismic events recorded by station VRAC evaluated in data centre IPE Brno b) Seismic events listed in REB bulletins CTBTO. Regions marked on the map: 1 – Balkan Peninsula and Hellenic Arc, 2 – Iceland, 3 – Zagros, 4 – Hindu Kush, 5 – Sumatra, 6 – Philippines, 7 – Japan and Kuril Islands, 8 – Aleutians and southern Alaska, 9 – southern Mexico and Central America, 10 – central Chile, 11 – South Sandwich Islands, 12 – New Guinea and Solomon Islands, 13 – southern part of the New Hebrides Trench, 14 – Samoa, 15 – Tonga.



Obr. 3: Schematická mapa distribuce seismických jevů (počet jevů na plochu 1° čtvereční) s hodnotou magnituda od 3 do 4 v letech 2011 až 2022. Modré křivky vymezují oblasti, vůči kterým se stanice VRAC nachází v seismickém stínu (tyto oblasti jsou zvýrazněny modrou barvou podkladu). Zelená tečkovaná čára vyznačuje vzdálenost odpovídající zóně kaustiky PKP vln. a) Seismické jevy zjištěné na stanici VRAC v datovém centru ÚFZ v Brně b) Seismické jevy zahrnuté do REB bulletinu CTBTO. Regiony vyznačené v mapě: viz obr. 2.

Fig. 3: Schematic map of the seismic event distribution (number of events per 1° squared area) with magnitudo in the range of values from 3 to 4 registered in the period from 2011 to 2022. The blue solid curves delineate the area to which the station VRAC is situated in the seismic shadow zone (this area is highlighted with a blue background). The green dotted curve represents the distances corresponding to the caustic zone of PKP waves. a) Seismic events recorded by station VRAC evaluated in data centre IPE Brno b) Seismic events listed in REB bulletins CTBTO. Regions marked on the map: see fig. 2.



Obr. 4: Schematická mapa distribuce seismických jevů (počet jevů na plochu 1° čtvereční) s hodnotou magnitudy 5 a vyšší registrovaných v letech 2011 až 2022. Modré křivky vymezují oblasti, vůči kterým se stanice VRAC nachází v seismickém stínu (tyto oblasti jsou zvýrazněny modrou barvou podkladu). Zelená tečkovaná čára vyznačuje vzdálenost odpovídající zóně kaustiky PKP vln. a) Seismické jevy zjištěné na stanici VRAC v datovém centru ÚFZ v Brně b) Seismické jevy zahrnuté do REB bulletinu CTBTO. Regiony vyznačené v mapě: viz obr. 2.

Fig. 4: Schematic map of the seismic event distribution (number of events per 1° squared area) with magnitude of value 5 or higher registered in the period from 2011 to 2022. The blue solid curves delineate the area to which the station VRAC is situated in the seismic shadow zone (this area is highlighted with a blue background). The green dotted curve represents the distances corresponding to the caustic zone of PKP waves. a) Seismic events recorded by station VRAC evaluated in data centre IPE Brno b) Seismic events listed in REB bulletins CTBTO. Regions marked on the map: see fig. 2.

VRAC založeném na studiu magnitudo-četnostních vztahů (Havíř 2022). Pokles počtu registrací stanice VRAC u jevů s epicentrální vzdáleností kolem 90° se tak jeví větší, než jaký byl očekáván.

Distribuce seismických jevů v mapě

Zásadní nerovnoměrnost v distribuci projevů globální seismicity se zřetelně ukazuje v mapě na obrázku 2. Pro základní porovnání registrací stanice VRAC (obr. 2a) s obrazem globální seismicity sestaveným na základě dat globální sítě IMS CTBTO (obr. 2b) byly zvoleny otřesy s magnitudem 4 anebo větším. Detekční práh celé globální seismické sítě IMS CTBTO se totiž v různých regionech povrchu planety Země pohybuje od hodnoty magnituda 3,0 do hodnoty 3,7 (Kværna – Ringdal 2013). Soubor jevů zaznamenaných sítí IMS CTBTO by tak měl v případě jevů s magnitudem 4 anebo vyšším dostatečně spolehlivě poskytovat nezkreslený kompletní přehled o charakteru globální seismicity.

Je dobře patrné, že většina projevů seismické aktivity je nejen vázána na úzké zóny korespondující s okraji litosférických desek, ale v rámci těchto zón je navíc ještě soustředěna do užších regionů. Patnáct z nich je blíže popsáno čísly v mapě na obrázku 2. Tyto regiony nepředstavují úplný seznam seismicky vysoce aktivních regionů, jsou zde vybrány jen některé, a to ty, kterým je vhodné věnovat větší pozornost při porovnání registrací stanice VRAC s distribucí projevů globální seismicity.

Porovnání globální distribuce seismických jevů na základě REB bulletinů CTBTO (obr. 2b) s distribucí otřesů registrovaných stanicí VRAC (obr. 2a) ukazuje, že se v maximech distribucí otřesů registrovaných stanicí VRAC zřetelně odráží nejen seismicky neaktivnější region nacházející se v regionální vzdálenosti od stanice, tj. region Balkánského poloostrova a Helénské obloky, ale také většina dalších seismicky výrazně aktivních regionů se vzdáleností do 85°. Zvláště zřetelně se v této distribuci odráží seismická aktivita v relativně blízkém regionu Islandu (vzdálenost od stanice VRAC je cca 23° až 25°) a v regionech s velmi početným výskytem otřesů s magnitudem o hodnotě 4 a více, tedy zejména v regionu Japonska a Kurilských ostrovů a v regionu Aleut a j. Aljašky. Poněkud slabší maxima v regionech Zagrosu a Hindúkuše lze přičíst menšímu počtu středně silných a silných jevů v těchto místech ve srovnání s jinými seismicky aktivními regiony v globálním měřítku. Co je ovšem na první pohled zřejmé, je nedostatečné množství registrací otřesů z regionu Sumatry, Filipín a j. Mexika a Střední Ameriky na datech stanice VRAC, přestože v globálním měřítku patří tato místa k seismicky neaktivnějším regionům (pokud jde o počet otřesů s magnitudem 4 a více) a přestože stanice VRAC se vůči nim ještě nenachází v zóně seismického stínu. Tento fakt ukazuje na významnější zvýšení detekčního prahu stanice VRAC již ve vzdálenostech cca 90° až 103° (tedy již výrazně před hranicí zóny seismického stínu), než ukazovaly výsledky odhadu detekčního prahu stanice VRAC na základě studia magnitudo-četnostního vztahu (Havíř 2022). Toto zjištění podtrhuje také porovnání distribuce

epicenter zemětřesení slabých jevů s magnitudem o hodnotě 3 až 4 (obr. 3), tedy jevů s magnitudem zřetelně pod detekčním prahem stanice VRAC. Zatímco v bližších jmenovaných regionech zaregistrovala stanice VRAC i omezené množství takto slabých otřesů, z prostoru Sumatry, Filipín a Střední Ameriky takto slabé jevy již stanicí VRAC registrovány nejsou.

Nedostatek registrací otřesů, vůči jejichž epicentru se stanice VRAC nachází v zóně seismického stínu, není překvapivý. Nicméně odražené vlny silnějších otřesů, převážně s magnitudem o hodnotě 5 a vyšším, mohou být seismickou stanicí registrovány i přesto, že se stanice nachází v seismickém stínu. To koresponduje se skutečností, že epicentra jevů registrovaných stanicí VRAC jsou, pokud jde o zemětřesení, vůči kterým se stanice VRAC nacházela v seismickém stínu, soustředěna do míst vyznačujících se vysokým počtem silných jevů s magnitudem o hodnotě 5 a vyšším (obr. 4), tedy do regionů centrálního Chile, Jižních Sandwichových ostrovů, Nové Guineje a Šalamounových ostrovů.

Vyšší počty otřesů jsou pak stanicí VRAC registrovány ze seismicky aktivních regionů vzdálenějších než 140°, vůči kterým se stanice VRAC nachází již za zónou seismického stínu. Převážná většina zemětřesení registrovaných stanicí VRAC z těchto vzdáleností pochází z regionů j. části příkopu Nových Hebrid (tj. z prostoru jz. od souostroví Fidži), souostroví Samoa a souostroví Tonga, které i v globálním měřítku patří k seismicky nejaktivnějším oblastem (obr. 2). Silné otřesy s magnitudem 5 nebo vyšším byly v letech 2011 až 2022 častěji pozorovány v regionu souostroví Tonga (obr. 4). V četnosti záznamů středně silných či dokonce i slabých otřesů (tj. otřesů s magnitudem o hodnotě 3 až 4 – viz obr. 3) na stanici VRAC se ale více projevují regiony j. části příkopu Nových Hebrid a souostroví Samoa. Vzdálenost velkého množství epicenter zemětřesení ze zmíněných regionů od stanice VRAC činí cca 143° až 146° a tyto jevy se tak nacházejí v tzv. zóně kaustiky PKP vln, kde ve stejný časový okamžik přichází do jednoho a téhož místa signál těchto vln po více drahách a interferencí signálů odpovídajících různým paprskům pak dochází ke zřetelnému zesílení amplitudy (viz např. Borman et al. 2009; Gutenberg 1958; Houard et al. 1993; Massot, Rocard 1982; Mizoue 1977; Shahidi 1968). Vyhodnocení distribucí zemětřesení registrovaných stanicí VRAC tedy ukazuje, že účinky zmíněné kaustiky PKP vln se na počtech registrovaných jevů projevují skutečně zřetelně.

Závěr

Epicentra převážné většiny seismických jevů zaznamenaných stanicí VRAC v letech 2011 až 2022 se nacházela v malých vzdálenostech od stanice (tj. ve vzdálenostech do 3°). Vzdálenější otřesy byly registrovány především z vysoce seismicky aktivních regionů, jejichž vzdálenost byla buď menší než 90° anebo větší než 140°. Velmi časté jsou tak záznamy zemětřesení z regionů Balkánského poloostrova a Helénské obloky, Islandu, Zagrosu, Hindúkuše, Japonska a Kurilských ostrovů, Aleut a j. části Aljašky, j. části příkopu Nových Hebrid (tj. prostor

jz. od souostroví Fidži), souostroví Samoa a souostroví Tonga. Naopak výrazně snížené počty registrací projevů seismické aktivity jsou pozorované nejen u regionů, vůči kterým se stanice VRAC nachází v zóně seismického stínu, tj. regionů centrálního Chile, Jižních Sandwichevých ostrovů, Nové Guineje a Šalamounových ostrovů, ale také u regionů situovaných ve vzdálenostech 90° až 103°. Relativně nižší počty registrací na stanici VRAC lze tak sledovat také u regionů Sumatry, Filipín a Mexika a Střední Ameriky, přestože se v globálním měřítku jedná o jednu z nejvíce seismicky aktivních regionů. Naopak

zřetelně příznivě relativní počty registrací na stanici VRAC ovlivňuje zóna kaustiky PKP vln, která se projevuje častějšími záznamy otřesů z regionu j. části příkopu Nových Hebrid a souostroví Samoa, a to i v případě slabších jevů s magnitudem nižším než 4, tedy jevů nacházejících se pod detekčním prahem stanice VRAC.

Poděkování

Příspěvek vznikl s finanční podporou projektu MŠMT, program č. ML2015079, CzechGeo/Epos. Autor děkuje oběma recenzentům za jejich připomínky.

Literatura

- Bormann, P., Baumbach, M., Bock, G., Grosser H., Choy, G. L., Boatwright, J. (2009). Seismic sources and source parameters. – In: Bormann, P. (ed.): New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP), Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 1–94.
- Gutenberg, B. (1958). Caustics produced by waves through the Earth's core. – The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 1, 3, 238–248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1958.tb00057.x>
- Havíř, J. (2022). Odhad detekční schopnosti stanice VRAC s ohledem na seismické jevy registrované v letech 2011 až 2021. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 29, 1–2, 7–12. <https://doi.org/10.5817/GVMS2022-20824>
- Havíř, J., Švancara, J., Otruba, J. (2003). Úloha a využití nově certifikované seismologické stanice VRAC v rámci Mezinárodního monitorovacího systému CTBTO. – In: Sborník 12. regionální konference „Nové výsledky seismologických, geofyzikálních a geotechnických průzkumů“, Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava, řada stavební, 3, 2, 77–84.
- Helffrisch, G., Mainprice, D. (2019). Anisotropy at the Inner Core Boundary. – Geophysical Research Letters, 46, 11959–11967. <https://doi.org/10.1029/2019GL083644>
- Houard, S., Plantet J. L., Massot, J. P., Nataf, H. C. (1993). Amplitudes of core waves near the PKP caustic, from nuclear explosions in the South Pacific recorded at the „Laboratoire de Détection et Géophysique“ Network, in France. – Bulletins of the Seismological Society of America, 83, 6, 1835–1854.
- Isacks, B., Oliver, J., Sykes, L. R. (1968). Seismology and the new global tectonics. – Journal of Geophysical Research, 73, 18, 5855–5899. <https://doi.org/10.1029/JB073i018p05855>
- Kværna, T., Ringdal, F. (2013). Detection capability of the seismic network on the International Monitoring System for the Comprehensive Nuclear-Test-ban Treaty. – Bulletin of the Seismological Society of America, 103, 2A, 759–772. <https://doi.org/10.1785/0120120248>
- Massot, J. P., Rocard, Y. (1982). Variation of amplitude of PKP from underground explosions in the Southcentral Pacific. – Geophysical Research Letters, 9, 10, 1211–1214. <https://doi.org/10.1029/GL009i010p01211>
- Mizoue, M. (1977). On the magnitude calibration function for core phases with special reference to the PKP1-PKP2 caustic. – Journal of Physics of the Earth, 25, 143–162. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.25.143>
- Shahidi, M. (1968). Variation of amplitude of PKP across the caustic. – Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1, 97–102. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(68\)90054-X](https://doi.org/10.1016/0031-9201(68)90054-X)
- Storchak, D. A., Dchweitzer, J., Bormann, P. (2003). The IASPEI Standard Seismic Phase List. – Seismological Research Letters, 74, 6, 761–772. <https://doi.org/10.1785/gssrl.74.6.761>
- Sweetser, E. I., Blandford, R. R. (1973). Seismic distance-amplitude relations for short period P, Pdiff, PP and compressional core phases for $\Delta \geq 90^\circ$. – MS Teledyne Geotech, Report SDAC-TR-73-9, Virginia.
- Veith, K. F., Clawson G. E. (1972). Magnitude from short period P-wave data. – Bulletin of the Seismological Society of America, 62, 2, 435–452. <https://doi.org/10.1785/BSSA0620020435>
- Young, Ch. J., Lay, T. (1989). The core shadow zone boundary and lateral variations of the P velocity structure of the lowermost mantle. – Physics of the Earth and Planetary Interiors, 54, 64–81. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(89\)90188-X](https://doi.org/10.1016/0031-9201(89)90188-X)

New record of Middle Miocene (Badenian) brachiopods from Moravia, Czech Republic

Maria Aleksandra Bitner¹ ✉, Šárka Hladilová², Stanislav Hrouzek³

¹ Institute of Paleobiology, Polish Academy of Sciences, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland

² Institute of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic

³ Svatopluka Čecha 2612, 767 01 Kroměříž, Czech Republic

Key words:

Carpathian Foredeep, Central Paratethys, Brachiopoda, Middle Miocene, Oslavany, Moravia

✉ bitner@twarda.pan.pl

Editor:

Pavla Tomanová Petrová

Abstract

This study presents the new record of brachiopods from the Middle Miocene deposits of the locality of Oslavany, Moravia, Czech Republic. The assemblage contains five species, i.e. *Terebratula* sp., *Megathiris detruncata* (Gmelin, 1791), *Joania cordata* (Risso, 1826), *Argyrotheca cuneata* (Risso, 1826), and *Platidia* sp. Apart from the species *J. cordata*, that dominates in the studied assemblage, the remaining species are reported for the first time from Oslavany. All species recognized here were already recorded from other localities in the Moravian part of the Carpathian Foredeep.

Abstrakt

V příspěvku jsou prezentovány nové nálezy brachiopodů ze sedimentů středního miocénu na lokalitě Oslavany, Morava, Česká republika. Soubor zahrnuje 5 druhů, a to *Terebratula* sp., *Megathiris detruncata* (Gmelin, 1791), *Joania cordata* (Risso, 1826), *Argyrotheca cuneata* (Risso, 1826), a *Platidia* sp. Kromě druhu *J. cordata*, který ve studovaném materiálu dominuje, byly zbývající druhy zjištěny v Oslavanech poprvé. Všechny nalezené druhy jsou již známy z jiných lokalit moravské části karpatské předhlubně.

Recommended reference:

Bitner, M. A., Hladilová, Š., Hrouzek, S. (2023). New record of Middle Miocene (Badenian) brachiopods from Moravia, Czech Republic. – *Geological Research in Moravia and Silesia*, 30, 1–2, 38–44.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-34376>

Introduction

Although brachiopods are a common element of the Middle Miocene benthic communities of the Central Paratethys, in Moravia they are scarce and of low diversity. Nevertheless, their presence was often mentioned but without descriptions and/or illustrations (Procházka 1893a; Toulá 1893; Hamršíd 1984; Doláková et al. 2008; Zágöršek et al. 2009). In terms of modern taxonomy, the brachiopods have been so far described from nine Moravian localities (Zágöršek et al. 2012; Bitner et al. 2013a, b; Pavézková et al. 2013; Hladilová et al. 2014; Kopecká et al. 2018) but only the assemblage from Kralice nad Oslavou yielded numerous and diverse brachiopod fauna represented by eight species (Bitner et al. 2013a). In other localities the brachiopods are represented by one to four species.

The aim of the present study is to describe a newly discovered brachiopod fauna from the Middle Miocene of Oslavany, Moravia, Czech Republic (Fig. 1). In 2016, the sand pit at Oslavany was one of the excursion localities of the Molasse Meeting within the 18th Conference on Upper Tertiary (Nehyba 2016).

Geological setting

The sediments of the sand pit at Oslavany (GPS location N 49°06.820' E 16°20.237') in southern Moravia, Czech Republic, belong to the Carpathian

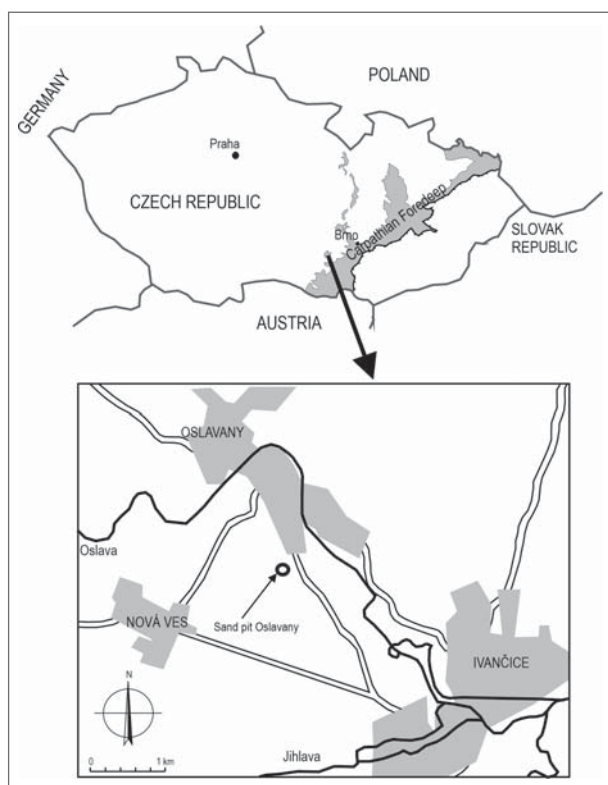


Fig. 1: Geographic location of the Neogene Carpathian Foredeep in the Czech Republic and position of the Oslavany sand pit. Modified after Nehyba et al. (2016).

Foredeep. Exactly from this sand pit, Rzehak (1882a) described for the first time the bivalve genus *Oncophora* (= *Rzehakia* Korobkov, 1954) with the species *O. socialis*, and established here the *Oncophora* (*Rzehakia*) Beds (Rzehak 1882a, b, 1883, 1893). Nevertheless, later research (Cicha et al. 1956; Cicha, Tejkal 1958) demonstrated the Early Badenian age of the sediments at Oslavany and the redeposition of the older (Ottangian) *Oncophora* (*Rzehakia*) Beds. The sand pit was proposed as holostatotype of the Moravian (lower Badenian) Substage in the Carpathian Foredeep by Cicha (Papp et al. 1978), reflecting the Early Badenian transgression represented by the local lithostratigraphic unit of Brno Sands. As the sand pit is inactive since long, the original extent of the profile (cf. Cicha in Papp et al. 1978) has been severely reduced representing nowadays only the uppermost part of the former outcrop (Lysý 2007). These sediments were interpreted as a product of deposition in foreshore and shoreface zones (Nehyba et al. 2009), whereas the Brno Sands as a product of coarse-grain delta deposition (Nehyba 2001). The soft-sediment deformations evaluated as „seismites“ were recognized in this profile (Nehyba 2014). The new boreholes OSL-1 and OSL-2 were drilled thanks to the project GAČR 205/09/0103: Shallow water ecosystems from the Middle Miocene of the Central Paratethys. They enabled to document in detail the Early Badenian marine transgression and regression along the passive margin (= the south-eastern margin of the Bohemian Massif) of the peripheral foreland basin. This transgressive-regressive cycle was interpreted as induced

by the coincidence of global TB 2.4. sea-level cycle and forebulge subsidence, the identified higher-frequency cycles as climatically controlled (Nehyba et al. 2016).

Sands and sandstones in the Oslavany sand pit contain impoverished Early Badenian fossils accompanied with reworked fossils of Ottangian *Rzehakia* Beds. Up to now, foraminifers, molluscs (bivalves, gastropods, cephalopods), bryozoans, echinoids, fish otoliths and teeth, calcareous nannoplankton, and dinoflagellate cysts have been described (Rzehak 1882a, b, 1883, 1893; Procházka 1893b; Čtyroký 1972; Cicha, Tejkal, Lehotayová – all in Papp et al. 1978; Lysý 2007; Nehyba et al. 2009, 2016; Zágorský 2010, among others). As for brachiopods, the up to now sole mention related to Oslavany presents one specimen of *Cistella* cf. *cistellula* (see Rzehak 1893).

Material and methods

The sediments in the Oslavany sand pit were studied and collected by one of the authors (S. Hrouzek) in the second half of the 1970s when the sand pit was still active and uncovered to a quite large extent. The material collected and then washed comes from several different places of the sand pit that appeared to be richer in fossils and was taken from each place in the amount of 1–2 bags (approx. 60 kg); the obtained residue has been mixed. The shells of brachiopods were recognized in 2022 within the study of the outwashed residues.

The investigated material is poorly preserved, represented mostly by separate valves. Many specimens are damaged and fragmented. The total number of specimens is 56.

For the SEM study, the selected specimens were coated with platinum and examined using a Philips XL-20 microscope at the Institute of Paleobiology, PAS, Warszawa. The material under study is deposited in the private collection of S. Hrouzek.

Systematic part

Phylum Brachiopoda Duméril, 1805

Order Terebratulida Waagen, 1883

Superfamily Terebratuloidea Gray, 1840

Family Terebratulidae Gray, 1840

Genus *Terebratula* Müller, 1776

Type species: *Anomia terebratula* Linnaeus, 1758, by subsequent designation of Lee and Brunton (1998)

Terebratula sp.

(Fig. 2A)

Material: Five dorsal valves of young individuals.

Remarks: The material is very small and poorly preserved, represented only by dorsal valves of juvenile specimens. Their shell surface is smooth with weakly marked growth lines. The inner socket ridges are massive, high, projecting beyond the margin. No inner hinge plates and median septum are observed. Based on those characters we attributed tentatively the studied specimens to the short-looped genus *Terebratula*.

Occurrence: The extinct genus *Terebratula* is common in the Neogene deposits of the Mediterranean Province (Gaetani, Saccà 1985), being also known from

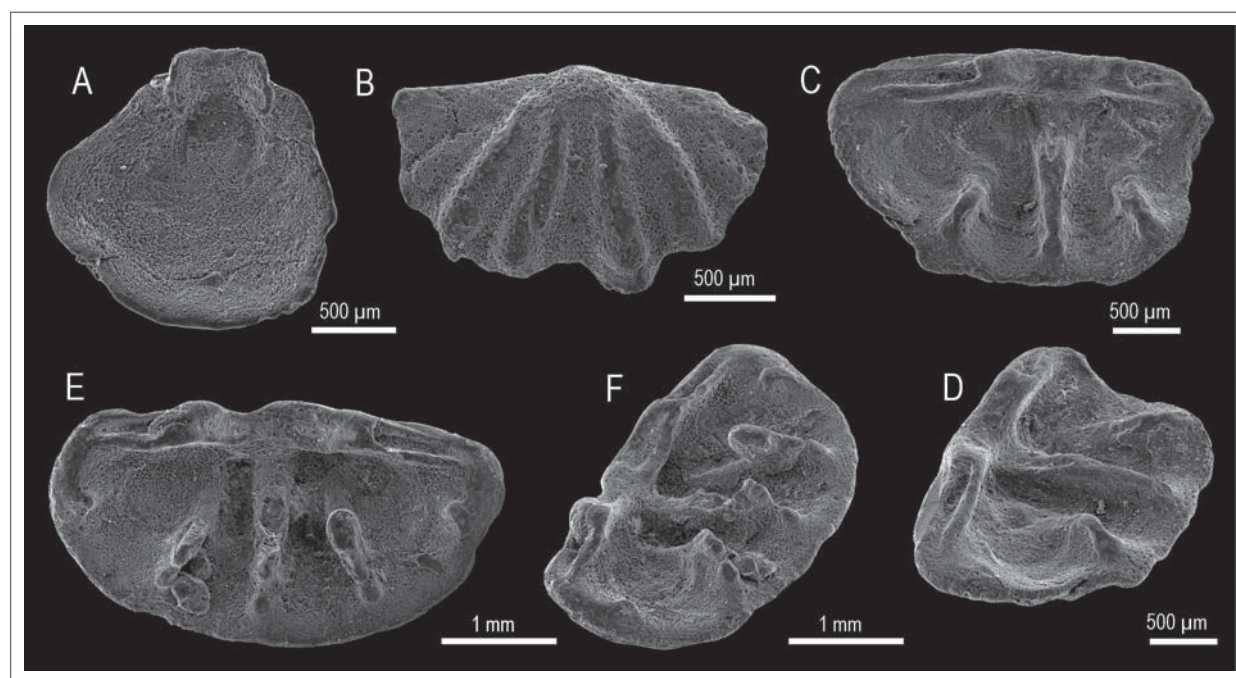


Fig. 2: Brachiopods, Middle Miocene, Oslavany, Moravia, Czech Republic. A: *Terebratula* sp. B–F: *Megathiris detruncata* (Gmelin, 1791), dorsal valves; B outer view of young individual; C–F inner and oblique (D, F) views. All SEM.

the Middle Miocene deposits of the Central Paratethys (e.g. Popiel-Barczyk, Barczyk 1990; Bitner, Pisera 2000; Bitner, Dulai 2004). This genus was also reported from two localities of Moravia, Přemyslovice and Kralice nad Oslavou (Zágoršek et al. 2012; Bitner et al. 2013a).

Superfamily Megathyridoidea Dall, 1870

Family Megathyrididae Dall, 1870

Genus *Megathiris* d'Orbigny, 1847

Type species: *Anomia detruncata* Gmelin, 1791, by subsequent designation of Dall (1920)

Megathiris detruncata (Gmelin, 1791)

(Fig. 2B–F)

1860 *Argiope decollata* Chemn.; Reuss, p. 227–228.

1990 *Megathiris detruncata* (Gmelin, 1791); Bitner, p. 135–138; text-figs 3–4; pl. 3, figs 1–8; pl. 6, figs 1–7 (*cum syn.*).

2022 *Megathiris detruncata* (Gmelin, 1791); Bitner and Müller, p. 93–95, fig. 5A–H (*cum syn.*).

Material: One ventral valve and six dorsal valves, some specimens are strongly broken.

Remarks: This species is very rare in the investigated material. The shell is transversely elongate with a long hinge line. Its surface is covered with a few broad, rounded ribs. Internally it is easily distinguishable by the presence of three septa on a dorsal valve.

Occurrence: *Megathiris detruncata* is one of the most common species in the Middle Miocene deposits of the Central Paratethys (e.g. Bitner 1990; Popiel-Barczyk, Barczyk 1990; Dulai 2007; Bitner, Motchurova-Dekova 2016). In Moravia it was recorded from four localities, Rudoltice, Přemyslovice, Kralice nad Oslavou, and Židlochovice (Reuss 1860; Zágoršek et al. 2012; Bitner et al. 2013a; Pavézková et al. 2013). It is a long-ranging species, known since the Eocene and its Recent representatives

live in the Mediterranean Sea and eastern North Atlantic at depth range 5–896 m (Logan 2007).

Genus *Joania* Álvarez, Brunton et Long, 2008

Type species: *Terebratula cordata* Risso, 1826 by original designation of Álvarez et al. (2008)

Joania cordata (Risso, 1826)

(Fig. 3A–I)

1860 *Argiope neapolitana* Scacchi; Reuss, p. 228–229.

1893 *Cistella* cf. *cistellula* S. Wood; Rzehak, p. 153, pl. 1, fig. 1

1990 *Argyrotheca cordata* (Risso, 1826); Bitner, p. 140–143, text-figs 7–8, pl. 5, fig. 1–14, pl. 7, fig. 1 (*cum syn.*).

2016 *Joania cordata* (Risso, 1826); Bitner and Motchurova-Dekova, p. 12, 15, fig. 5A–Q (*cum syn.*).

Material: Six complete specimens, 13 ventral valves, 15 dorsal valves.

Remarks: *Joania cordata* is the most common species in the material from Oslavany. The shell is very small (max. observed length 2.4 mm), smooth or incipiently ribbed. The foramen is large, triangular, of hypothyrid type, bordered by two narrow deltidial plates. The dorsal valve interior with prominent cardinal process and high, triangular in profile median septum. The submarginal tubercles (Fig. 3A–F), present on both valves, are treated as the diagnostic character for the genus (Álvarez et al. 2008). Based on the latter character we include into the synonymy the brachiopod ventral valve described as *Cistella* cf. *cistellula* by Rzehak (1893) from Oslavany.

Occurrence: The species *Joania cordata* is the only species already recorded from the locality of Oslavany (Rzehak 1893). It is very common in the Miocene of the Central Paratethys (e.g. Bitner 1990; Bitner, Pisera 2000; Bitner, Dulai 2004; Bitner, Kaim 2004; Dulai 2007, 2015; Bitner et al. 2014; Bitner, Motchurova-Dekova 2016), being

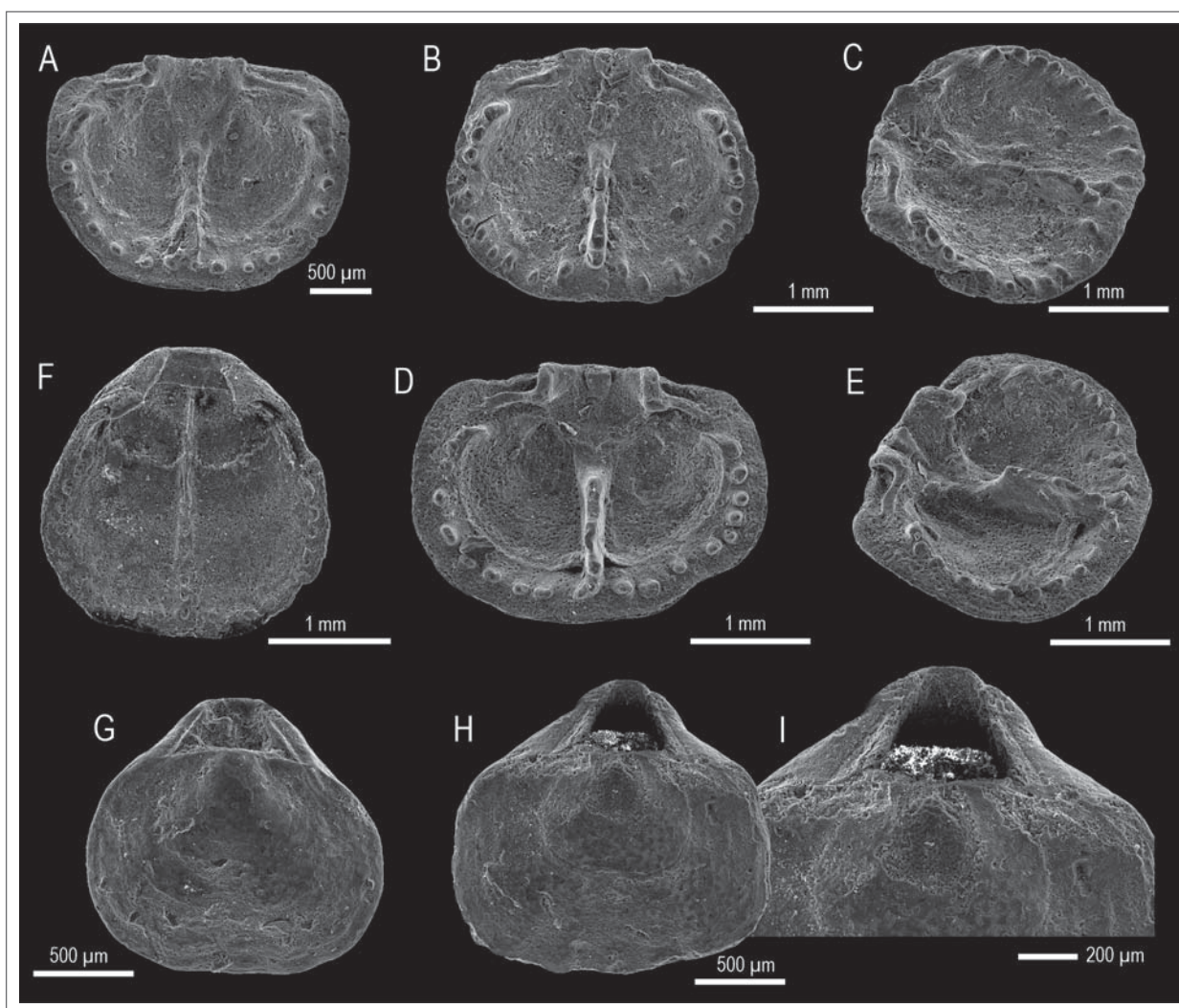


Fig. 3: *Joania cordata* (Risso, 1826), Middle Miocene, Oslavany, Moravia, Czech Republic. A–E: inner and oblique (C, E) views of dorsal valves; F: inner view of ventral valve; G–I: dorsal views of articulated specimens and enlargement (I) of umbonal part to show details of the beak. All SEM.

also reported from several localities in Moravia (Reuss 1860; Zágöršek et al. 2012; Bitner et al. 2013a, b; Hladilová et al. 2014; Kopecká et al. 2018). Known since the Upper Oligocene, in the modern waters *J. cordata* occurs in the eastern North Atlantic, Mediterranean Sea and Red Sea, with a depth range from 3 to 600 m (Logan 2007; Logan et al. 2008).

Genus *Argyrotheca* Dall, 1900

Type species: *Terebratula cuneata* Risso, 1826, by original designation of Dall (1900)

Argyrotheca cuneata (Risso, 1826)

(Fig. 4A, B)

1860 *Argiope squamata* Eichw.; Reuss, p. 228, pl. 6, fig. 1.
1990 *Argyrotheca cuneata* (Risso, 1826); Bitner, p. 138–140, text-figs 5–6, pl. 4, figs 1–9 (*cum syn.*).

2016 *Argyrotheca cuneata* (Risso, 1826); Bitner and Motchurova-Dekova, p. 12, fig. 4A–R (*cum syn.*).

Material: Two complete specimens, one strongly damaged, and two partly broken ventral valves.

Remarks: Although the material is very limited and poorly preserved, the observed characters such as

shell subrectangular in outline, covered with single, low, rounded ribs validate the attribution to *Argyrotheca cuneata*. One specimen bears a short intercalated rib in the median groove (Fig. 4B). The foramen is large, triangular, hypothyrid with a wide pedicle collar supported by a low, thin septum.

Occurrence: In the Central Paratethys *Argyrotheca cuneata* is among the most common species (e.g. Bitner 1990; Bitner, Pisera 2000; Bitner, Dulai 2004; Bitner, Kaim 2004; Dulai 2007, 2015; Bitner et al. 2014; Bitner, Motchurova-Dekova 2016). It was also reported from some Moravian localities (Reuss 1860; Dreger 1889; Zágöršek et al. 2012; Bitner et al. 2013a, b; Pavézková et al. 2013; Kopecká et al. 2018). Today *A. cuneata* is known from the Mediterranean Sea and eastern North Atlantic living at depth from 5 to 645 m (Logan 2007).

Superfamily Platidioidea Thomson, 1927

Family Platidiidae Thomson, 1927

Genus *Platidia* Costa, 1852

Type species: *Orthis anomioides* Scacchi and Philippi in Philippi, 1844, by original designation (Philippi 1844)

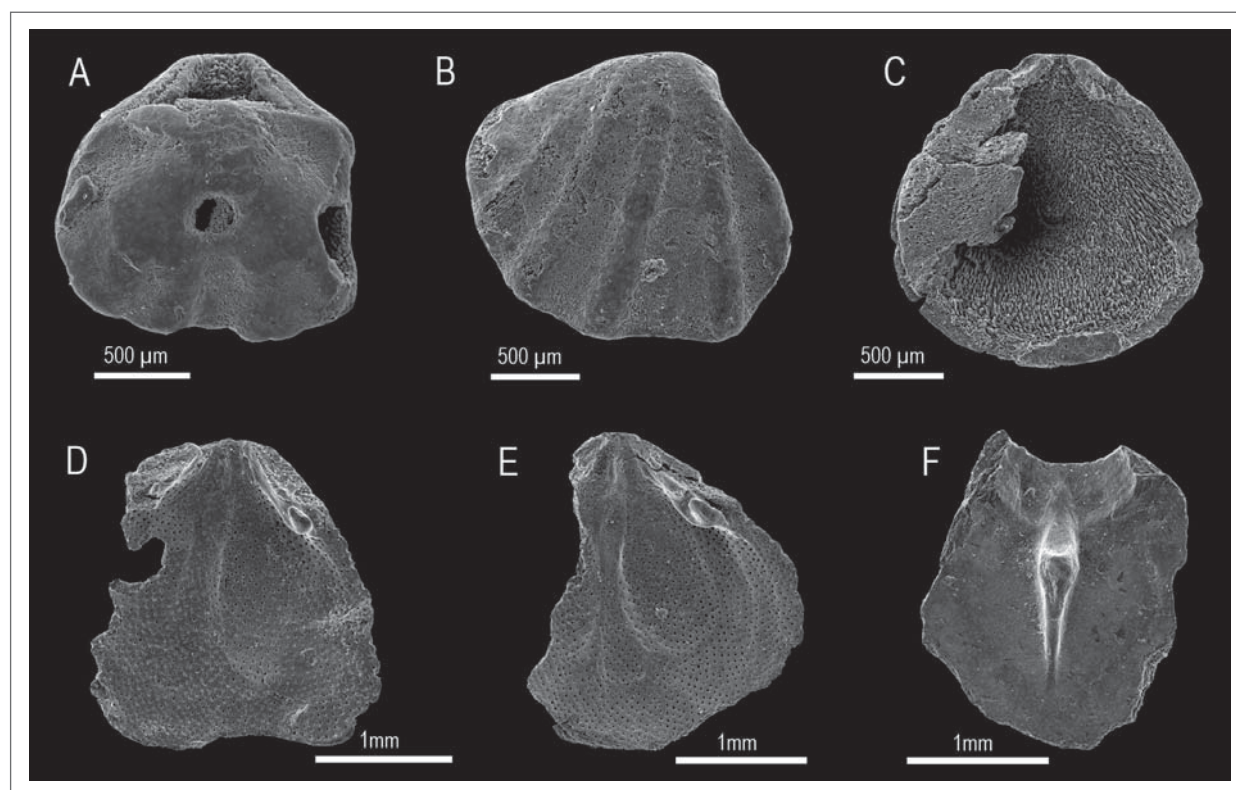


Fig. 4: Brachiopods, Middle Miocene, Oslavany, Moravia, Czech Republic. A–B: *Argyrothea cuneata* (Risso, 1826); A dorsal view of articulated specimen; B outer view of ventral valve, partly broken. C–F: *Platidia* sp.; C inner view of ventral valve with partly preserved dorsal valve; D–E inner views of ventral valves; F inner view of fragmented dorsal valve, visible high, triangular in profile median septum. All SEM.

Platidia sp. (Fig. 4C–F)

Material: Six ventral valves, partly broken, one fragment of dorsal valve.

Remarks: This species is very rare and poorly preserved in the Oslavany material. Its shell is small with smooth surface, short hinge line and large foramen. The concave hinge line in the dorsal valve indicates an amphithyrid foramen.

Occurrence: Although not belonging to the common fossil, *Platidia* was reported from many localities of the Central Paratethys (e.g. Bitner 1990; Popiel-Barczyk, Barczyk 1990; Bitner, Dulai 2004; Bitner, Motchurova-Dekova 2016), including three localities in Moravia (Bitner et al. 2013a, b; Hladilová et al. 2014). Today *Platidia* is widespread, having a very wide depth range from 8 to 2 190 m (Logan 2007).

Discussion and conclusions

Here we describe a newly discovered material of the Middle Miocene brachiopods from the Oslavany locality (Fig. 1). The material comprises five species belonging to five genera within three families. The families Terebratulidae and Platidiidae are represented by one species each, *Terebratula* sp. and *Platidia* sp., respectively. The remaining three species, *Megathiris detruncata*, *Joania*

cordata and *Argyrothea cuneata* belong to the family Megathyrididae. Among them *J. cordata* dominates in the material under study. Interestingly, the latter species was already described from Oslavany under the name *Cistella* cf. *cistellula* by Rzehak (1893). The other species described here are reported for the first time from this locality. Due to the sampling method, the brachiopods represent just a mixture of species from the entire locality and cannot be used for detailed stratigraphic or paleoecological interpretations, nevertheless, they do provide an important supplementary information on the occurrence of brachiopods at the locality Oslavany and in Moravia. All those species, well-known in the Middle Miocene of the Central Paratethys, were already recognized in its Moravian part: *Joania cordata* and *Argyrothea cuneata* seem to be the most frequent species, they occur at the majority of studied localities (*J. cordata* – 7, *A. cuneata* – 8; Zágoršek et al. 2012; Bitner et al. 2013a, b; Pavézková et al. 2013; Hladilová et al. 2014; Kopecká et al. 2018).

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to the reviewers Miroslav Bubík (Czech Geological Survey, Brno) and Kamil Zágoršek (Technical University of Liberec, Liberec) for their valuable input, which significantly improved the quality of the paper.

References

- Álvarez, F., Brunton, C. H. C., Long, S. L. (2008). Loop ultrastructure and development in recent Megathiridoidea, with description of a new genus, *Joania* (type species *Terebratula cordata* Risso, 1826). – In: Cusack, M., Harper, D.A.T. (eds): Brachiopod Research into the Third Millennium. – Earth Environmental Science Transactions Royal Society Edinburgh, 98, 391–403. <https://doi.org/10.1017/S1755691008075130>
- Bitner, M. A. (1990). Middle Miocene (Badenian) brachiopods from the Roztocze Hills, south-eastern Poland. – *Acta Geologica Polonica*, 40, 129–157.
- Bitner, M. A., Dulai, A. (2004). Revision of Miocene brachiopods of the Hungarian Natural History Museum, with special regard to the Meznerics collection. – *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 22, 69–82.
- Bitner, M. A., Kaim, A. (2004). The Miocene brachiopods from the silty facies of the intra-Carpathian Nowy Sącz Basin (Poland). – *Geological Quarterly*, 48, 193–198.
- Bitner, M. A., Motchurova-Dekova, N. (2016). Middle Miocene (Badenian) brachiopods from Yassen, northwestern Bulgaria: taxonomic composition and biogeographical significance. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 279, 1, 7–22. <https://doi.org/10.1127/njgpa/2016/0536>
- Bitner, M. A., Müller, A. (2022). Early Oligocene brachiopods from the rocky-shore deposits at Mammendorf, central Germany. – *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 92, 87–107. <https://doi.org/10.14241/asgp.2022.02>
- Bitner, M. A., Pisera, A. (2000). Brachiopod fauna from the Middle Miocene deposits of Niechobrz, south-eastern Poland. – *Tertiary Research*, 20, 7–15.
- Bitner, M. A., Zágöršek, K., Hladilová, Š. (2013a). Deep-water brachiopod assemblage from the Middle Miocene of Kralice nad Oslavou, Moravia, south-eastern Czech Republic. – *Comptes Rendus Palevol*, 12, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2013.01.004>
- Bitner, M. A., Zágöršek, K., Hladilová, Š. (2013b). Middle Miocene (Badenian) brachiopods from the Carpathian Foredeep in Moravia (Czech Republic) – rediscovered. – 14th Czech-Slovak-Polish Palaeontological Conference, 14–15 November, 2013, Kraków, Poland. Abstracts Volume, 5–6.
- Bitner, M. A., Zágöršek, K., Halássová, E., Hudáčeková, N., Jamrich, M. (2014). Brachiopods and bryozoans from the Sandberg section (Vienna Basin, Central Paratethys) and their significance for environmental interpretation of the Early Sarmatian (= Middle Miocene) Sea. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 273, 207–219. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2014/0424>
- Cicha, I., Paulík, J., Tejkal, J. (1956). Stručné shrnutí výsledků geologických a paleontologických prací v miocénu jz. části vněkarpatské pánve na Moravě. – *Zprávy o geologických výzkumech*, 1955, 13–15.
- Cicha, I., Tejkal, J. (1958). Die paläontologischen Verhältnisse der unterortonischen sog. Brünner Sande in der Umgebung von Oslavany und Syrovice (Außerkarpatischen Becken in Mähren). – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 3, 1–15.
- Čtyrkoký, P. (1972). Die Molluskenfauna der Rzehakia-(Oncophora)-Schichten Mährens. – *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 76, 41–141.
- Dall, W. H. (1900). Some names which must be discarded. – *Nautilus*, 14, 4, 44–45.
- Dall, W. H. (1920). Annotated list of the Recent Brachiopoda in the collection of the United States National Museum, with description of thirty-three new forms. – *Proceedings of the United States National Museum*, 57, 261–377. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.57-2314.261>
- Doláková, N., Brzobohatý, R., Hladilová, Š., Nehyba, S. (2008). The red-algal facies of the Lower Badenian limestones of the Carpathian Foredeep in Moravia (Czech Republic). – *Geologica Carpathica*, 59, 133–146.
- Dreger, J. (1889). Die tertiären Brachiopoden des Wiener Beckens. – *Beiträge zur Paläontologie Österreich-Ungarns* 7, 179–192.
- Dulai, A. (2007). Badenian (Middle Miocene) micromorphic brachiopods from Bárd and Devecser (Bakony Mountains, Hungary). – *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 24–25, 1–13.
- Dulai, A. (2015). Central Paratethyan Middle Miocene brachiopods from Poland, Hungary and Romania in the Naturalis Biodiversity Center (Leiden, the Netherlands). – *Scripta Geologica*, 149, 185–211.
- Gaetani, M., Saccà, D. (1985). Brachiopodi neogenici e pleistocenici della provincia di Messina e della Calabria meridionale. – *Geologica Romana*, 22, 1–43.
- Hladilová, S., Nehyba, S., Zágöršek, K., Tomanová Petrová, P., Bitner, M. A., Demeny, A. (2014). Early Badenian transgression on the outer flank of Western Carpathian Foredeep, Hlučov area, Czech Republic. – *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 84, 259–278.
- Kopecká, J., Holcová, K., Nehyba, S., Hladilová, Š., Brzobohatý, R., Bitner, M. A. (2018). The earliest Badenian *Planostegina* bloom deposit: reflection of an unusual environment in the westernmost Carpathian Foredeep (Czech Republic). – *Geological Quarterly*, 62, 1, 18–37. <https://doi.org/10.7306/gq.1398>
- Lee, D. E., Brunton, C. H. C. (1998). *Terebratula* Müller, 1776 (Brachiopoda): proposed designation of *Anomia terebratula* Linnaeus, 1758 as the type-species. – *Bulletin of Zoological Nomenclature*, 55, 220–223. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.192>
- Logan, A. (2007). Geographic distribution of extant articulated brachiopods. – In: Selden, P. A. (ed.): *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda Revised.*, 6, 3082–3115; Geological Society of America and University of Kansas, Boulder, Colorado and Lawrence, Kansas.
- Logan, A., Tomašových, A., Zuschin, M., Grill, B. (2008). Recent brachiopods from the Red Sea and Gulf of Aden. – *Fossils and Strata*, 54, 299–309. <https://doi.org/10.18261/9781405186643-2008-33>
- Lysý, Z. (2007). Měkkýši z lokality Oslavany (baden, karpatská předhlubeň). – MS, Bachelor Thesis, PřF MU Brno, 27 pp. (In Czech).
- Nehyba, S. (2001). Lower Badenian coarse-grained deltas in the southern part of the Carpathian Foredeep (Czech Republic). – Abstracts of IAS Meeting 2001, 97, Davos.
- Nehyba, S. (2014). Soft-sediment deformation structures in Lower Badenian (Middle Miocene) foreshore sands and their trigger mechanism (Carpathian Foredeep Basin, Czech Republic). – *Austrian Journal of Earth Sciences*, 107, 23–36.

- Nehyba, S. (2016). 3. Oslavany. – Molasse Meeting 2016 & 18th Conference on Upper Tertiary, Brno 26–27 May 2016, Excursion Guide, 20–27, Masaryk University, Brno.
- Nehyba, S., Tomanová Petrová, P., Gilíková, H., Horáková, M. (2009). Příspěvek k poznání depozičního prostředí sedimentů spodního badenu na lokalitě Oslavany. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 16, 17–20, Brno.
- Nehyba, S., Holcová, K., Gedl, P., Doláková, N. (2016). The Lower Badenian transgression-regression cycles – a case study from Oslavany (Carpathian Foredeep, Czech Republic). – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 279, 209–238. <https://doi.org/10.1127/njgpa/2016/0548>
- Papp, A., Cicha, I., Seneš, J., Steininger, F. (1978). Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der Zentralen Paratethys, Bd. VI, M₄ Badenien (Moravien, Wielicien, Kosovien). – VEDA, Bratislava, 600 pp.
- Pavězková, J., Hladilová, Š., Bitner, M. A. (2013). Miocene brachiopods from the Židlochovice locality, Czech Republic. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 20, 56–59. <https://doi.org/10.5817/GVMS2013-1-2-56>
- Philippi, R. A., 1844. Enumeratio molluscorum Siciliae cum viventium tum in tellure tertiaria fossilium quae in itinere suo observavit. Vol. 2. E. Anton, Halle, 303 pp.
- Popiel-Barczyk, E., Barczyk, W. (1990). Middle Miocene (Badenian) brachiopods from the southern slopes of the Holy Cross Mountains, Central Poland. – Acta Geologica Polonica, 40, 3–4, 159–181.
- Procházka, V. J. (1893a). Miocén kralický u Náměště na Moravě. – Věstník Královské České společnosti nauk, Třída matematicko-přírodovědná, 6, 1–84.
- Procházka, V. J. (1893b). Zur Stratigraphie der Oncophoren-Schichten der Umgebung von Ivančic und Oslavan in Mähren. – Věstník Královské české společnosti nauk, II. Tř., 1892, 425–457. Praha.
- Reuss, A. E. (1860). Die marinen Tertiärschichten Böhmens und ihre Versteinerungen. – Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse 39, 207–285.
- Rzehak, A. (1882a). *Oncophora*, ein neues Bivalvengenus aus dem mährischen Tertiär. – Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt, 1882, 41–41.
- Rzehak, A. (1882b). Die I. und II. Mediterranstufe im Wiener Becken. – Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt, 1882, 114–115.
- Rzehak, A. (1883). Beiträge zur Kenntnis der Tertiärformation im außeralpinen Wiener Becken (Der Grunder Horizont in Mähren). – Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, 21, 31–49.
- Rzehak, A. (1893). Die Fauna der Oncophora-Schichten Mährens. – Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, 31, 142–192.
- Toula, F. (1893). Die Miocänablagerungen von Kralitz im Mahren. – Annalen des k. k. Naturhistorischen Hofmuseums, 8, 2, 1–11.
- Zágoršek, K. (2010). Bryozoa from the Langhian (Miocene) of the Czech Republic. – Acta Musei Nationalis Pragae, series B, Historia Naturalis., Praha. Series B – Historia Naturalis, 66, 1–2, 3–136.
- Zágoršek, K., Holcová, K., Nehyba, S., Kroh, A., Hladilová, Š. (2009). The invertebrate fauna of the Middle Miocene (Lower Badenian) sediments of Kralice nad Oslavou (Central Paratethys, Moravian part of the CF). – Bulletin of Geosciences, 84, 465–496. <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1078>
- Zágoršek, K., Nehyba, S., Tomanová Petrová, P., Hladilová, Š., Bitner, M. A., Doláková, N., Hrabovský, J., Jašková, V. (2012). Local catastrophe caused by tephra input near Přemyslovice (Moravia, Czech Republic) during the mid-Miocene. – Geological Quarterly, 56, 269–284. <https://doi.org/10.7306/gq.1021>

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}

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

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

³Fakulta 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.

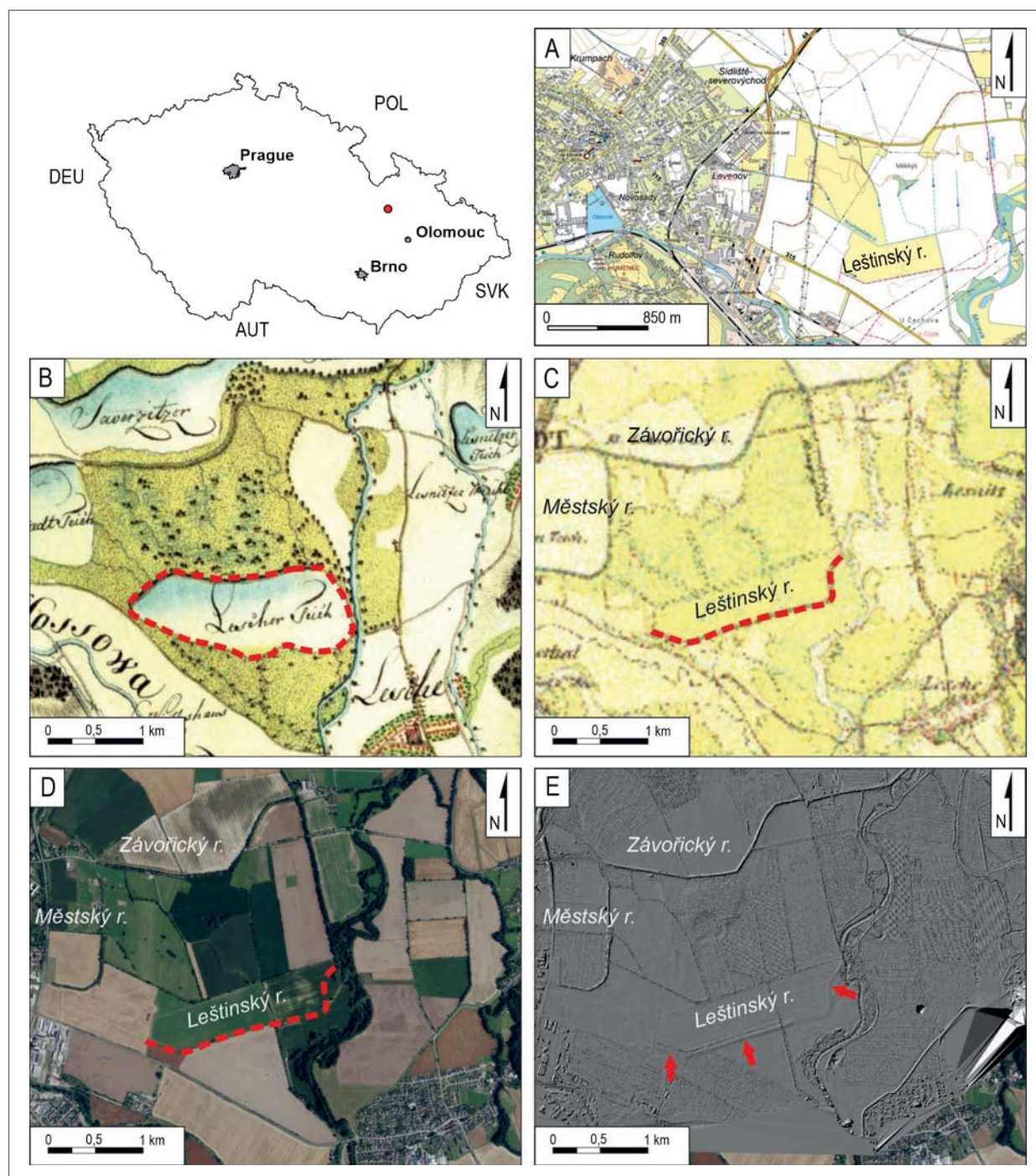
Doporučená citace článku:

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 rybníku 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).

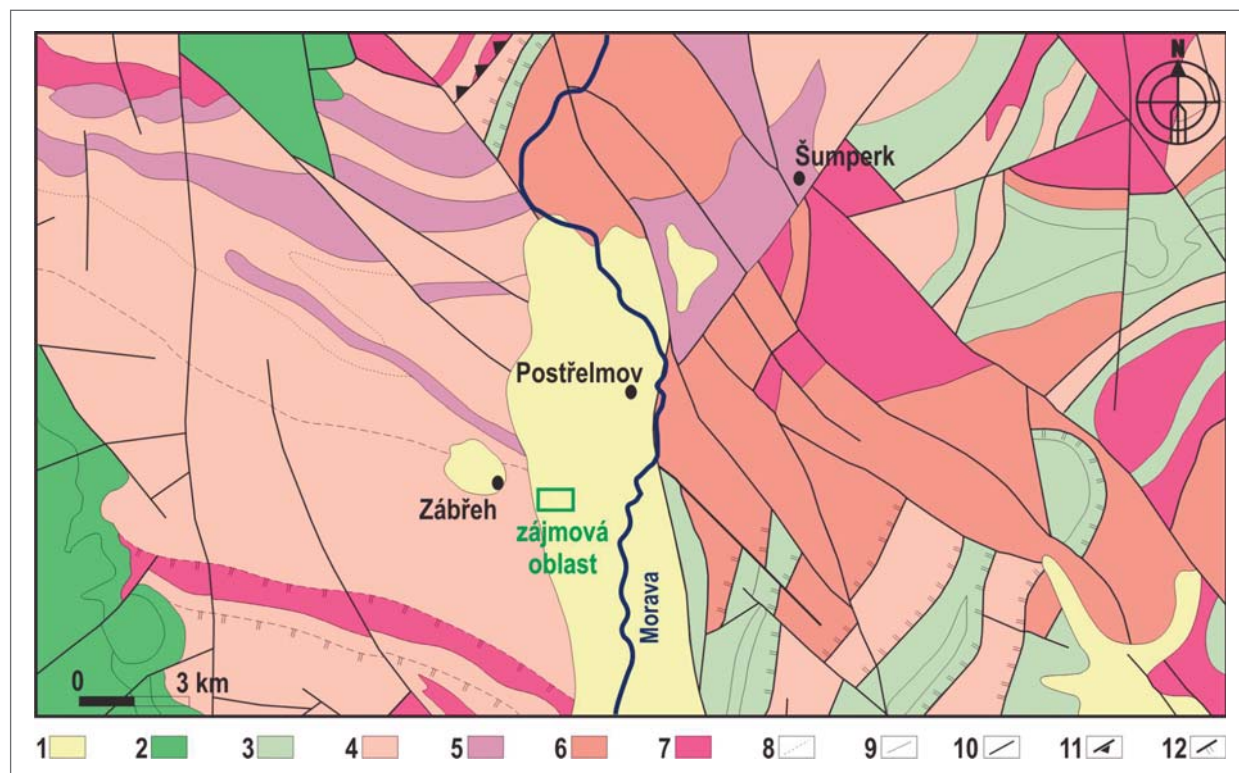
Příčinou postupného rušení rybníků v okolí Zábřehu byla stále klesající cena rybního masa. Následkem zvyšujících se cen obilí a dobytka se většina majitelů rozhodla rybníky vypouštět a přeměňovat je na pastviny a louky (Pavelková et al. 2014; Pavelková et al. 2016). Pravidelnou součástí obhospodařování 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 – lugikum 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.

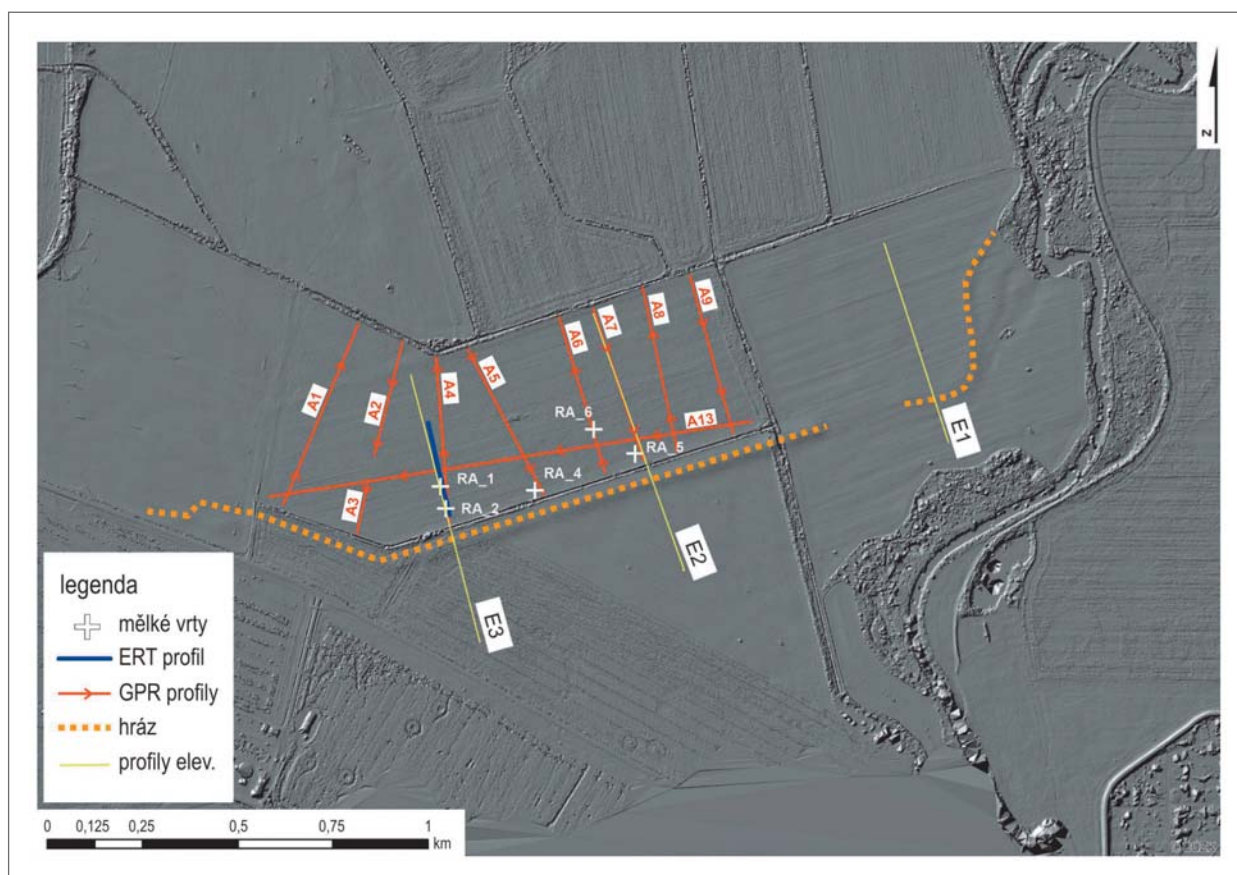
Geofyzikální prospekce

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.

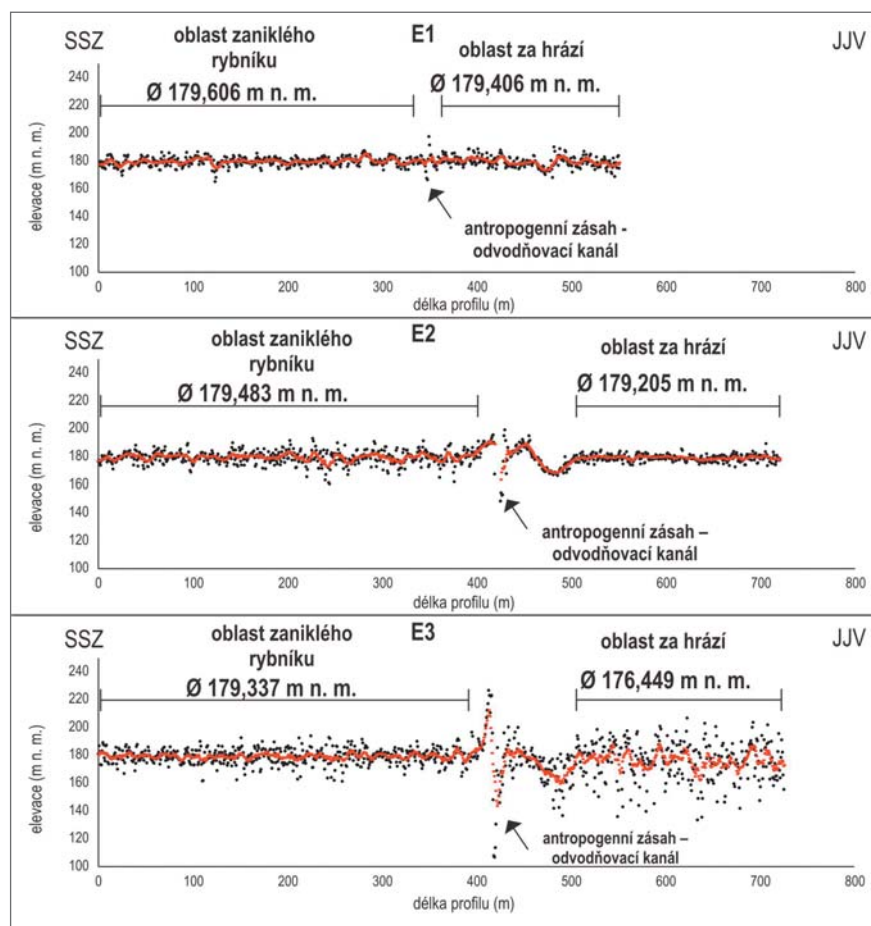
Vrtný průzkum

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 facii 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 dno 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

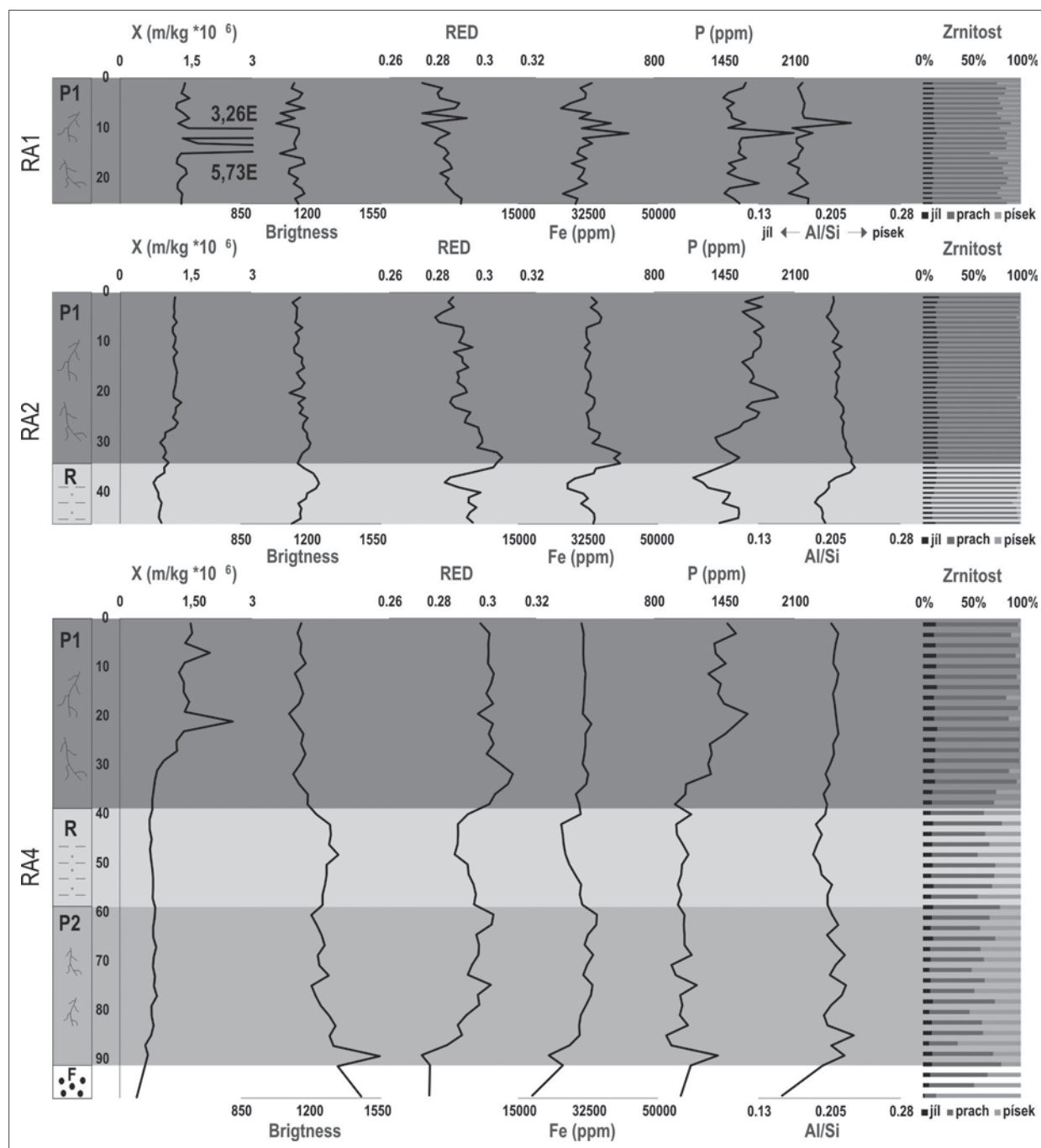
uhlíků a zvětralých úlomků hornin. Sediment mění barvu do tmavě hnědé až načervenalé barvy. Největšího rozsahu dosahuje ve vrtu RA4, kde má mocnost 33 cm, RA5 (29 cm), RA6 (22 cm). Pro tuto facii jsou charakteristické zvyšující se hodnoty MS, indexu červenosti, obsahu železa a fosforu. Opač jsou snižující 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; Yuvanatemiya & 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 naoranžovělými 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 nejnižší 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.

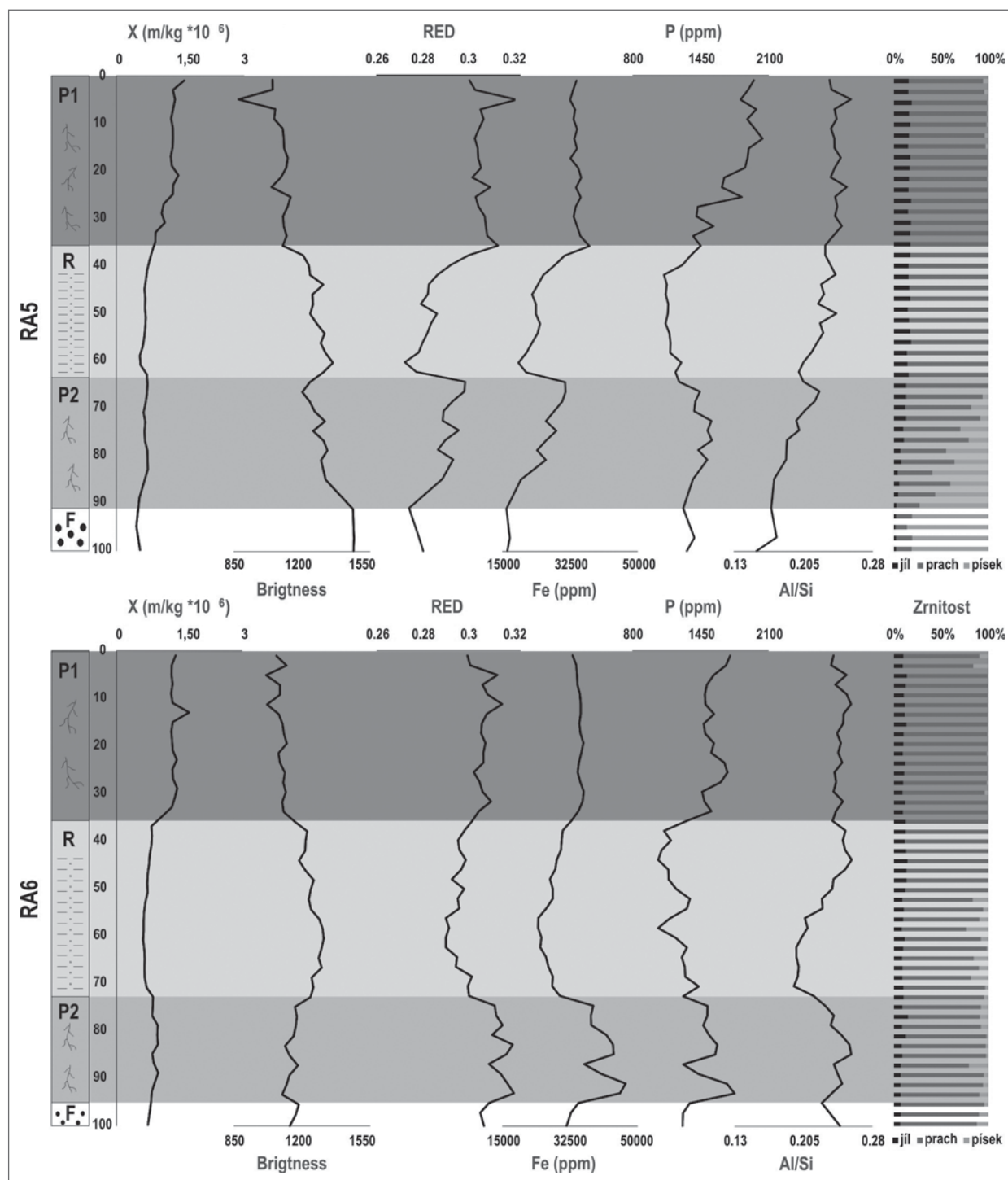
Fig. 5: Curve trends of selected geochemical and physical parameters in RA1, RA2 and R4 drill cores.

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.



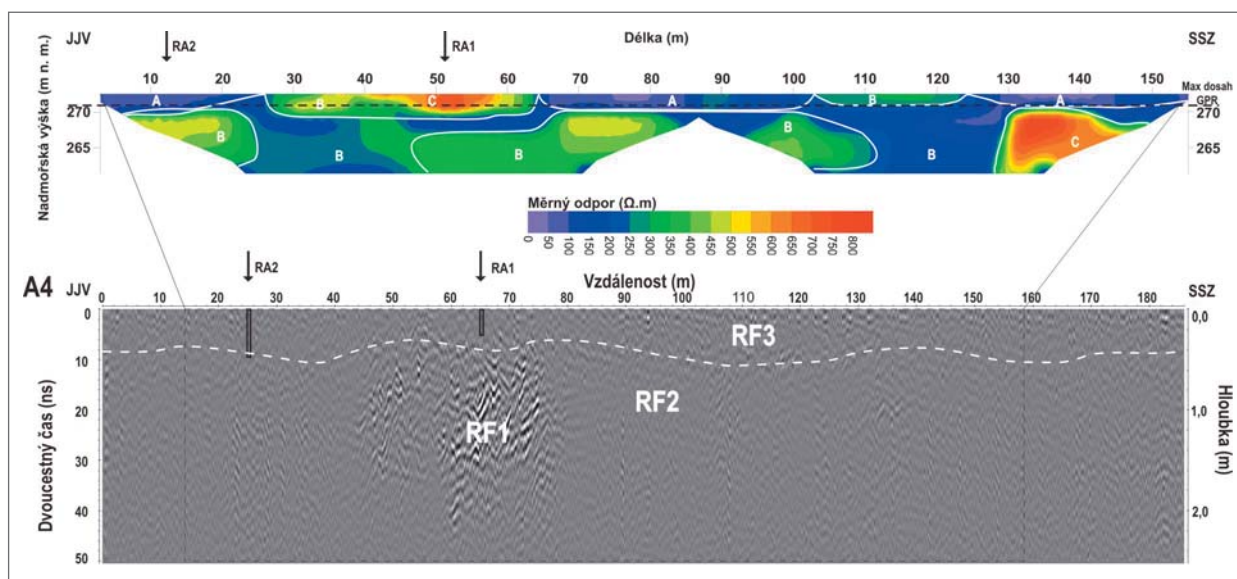
Obr. 6: Křivkové trendy vybraných geochemických a fyzikálních parametrů ve vrtných jádrech RA5 a RA6.

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 (štěrky) (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 jesevní val/nivní půda (Petřík et al. 2018; Elznicová et al. 2022). RF1 je typickým představitelem projevu hrubozrnných sedimentů (štěrků) v radarovém záznamu fluvialního prostředí. Prostorová korelace s ERT profilem

dává RF1 do souvislosti s vysokooporovou 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.



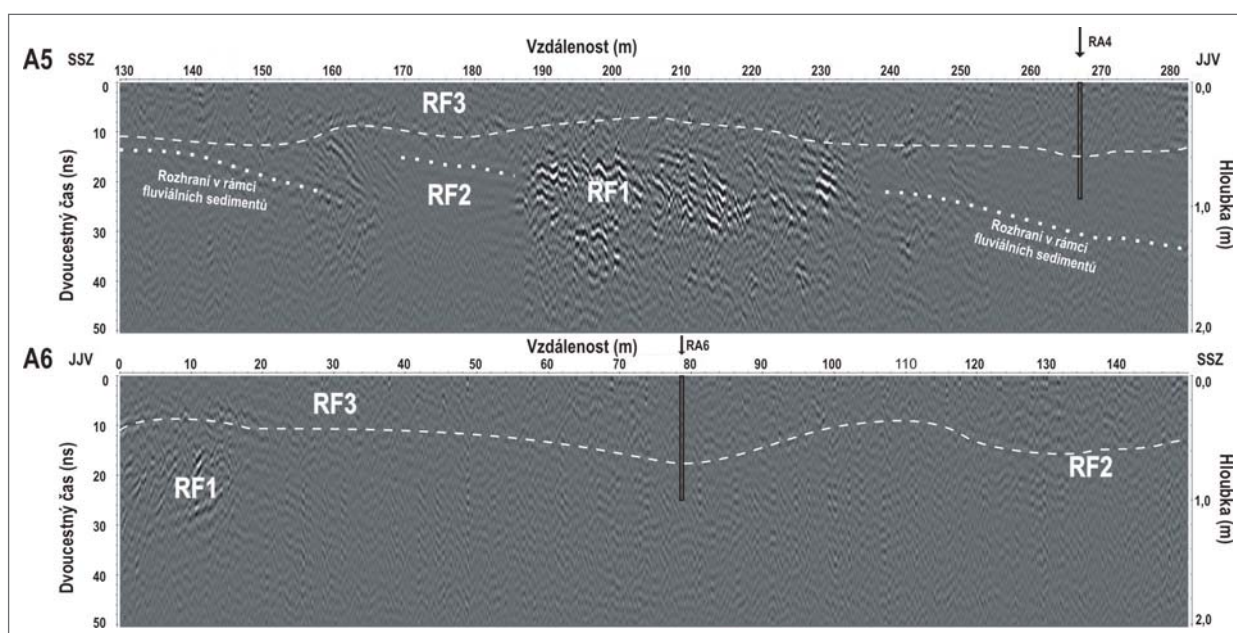
Obr. 7: Výsledný ERT profil korelovaný na GPR profil A4. Vyznačená pozice vrtů RA1 a RA2.

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

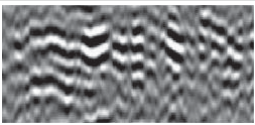
rybníčního sedimentu, což plošně potvrdily i georadarové průzkumy s maximální zjištěnou hloubkou báze facie R v 74 cm. To odpovídá přibližnému přírůstku sedimentu ve studovaném rybníku cca o 0,13 cm/rok. Pro porovnání rychlost sedimentace v rybnících okolo Malešova byla velmi proměnlivá a pohybovala 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 vrti 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	Hrubozrný fluvialní sediment
	RF2	Průběžné	průběžné reflektory, nízká amplituda	Jemnozrný 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 hrubozrné 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., Léta, 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 Čáslav. – 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. – Geochem. 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., Štěpánčíková, 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>

Vyhodnocení fluviálních sedimentů a paleoekologická rekonstrukce prostoru ulice Křenová v Brně

Assessment of fluvial sediments and palaeoecological reconstruction of the area of Křenová street in Brno

Kristína Majorošová¹✉, Jan Petřík¹, Libor Petr², Jarmila Bíšková³, Róbert Antal⁴, Hynek Zbranek⁵, Katarína Adameková¹

¹ Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika

² Ústav botaniky a zoologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Česká republika

³ Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i., Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno, Česká republika

⁴ Archeologický ústav AV ČR, Brno, v. v. i., Čechyňská 363/19 602 00 Brno, Česká republika

⁵ Archaia Brno, z.ú., Bezručova 78/15 602 00 Brno, Česká republika

Key words:

fluvial sediments, environmental geology, palaeoecology, Brno-Křenová, Czech Republic

✉ 423320@mail.muni.cz

Editorka:

Pavla Tomanová Petrová

Abstract

Fluvial archives are a rich source of information about the environmental impact of the local industry in the past. This research is focused on Holocene fluvial sediments that were excavated in the area of Křenová Street in Brno, Czech Republic. The area was researched during the rescue archaeological excavations, which unearthed the defunct Svitava river channel and its banks together with wooden constructions and archaeological artifacts from the 13th to the 16th century. Three profiles were documented and lithostratigraphically described. Samples for the palaeoecological and chemical analyses and granulometry were taken from the excavated trench S11. The finding of the rivers' point bar and the shape of the riverbed allowed us to determine that the river was meandering. Analysed pollen profile of the medieval riverbed shows species-rich vegetation in close proximity of the medieval town and progressing urbanization. Results from chemical analyses shows that the area was not significantly polluted. The source of most of the probable contamination were surrounding sumps, as is indicated by slightly elevated concentrations of phosphorus in the sediments.

Úvod

Výplně současných niv vznikaly v průběhu holocénu především v závislosti na různých faktorech včetně výkyvů klimatu, změn vegetačního krytu a narůstajícího lidského vlivu (Kadlec et al. 2009). Například v Polsku byly zaznamenány vyšší hodnoty sedimentace s výraznou mimo korytovou sedimentací v době římské a ve vrcholném středověku (Starkel 2005). Proces v novověku dále akceleroval a vyvrcholil umělou regulací říčních koryt. Zvyšující se antropogenní tlak na říční síť se může projevovat také nárůstem znečištění koryt včetně kontaminace některými chemickými prvky. Koncentrace kontaminantů v sedimentech, které byly transportovány řekou, je časově i prostorově variabilní. Může být často ovlivněna krátkodobými redistribučními událostmi jako jsou například záplavy, které mohou erodovat a transportovat kontaminovaný sediment dále po říčním toku. Proto mohou vysoké koncentrace antropogenních kontaminantů, například těžkých kovů, korelovat se záplavovými vrstvami (Bábek et al. 2011).

Fluviální archivy tak mohou být bohatým zdrojem informací o environmentálních dopadech průmyslu a sídlištních aktivit v minulosti. Archeologické výzkumy související s developerskou činností mohou umožnit přímé studium historické kontaminace nivních a říčních sedimentů v městském prostoru. Díky těmto výzkumům je možné studovat, jak interaguje říční niva s člověkem v prostoru městské aglomerace a zároveň jak se může odrážet antropogenní, případně klimatický impakt na vývoji říční nivy v průběhu staletí.

Doporučená citace článku:

Majorošová, K., Petřík, J., Petr, L., Bíšková, J., Anal, R., Zbranek, H. (2023). Vyhodnocení fluviálních sedimentů a paleoekologická rekonstrukce prostoru ulice Křenová v Brně. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 30, 1–2, 56–65.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-33676>

Předmětem této studie jsou holocenní fluvialní sedimenty odkryté v prostoru ulice Křenová, v městské části Brno-Střed, kde proběhl v období 2018–2019 záchranný archeologický výzkum. Archeologický odkryv zde zachytil zaniklé koryto, jeho břeh s dřevěnými konstrukcemi a středověké až novověké artefakty datované do 13. až 16. století. Současně probíhal záchranný výzkum v nedalekém areálu bývalého textilního podniku mezi ulicemi Dornych a Přízová, který umožnil sledování sedimentárního a geomorfologického vývoje nivy řeky Svratky (Čižmář et al. 2018).

Cílem výzkumu je odhalit, zda se v prostoru ulice Křenové nalézají fluvialní sedimenty Svratky, Svitavy či Ponávky, geochemické posouzení historického znečištění sedimentů nivního prostředí, paleoekologické vyhodnocení sedimentů z hlediska palynologie a malakozoologie. Tento článek se soustředí převážně na výsledky výzkumu vzorků z dokumentačního bodu Log1, označeného také jako profil R71 v sondě S11.

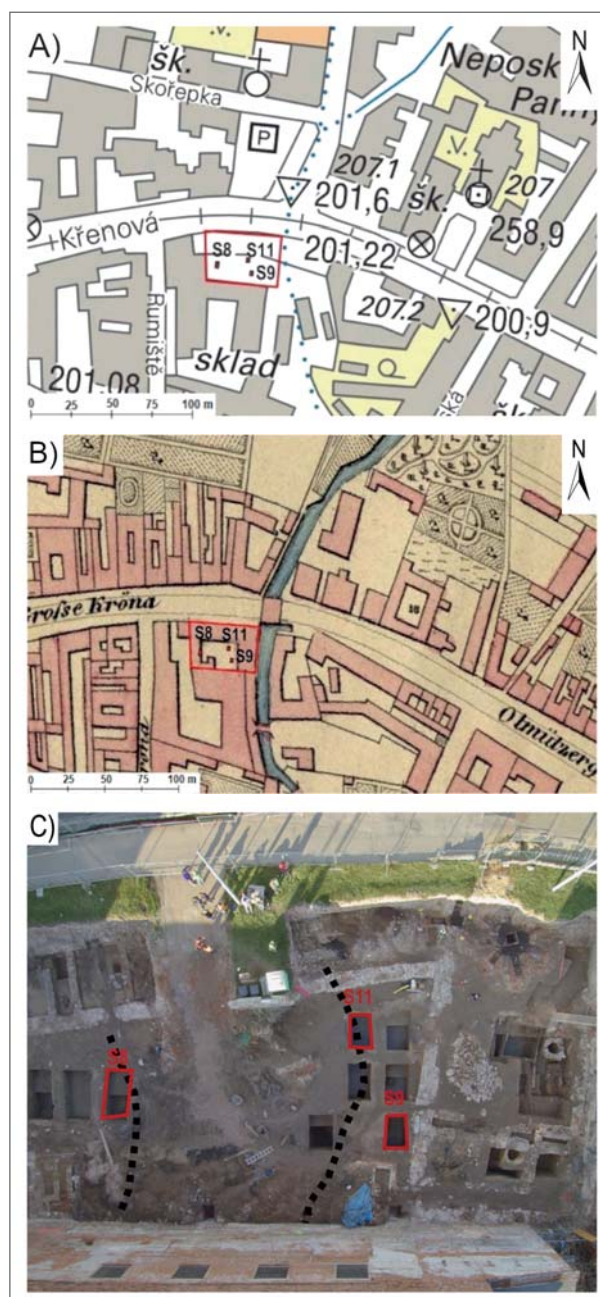
Lokalita

Zkoumaná lokalita se nachází v prostoru ulice Křenová v katastrálním území Trnitá v Brně (N 49,1917053 E 16,6177528). Prostor má rovinatý charakter s velmi mírným úklonem k jihu a nadmořská výška se na lokalitě pohybuje kolem 200 m. Z geomorfologického hlediska je lokalita součástí společné nivy řeky Svratky a Svitavy, jejichž soutok se nachází o 5 km jižněji a vzdálenost řek v tomto prostoru je 1,5 km. Zkoumaná niva náleží prostoru Dyjsko-Svrateckého úvalu a řeky Svitavy (Demek et al. 2006). Prostor výzkumu se nachází taktéž v těsné blízkosti vodního toku Staré Ponávky, oproti ulici Vlhká. Geologicky se lokalita nachází na území karpatské předhlubně, která je tvořena neogenními sedimenty spodního badenu. Kvartérní sedimenty jsou litologicky tvořeny zelenošedými až modrošedými vápnitými, jemně písčitými jíly s složkami silně jílových písků. Na lokalitě se kvartérní sedimenty vyskytují v podobě fluvialních uloženin řek Svratky a Svitavy. Z historického hlediska zkoumaná oblast patřila k předměstí Brna a začala se výrazněji vyvíjet nejpozději na konci 13. století. V polovině 14. století byla Křenová ulice oboustranně zastavěna a tvořila část I. předměstské čtvrti v Brně. Poslední fáze výstavby na lokalitě se odhaduje na konec 18. století, kde v části pavlačového domu vznikla v roce 1771 barvířská dílna (Antal 2019).

Metodika

Na lokalitě byly vybrány čtyři dokumentační body (obr. 1A), u kterých byl proveden litofaciální a sedimentologický popis. Orientace a sklon vrstev byly měřeny pomocí geologického kompasu.

Bylo odebráno 21 vzorků z profilu Log1 o hmotnosti přibližně 100 g byly odebrány do plastických sáčků a byly použity na prvkovou chemickou analýzu, palynologii a malakozoologickou analýzu. Litofaciální popis jednotlivých profilů byl zpracován v programu Strater 5. Chemické složení bylo analyzováno pomocí energiově disperzního RTG fluorescenčního spektrometru (ED-XRF)



Obr. 1: A) Geografická mapa lokality s vyznačenou plochou výzkumu a sondami v červeném obdélníku (zdroj: ČGS, 2022); B) historická mapa lokality z 19. století s vyznačenými sondami (zdroj: ČÚZK, 2022); C) letecký pohled na lokalitu s vyznačenými sondami a zachyceným tvarem koryta.

Fig. 1: A) Geographical map of the location with marked area of the excavations and trenches in the red rectangle (source: ČGS, 2022); B) 19th century map of the area with marked trenches (source: ČÚZK, 2022); C) areal view of the area with marked trenches and shape of the channel.

Rigaku NexCG v héliové atmosféře. Na tuto analýzu byly použity práškové vzorky v podobě lisovaných tablet. Přístroj disponuje Pd anodou o výkonu 50 W a SSD detektorem s rozlišením do 145 eV. Na odstranění vlivu zrnitosti na hodnoty olova byl použit poměr olova a hliníku. Taktéž byla měřena ztráta hmotnosti žíháním (LOI) při teplotě 550 °C standardní metodou. Výsledky z analýzy ED-XRF byly dále použity na výpočet faktoru obohacení

(Enrichment factor, dále EF) s použitím vzorce: $EF = (M/Al)_{sample}/(M/Al)_{base}$; kde M je kov (Barbieri 2016). Jako referenční prvek byl použit hliník a požadové hodnoty (base) byly použity z výsledků z měření profilu P4 na lokalitě Vlněna z hloubky 360, 365 a 370 cm. Také byl vypočítán korelační koeficient s použitím programu Microsoft Excel.

Palynologická analýza vzorků byla provedena standardní acetylační metodou s použitím kyseliny fluorovodíkové, kvůli značnému množství křemičitého podílu. Na zvýraznění pylových zrn bylo použito barvivo safranin. Určení pylových zrn bylo provedeno s použitím palynologických klíčů (Beug 2004; Moore a kol 1999). Pylový diagram byl vytvořen v programu POLPAL (Walrus a Nalepka 2003).

Malakofauna byla determinována pomocí entomologické pinzety a stereomikroskopu s dopadajícím světlem a možným podsvícením, s možným zvětšením 4–40×. Na určení včetně nomenklatury byla použita práce Měkkýši České a Slovenské republiky (Horsák et al. 2013). Soubor byl kvantifikován dle metody MNI (Minimum number of Individuals), popsáno například v Quantitative Paleozoology (Lyman 2008). Metoda NISP (Number of Individual Species) nebyla využita z důvodu fragmentace materiálu, čímž by se tento údaj samovolně navýšil s každou další manipulací. Všechny vzorky byly zváženy a soubory byly rozčleněny do ekoskupin dle Lisického (1991), který rozdělil měkkýše do deseti skupin dle jejich ekologických nároků. Datace vrstev byla provedena pomocí archeologických artefaktů nalezených v jednotlivých stratigrafických vrstvách, které byly napojené na litofaciální popis.

Výsledky

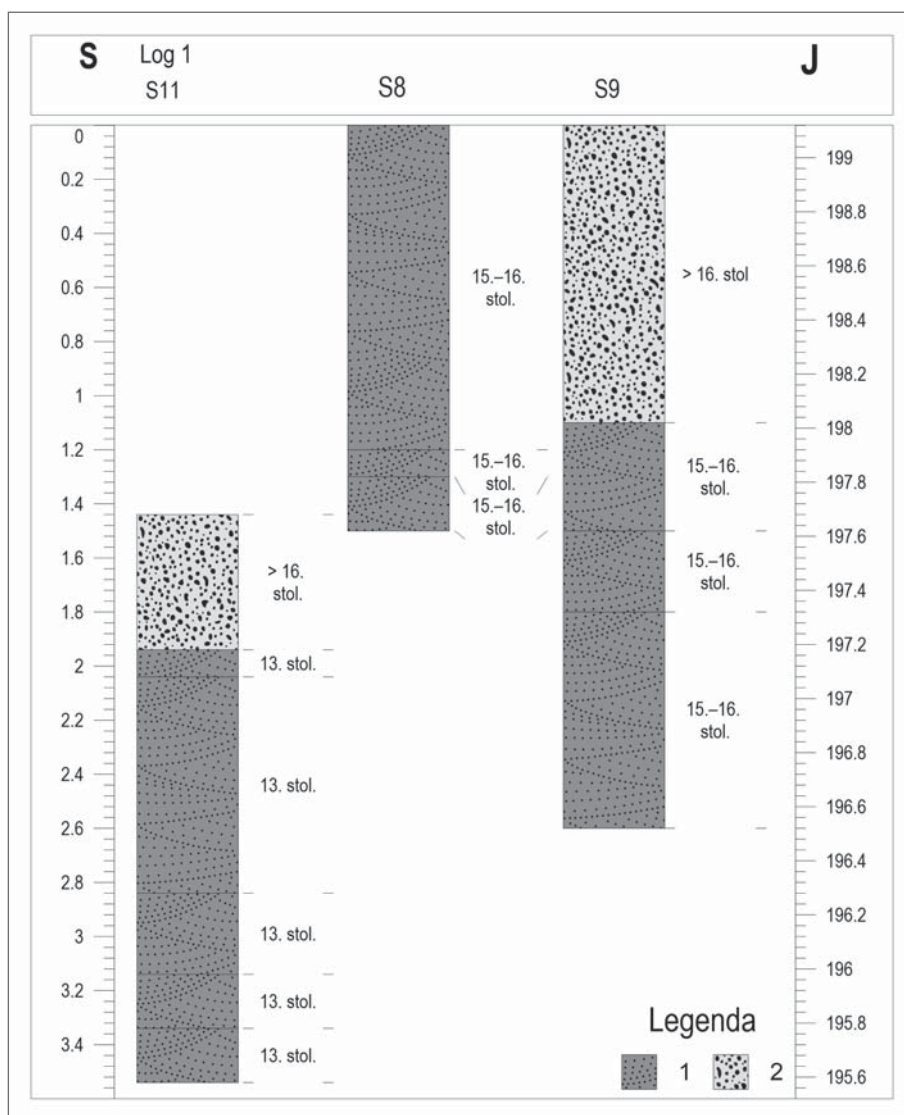
Litofaciální analýza zkoumaných profilů

Profil v sondě S11 (obr. 2 a 3) je ve spodní části charakterizován střídáním vrstev jílovito-prachovitého sedimentu s vrstvami různě zrnitého písku. Tyto vrstvy byly datovány pomocí archeologického materiálu do 13.

století (Antal 2019). Sedimenty ve svrchní části profilu jsou zde přítomny v podobě tmavě šedého jílu až prachu.

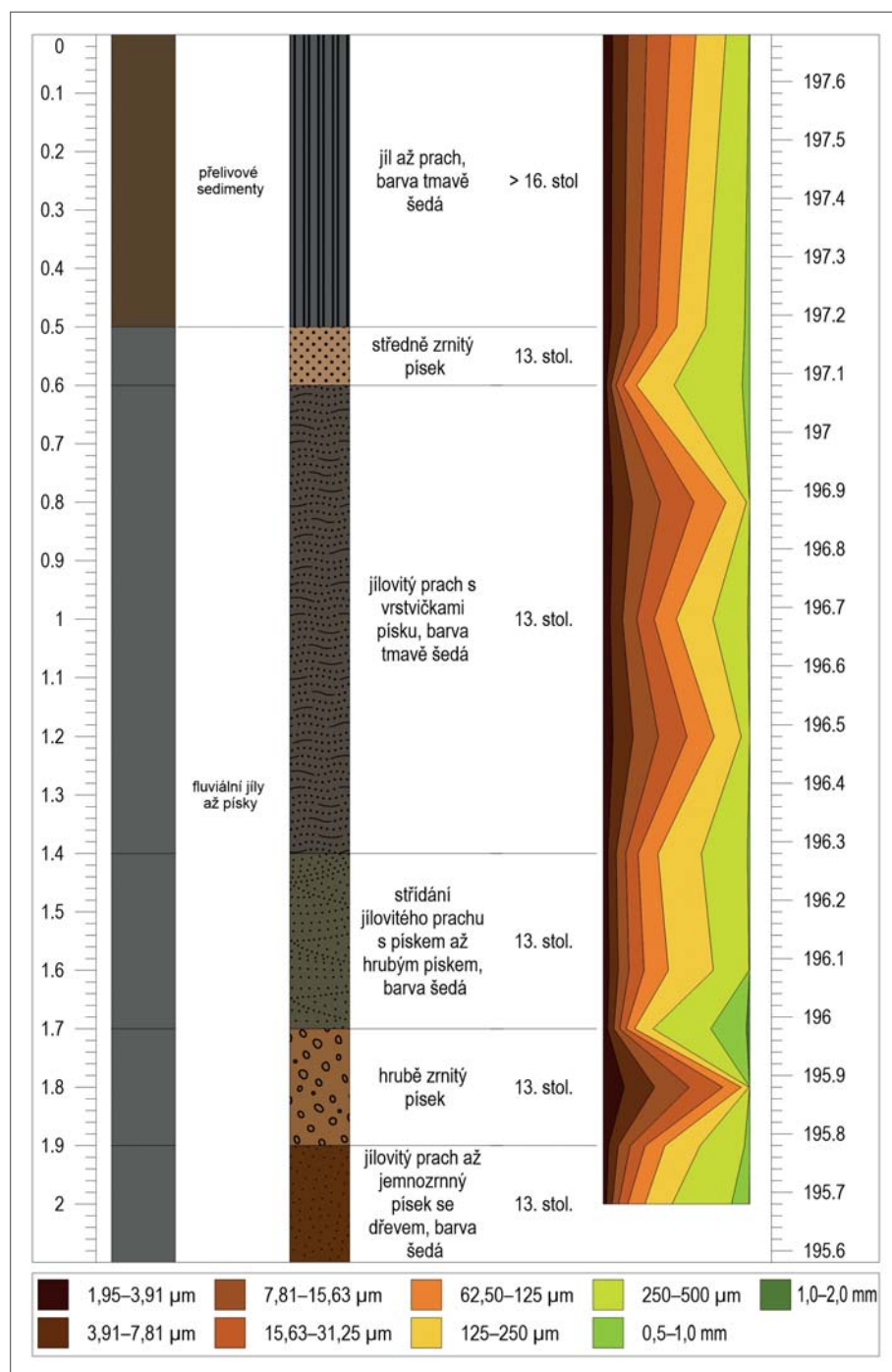
Profil v sondě S8 (obr. 2) je charakterizován vrstvou fluvialních sedimentů. Na bázi jsou zastoupeny písky s nerozloženými rostlinnými makrozbytky, na kterých je uložen jílovito-prachovitý materiál a ve svrchní části je zde přítomen prachovitý sediment bohatý na organickou hmotu. Fluvialní sedimenty byly datovány podle archeologického materiálu do 15. až 16. století (Antal 2019).

Sonda S9 (obr. 2) je podobně jako sonda S11 při bázi tvořena fluvialními sedimenty. Spodní část fluvialních sedimentů je složená z jemně zrnitého písku a písčitého prachu s nerozloženými rostlinnými makrozbytky, na kterých je uložen hrubý písek až jemně zrnitý štěr. Tyto vrstvy byly datovány pomocí artefaktů do 15. až 16. století (Antal 2019). Terénním výzkumem petrografického složení štěrku byla doložena přítomnost granodioritů, rul, kvarcitů a vápenců.



Obr. 2: Základní litologie sond S11, S8 a S9 v prostoru od severu k jihu. Legenda: 1 – fluvialní jíly až písky, 2 – přelivové sedimenty.

Fig. 2: Basic lithology of excavated trenches S11, S8 and S9 in the area from north to south. Legend: 1 – fluvial clays to sands, 2 – floodplain sediments.



Obr. 3: Výsledky zrnitostní analýzy profilu Log1 v porovnání s jeho litologií.

Fig. 3: Grain size distribution of profile Log1 superposed with its lithology.

Výsledky z geochemických a zrnitostních analýz

Výsledky zrnitostní analýzy k Log1 odpovídají makroskopickému litofaciálnímu členění, pro každou jednotku byla definována zrnitost (obr. 3). Sedimenty při bázi obsahují střídavě vyšší zastoupení písku i jílu, což odpovídá střídající se dynamice vodního průtoku (pod niveletou 196 m). Následují písčité prachy s proměnlivým zastoupením písku (niveleta 197,2 až 196 m). Nad niveletou 197,2 m jsou uloženy homogenní písčité prachy.

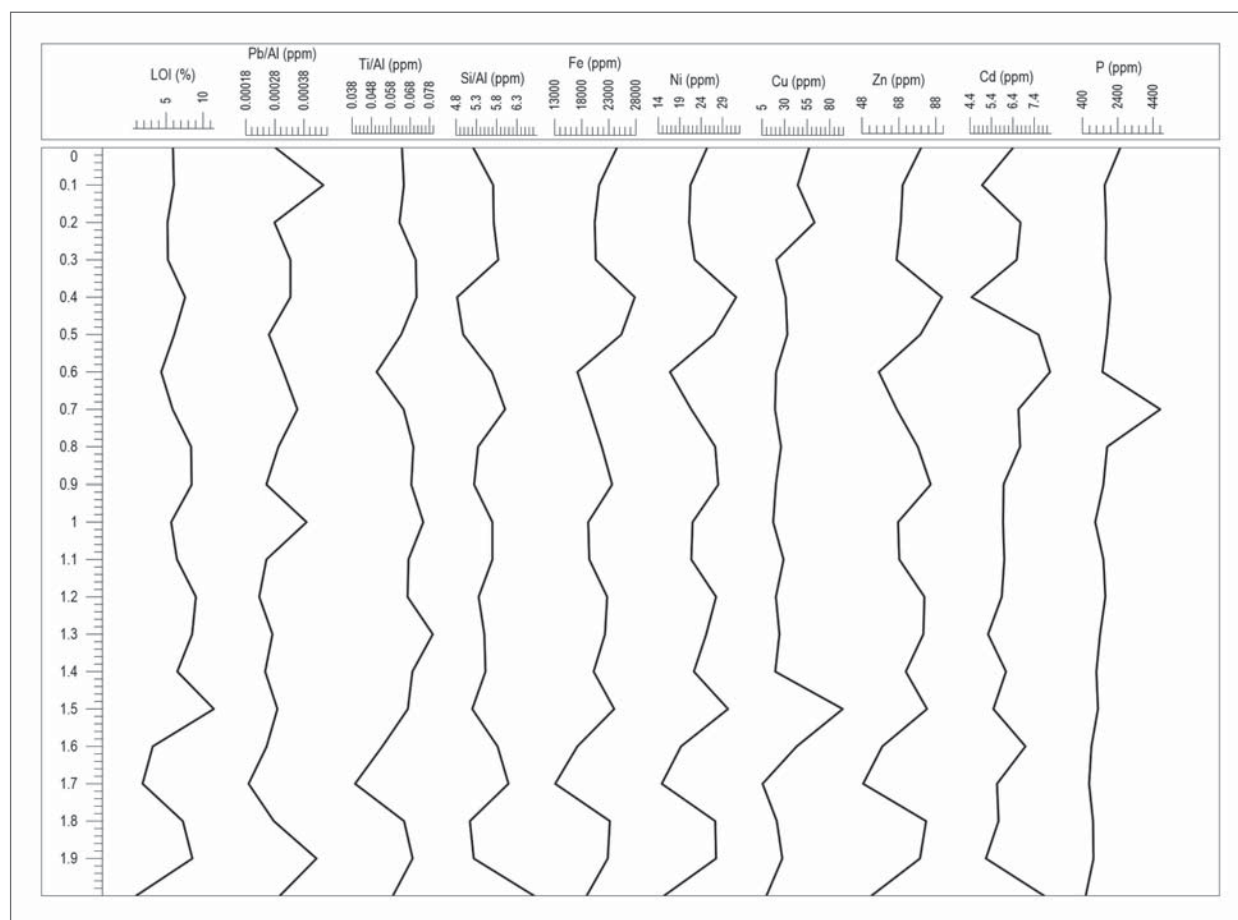
Výsledky z analýzy ztráty žíháním vykazují zvýšený obsah organické hmoty ve spodních vrstvách profilu, s nejvyšší hodnotou ve vzorku odebraném

Palynologie

V hloubce 190 cm až 70 cm klesá poměr dřevin a bylin ze 70 % až na 40 %. V pylovém spektru dominuje olše (*Alnus*). Ve vzorcích se vyskytl pyl jedle (*Abies*) a buku (*Fagus*), ale také dubu (*Quercus*), habru (*Carpinus*), lípy (*Tilia*) a další. Vrba (*Salix*) je vázaná na zamokřená stanoviště a spolu s olší (*Alnus*) tvořila lokální vegetaci v okolí meandru.

V horní části profilu v hloubkách 70 cm až 1 cm výrazně ubývá pylu olše (*Alnus*) a mění se skladba dřevinné vegetace. Ubývá pylu buku (*Fagus*), lísky (*Corylus*),

v hloubce 150 cm (obr. 4). Tento trend koreluje s litologií zkoumaného profilu (obr. 3). Nejvyšších hodnot olovo dosahuje ve vrstvách jílu a jílovitého prachu (hloubka 10 cm a 190 cm). Poměr titanu a hliníku koreluje s výsledky zrnitostní analýzy a s litologií, ale poměr křemíku a hliníku vykazuje opačný trend v křivce Si/Al, se stoupáním směrem k bázi profilu. Železo, nikl a zinek korelují mezi sebou s téměř totožnými křivkami s nejvyššími hodnotami na úrovni vrstev jílu až prachu, ve vrstvě se střídáním jílovitého prachu s pískem až hrubým pískem (150 cm). Křivka mědi nemá žádný výrazný trend s nejvyšší hodnotou ve vrstvě se střídáním jílovitého prachu s pískem až hrubým pískem (150 cm) (obr. 4). Také byl vypočítán faktor obohacení (dále EF) sedimentů. Profil byl rozdělen do dvou jednotek podle archeologické datace: 1) vrstvy datované do 13. století a 2) vrstvy datované do 6. století a výše. Díky tomu je možné porovnat případné obohacení a kontaminaci sedimentu v různých časových horizontech. Z výsledků (tab. 1 a 2) vyplývá, že pouze hodnoty fosforu a mědi vykazují zvýšené koncentrace. Po vypočítání korelačního koeficientu vápníku a fosforu a fosforu a síry je na grafech vidět opačná korelace Ca/P a Ca/S ve vrstvách ze 13. století a 16. století (obr. 5).



Obr. 4: Vybrané výsledky z rentgenfluorescenční analýzy a LOI.
Fig. 4: Selected results from ED-XRF analysis and LOI.

lípy (*Tilia*), jilmu (*Ulmus*), jedle (*Abies*) a dubu (*Quercus*). Naopak se nemění zastoupení pylu borovice (*Pinus*), břízy (*Betula*) a smrku (*Picea*).

Ve spektru bylin převažují traviny a obiloviny, které dosahují podílu až 30 %. Významné jsou ruderalní druhy, a to pelyněk (*Artemisia*), rdesno ptačí (*Polygonum aviculare*) nebo jitrocel (*Plantago* sp.). Druhy jako je řepík (*Agrimonia*), hvězdnicovité (*Asteraceae*), nebo silenky (*Silenoideae* typ) indikují trávníky. Překvapivě málo je zachycena mokřadní vegetace. Ve svrchní části profilu jsou zachyceny spóry střevního parazita tenkohlavce (*Trichiura trichiuris*).

Malakologie

V souboru měkkýšů se nacházelo 116 vzorků vážících 6205 g s minimálně 832 jedinci (MNI) – viz tab. 3. Největší část souboru byla tvořena měkkýši nalezenými in situ v pískové vrstvě ze sondy S11 (1,4 až 1,7 m) (obr. 7).

Tab. 1: Legenda k faktoru obohacení.
Tab. 1: Enrichment factor legend.

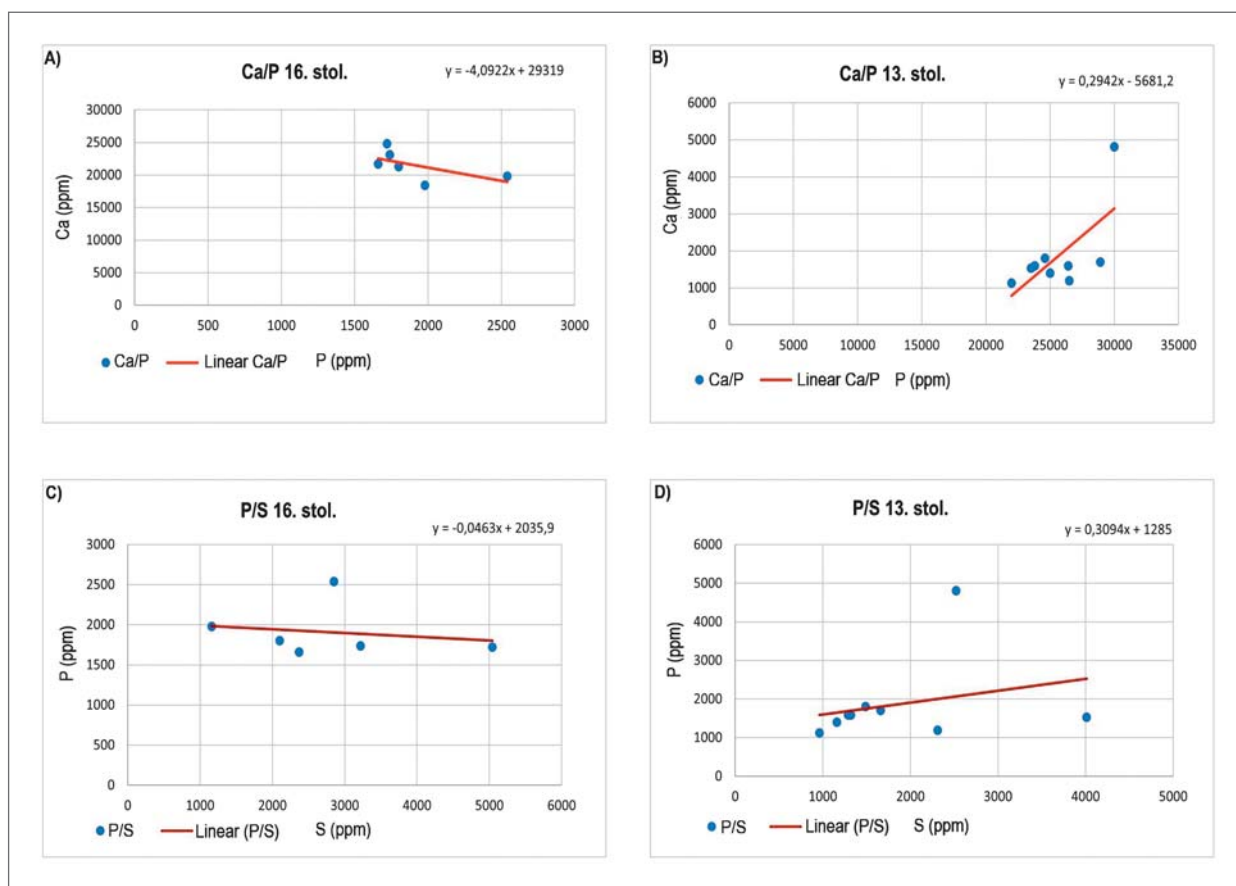
Hodnota	Kvalita sedimentu
EF < 2	Nedostatečné nebo minimální obohacení
2 < EF < 5	Mírné obohacení
5 < EF < 20	Významné obohacení
20 < EF < 40	Velmi vysoké obohacení
EF > 40	Extrémně vysoké obohacení

V sondě S8 byl přítomen 1 jedinec hlemýždě (*Helix pomatia*). V sondě S9 byla nalezena jedna ústřice a páskovka v nejhornější vrstvě, sladkovodní měkkýši se koncentrují ve vrstvě 186. Ve vrstvě 203 se nachází 2 jedinci suchozemské páskovky (tab. 4).

V sondě S 11 se nachází větší uskupení sladkovodních měkkýšů, a to napříč celým profilem (170, 178, 224, 235, 1170). Největší koncentrace vodních mlžů se objevuje ve vrstvách 235 (min. 29 jedinců), 1170 (min. 26 jedinců) a 1177 (min. 38 jedinců). Ve vrstvě 204 se objevují pouze páskovky (tab. 4).

Tab. 2: Výsledky z výpočtu faktoru obohacení.
Tab. 2: Results from the calculation of enrichment factor.

Prvek	EF > 16. stol.	EF 13. stol.
Ti	1,211	1,18
P	2,944	2,626
Pb	1,364	1,225
Sb	1,447	1,608
Zn	1,192	1,269
Cd	1,375	1,598
Fe	1,368	1,364
Cr	1,13	1,115
Cu	2,648	1,93
As	1,337	1,262
Ni	0,935	0,989
Si	1,289	1,344



Obr. 5: Korelace mezi Ca a P ve vzorcích datovaných do 16. století (A); 13. století (B); korelace mezi P a S ve vzorcích datovaných do 16. století (C); 13. století (D).

Fig. 5: Correlation between Ca and P in samples dated to 16th century (A); 13th century (B); correlation between P and S in samples dated to 16th century (C); 13th century (D).

Diskuze

Vyhodnocení původu fluvialních sedimentů

Profily na lokalitě Křenová tvoří fluvialní sedimenty, konkrétně korytové ve spodní části a mimokorytové (přelivové) sedimenty v horní části. Podle terénního výzkumu petrografického složení štěrku na lokalitě byla doložena přítomnost hornin, které indikují spíše povodí Svitavy.

Tab. 3: 10RV druhy tekoucích vod, 10RV(SG) druhy primárně tekoucích vod, ale vyskytují se i v stojatých vodách, 10SG-RV druhy stojatých i tekoucích vod, 10PD druhy zarůstajících vod. Tab. 3: 10RV species living in flowing waters; 10RV (SG) species living primarily flowing waters, found also in stagnant waters; 10SG-RV species living in stagnant and flowing waters; 10PD species living in overgrowing waters.

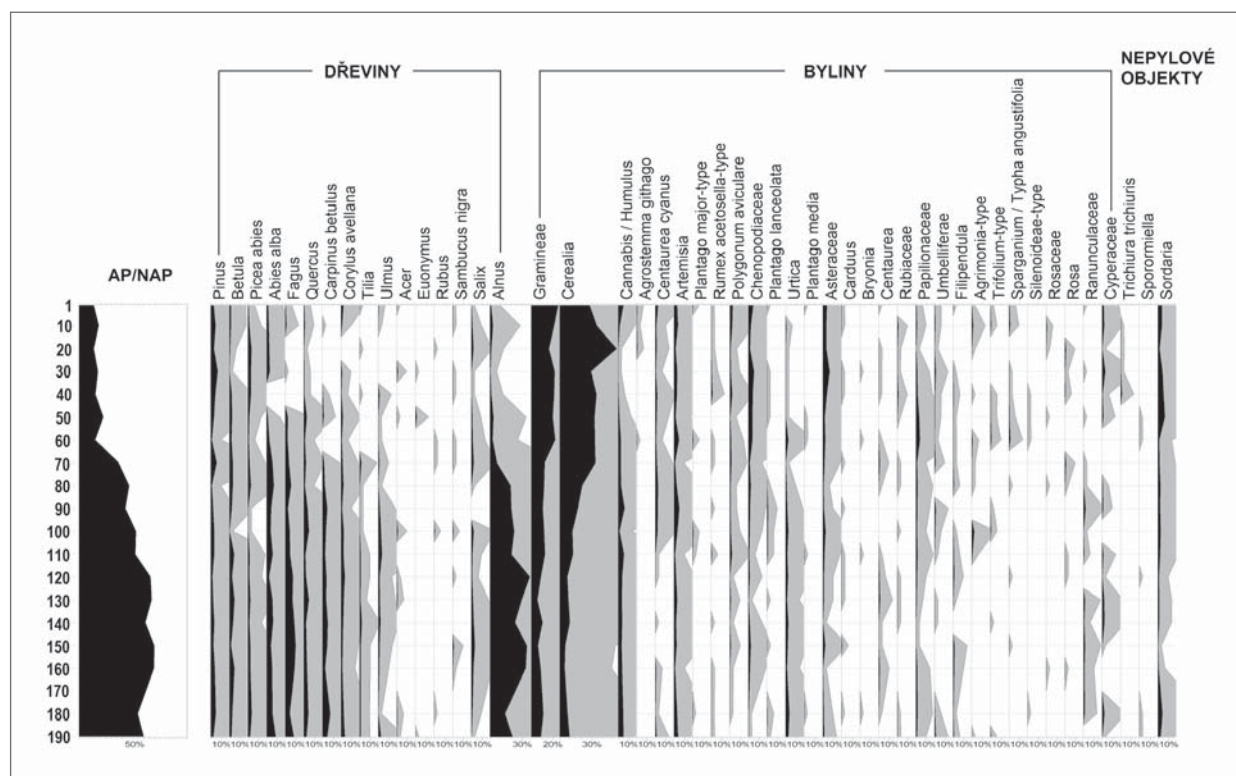
Druh	Ekoskupina	MNI
<i>Pisidium amnicum</i>	10RV	28
<i>Unio crassus</i>	10RV	708
<i>Unio pictorum</i>	10RV	39
<i>Anodonta anatina</i>	10RV(SG)	9
<i>Unio tumidus</i>	10SG-RV	6
<i>Radix balthica</i>	10SG-RV	5
<i>Planorbis planorbis</i>	10PD	3
<i>Cepaea hortensis</i>	2SI(AG)	26
<i>Helix pomatia</i>	2SIth	6
<i>Ostrea edulis</i>	mořské	2

Určitě se nejedná o sedimenty Ponávky, které obsahují pouze úlomky hornin z brněnského masivu. Podobně datované sedimenty byly odkryty v prostoru nedaleké bývalé textilní fabriky Vlněna. Zde byl zachycen laterálně

Tab. 4: Druhy měkkýšů, jejich množství a lokalizace v sondách S11 a S9.

Tab. 4: Species of molluscs, their quantity and localization in excavated trenches S11 and S9.

Vrstva	Druh	MNI
170	<i>Pisidium amnicum</i>	2
170	<i>Unio crassus</i>	2
170	<i>Unio pictorum</i>	1
178	<i>Unio crassus</i>	4
178	<i>Unio pictorum</i>	1
178	<i>Unio tumidus</i>	1
224	<i>Unio crassus</i>	5
224	<i>Unio pictorum</i>	2
224	<i>Anodonta anatina</i>	1
235	<i>Unio crassus</i>	29
235	<i>Unio pictorum</i>	2
1170	<i>Unio crassus</i>	25
1170	<i>Unio pictorum</i>	1
1177	<i>Unio crassus</i>	38
204	<i>Cepaea hortensis</i>	1
204	<i>Helix pomatia</i>	1



Obr. 6: Palynologická analýza profilu v sondě S11.

Fig. 6: Palynological analysis of profile in the excavated trench S11.

k JZ až J migrující komplex jeseňů. Petrografické složení šterku zde poukazuje, že se jedná o sedimenty Svratky, nikoliv Svitavy. Soustava koryt Svratky byla zachycená jihozápadně, na lokalitě při ulicích Dorných a Přízová, což naznačuje, že holocenní fluvialní sedimenty tvořily v 13. století kosovitou, k J ubíhající vyvýšeninu nad okolní nivou. Mladší zachycené sedimenty tvořily výplň průtočného koryta (orientovaného na JJZ), které vzniklo pravděpodobně za zvýšeného průtoku. Prostorové ohraničení paleokoryt řeky Svratky v areálu při ulicích Dorných a Přízová napovídá, že starší holocenní písčito-prachovité až jílovito-písčité sedimenty šedé nebo okrově-šedé barvy oddělovaly ve středověku inundace Svratky a Svitavy. Srovnání s typochronologií keramiky naznačuje, že v případě řeky Svratky jeseňy a koryta migrovala k jihu od 11.–12. století do 13.–15. století (Antal 2019).

Nálezy keramiky ve spodní části dokumentačního bodu Log1 na lokalitě Křenová dokazují, že sedimenty v těchto vrstvách se usazovaly ve 12. až 13. století. Svrchní část dokumentačního profilu Log1 je podle charakteru a zrnitosti sedimentu tvořena přelivovými sedimenty s archeologickým materiálem, který byl datován do 15. století. To naznačuje, že je možné v tomto časovém období předpokládat zvýšenou povodňovou aktivitu a erozi v povodí. Situace v sondách S8 a S9 navazuje na vývoj, který byl odkryt v sondě S11 a odpovídá navazujícímu období od 15. století až do novověku. Z hlediska fluvialní morfologie je možné ve zkoumaném profilu vymezit tři fáze existence koryta z období kolem 13. století (obr. 8). Byl zachycen také jeseň ve spodních dvou fázích a můžeme tedy předpokládat, že koryta byla vyhloubena a zaplněna meandrujícím tokem (obr. 1C). Vnitřní břeh koryta byl

zachycen na stejné straně jako jeseňy, nárazový břeh byl na straně opačné. Zajímavý byl také objev měkkýšů, kteří kolonizovali povrch jeseňy. Orientace úklonu vrstev jeseňy se měnila od báze ze směru S–J na SSZ–JJV, na čemž je možné pozorovat změnu prostorové orientace koryta v čase. Odkryt byl také paleobřeh, který je tvořen písčitými prachovými sedimenty s oglejeným půdním horizontem a pozorovatelnými kanálky po kořincích rostlin.

Výsledky zrnitostní analýzy (obr. 3) k dokumentačnímu bodu Log1 odpovídají makroskopickému litofaciálnímu členění. V profilu bylo viditelné střídání vyššího zastoupení písků a jílu při bázi (pod niveletou 196) jako důsledek změn v dynamice vodního průtoku. Následně jsou pozorovány písčité silty s proměnlivým zastoupením písků (niveleta 197,2 až 196), které taktéž mohou odrážet periody se zvýšeným nebo obnoveným průtokem. Homogenní písčité silty byly uloženy nad niveletou 197,2.

Geochemické posouzení historického znečištění

Existuje korelace mezi semi-systematickým zvyšováním koncentrace kovů a klesající velikostí zrn sedimentů pod 63 μm (Miller a Orbock Miller 2007). Zvýšení koncentrace kovů v jemnozrnnějším sedimentu mohou být způsobeny velikostí povrchové plochy sedimentů; zvýšeného množství reaktivních sloučenin jako je organická hmota nebo oxidy a hydroxidy železa a manganu v sedimentu; rozdíly v mineralogii zrn sedimentu (Miller a Orbock Miller 2007). Podle výsledků ze zrnitostní analýzy a ED-XRF analýzy a výpočtu EF je patrné, že vyšší koncentrace vybraných prvků lze pozorovat ve vrstvách s jemnozrnným sedimentem a na jejich rozhraní s hrubším sedimentem. Je tedy pravděpodobné, že zde dochází

ke koncentrování a srážení jednotlivých kovů. Z výsledků z výpočtu EF můžeme konstatovat, že je zde přítomné mírné obohacení sedimentu fosforem, který může souviset s lidskými aktivitami ve středověku nebo může pocházet z okolní kanalizace. Zvýšené množství mědi v sedimentech ze 16. století může být způsobeno vybudováním barvířské dílny na lokalitě v roce 1771. Výsledky z výpočtů korelačního koeficientu neobjasnily přesný původ zvýšené koncentrace fosforu v sedimentech. Je možné, že se jedná o kontaminace pravděpodobně antropogenního původu.



Obr. 7: Měkkýši nalezení v jesepe v sondě S11.

Fig. 7: Molluscs found in point bar in the excavated trench S11.

Rekonstrukce životního prostředí

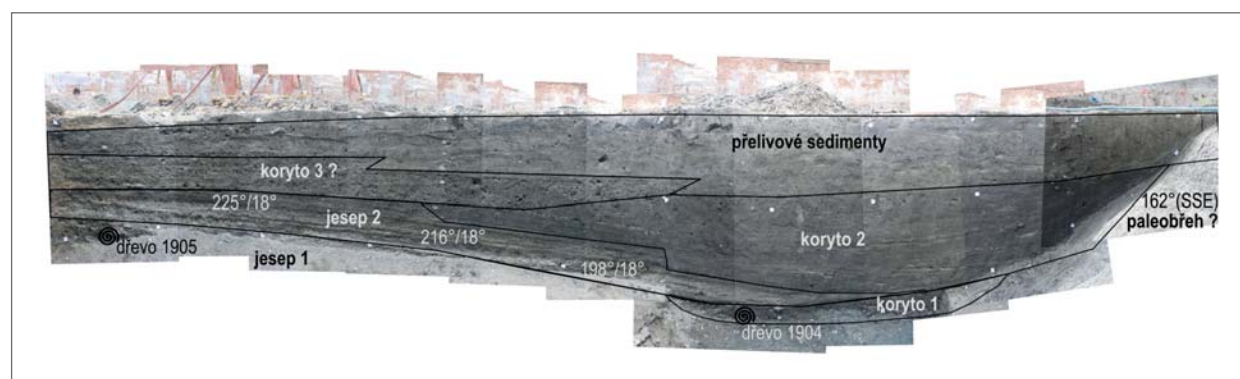
Naprostá převaha schránek velevrubů indikuje alespoň mírně protékající koryto vodního toku. Zachycené terestrické druhy ukazují na širší škálu stanovišť, od otevřených po zarostlá křovinami (páskovka). Přítomnost druhu velevruba tupého (*Unio crassus*) ve vrstvě indikuje, že voda byla čistá a jednalo se s velkou pravděpodobností o písčité jesepe. Byli zachyceni i importovaní mořští měkkýši, kteří mají pravděpodobně původ v odpadu ze středověkého města. Jelikož tato analýza zahrnuje pouze schránky měkkýšů sesbíraných během výkopových prací a nikoli z plavení, není možné na základě malakofauny přesněji určit ekologické charakteristiky okolí vodního toku.

Palynologicky analyzovaný profil výplní zaniklého koryta ukazuje jeho postupné zaplňování, a hlavně nárůst lidských aktivit v jeho bezprostředním okolí. Pyl jedle (*Abies*) je častý v období vrcholného středověku i v nížině, a pravděpodobně indikuje lesní pastvu, vůči které je jedle odolná (Kozáková et al. 2011). Jedle začíná ustupovat až v novověku, a to díky změně hospodaření

v lesích, hlavně zavedením holoseči a umělé obnovy lesa. Zajímavý je výskyt jedle (*Abies*) a buku (*Fagus*), které ukazují relativně přírodě blízké lesy. Ostatní dřeviny odpovídají lesní vegetaci vrcholného středověku, které je silně pod vlivem člověka.

Změna pylové skladby v horní části profilu (1–70 cm) poukazuje na postupující odlesňování okolí města a změnu druhového složení zbylé lesní vegetace v okolí Brna, jako je úbytek habru (*Carpinus*), lísky (*Corylus*) nebo buku (*Fagus*).

Konopí (*Cannabis sativa* typ) dokládá jeho dřívější využití jako prádne plodiny, viz četná toponyma, jako je Konopná ulice v Brně. Místo odběru vzorků, ve kterých byl nalezen vyšší podíl konopí (*Cannabis sativa*), v minulosti pravděpodobně sloužilo k jeho zpracování (např. k máčení). Pyly koukolu (*Agrostema githago*) a chrpy modráku (*Centauraea cyanus*) jsou typické pro obilná pole. Zajímavostí je, že pylu obilovin v mladších vrstvách přibývá, ale podíl pylu obilných polí se nemění. To ukazuje na odlišnou tafonomii pylového spektra, kdy je na bázi profilu zachycena vegetace včetně polí, ale



Obr. 8: Fotogram profilu R71 v sondě S11 s geomorfologickou interpretací sedimentárních těles.

Fig. 8: Photogram of the profile R71 in excavated trench S11 with geomorphological interpretation of sedimentary bodies.

v mladších vrstvách už převažuje manipulace s obilím, které je zdrojem jeho pylu, nikoliv jeho intenzivní pěstování v urbanizovaném městě.

Jiné mokřadní nebo vodní rostliny zachyceny nejsou. Důvodem může být zástin olší (*Alnus*), které jsou vázány na zamokřená stanoviště okolo zanikajícího meandru a intenzivní lidskou činnost. V důsledku toho je mokřadní vegetace silně ruderalizovaná a indikuje intenzivní sešlapávání. Převažují nitrofilní plevele jako je kopřiva (*Urtica*), která se spíše vyskytuje jako podrost olší (*Alnus*) a merlíkovité (*Chenopodiaceae*). S tím souvisí i malý podíl pylu šťovíku menšího (*Rumex acetosella*), který naopak vyžaduje na dusík a živiny chudá stanoviště. Tyto výsledky ukazují stanovištní diverzitu v zázemí města a různorodost substrátů z hlediska vlhkosti a různé míry eutrofizace. Ostatní byliny zachycené v pylovém spektru mají většinou širokou ekologickou amplitudu a ukazují druhovou bohatost. Vysoký podíl různých pylových typů čeledi hvězdnicovitých ukazuje na teplomilnou vegetaci typickou pro dnešní nížinu jižní Moravy. Vodní rostliny a zelené řasy nejsou zachyceny vůbec, což ukazuje na sedimentární podmínky, kdy zanikající meandr byl alespoň periodicky průtočný, a tak nedošlo k rozvoji vodní vegetace a společenstev zelených řas potřebujících stojatou vodu.

Nepylové objekty jsou zachyceny jen ojediněle. Lokalita byla pravděpodobně bohatá na dusík, viz křivky pylu kopřivy (*Urtica*), ale nesloužila jako fekální areál pro lidi nebo domácí zvířata.

Závěr

V prostoru ulice Křenová bylo zachyceno vedlejší koryto řeky Svitavy, které bylo aktivní od 13. století a erodovalo starší holocenní fluvialní sedimenty analogické k těm, které byly zachyceny během záchranného archeologického výzkumu na nedaleké lokalitě Vlněna (Čižmář et al. 2018). Vlhký charakter nivy v 13. století je

doložen oglejeným horizontem zachyceným v nárazovém břehu koryta, ale také palynologickou analýzou, pomocí které byla zjištěna přítomnost olší a vrb v okolí meandru. V průběhu 13. století profil odráží druhově bohatou vegetaci v bezprostředním zázemí středověkého města a postupující městskou urbanizaci. Krajina byla zcela odlesněná, lokálně se ze dřevin vyskytovala hlavně olše (*Alnus*), která byla v důsledku rozvoje města a narůstajících lidských aktivit také eliminována. Neobvyklá je vysoká druhová diverzita analyzovaného pylové spektra, a to i na středověké období.

K celkovému zaplnění koryta přelivovými sedimenty došlo až v 15. století. V historickém kontextu nebylo antropogenní znečištění na lokalitě nijak výrazné a mohlo případně pocházet z okolních jímek, jak naznačují mírně zvýšené koncentrace fosforu v sedimentu. Relativně čisté vodní prostředí dokazuje nález velevruba tupého (*Unio crassus*). Ve vrchní části profilu (odpovídající době od 16. století) převažuje pyl obilovin jako výsledek změn využívání okolí zanikajícího meandru, kdy pylový spád nepochází z volně rostoucí vegetace. Je tak spíše odrazem lidských aktivit a odpovídá více vlastnímu intravilánu středověkého města než jeho zázemí. Zajímavostí je výrazný podíl pylu konopí (*Cannabis sativa* typ) ukazující jeho význam v nedávné minulosti. V novověku pravděpodobně došlo k mírné kontaminaci zinkem a mědí, zřejmě v souvislosti s existencí barvířské dílny. Lze uvažovat o tom, že v souvislosti se změnami hydrologického režimu mohlo docházet ke změnám řečišť a Ponávka se mohla vlévat do Svitavy místo do Svratky.

Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem Technologická agentura ČR: TL03000537. Optimalizovaná archeologická predikce v procesu přípravy staveb velkého rozsahu (Archeopredikce). Autoři děkují redakci a recenzentům za konstruktivní připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu.

Literatura

- Antal, R. (2019). Rezidence KRONA, nálezová zpráva. Dokument M-TX-202200240. Archaia Brno, z.ú. Dostupné z: <https://digiarchiv.aiscr.cz/id/M-TX-202200240>.
- Bábek, O., Faměra, M., Hilscherová, K., Kalvoda, J., Dobrovolný, P., Sedláček, J., Machát, J., Holoubek, I. (2011). Geochemical traces of flood layers in the fluvial sedimentary archive; implication for contamination history analyses. – *Catena*, 87, 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.014>
- Barbieri, M. (2016). The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. – *Journal of Geology and Geophysics*, 5, 237. <https://doi.org/10.4172/2381-8719.1000237>
- Beug, H. J. (2004). Leitrafaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. – Pfeil, München.
- Český úřad zeměměřičský a katastrální. Geoportál. Geoprohlížeč. – On-line: <https://ags.cuzk.cz/archiv/>, shlédnuto dne 8. 11. 2022.
- Čižmář, I., Zbranek, H., Zubalík, J. (2018). Brno (k.ú. Trnitá, okr. Brno- město). Přehledy výzkumů 59–2, 227–228.
- Demek, J., Mackovič, P., Balatka, B. (2006). Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. Vyd II. – AOPK ČR. Brno.
- Grygar, T., Světlík, I., Lisá, L., Koptíková, L., Bajer, A., Wray, D. S., Ettler, V., Mihaljevič, M., Nováková, T., Koubová, M., Novák, J., Máčka, Z., Smetana, M. (2010). Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposit of the Morava River in Stražnické Pomoraví, Czech Republic from the last millennium. – *Catena*, 80, 106–121. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.09.005>
- Horsák, M., Juříčková, L., Picka, J. (2013). Měkkýši České a Slovenské republiky. – Zlín.
- Kadlec, J., Grygar, T., Světlík, I., Ettler, V., Mihaljevič, 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. <https://doi.org/10.1177/0959683608101398>
- Kozáková, R., Šamonil, P., Kuneš, P., Novák, J., Kočár, P., Kočárová, R. (2011). Contrasting local and regional Holocene histories of *Abies alba* in the Czech Republic in relation to human impact: Evidence from forestry, pollen and anthracological data. – *The Holocene*, 21, 3, 431–444. <https://doi.org/10.1177/0959683610385721>
- Lisický, M. J. (1991). *Mollusca Slovenska*. – Bratislava.
- Lyman, R. L. (2008). *Quantitative Paleozoology*. – New York.
- Miller, J. R., Orbock Miller, S. M. (2007). Contaminated rivers: A geomorphological-geochemical approach to site assessment and remediation. – Springer. Dordrecht. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511813863>
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collingson, M. E. (1991). *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications. – Oxford. Second edition.
- Nalepka, D., Walanusz, A. (2003). POLPAL – Program for counting pollen grains, diagram plotting and numerical analysis. – *Acta Palaeobotanica Suppl.* 2, 659–661.
- Starkel, L. (2005). Role of anthropogenic and climatic factors accelerating soil erosion and fluvial activity in Central Europe. – *Studia Quaternaria*, 22, 27–33.
- Vodohospodářský informační portal VODA. – On-line: <https://www.voda.gov.cz/?page=dilci-povodi-mapa>, vzhlednuto dne: 16. 12. 2022.

Hydrogeologické poměry hydrogeologického rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy z hlediska tvorby podzemní vody jako zdroje vody pitné

Hydrogeological conditions of hydrogeological area 4232 Ústí syncline in the drainage basin of the Svitava river from the point of view of groundwater formation as a source of drinking water

Jitka Novotná¹✉, Roman Hadacz¹, Kristián Drahoš¹, Jan Sedláček¹, Eva Kryštofová¹, Vít Baldík¹, Jiří Rez¹, David Honek²

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, Česká republika

² Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Mojžírovo náměstí 16, 612 00 Brno, Česká republika

Key words:

Groundwater, water quality, Ústí syncline, nitrates, pesticides, pseudokarst, mean residence time

✉ jitka.novotna@geology.cz

Editor:

Jiří Faimon

Abstract

Hydrogeological area 4232 Ústí syncline in the drainage basin of the Svitava river is producing very significant amounts of underground water. This water has been used as drinking water since 1914 for the Brno agglomeration. Two hydrogeological structures are exploited: aquifer C (Jizera formation) and aquifer B (Bílá hora formation). The Ústí syncline represents an asymmetrical graben, the deepest part of which is delineated by the Semanín and Svitava faults. The underground water of both structures is replenished by rainfall in the areas where they crop-out, namely in the eastern flank of the whole syncline. Systematical monitoring of the quality of the underground water has been running in the area for a very long time. It comprises mainly monitoring of the water quality in the individual production areas and monitoring of wells of the Czech Hydrometeorological Institute. Evaluation of all these data showed, that the whole area of the Ústí syncline, but especially the aquifer C, is threatened by areal pollution by nitrate compounds and locally by pesticide metabolites. Nitrate content reach up to 40 mg/l, which is the limit concentration set by the regulation 252/2004 Sb. Pesticides locally exceed the limit concentration. This shows, that the most dangerous compounds for the underground water as potential contaminants are clearly compounds closely connected with agriculture. The introduction of potential contaminants is of course controlled by the hydrogeological properties of rocks, i.e. whether it is a reservoir rock or a sealing rock. Sandstones of the aquifer C are separated by a layer of marl, sometimes called the Ca/Cb aquiclude. However, in the near-surface zone and in outcrops, this marl is heavily fractured and is very permeable. The Ústí syncline is also known for several pseudo-karst caves. Moreover, deeper pseudo-karst caverns were penetrated by boreholes by accident during the exploration of the Semanín fault zone. This karst permeability enables rapid spreading of infiltrating compounds including all possible pollutants. Based on tritium activity, freons and SF₆ measurements, the mean delay times of the underground water in the Ústí syncline is estimated to be the first tens of years. One cannot presume any natural attenuation of very stable pesticides metabolites, just dilution. Based on this, there is a very real risk, that with increasing share of underground water younger than 2010, which has much higher concentration of pollutants, the concentration of these compounds will increase in exploited underground water.

Doporučená citace článku:

Novotná, J., Hadacz, R., Drahoš, K., Sedláček, J., Kryštofová, E., Baldík, V., Rez, J., Honek, D. (2023). Hydrogeologické poměry hydrogeologického rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy z hlediska tvorby podzemní vody jako zdroje vody pitné. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 30, 1–2, 66–72.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2023-36977>

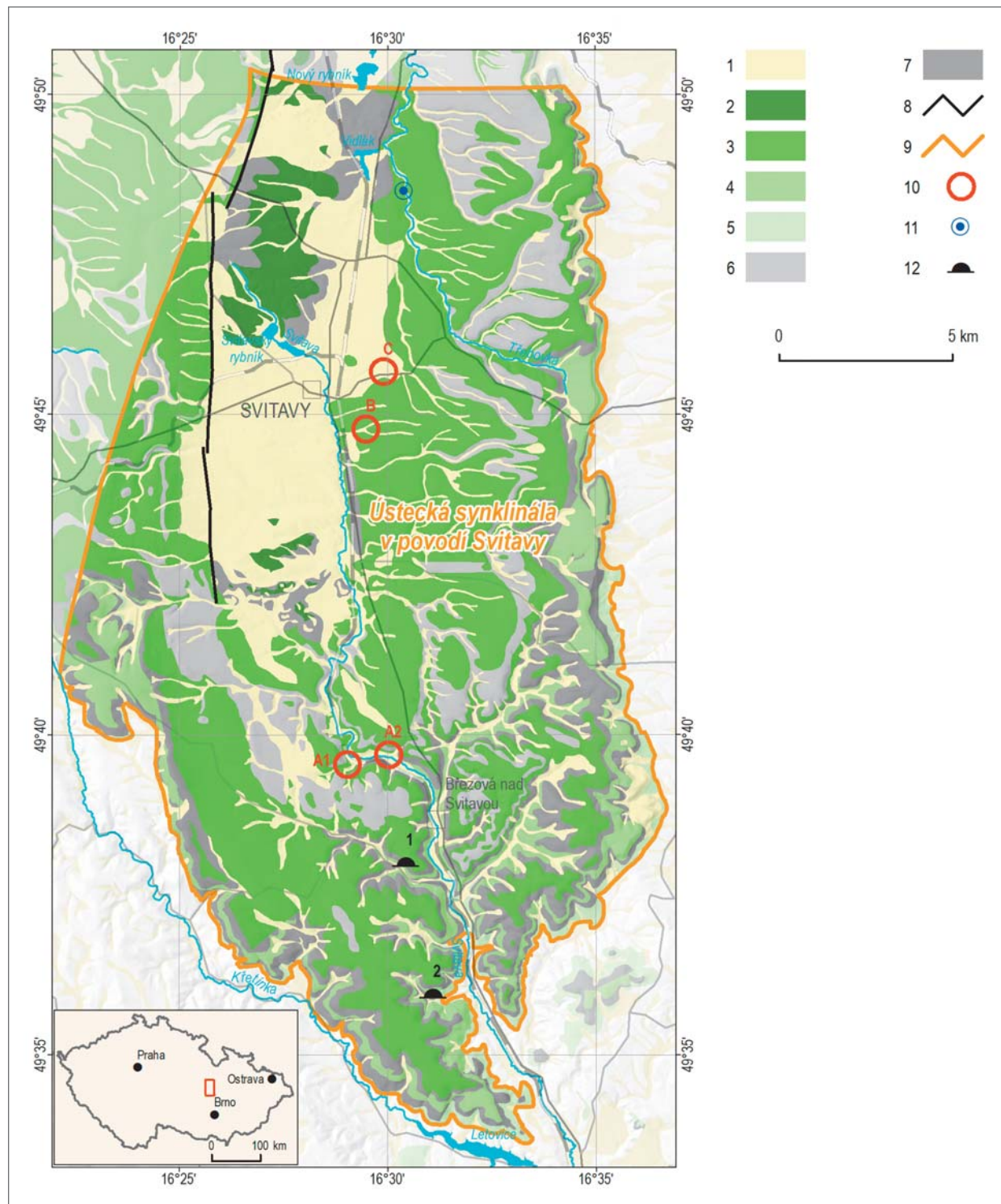
Úvod

Hydrogeologický rajon (HGR) 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy představuje nejjihnější souvislý výskyt sedimentů České křídové pánve. Exploatace podzemní vody zde probíhá nepřetržitě už od roku 1914 a jímací území Březová nad Svitavou je jedním ze dvou současných zdrojů pitné vody pro brněnskou aglomeraci. Současně je na území hydrogeologického rajonu odebírána

voda pro Svitavy a v jižní části synklinály se nachází další drobné zdroje pitných vod.

V roce 2022 byly vyhodnoceny dlouhodobé řady monitoringu kvality podzemní vody, které potvrdily setrvávající, ne zcela vyhovující, kvalitu podzemních vod v hydrogeologickém rajonu 4232. V současnosti je

velkým problémem vliv intenzivního zemědělství, které je hlavní příčinou relativně vysokých obsahů dusičnanů v hydrogeologickém kolektoru C (jizerské souvrství). S intenzivní zemědělskou činností souvisí i opakované zjištění metabolitů pesticidních látek opět v podzemní vodě kolektoru C.



Obr. 1: Geologické schéma hydrogeologického rajonu 4232. Legenda: 1 – kvartér a terciér; 2 – kolektor D; 3 – kolektor C; 4 – kolektor B; 5 – kolektor A; 6 – izolátor Ca/Cb; 7 – izolátor; 8 – semanínský zlom; 9 – hranice hydrogeologického rajonu; 10 – jímací území; 11 – vrt VP7214; 12 – pseudokrasové jevy.

Fig. 1: Geological scheme of hydrogeologic region 4232. Map legend: 1 – Quarternary and Tertiary; 2 – aquifer D; 3 – aquifer C; 4 – aquifer B; 5 – aquifer A; 6 – aquiclude Ca/Cb; 7 – aquiclude; 8 – Semanín fault; 9 – boundary of hydrogeologic area; 10 – catchment area; 11 – well VP7214; 12 – pseudocast phenomena.

Hydrogeologické poměry a jímání podzemní vody

Rozloha hydrogeologického rajonu 4232 je cca 358 km². Rajon spadá do dílčího povodí Dyje. Hlavní povodí je povodí Dunaje. Hydrogeologický rajon 4232 je orientovaný ve směru S–J. Jeho šířka v s. části dosahuje zhruba 7 km, směrem ke středu se ale rozšiřuje až na 16 km v okolí Radiměře. Jižní část hydrogeologického rajonu je trychtýřovitého tvaru s ukončením s. od Letovic. Severozápadní hranice hydrogeologického rajonu je navázána na sousední hydrogeologický rajon 4270, jz. a v. omezení hydrogeologického rajonu je dáno morfologií terénu (Křetínka, Chrástovský potok, Hřebečovský hřbet). Hranice hydrogeologického rajonu na J a V určuje rozsah křídových sedimentů. Severní omezení rajonu 4232 je dáno rozvodnicí podzemní vody mezi proudovým systémem drénovaným do Orlice (hydrogeologický rajon 4231 Ústecká synklinála v povodí Orlice) a proudovým systémem drénovaným do Svitavy (hydrogeologický rajon 4232), která je v čase kvazistabilní. Její poloha se v jednotlivých kolektorech mění podle aktuálního piezometrického stavu (Burda, Grundloch, eds 2016).

Ve smyslu litostratigrafickém (Čech et al. 1980) jsou vyčleňována jednotlivá souvrství (obr. 1): perucko-korycanské (střední–svrchní cenoman, hydrogeologický kolektor A), bělohorské (spodní–střední turon, hydrogeologický kolektor B), jizerské (střední–svrchní turon, hydrogeologický kolektor C), teplické a březenské (coniak, hydrogeologický kolektor D). Z hlediska tvorby podzemní vody a její následné exploatace jako surové vody na výrobu vody pitné jsou nejvýznamnější souvrství bělohorské (hydrogeologický kolektor B) a jizerské (hydrogeologický kolektor C). Geologické schéma hydrogeologického rajonu 4232 je uvedena na obrázku 1. Stratigrafické vymezení hydrogeologických kolektorů a izolátorů je uvedeno v tabulce 1.

Tradiční představa o vrásově stavbě ústecké synklinály je v současné době modifikována. Výsledky geologického mapování 1 : 25 000 při rozhraní „vysokomýtské“ a „ústecké synklinály“ a morfostrukturní analýzy (Valigurský – Čech 2003; Čech, ed. 2011; Grygar 2004) ukázaly, že tzv. potštejská antiklinála je tvořena soustavou automorfních hrástí (vznikla relativním poklesem sousedních bloků), „ústecká synklinála“ představuje asymetrický příkop. Východní část hrástové struktury tvoří k V ukloněné křídové vrstvy – tzv. radiměřskou flexuru, v oblasti Kozlovského hřbetu jde o orlicko-ústeckou flexuru (Svoboda, ed. 1962). Svitavský příkop je na Z vymezen tektonickou zónou semanínské zlomu, na V svitavským zlomem. Rovněž na J a na S je svitavský příkop omezen tektonicky. Na severu příkop zasahuje až k České Třebové. Východně od svitavského příkopu se zvedá další hrástovitá struktura, která je však zachována jen částečně v důsledku kenozoické inverze reliéfu.

Tab. 1: Stratigrafické vymezení.

Tab. 1: Stratigraphic delimitation.

Číslo legendy obr. 1	Stratigrafické zařazení		Hydrogeologická charakteristika
6	terciér a kvartér		
7	coniak	teplické a březenské souvrství	kolektor D
12			izolátor C/D
8	střední turon	jizerské souvrství	kolektor Cb
11			izolátor Ca/Cb
8			kolektor Ca
12			izolátor B/C
9	spodní turon	bělohorské souvrství	kolektor B
12			izolátor A/B
10	cenoman	perucko-korycanské souvrství	kolektor A

Podzemní voda jednotlivých kolektorů je doplňována na jejich výchozech, především na ploše v. křídla synklinály a na potštejské antiklinále. Dotace influkcí ze Svitavy je v oblasti nad jímacím územím Březová nad Svitavou minimalizována vybudováním betonového koryta. V pramenné oblasti má koryto pouze stagnující vodu nebo je zcela bez vody (např. terénní rekognoskace červen 2023) a voda se v korytě objevuje až po vyústění odpadní vody z ČOV v místě soutoku s pravostranným přítokem – Vendolským potokem.

Území hydrogeologického rajonu 4232 patří v rámci České republiky k hydrogeologicky nejdéle monitorovaným územím, první jednorázová měření vydatnosti tzv. Banínských pramenů proběhla již v dekadě 1881–1890. Na základě těchto měření bylo postupně vybudováno jímací území (JÚ) Březová nad Svitavou v místě drenáže hydrogeologických kolektorů C a B do údolní nivy Svitavy. V roce 1914 byl do provozu uveden I. březovský vodovod, násoskovým systémem je v ražené štolě exploatován kolektor C z. svahu synklinály. Prameny kolektoru C v. svahu synklinály a zvodeň kolektoru B jsou jímány II. březovským vodovodem. Kolektor C je opět jímán násoskovým řadem (vrty jsou překryty betonovou zasypnou štolou), kolektor B je exploatován aktivně čerpanými hydrogeologickými vrty (Burda, Grundloch, eds. 2016).

Podzemní vody v hlavních vodárensky využívaných kolektorech B a C mají jednotvárný chemismus, téměř všude převažuje hydrochemický typ Ca-HCO₃. Podzemní vody kolektoru C mají obecně vyšší celkovou mineralizaci, než v kolektoru B. Celková mineralizace se v kolektoru B pohybuje převážně okolo 0,30–0,35 g/l. V kolektoru C celková mineralizace stoupá přibližně od oblasti stoku směrem do centra pánve – od 0,3 do 0,4 g/l na hodnoty 0,5–0,7 g/l (Burda, Grundloch, eds. 2016).

Specifickým jevem křídových sedimentů je tvorba pseudokrasových fenoménů. Na území hydrogeologického rajonu 4232 jsou známy dvě pseudokrasové jeskyně – U Rozhraní a Čertovy díry u Bělé nad Svitavou. Problematiku vytváření pseudokrasových dutin studoval na systému pseudokrasové jeskyně U Rozhraní Zachariáš (1989). Jeskyně je cca 50 m dlouhá, 25,6 m hluboká a je tvořena pěti až šesti nad sebou ležícími patry. Musil (1987) předpokládá dvoufázový vznik jeskyně, v první fázi dochází k rozpouštění a odnosu CaCO₃ za současného

Tab. 2: Zpracovaná data.

Tab. 2: Processed data.

Zdroj	Objekt	Identifikované kontaminanty	Období
Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.	I. březovský přivaděč	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , pesticidy v kolektoru C	analýzy měsíčně od roku 1986
	II. březovský přivaděč – ES (evakuační studna)	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , pesticidy v kolektoru C	analýzy měsíčně od roku 1999
	II. březovský přivaděč – SS (sběrná studna)	NO ₃ ⁻ v kolektoru B	analýzy měsíčně od roku 1997
IV vrty	IV101-IV116	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , pesticidy v kolektoru C F ⁻ v kolektoru B	analýzy do roku 1996 nepravidelně, od roku 1997 3× ročně
ČHMÚ https://isvs.chmi.cz/	VB9802, VB9803, VB9813, VB9814, VP7211, VP7212, VP7213, VP7214	NO ₃ ⁻ , pesticidy v kolektoru C	odběry do roku 1991 nepravidelně, od roku 1992 2× ročně
Vodárenská Svitavy s.r.o.	Lány (SV1, SV2, SV3, SV4)	NO ₃ ⁻ v kolektorech C a B (k dispozici pouze NO ₃ ⁻)	analýzy 2× ročně, předáno od roku 2010
	Olomoucká (S1, S2, S3, S4, S5)	NO ₃ ⁻ v kolektorech C a B (k dispozici pouze NO ₃ ⁻)	odběry 2× ročně od 2010
	malé zdroje – Opatovec	NO ₃ ⁻ (k dispozici pouze NO ₃ ⁻)	odběry 3–5 ročně od 2005
Česká geologická služba	4232_1C, 4232_2, 4232_3D	NO ₃ ⁻ , pesticidy v kolektoru C	odběry byly provedeny jednorázově v letech 2014 až 2015

vzniku plastické zóny v odvápněných slínovcích až jílech. Po narušení plastické zóny hloubkovou erozí toku se ve druhé fázi rozvine svahový pohyb. Zachariáš (1989) provedl analýzy vzorků v profilu slínovců až jílu, kdy byl potvrzen úbytek karbonátů v plastické zóně.

Metodika

Systematický monitoring kvality podzemní vody probíhá v oblasti HGR dlouhodobě, jednak jako monitoring surové vody (JÚ Březová nad Svitavou, JÚ Olomoucká, JÚ Čtyřicet lánů, malá jímací území – monitoring realizují provozovatelé jímacích území), dále pak v rámci monitoringu ČHMÚ (monitorováno je osm vrtů). Sledovány jsou i vrty monitorovacího systému IV., monitoring realizují Brněnské vodárny a kanalizace, a. s. Jednorázově byla provedena stanovení kvality na vrtech realizovaných v rámci projektu Rebilance zásob podzemních vod (Česká geologická služba, Burda a Grundloch, eds. 2016).

Odběry vzorků podzemní vody z vrtů byly vždy provedeny čerpáním do ustálení kvality podzemní vody. Analýzy dusičnanů byly prováděny metodami, které byly minimálně schopny stanovit koncentrace s požadovanou mezí stanovitelnosti a na úrovni limitní hodnoty daného ukazatele se stanovenou nejistotou měření (od roku 2004 podle vyhlášky č. 252/2004 Sb.). Pesticidní látky a jejich metabolity byly stanovovány metodou kapalinové chromatografie s MS/MS detekcí.

Hodnoceny byly ukazatele, které mohou mít při překročení limitních koncentrací charakter kontaminace surové vody a jsou limitovány ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Soubor zpracovaných dat je uveden v tabulce 2.

Hodnoceny byly samostatně kolektor C a kolektor B. Hodnoty ukazatelů, které byly vyhodnoceny jako kontaminanty, nebo ty které potenciálně kontaminanty představují, byly zpracovány ve formě grafů a byly pro ně určeny vývojové trendy.

Výsledky

Na základě vyhodnocení realizovaných monitoringu byly identifikovány jako nejvýznamnějšími kontaminanty, které překračují legislativní limity:

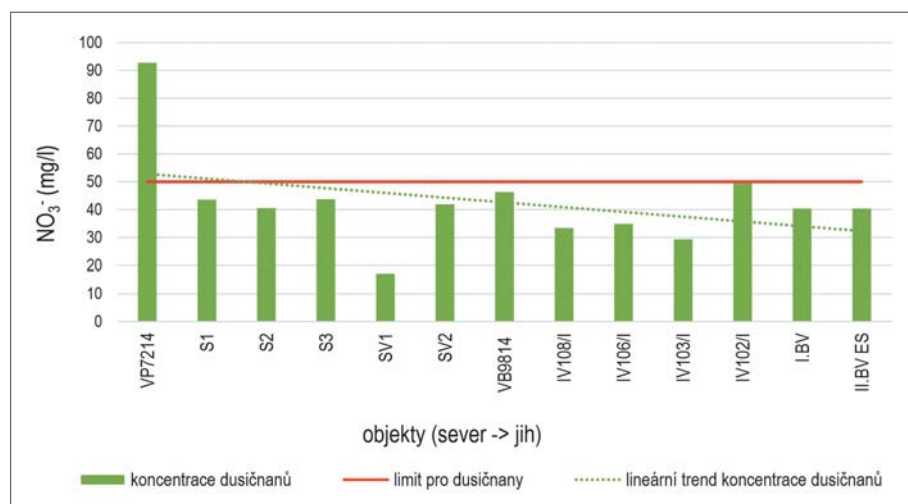
- dusičnany – kontaminant kolektoru C rozšířený v celém objemu podzemní vody, lokálně zjišťován nad limit 50 mg/l, mírné riziko pro kolektor B, charakter plošné kontaminace v důsledku zemědělské činnosti, vysoké riziko zvyšování obsahu,
- pesticidy – velmi různorodá skupina látek, kontaminant kolektoru C, vysoké riziko zvyšování obsahu.

V případě, že byly v podzemní vodě stanoveny nadlimitní koncentrace dusičnanů, byly velmi často zjišťovány i nadlimitní obsahy pesticidů (a jejich metabolitů).

Na obrázku 2 jsou v grafu uvedeny průměrné obsahy dusičnanů v monitorovaných objektech za rok 2022 od S k J v kolektoru C. V severní části rajonu je překročen limit 50 mg/l daný vyhláškou 252/2004 Sb. Prakticky v celém kolektoru se obsahy dusičnanů blíží limitní koncentraci v celém objemu zvodně. Na obrázku 3 jsou pak uvedeny obsahy dusičnanů v kolektoru B. Obsah dusičnanů v kolektoru B se pohybuje pod hranicí 20 mg/l.

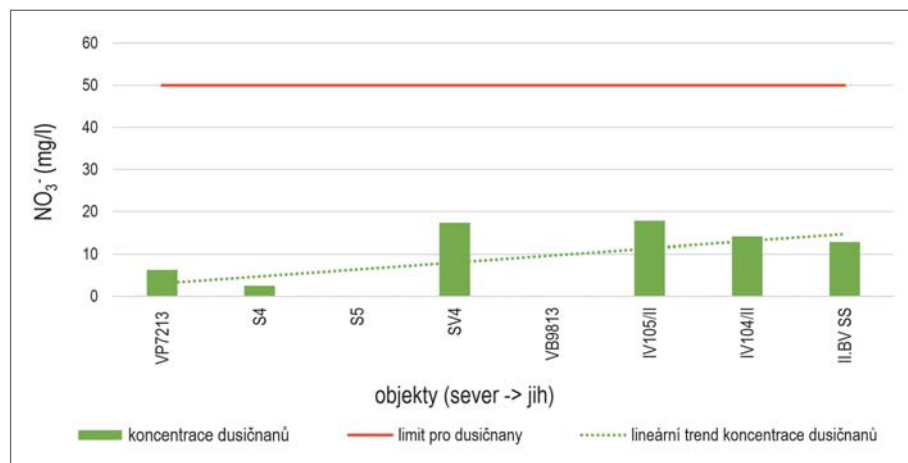
Dlouhodobý vývoj obsahu dusičnanů v oblasti drenáže podzemní vody hydrogeologického kolektoru C, tedy v místě I. březovského vodovodu, je uveden na obrázku 4. Z grafu je patrný nárůst průměrného obsahu dusičnanů mezi roky 1991 až 1997 o cca 10 mg/l. Samostatný monitoring kvality podzemní vody z I. březovského vodovodu do roku 1991 neprobíhal, sledována byla pouze směsná voda ve vodojemu, pitná voda byla směsí podzemní vody z kolektoru C a B. Maximální průměrná hodnota dusičnanů v kolektoru C (v I. březovském vodovodu) byla zjištěna v roce 2014 a to 45,52 mg/l.

Na obrázku 5 je uveden obsah pesticidů, respektive jejich metabolitů, v monitorovacím vrtu ČHMÚ VP724 Děřichov. V rámci zpracování analýz podzemní vody jde o objekt s nejvyššími zjištěnými hodnotami obsahu



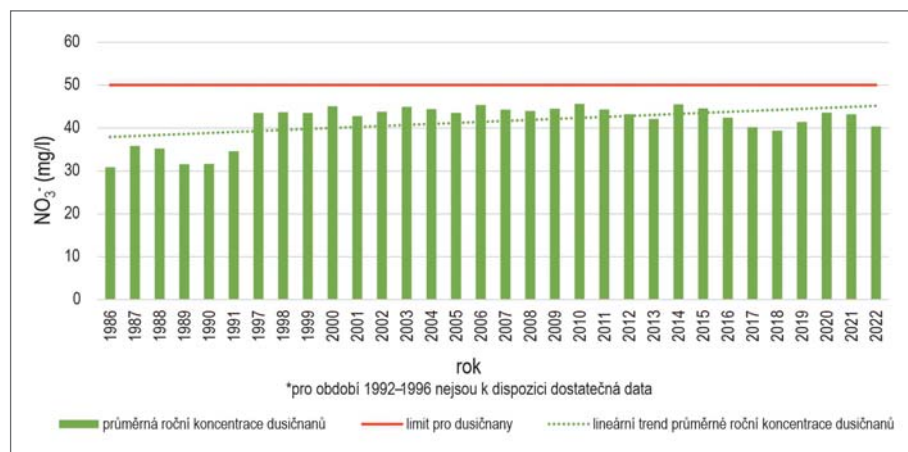
Obr. 2: Obsah dusičnanů v podzemní vodě kolektoru C.

Fig. 2: Nitrate content in groundwater of aquifer C.



Obr. 3: Obsah dusičnanů v podzemní vodě kolektoru B.

Fig. 3: Nitrate content in groundwater of aquifer B.



Obr. 4: Obsah dusičnanů v podzemní vodě I. březovského vodovodu.

Fig. 4: Nitrate content in groundwater of I. Březovský water main.

dusičnanů (v letech 2008 až 2021 byly stanovovány hodnoty v rozpětí 67,0 až 98,5 mg/l NO_3^-). Limitní koncentrace obsahu pesticidů, která je vyhláškou 252/2004 Sb. stanovena na 0,50 $\mu\text{g/l}$ jako nejvyšší mezná hodnota, je od roku 2010 překračována trvale. Před rokem 2010

nebyly metabolity pesticidů analyzovány.

Vrt VP724 Dětrichov je situován na s. okraji hydrogeologického rajonu 4232 a podzemní voda z této oblasti postupně dotéká do místa drenáže. Jde o jediný vrt, kterým je monitorována oblast infiltrace srážkových vod, ostatní monitorované objekty jsou situovány v oblasti drenáže synklinály nebo její osově části, kde dochází k mísení infiltrující vody s podzemní vodou s delší dobou zdržení. Obsah pesticidu je přirozenou atenuací – ředěním snižován.

Diskuze

Podzemní voda se v hydrogeologických kolektorech tvoří infiltrací srážek, HGR 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy představuje uzavřený hydraulický systém bez vnějšího dotačního zázemí. Hydrogeologické kolektory jsou tvořeny pískovci s průlínovou, puklinovou i krasovou porozitou. Na hranici HGR jsou známy pseudokrasové jeskyně, jde o Čertovy díry u Bělé nad Svitavou (obr. 6a, b) a jeskyně U Rozhraní. Charakter jeskyní odpovídá tomu, že v nich v minulosti proudila voda, např. vyhlazení povrchu dna i stropu jeskyně, chybějící sedimentární výplň. V rámci projektu Rebilance (Burda a Grundloch, eds. 2016) byly vrtnými pracemi v lokalitě Vendolí (oblast semáninského zlomu a radiměřské flexury) zjištěny rozsáhlé kaverny, které se v rámci realizace relativně širokého hydrogeologického vrtu nepodařilo překonat. V místě

byl následně proveden jen úzký jádrový vrt 4232_3W. Vrtem byl doložen stratigrafický skok cca 175 m, na kterém pravděpodobně dochází v důsledku vysokých rychlostí proudění ke vzniku krasových dutin. Vzhledem k existenci krasové porozity může docházet k rychlému šíření

látek nesených infiltrující vodou z povrchu, v oblasti stratigrafického skoku i mezi jednotlivými kolektory.

Na základě měření aktivity tritia, freonů a SF₆, které bylo v rámci rajonu 4232 provedeno v projektu Rebilance zásob podzemních vod (Burda a Grundloch, eds. 2016) pro prameny drénující kolektory C a B, vychází střední doby zdržení podzemní vody v rajonu 4232 v řádu prvních desítek let. V současnosti nejsou v oblasti drenáže podzemní vody kolektoru C a B, tedy v JÚ Brezová nad Svitavou, zjišťovány metabolity pesticidů. Přírozená atenuace

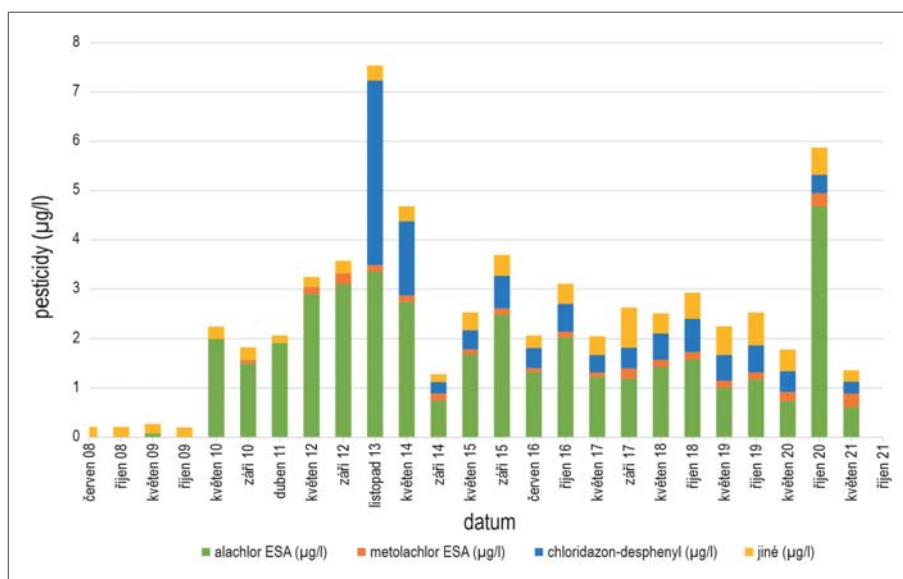
stabilních metabolitů pesticidů, není vyjma procesu ředění, který jistě probíhá, doložena. Hrozí tedy reálné riziko, že se zvyšujícím se podílem podzemních vod z období po roce 2010 (kdy došlo k prokazování zvýšeného obsahu metabolitů pesticidů v oblasti infiltrace), která doteče do oblasti drenáže, dojde k zvýšení obsahu těchto látek i v jímané podzemní vodě.

Při řešení návrhu ochranných pásem zdrojů pitných vod byly v minulosti křídové slínovce považovány za hydrogeologické izolátory. V HGR 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy tvoří slínovce (izolátor Ca/Cb), které oddělují spodní puklinový kolektor (kolektor Ca) a svrchní puklinový kolektor (kolektor Cb) jizerského souvrství, rozsáhlé plochy na povrchu terénu. Nově jsou tyto slínovce klasifikovány jako připovrchová zóna zvětralin (např. Krásný et al. 2012), která nezajišťuje nepropustné nadloží hydrogeologickým kolektorům. Křehké porušení slínovců bylo dokumentováno jednak v opuštěném lomu u železniční trati ze Svitav do Poličky (obr. 7) na z. svahu

synklinály. Na obrázku 8 je pak patrné v nově provedeném zářezu pro stavbu v obci Dětrichov na v. svahu synklinály.

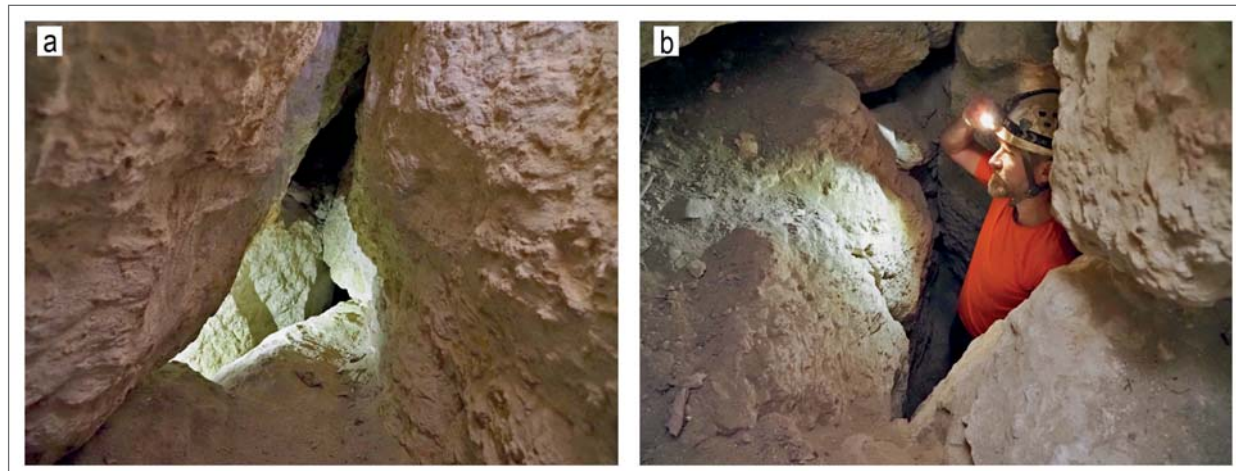
Jako zásadní se pro podzemní vodu z hlediska potenciálních kontaminantů ukazují látky, které souvisí se zemědělstvím, tedy dusičnany a metabolity pesticidů. Výrazně vyšší kontaminace těmito látkami je zjištěna v kolektoru C, kolektor B je zatížen méně. Infiltrační plochy na kolektoru C jsou intenzivně zemědělsky využívány, plochy kolektoru B mají vyšší podíl extenzivně využívaných ploch (zatravnění).

Na základě vyhodnocení výsledků terénního studia a několika systémů monitoringu kvality podzemní vody bylo zjištěno několik faktorů, které ohrožují kvalitu podzemní vody v HGR 4232: (a) ve studovaných pískovcových kolektorech se v různých poměrech kombinuje průlinová, puklinová a krasová porozita; (b) v oblasti tvorby podzemní vody kolektoru C je od roku 2010 doložen výrazné zvýšení zátěže pesticidy; (c) křídové slínovce, které byly v minulosti považovány za hydrogeologické izolátory, mají v připovrchové zóně puklinovou propustnost.



Obr. 5: Obsah metabolitů pesticidů v podzemní vodě ve vrtu VP7214.

Fig. 5: Content of metabolites of pesticides in groundwater in well VP7214.



Obr. 6a, b: Jeskyně U Rozhrání.

Fig. 6a, b: Cave U Rozhrání.



Obr. 7: Slínovce izolátoru Ca/Cb, z. svah synklinály.
Fig. 7: Marl of aquiclude Ca/Cb, w. slope of syncline.



Obr. 8: Slínovce izolátoru Ca/Cb, obec Dětrichov.
Fig. 8: Marl of aquiclude Ca/Cb, village Dětrichov.

Závěr

Zpracování dat několika systémů monitoringu ukazuje na zvyšující se zátěž podzemní vody v HGR 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy plošnou kontaminací

ze zemědělství. Vzhledem k tomu, že území HGR 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy představuje infiltrační oblast pro velmi významné zdroje pitných vod – JÚ Březová nad Svitavou (I. a II. březovský vodovod, zdroj pitné vody pro Brno). JÚ Olomoucká a Čtyřicet lánů (zdroje pitné vody pro Svitavy) a víc jak desítku dalších lokálních zdrojů pitných vod, je nutné zaměřit pozornost na tvorbu podzemní vody především v hydrogeologickém kolektoru C, ve kterém se vytváří největší objemy podzemí vody. Pozornost je nutné věnovat tektonicky postiženým zónám, pravděpodobně představují zrychlenou komunikaci podzemní vody mezi jednotlivými kolektory. Při vrtných pracích realizovaných v rámci projektu Rebilance zásob podzemní vody byly v oblasti semanského zlomu nad obcí Vendolí zjištěny projevy pseudokrasu, na kontaktu kolektoru a podložního izolátoru. Z hlediska proudění podzemní vody je v zónách hlavních zlomů možné tyto jevy předpokládat a možnost rychlého přestupu mezi kolektory zohlednit při kategorizaci ochranných pásem vodních zdrojů druhého stupně. Při předpokládané době zdržení podzemní vody v kolektoru C v řádu prvních desítek let, je nutné minimalizovat v rozsahu celé infiltrační plochy kolektoru C aplikaci pesticidů. Po roce 2010 byl zjištěn zvýšený obsah jejich metabolitů v s. části synklinály. Nově je nutné zhodnotit funkci slínovců jizerského souvrství, které jsou považovány za izolátor Ca/Cb. Vzhledem k míře jejich porušení je nutné slínovce v případě, že vystupují na povrch, pokládat na propustné.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci projektu TA ČR SS06010044 Definování a hodnocení ploch rozhodných pro dotaci strategických zdrojů podzemních vod s ohledem na jejich ochranu a stabilizaci. Poděkování patří firmě Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. za poskytnutí dat o kvalitě podzemní vody. Dále děkujeme editorovi a recenzentům za podnětné komentáře a cenné připomínky.

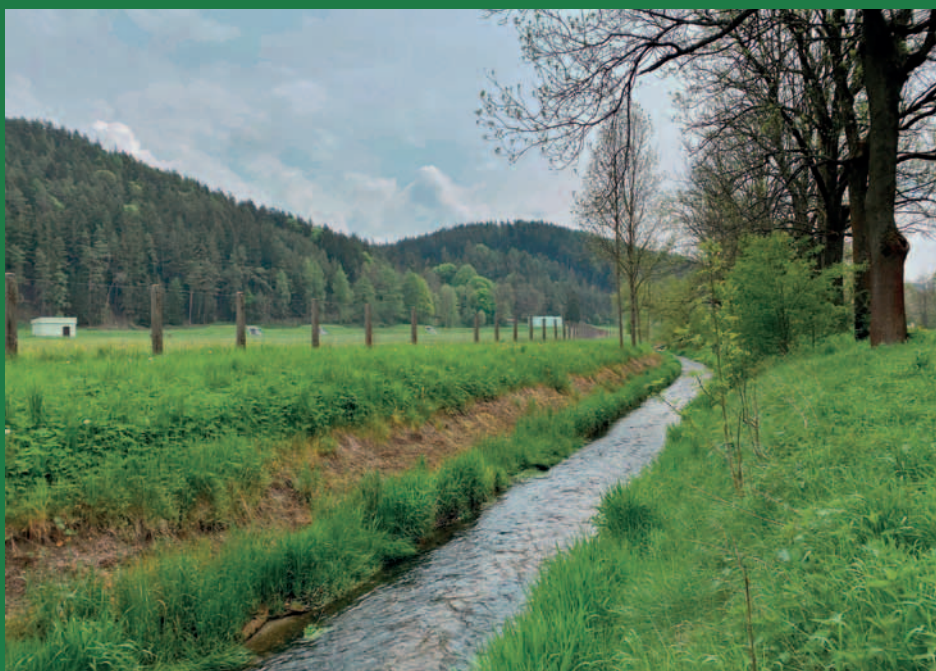
Literatura

- Burda, J., Grundloch, J., eds. (2022). Ústecká synklinála v povodí Svitavy: hydrogeologický rajon 4232. Praha: Česká geologická služba, 218 s. Geologie a hydrogeologie, stanovení zásob podzemních vod, svazek 25. ISBN 978-80-7673-060-1.
- Čech, S., Klein, V., Kříž, J., Valečka, J. (1980). Revision of the Upper Cretaceous stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin. – Věstník Ústředního ústavu geologického 55, 5, 277–296.
- Čech, S., ed. (2011). Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000 s Vysvětlivkami, list 14-343 Svitavy. 78 s. – Česká geologická služba Praha.
- Grygar, R. (2004). Strukturně tektonická analýza podloží české křídové pánve. – In: Uličný, D.: Stratigrafická architektura ceno-manu české křídové pánve, III. Etapa, MS Ministerstvo životního prostředí ČR.
- Krásný, J., Císlarová, M., Čurda, S., Datel, J. V., Dvořák, J., Grmela, A., Hrkál, Z., Kříž, H., Marszałek, H., Šantrůček, J., Šilar, J. (2012). Podzemní vody České republiky. Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. – Česká geologická služba. Praha.
- Musil, J. (1987). Význam rozsedlinových jeskyní pro výzkum svahových pohybů. – MS, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, 33 s.
- Svoboda, J., ed. (1962). Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000, M-33-XXIII Česká Třebová. – Ústřední ústav geologický. Praha.
- Valigurský, L., Čech, S. (2003). Ideový model morforektonického vývoje Ústecké brázdy. – Geomorfologický sborník 2, 259–263. Plzeň.
- Zachariáš, J. (1989). Pseudokrasová jeskyně U Rozhraní. – Speleofórum 89, 14–16.
- Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

Pseudokrasová jeskyně Čertovy
díry u Bělé nad Svitavou – pohled
na vstupní portál (vápnité slínovce
jizerského souvrství, turon).
Autor R. Hadacz, 2022.



Jímací území Březová nad Svitavou
– ochranné pásmo I. stupně, pohled
na štolu 2. březovského vodovodu.
Autor R. Hadacz, 2022.



The brachiopod from the
Middle Miocene deposits of the
locality Oslavany. Dorsal view of
complete specimen and interior
view of dorsal valve of *Joania
cordata* (Risso, 1826); SEM images.
The length of the brachial valve
is about 2 mm.
Author M. A. Bitner, 2022.





Sedimenty odkryté v pískovně v Oslavanech představují produkt depozice v oblasti březního pásma (příbřeží/foreshore, předbřeží/shoreface) spodnobadenského moře. Sedimentace byla ovlivněná bouřkovou činností, což nejspíše ukazuje na podmínky pobřeží nechráněného systémem bariér. Autorka P. Tomanová Petrová, 2004.

Scopus[®]



ČESKOMORAVSKÝ
ŠTĚRK
HEIDELBERGCEMENT Group

