

KENOZOICKÉ SEDIMENTY V OBOŘE HOLEDNÁ A JEJICH VÝZNAM PRO ARCHEOLOGII

THE CENOZOIC SEDIMENTS IN THE HOLEDNÁ GAME RESERVE
AND THEIR SIGNIFICANCE FOR ARCHAEOLOGY

DAVID BURIÁNEK, FRANTIŠEK HUBATKA, KAREL KIRCHNER, OLDŘICH KREJČÍ,
VLADIMÍRA KREJČÍ, ALEŠ NAVRÁTIL

Abstract

Buriánek, D., Hubatka, F., Kirchner, K., Krejčí, O., Krejčí, V., Navrátil A., 2022: Kenozoické sedimenty v Oboře Holedná a jejich význam pro archeologii. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 107, 2, 241-254 (with English summary).

The Cenozoic sediments in the Holedná game reserve and their significance for archaeology

The Cenozoic sediments partially cover crystalline rocks in the area of Holedná game reserve (Brno town, South Moravia). Holocene to Pleistocene eluvial and/or slope sediments and relics of Otnangian (Lower Miocene) sediments fill the wide valley to a depth of up to 20 m on the western slope of the Holedná Hill (391 m.a.s.l.). Several landslides were documented in these sediments based on the movement of the fortification wall from the Late Bronze Age. Blocks of limonite-rich sediment situated on the western slope of Holedná Hill (391 m.a.s.l.) were spatially related to the Cenozoic sediments. Sand to silt fraction in the iron oxo-hydroxides matrix consists of quartz, feldspar and mica. According to the geochemistry, we interpret these sediments as a mixture of the material from at least two sources: products of Neogene lateritic weathering rich in iron oxo-hydroxides (Fe_2O_3 76.2 wt. %) and continental Otnangian sediments (sand- and silt-rich layers). In terms of their origin, the Otnangian sediments in the vicinity of Brno town remain a controversial problem. These sediments are predominantly continental, with clastic material originating from local sources (the transport distance from several kilometres up to tens of kilometres).

Key words: geochemistry, iron hydroxides, Otnangian sediments, Brno, South Moravia, Czech Republic.

David Buriánek, Czech Geological Survey, Leitnerova 22, 659 37 Brno, Czech Republic; e-mail: david.burianek@geology.cz

Oldřich Krejčí, Czech Geological Survey, Leitnerova 22, 659 37 Brno, Czech Republic; e-mail: oldrich.krejci@geology.cz

Vladimíra Krejčí, Czech Geological Survey, Leitnerova 22, 659 37 Brno, Czech Republic; e-mail: vladimira.krejci@geology.cz

František Hubatka, KOLEJCONSULT & SERVIS, spol. s r. o., Křenová 131/35, Trnitá, 602 00 Brno; email: hubatka@kcas.cz

Karel Kirchner, Institute of Geonics of the Academy of Sciences, Department of Environmental Geography, Drobného 28, 602 00, Czech Republic; e-mail: Karel.Kirchner@ugn.cas.cz

Aleš Navrátil, Brno City Museum, Špilberk 210/1, 662 24 Brno, Czech Republic; e-mail: navratil@spilberk.cz

1. ÚVOD

Obora Holedná je situována v zalesněné oblasti na severozápadním okraji města Brna. Vystupují zde především horniny brněnského masivu, přesněji metadioritové subzóny. Tyto horniny jsou však lokálně překryty blíže stáří neidentifikovatelnými kenozoickými sedimenty. Nově zde byl zjištěn ojedinělý výskyt lateritický zvětralin bohatých limonitem, které jsou prostorově vázány na tyto sedimenty. Kenozoické sedimenty neobsahují žádný paleontologický záznam. Jejich litologická charakteristika (píščito-prachovité sedimenty a jíly s drobnými polohami štěrků), stejně tak jako vazba na lateritické zvětralin, však naznačují, že by se mohlo jednat o sedimenty ottnangu. Jako nejvhodnější metoda potvrzení této teorie se nám jeví srovnání petrografických a chemických charakteristik železem bohatých sedimentů nalezených ve studované oblasti se sedimenty ottnangu z jiných lokalit v okolí Brna. Chemické složení sedimentů ottnangu bylo v posledních letech detailně studováno například v Kohoutovicích v blízkosti Obory Holedná (TOMANOVÁ PETROVÁ *et al.* 2018), Předkláštěří u Tišnova (KREJČÍ *et al.* 2021).

Na reliktech kenozoických sedimentů v oboře Holedná, zachovaných především v širokých údolích, se nacházejí rozsáhlé sesuvy, většinou charakteru zemních proudů. Tyto procesy výrazně modifikovaly tvar kenozoických uloženin, což nemůžeme při interpretaci geologické stavby této oblasti pominout. Uvedené nové výsledky geologického studia jsou předmětem našeho příspěvku.

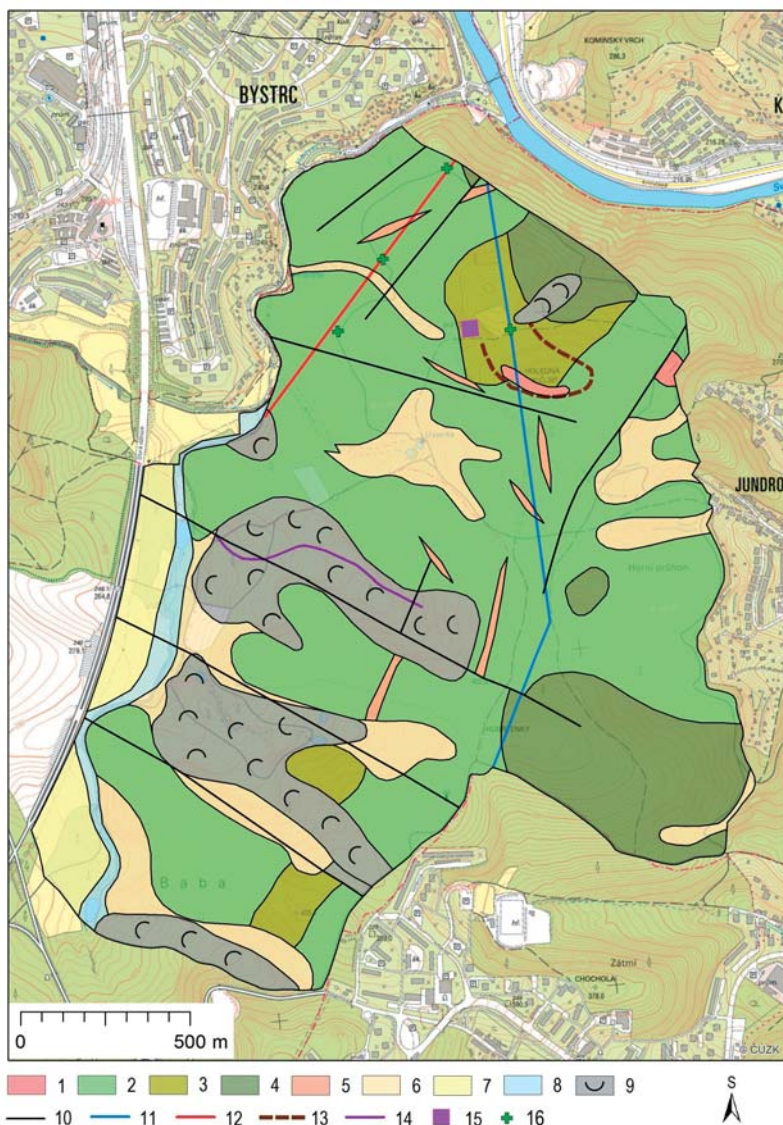
2. GEOGRAFICKÁ POZICE A VÝZNAM PRO BRNĚNSKOU AGLOMERACI

Zájmové území se nachází v západní části města Brna na severním okraji výrazné vyvýšeniny Kohoutovická vrchovina. Toto území je součástí geomorfologického celku Bobravská vrchovina (DEMEK – MACKOVČIN eds. 2006), patřícího k hercynským pohořím České vysočiny. Výrazný atraktivní tektonický reliéf Kohoutovické vrchoviny vystupuje nad okolními sníženinami tektonických prolomů (Bystrcká kotlina, Žabovřeská kotlina, Žebětínský prolom) a dominuje v této oblasti Brna s městskými částmi Jundrov, Komin a Bystrc.

Vrcholová část Kohoutovické vrchoviny je mírně zvlněná (nadmořské výšky 390–415 m), je rozčleněna sedly na dílčí hřbety s kótami (např. Kohoutovická Baba 415 m n. m., Hobrtenky 405 m n. m.). Severní část Kohoutovické vrchoviny tvoří výrazný hřbet s kótou Holedná 391 m n. m. Studovaná lokalita zaujímá vrcholovou oblast Holedné a sousední kóty 370 m n. m. s přilehlými svahy.

Na severní a severovýchodní straně spadá hřbet Holedná příkrými svahy do průlomového údolí Svratky, které spojuje Bystrckou a Žabovřeskou kotlinu. Z příkrých svahů (sklony 15–25°, místy až 30°) často vystupují drobné skalní útvary. Na severozápadní a západní straně hřbetu Holedná vycházejí stupňovité hřbety s plošinami (ojediněle se vyskytují skalní útvary), reliéf klesá do údolí potoka Vrbovce (Údolí oddechu). Příkré svahy jsou rozčleněny hlubokými údolními a stržemi. V závěrech údolí i při úpatí svahů se vyskytují prameny (např. prameniště U jezírka nedaleko kóty Holedná). Obora Holedná byla vyhlášena tehdejším městským národním výborem v Brně v roce 1985. Její rozloha činí 327 ha. Primárním účelem zřízení obory byl chov zvěře (PAČES 2007) a ochrana a obnova lesních porostů, včetně dalších krajinných prvků (ŘEPKA *et al.* 2021). V dnešní době zde hospodaří od roku 2003 akciová společnost Lesy města Brna.

Na území Obory Holedná bylo dříve odvrtno několik vrtů do hloubky až 130 m (https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/) a byly zde vyraženy 2 štolý. Kratší průzkumná štola byla prokopána pro tepelný přivaděč z Jaderné elektrárny Dukovany, který nebyl nikdy realizován (ŠMÍD 1987; průběh na obr. 1). Další štola je funkční a vede jí vodovodní přivaděč do vodojemu Brno – Bosonohy (PAPOUŠEK 1983; průběh na obr. 1). Štola spadá pod správu Vírského oblastního vodovodu, provozovaného zde Brněnskými vodárnami a kanalizacemi, a.s. Tato štola je nejdelší tunelovou stavbou v Brně (mimo síť kolektorů) o celkové délce 4160 m (<http://www.vov.cz/>).



Obr. 1. Geologická mapa území Obory Holedná s vyneseními zájmovými objekty. Legenda: 1 - biotitický tonalit; 2 - amfibolický až biotit-amfibolický diorit až metadiorit; 3 - nerozlišené ultramafické horniny, metagabro až metadiorit; 4 - serpentinizované a uralitizované ultrabazické a ultramafické horniny; 5 - rhyolit; 6 - svahové hlinitokamenité sedimenty; 7 - spraše a sprašové hlíny; 8 - fluvialní hlinitopísčité sedimenty; 9 - sesuvy; 10 - zlom; 11 - trasa vodovodní štolý; 12 - trasa průzkumné štolý pro tepelný přiváděč; 13 - relikty valu ohrazení; 14 - trasa geologického profilu (obr. 3); 15 - výskyt limonitem bohatého sedimentu (lateritu); 16 - průzkumný vrt.

Fig. 1. Geological map of the Holedná game reserve with other described objects. Legend: 1 - biotite tonalite; 2 - amphibole to biotite-amphibole diorite to metadiorite; 3 - undifferentiated ultramafic rocks, metagabro to metadiorite; 4 - serpentinized and uralitized ultrabasic and ultramafic rocks; 5 - rhyolite; 6 - colluvial sediments; 7 - loess and loess loam; 8 - fluvial sediments; 9 - landslides; 10 - fault; 11 - water gallery; 12 - exploratory gallery; 13 - fortification wall; 14 - geological section line (Fig. 3); 15 - limonite-rich sediment (laterite) blocks; 16 - exploratory well.

Při terénních geomorfologických pochůzkách před rokem 2017 byly zjištěny ve vrcholové části Holedné i sousedního severovýchodního vrcholu (380 m n. m.) nevýrazné zbytky kamenitého valu (ohrazení), který vrcholy obklopoval. S využitím digitálního modelu reliéfu DMR 5G ČÚZK byl průběh valu upřesněn a následně od roku 2017 začaly probíhat v této oblasti geomorfologické a archeologické výzkumy (KIRCHNER a UNGER 2020).

Atraktivitu území s ohledem na geoturismus (KUBALÍKOVÁ *et al.* 2021) doplňuje síť zpevněných komunikací v rámci Obory Holedná, dobrý přístup a spojení MHD a zejména možnost návštěvy nové rozhledny Holedná na dílčím hřbetě (nadmořská výška 305 m) na plošině východně od vrcholu Holedná.

3. GEOLOGICKÁ STAVBA

Geologická stavba této oblasti je poměrně jednoduchá. Území je budováno horninami metadioritové subzóny brněnského masivu. Tyto horniny jsou pronikány žilami leukogranitů, pegmatitů a ryolitů. Místa jsou horniny pokryty neogenními a kvartérními sedimenty postiženými rozsáhlými sesuvy (obr. 1). Brněnský masiv vystupuje na povrch mezi Boskovicemi a Miroslaví. Západní hranici tvoří okrajový zlom boskovické páneve a na východě se tato jednotka noří pod sedimenty karpatské předhlubně a moravskoslezského paleozoika (HANŽL *et al.* 2020a, b).

3.1. Krystalinické hornina (brněnský masiv)

Brněnský masiv je členěn na západní granodioritovou oblast, metadioritovou zónu, metabazitovou zónu a východní granodioritovou oblast. Metadioritová subzóna tvoří severojižní pruh slabě metamorfovaných deformovaných bazických až ultrabazických plutonických hornin v metamorfním plášti západní granodioritové oblasti brněnského masivu. V metadioritové subzóně dominují slabě metamorfované diority, které obsahují drobná tělesa ultramafických a gabrových kumulátů.

Tmavě zelenošedé amfibolické metadiority mají většinou nevýraznou plošně paralelní stavbu a variabilní zrnitost (dominují středně hrubě zrnité variety). Minerální paragenese těchto hornin dominantně obsahuje částečně rekrystalované plagioklasy a amfiboly. Lokálně může být přítomen také křemen, biotit, draselný živce, apatit, titanit a opakní minerály. Ze sekundárních minerálů převažují chlority a minerály epidotové skupiny. Vzácně je přítomen hydrotermální turmalín a křemen. V důsledku mylonitizace vznikají z dioritů páskované, velmi jemnozrné horniny, ve kterých se střídají tenké pásy s převahou křemene a alterovaných živců a pásy s převahou chloritu a epidotu (HANŽL *et al.* 2020a, b).

Serpentinizované až uralitizované ultramafické horniny a maskové břidlice vystupují v nepravidelných tělesech uvnitř dioritů. Největší tělesa byla nalezena na severním okraji Kohoutovic a severně od kóty Holedná (HANŽL *et al.* 2020a, b). Ultramafické horniny jsou tmavě zelenošedé, s masivní, někdy plošně paralelní stavbou a obsahují minerály serpentínové skupiny, amfibol, relikt pyroxenu, mastek, chlorit, flogopit, karbonáty a opakní minerály. Ultramafické horniny uzavírají oktaedrická zrna chromem bohatého spinelu a magnetitu (BURIÁNEK 2010). V důsledku mylonitizace se ultramafické horniny mění na chlorit-tremolitické a tremolit-maskové skaliny až břidlice. Protolitem ultramafických hornin byly patrně pyroxenity a lherzolity (ČAPEK 2009).

Amfibolická metagabra mají převážně všesměrnou stavbu, šedou až šedočernou barvu. Hornina je středně až hrubě zrnitá a běžné jsou kumulátové stavby (střídání pásků leukokratního melanokratního charakteru). Metagabra obsahují především rekrystalované plagioklasy a amfiboly ve velmi variabilním poměru. Plagioklas je nahrazován směsí minerálů epidotové skupiny, albitu, jilových minerálů, křemene, karbonátu a někdy také sericitu. Velká zrna amfibolu jsou často částečně nahrazena aktinolitem a chloritem. Mezi akcesorickými minerály jsou zastoupeny ilmenit, magnetit, titanit a zřídka apatit (BURIÁNEK 2010).

3.2. Kenozoické sedimenty

Rozsáhlá, široce otevřená údolí s celkovou délkou až 1 km ústí při pravém břehu potoka Vrbovec. Je pravděpodobné, že zde jsou zachovány relikty prachovitých a písčitých sedimentů. Tyto sedimenty neobsahují žádný fosilní záznam. Písčité sedimenty jsou tvořeny dobře opracovanými křemennými zrny a v malém množství jsou také přítomny klasty živců. Předpokládáme, že se jedná o sedimenty spodního miocénu, a to sladkovodního ottangu. Domníváme se tak proto, že mocnosti sedimentů v těchto údolích podle geofyzikálního průzkumu jsou až 20 m (HUBATKA 2004). Běžné mocnosti svahových sedimentů na strmých svazích hornin brněnského masivu dosahují pouze 1 až 2 m, často se na povrchu vyskytuje přímo zvětralý skalní podklad. Na západním svahu Holedné byly nově K. Kirchnerem nalezeny bloky rezavě hnědých jemnozrnných, masivních limonitem bohatých sedimentů (obr. 1).

Svahy Holedné z menší části pokrývají kvartérní šterkovito-kamenité eluviální a svahové sedimenty, které leží na podložních krystalinických horninách nebo částečně zakrývají drobné relikty neogenních sedimentů, které se vyskytují především ve výplních některých údolí.

3.3. Antropogenní ovlivnění reliéfu

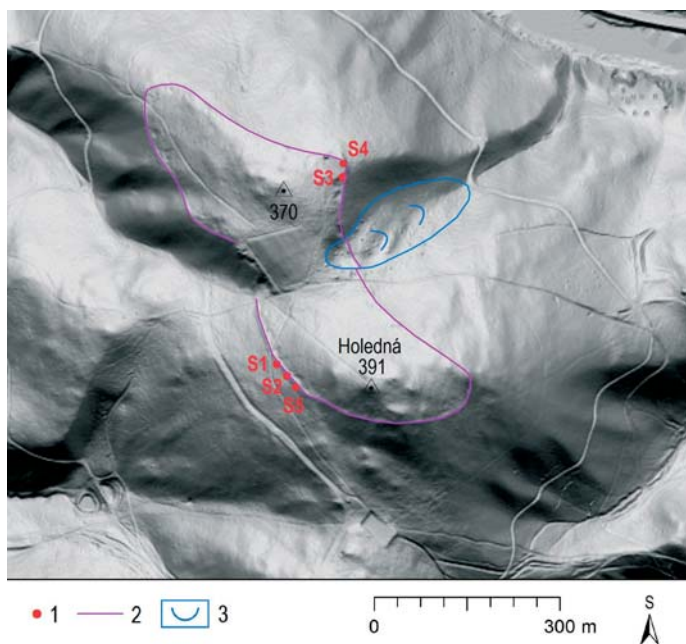
Ve vrcholových částech lokality byl při terénních geomorfologických výzkumech v roce 2017 dokumentován terénní val, který přerušovaně obklopuje kótu Holedná i sousední bezejmennou kótu 370 m n. m. (obr. 1 a 2). Průběh valu byl upřesněn využitím digitálního modelu reliéfu DMR z Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního - DMR České republiky 5. generace (DMR 5G). V nejvýraznějších úsecích dosahuje val výšky až 70 cm. Obvod valu činí 1 537 m a rozloha ohraničené plochy 9,261 ha. Ve spolupráci Ústavu geoinformatiky AV ČR s Muzeem města Brna bylo v letech 2017 až 2021 provedeno 5 výzkumných sond v podobě příčného lineárního řezu valem, které potvrdily jeho antropogenní původ (obr. 2). Výsledky archeologických výzkumů z oblasti Holedné nejsou přímo předmětem této práce a byly předběžně publikovány KIRCHNEREM *et al.* (2019) a KIRCHNEREM a UNGREM (2020). Poslední terénní revize archeologických specialistů se na lokalitě konala 21. 10. 2021.

Prakticky ve všech sondách bylo možné identifikovat liniový průběh intencionálně skládaných (sypaných?) kamenů na vnější straně valu, kde je možné předpokládat průběh líce. Výška kamenné „konstrukce“ nikde nepřesáhla 20 cm a její subtilní charakter tak vylučuje potencionální statickou funkci. Na několika místech byl v oblasti předpokládaného líce zjištěn podélný pás propálené hlíny, indikující původní dřevěnou konstrukci. Tu potvrzuje také několik silnějších (cca 5 až 10 cm) kusů zuhelnatělých kůlů, nalezených jak ve vertikální poloze v čele valu, tak v jeho tělese. Dva vzorky byly díky pomoci Archeometrické laboratoře PřF UP Olomouc a Ústavu nauky o dřevě a dřevařských technologiích Mendelovy univerzity v Brně určeny jako dub.

Zvláštním průvodním jevem archeologické situace na lokalitě je fakt, že se navzdory sondážnímu výzkumu a plošnému detektorovému průzkumu nepodařilo najít jediný pravěký movitý artefakt. K datování valu proto bylo použito radiokarbonové metody za pomoci dvou vzorků zuhelnatělého dřeva z konstrukce valu, které oba shodně ukazují na období vzniku v mladší době bronzové (vzorek 1 - kalibrované stáří 1224–1038 BC, vzorek 2 - kalibrované stáří 1208–1019 BC; KIRCHNER a UNGER 2020).

Vzhledem k úplné absenci nálezů, dokládajících přítomnost osídlení, je těžké smysl lokality a jejího ohrazení interpretovat. Ze subtilního provedení konstrukce valu je zřejmé, že neplnil obrannou funkci, čemuž svědčí i absence sebemenších dokladů sídlištních aktivit. Šlo tak s největší pravděpodobností o vymezení areálu s nadkomunitní společenskou a symbolickou rolí, čemuž nasvědčuje i umístění na výrazné a dobře viditelné dominantě nad komunikačním koridorem údolí řeky Svratky.

V oblasti obory Holedná se nachází také stopy po starším pravěkému osídlení. Na plochém hřbetu cca 300 m západně od lokality U jezírka bylo zkoumáno osídlení z mladého neolitu (KIRCHNER a KUČA 2007).



Obr. 2. Digitální model reliéfu v severovýchodní části Obory Holedná. Legenda: 1 - archeologická sonda; 2 - val ohrazení; 3 - sesuv (nejseverněji položený sesuv na obr. 1). Podklady Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. (CDV). Nasvícení od 45° a 315°.

Fig. 2. LiDAR-based digital elevation model interpretation of the northeastern part of the Holedná game reserve. Legend: 1 - archaeological excavations; 2 - fortification wall; 3 - landslide (the northernmost landslide on the Fig. 1). Map source The Transport Research Centre (CDV). Lighting from 45° and 315°.

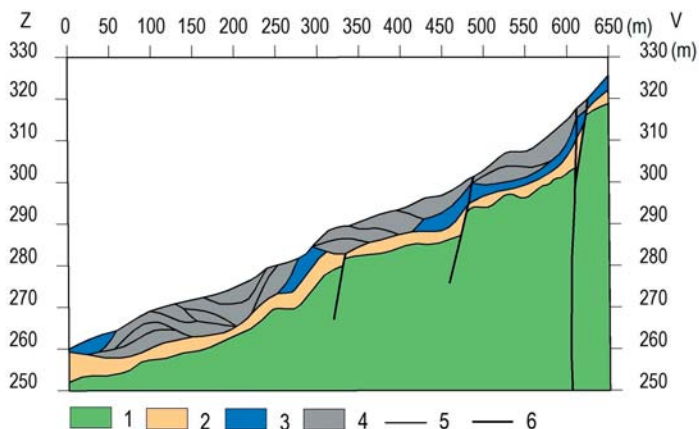
4. METODIKA

Horninové analýzy lateritu i dvou srovnávacích vzorků možných mateřských hornin, jejichž zvětráváním mohly tyto sedimenty vzniknout (převzato z práce HANŽL *et al.* 2019) byly provedeny metodou ICP (ICP-OES pro oxidy a ICP-MS pro stopové prvky) v laboratořích Acme Analytic Laboratories Ltd., Vancouver, Kanada. Dále jsou v práci použita data z publikace HANŽLA a MELICHARA (1997) a chemické složení sedimentů stáří ottang z Kohoutovic (TOMANOVÁ PETROVÁ *et al.* 2018). Studované horninové analýzy byly zpracovávány pomocí programu GCDKit (JANOŮSEK *et al.* 2006).

Na sesuvném území 24-34-24/1 byl proveden geofyzikální průzkum metodami georadaru (GPR), vertikálním elektrickým sondováním (VES) a dipólovým elektromagnetickým profilováním (DEMP). Výsledky průzkumných prací byly vyhodnoceny HUBATKOU (2004) a publikovány KIRCHNEREM a ROŠTÍNSKÝM (2006). Tato starší geofyzikální data byla použita při konstrukci nového geologického profilu sesuvem ve střední části Obory Holedná (obr. 3).

5. SESUVY

Na území Holedné se vyskytuje několik svahových deformací, označených v Registru svahových nestabilit České geologické služby (https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/) evidenčními čísly 24-34-23/10, 24-34-24/1, 12, 13 a 18.



Obr. 3. Geologický profil sesuvem ve střední části Obory Holedná (lokalizace na obr. 1). Legenda: 1 - amfibolický až biotit-amfibolický diorit až metadiorit; 2 - neporušené kenozoické sedimenty; 3 - starší fáze sesouvání; 4 - mladší fáze sesouvání; 5 - hranice dílčích sesuvných lamel; 6 - zlom.

Fig. 3. Geological profile through the landslide in central part of the Holedná game reserve (see Fig. 1 for location). Legend: 1 - amphibole to biotite-amphibole diorite to metadiorite; 2 - undisturbed Cenozoic sediments; 3 - older sliding phase; 4 - younger sliding phase; 5 - partial landslides boundary; 6 - fault.

Na sesuvném území 24-34-24/1 byl proveden geofyzikální průzkum (KIRCHNER a ROŠTÍNSKÝ 2006). Jedná se o proudový sesuv s délkou 870 m a maximální šířkou v akumuláční zóně 350 m. Skalní podloží leží v hloubce až 20 m pod terénem. Jeho průběh víceméně kopíruje stávající tvar reliéfu. Ve skalním podloží existuje systém četných trhlin. Ve svrchních partiích svahu není vyloučen ani starší gravitační sesuv většího bloku krystalinika v okolí identifikovaného zlomu. Sesuv je tvořený systémem navzájem se překrývajících těles. Celkový obraz sesuvu je poměrně složitý. Z charakteru smykových ploch a tvaru dílčích těles lze usuzovat na několik typů sesuvných pohybů – pomalého ploužení hornin a zemin a sesouvání typu zemních proudů. Z časového pohledu lze na lokalitě najít minimálně dvě fáze svahových pohybů (obr. 3). Starší sesuvnou fázi nelze přesněji datovat a má charakter rozsáhlého hlubšího ploužení (cca max. do 15 m) s přispěním soliflukčních procesů. Mladší pohyby jsou v geofyzikálních záznamech dobře definované a představují 3 samostatná sesuvná tělesa. V dnešní době se stále na povrchu projevují četnými mohutnými muldami, plošinami a náklonem stromů (obr. 4). Poslední aktivita sesuvu však není známa a v současnosti jej považujeme za sesuv ukliďněný. Nejmladší sesuvný pohyb byl dokumentován na objektu svahové nestability 24-34-24/18, kde došlo k poškození antropogenního terénního valu (obr. 2), datovaného do mladší doby bronzové.

6. VÝSLEDKY STUDIA ŽELEZEM BOHATÉHO SEDIMENTU

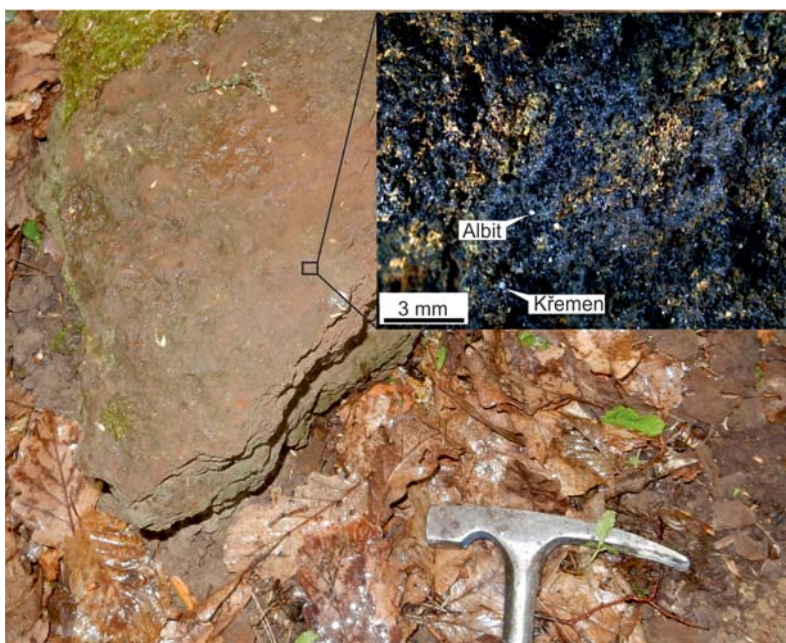
Tmavě hnědý až okrově hnědý masivní sediment je dominantně tvořen oxo-hydroxidy železa. V limonitové základní hmotě jsou patrné četné drobné dutiny o průměrné velikosti 1 mm (obr. 5). Na čerstvém lomu jsou patrné drobné zakulacené až zaoblené písčité klasty křemene a kyselého plagioklasu (albit, určeno opticky). V limonitové hmotě jsou také rozptýleny prachové částice a lupínky slíd.

Z výsledků chemické analýzy uvedených v tabulce 1 vyplývá, že studovaná hornina vykazuje vysoké obsahy Fe_2O_3 (76,21 hm. %) a LOI (15 hm. %). Obsah MnO (0,24 hm. %) je podobný jako v metadioritech a ultrabazických horninách a obsahy TiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O a K_2O odpovídají průměrným obsahům těchto prvků v ultrabazických horninách (HANŽL



Obr. 4. Pohled na zvlněný povrch sesuvu ve spodní části profilu na obr. 3.

Fig. 4. View of the surface bulge on the landslide in the lower part of the profile in Fig. 3.



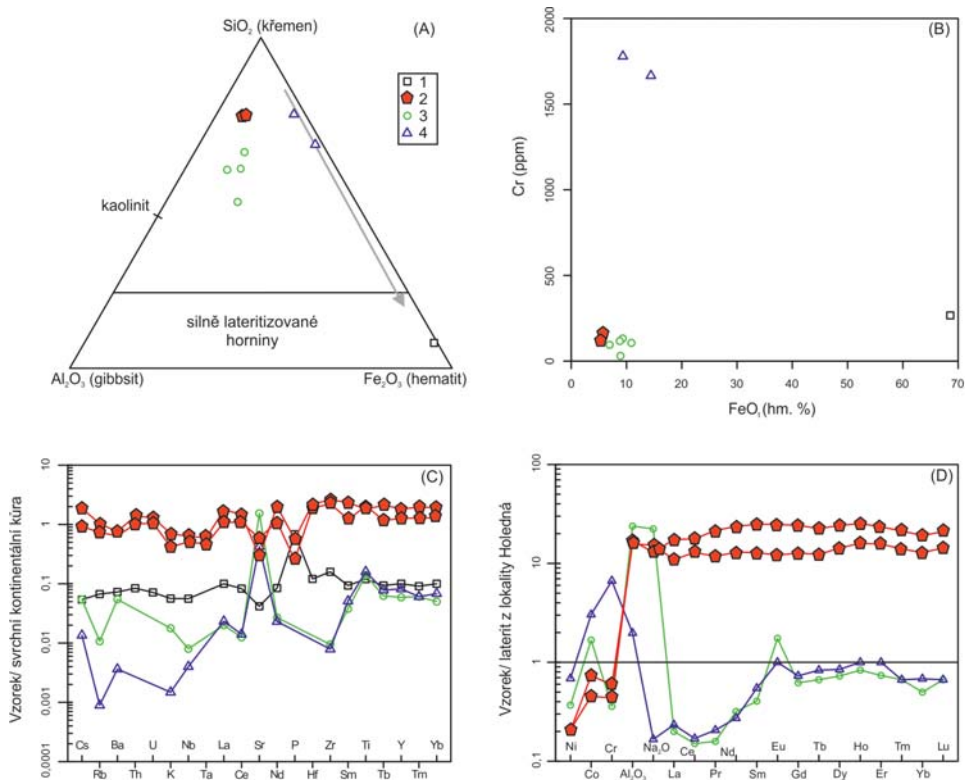
Obr. 5. Pohled na blok limonitem bohatého sedimentu v terénu a ve výřezu je detail povrchu (albit a křemenné klasty v limonitové matrix).

Fig. 5. The block limonite-rich sediment in the field and the surface detail (albite and quartz clasts in limonite matrix).

a MELICHAR 1997; HANŽL *et al.* 2019). Obsahy CaO (0,39 hm. %) a MgO (0,11 hm. %) jsou nízké (tab. 1). Podle klasifikace SCHELLMANN (1983) se jedná o laterity (obr. 6A). Pokud srovnáme chemické složení lateritu z lokality Holedná se vzorky z lateritového profilu na ultrabazických horninách z jihozápadní Číny (FU *et al.* 2019) vidíme, že je podle obsahu hlavních oxidů můžeme klasifikovat jako limonitové horizonty, které se vyskytují v horní části profilu („ferrikreta“). Obsah Cr je ve studovaném lateritu poměrně nízký a blíží se obsahu tohoto prvku v metadioritech (obr. 6B). Chemická analýza železem bohatého sedimentu ze studované lokality byla srovnána s chemickým složením sedimentů stáří ottngang z Kohoutovic (TOMANOVÁ PETROVÁ *et al.* 2018), které mají nízký obsah Cr (obr. 6B). Obsahy řady stopových prvků jsou ve srovnání se studovanou horninou vyšší, ale mají podobné trendy v diagramech na obrázku 6C a D. Z pohledu stopových prvků je chemické složení studovaného sedimentu a možných mateřských hornin (metadiority a ultrabazické horniny) v mnoha ohledech podobné (obr. 6C). Obsahy Cs, Ba, Ti a HREE (těžké prvky vzácných zemin, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) ve studované hornině jsou blízké obsahům v metadioritu z lokality Pisárky (obr. 6D) jako horniny z metadioritové zóny. Od podložních hornin se však studovaný sediment liší zvýšenými obsahy LREE (lehké prvky vzácných zemin, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu; obr. 6C, D).

Tabulka 1. Chemické složení odebraného vzorku z lokality Holedná.
Table 1. Chemical composition of collecting sample from locality Holedná.

oxidy	hm. %	prvek	ppm
SiO ₂	6,53	Tl	< 0,1
Al ₂ O ₃	0,85	Bi	< 0,1
Fe ₂ O ₃	76,21	Hg	1,03
MgO	0,11	Cd	0,1
CaO	0,39	Co	35,9
Na ₂ O	0,06	Sc	14
K ₂ O	0,19	Sb	16,7
TiO ₂	0,06	Ga	5,8
P ₂ O ₅	0,11	Sn	47
MnO	0,24	Mo	18,4
Cr ₂ O ₃	0,039	Cu	367,9
LOI	15,00	Pb	7,5
Sum	99,84	Zn	22
prvek	ppm	Ni	203,5
Ag	0,2	As	52,3
Se	< 0,5	La	3
Ba	40,0	Ce	5,3
Sr	14,6	Pr	0,63
Rb	7,5	Nd	2,2
Cs	0,2	Sm	0,42
V	34	Eu	0,08
Th	0,9	Gd	0,37
U	0,2	Tb	0,06
Nb	1,4	Dy	0,33
Ta	< 0,1	Ho	0,06
W	4	Er	0,19
Zr	30,2	Tm	0,03
Hf	0,7	Yb	0,22
Y	2,2	Lu	0,03



Obr. 6. Chemické složení (1) studovaného limonitem bohatého sedimentu z Holedné, (2) sedimenty ottnangu z Kohoutovic (TOMANOVÁ PETROVÁ *et al.* 2018), (3) diorit a (4) ultrabazická hornina v obou případech HANŽL *et al.* (2019): (A) ternární diagram Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 (wt%) pro laterity podle klasifikace SCHELLMANN (1983), šipka ukazuje vývoj chemického složení v lateritovém profilu od podložní horniny (bedrock) až po limonitový horizont (ferricrete) (FU *et al.* 2019); (B) binární diagram Cr vs. FeO; (C) vybrané stopové prvky normalizované svrchní kontinentální kůrou (TAYLOR a MCLENNAN 1995); (D) vybrané prvky normalizované studovaným limonitem bohatým sedimentem z Holedná.

Fig. 6. Chemical composition of (1) studied limonite-rich sediment from Holedná, (2) Ottngian sediments from Kohoutovice (TOMANOVÁ PETROVÁ *et al.* 2018), (3) diorite and (4) ultrabasic rock in both cases HANŽL *et al.* (2019): (A) Ternary diagram Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 (wt%) for laterites according to the Schellmann classification (1983), the arrow shows the development of chemical composition in the laterite profile from bedrock to bedrock limonite horizon (ferricrete) (FU *et al.* 2019); (B) FeO vs. binary diagram Cr; (C) Selected trace elements normalized by the upper continental crust (TAYLOR and MCLENNAN 1995); (D) Selected elements normalized by the studied limonite-rich sediment from Holedná.

7. DISKUZE

7.1. Původ a vznik železem bohatého sedimentu

Klastické kenozoické sedimenty můžeme jen těžko na základě petrografie a geochemie stratigraficky jednoznačně zařadit, proto byla hlavní pozornost věnována tmavě masivní pórovité hornině nalezené v západní části studovaného území. Podle texturních a geochemických charakteristik klasifikujeme tuto horninu jako laterit. Terminologie lateritů je značně nejednotná (MAURIZOT *et al.* 2020). V tomto článku používáme obecné pojmenování laterit, jako termín pro celý zvětralinový profil, který můžeme z pedologického hledí-

ska klasifikovat jako latosol neboli oxisol (SVOBODA *et al.* 1983). Laterit vzniká v podmínkách tropického až subtropického klimatu s vysokým úhrnem srážek a značným výparem (SVOBODA *et al.* 1983). Lateritické zvětrávání je složitý proces, který zahrnuje chemické reakce způsobující vyluhování a srážení řady chemických sloučenin a mechanické procesy (např. zhutňování a transport koloidních částic). Ze zvětralinového profilu mizí většina rozpustných prvků (např. Mg, Ca a Si) a na místě zůstávají méně rozpustné prvky (např. Fe, Al a do určité míry i Mn). Tento proces umožňuje vznik vrstev bohatých oxidy a hydroxidy Al a Fe (THOMAS 1994; MAURIZOT *et al.* 2020). Při lateritickém způsobu zvětrávání nevznikají jílové minerály a hliník se koncentruje v minerálních fázích jako je diaspor, bohemit a hydrargillit. Železo je převážně vázáno v limonitu, goethitu a hematitu. V podmínkách lateritického zvětrávání obsahují ultramafické horniny reaktivnější a rozpustnější minerály než jiné litologie (THOMAS 1994). Protože v těchto horninách převažují minerály s nízkým obsahem hliníku, sestává převážná část profilu lateritů na ultramafických horninách s železem bohatých oxo-hydroxidů s příměsí Ni, Co a Cr (FREYSSINET *et al.* 2005).

V diagramu Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 je patrné, že se studovaná hornina z lokality Holedná nachází v poli silně lateritizovaných hornin (obr. 6A). Navíc chemické složení studovaného vzorku leží v trendu, kterým se vyvíjí chemické složení hornin v lateritových profilech vzniklých na ultrabazických horninách. Přesněji řečeno leží v oblasti chemického složení horního limonitového horizontu („ferrikreta“), který je obvykle v horní části lateritového profilu z ultrabazických hornin přítomen (například FU *et al.* 2019). Na druhou stranu obsahy Cr jsou ve studovaném vzorku relativně nízké a blíží se obsahům v metadioritech, které ultrabazické horniny obklopují (obr. 6B). To tedy naznačuje, že studovaná hornina musela vznikat zvětráváním dioritů, nebo reprezentuje materiál pocházející z několika zdrojů (díky míšení materiálu z několika zdrojů mohlo dojít ke snížení obsahu některých prvků). Tato druhá možnost se ukazuje jako správná vzhledem k přítomnosti klastického materiálu ve studovaném vzorku limonitu.

Pro interpretaci původu studované horniny jsou užitečné normalizované křivky stopových prvků vůči průměrné svrchní kontinentální kůře (TAYLOR a MCLENNAN 1995). V tomto diagramu (obr. 6C) je patrné, že obsahy řady stopových prvků v sedimentech ottnangu (TOMANOVÁ PETROVÁ *et al.* 2018) se blíží obsahům v průměrné svrchní kontinentální kůře (TAYLOR a MCLENNAN 1995). Naproti tomu obsahy ve studované hornině, v dioritech a ultramafických horninách, jsou nižší. Obsahy Ti ve studované hornině jsou podobné jako v podložních horninách, což je v souladu s předpokladem, že hornina vznikla in-situ lateritickým zvětráváním (např. MOMO *et al.* 2019). Obsahy LREE, P, Zr a Hf jsou však vyšší ve srovnání s podložními horninami, což můžeme vysvětlit obohacením na některé akcesorické fosfáty a zirkon. Obsahy HREE se blíží obsahům z podložních hornin (obr. 6C). Toto podivné chování REE se neslučuje s představou lateritického zvětrávání (např. MOMO *et al.* 2019; LI a ZHOU 2020), ale je možné jej snadno vysvětlit příměsí klastického materiálu (včetně těžkých minerálů) ze sedimentů ottnangu.

Pokud srovnáme obsahy vybraných prvků ve studovaném vzorku se složením možných zdrojových hornin v podloží a se sedimenty ottnangu v blízkém okolí, zjistíme řadu podobností (obr. 6D). Obsahy Ni jsou v podložních horninách i v ottnangských sedimentech nižší než ve studovaném vzorku. To naznačuje, že hornina prodělala lateritické zvětrávání, při němž došlo k obohacení o tento prvek. Obsahy Co jsou ve studovaném vzorku nižší než v podložních vyvěřelých horninách. Obsahy Cr jsou ve studovaném vzorku nižší než v ultramafických horninách, což můžeme vysvětlit mícháním lateritického materiálu a materiálu s nižším obsahem Cr (sedimenty ottnangu). Obsahy LREE jsou ve srovnání s podložními vyvěřelými horninami vysoké a nízké ve srovnání s ottnangskými sedimenty. Tvar křivky REE pro ottnangské sedimenty však při normalizaci studovaným vzorkem nevykazuje žádnou frakcionaci, čímž se liší od křivek REE z podložních hornin. Tato odlišnost naznačuje, že studovaný vzorek nevznikl in-situ lateritizací podložních hornin. Laterit by mohl vzniknout lateritizací ottnangských sedimentů. Tímto způsobem můžeme vysvětlit

lit plochou křivku REE v případě, že ottngaské sedimenty normalizujeme studovanou horninou (LIU *et al.* 2019). Avšak nevysvětluje to nízké obsahy Al_2O_3 a vysoké obsahy Ni, Co, Cr. Poměrně vysoký obsah Na_2O ve studovaném lateritu je dobrým důkazem přítomnosti albitu ve studovaném materiálu. Klasy živců se ale během lateritizace rozpadají (např. MOMO *et al.* 2019), což vylučuje teorii o lateritizaci sedimentů ottnangu.

Podle KONÍČKOVÉ *et al.* (2015) začalo lateritické zvětrávání ještě před neogénem, ale v průběhu neogénu jej ukončila mořská a kontinentální sedimentace. Nehomogenní distribuce klastického podílu v lateritu naznačuje, že zde došlo k míšení dvou hornin. Chemické složení studovaného lateritu tuto teorii potvrzuje. Obsahy mobilních a nemobilních prvků můžeme dobře vysvětlit míšením relativně méně geochemicky zralého písčito-prachovitého materiálu ottnangských sedimentů a zvětralin vzniklých dominantně na meta-dioritech a ultramafických horninách.

8. ZÁVĚRY

V oboře Holedná byly nalezeny bloky limonitem bohatého sedimentu nejasné stratigrafické pozice. Na základě geochemie a petrografie předkládáme možný model vzniku této horniny. V limonitové matrix jsou přítomné hojné prachovité až písčité klasy křemene a živců společně se slidami. Jedná se tedy o směs hydroxidů železa a klastického materiálu s nízkým stupněm zvětrávání. Sediment bohatý oxo-hydroxidy železa interpretujeme jako produkt míšení produktů lateritického zvětrávání a prachovito-písčitých sedimentů ottnangu. Hlavní důvody pro tuto interpretaci jsou: (1) chemické složení studované horniny můžeme vysvětlit pouze mícháním materiálu nejméně ze dvou zdrojů, (2) vztah s podložím je nejasný a v okolí nebyly zjištěny známky progresivního zvětrávání směrem do hloubky, které je charakteristické pro lateritický profil, (3) chemické složení studované horniny je podobné ottnangským sedimentům v okolí.

Sedimenty ottnangu pravděpodobně vyplňují společně se svahovinami a eluvii holocenního a pleistocenního stáří široká údolí na svazích kopce Holedná. Ve zmíněných údolích dosahují sedimenty hloubky až 20 m a jsou velmi náchylné k sesouvání. Nejmladší sesuvné pohyby byly doloženy poškozením hradištního valu z mladší doby bronzové.

Sedimenty ottnangu v okolí Brna představují z hlediska charakteru zdrojového materiálu a vzniku zajímavý problém. Jedná se o písčité až prachovité sedimenty, které vznikly v terestrickém prostředí. Tyto sedimenty jsou charakterizovány variabilním stupněm chemické zralosti a pocházejí z lokálních zdrojů. Některé z těchto sedimentů totiž obsahují přeplavený materiál, který vznikl v průběhu subtropického neogenního zvětrávání. Díky tomu mohou pomoci při rekonstrukci paleoklimatu, tektonické historie a vývoji reliéfu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen v rámci řešení DKRVO/ČGS (2018–2022), za finanční podpory projektů České geologické služby číslo 321180 („Základní geologické mapování“). Dík patří rovněž editorovi a recenzentům Slavomíru Nehybovi a Pavle Tomanové Petrové.

LITERATURA

- BURIÁNEK, D., 2010: Metamorfní vývoj metadioritové subzóny v brněnském batolitu. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 95, 2, 133–152.
- ČAPEK, M., 2009: Mafické a ultrabazické plutonické horniny mezi Bosonohami a Kominem. – MS Přírodověd. fak. Masaryk. univ. Brno.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. (eds), BALATKA, B., BUČEK, A., CULEK, M., ČERMÁK, P., DOBIÁŠ, D., HAVLÍČEK, M., HRÁDEK, M., KIRCHNER, K., LACINA, J., PÁNEK, T., SLAVÍK, T., SOMOLOVÁ, I., VAŠÁTKO, J., 2006: Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. – 2. upravené vydání. Brno: MŽP ČR, 2006. 582 s.

- FREYSSINET, P., BUTT, C. R. M., MORRIS, R. C., 2005: Ore-forming processes related to lateritic weathering. In: Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb R. J., Richards J. P. (eds) - Economic Geology, One Hundredth Anniversary Volume. Society of Economic Geologists, Littleton, CO, 681-722.
- FU, W., FENG, Y., LUO, P., ZHANG, Y., HUANG, X., ZENG, X., CAI, Q., ZHOU, Y., 2019: Weathering of Ophiolite Remnant and Formation of Ni Laterite in a Strong Uplifted Tectonic Region (Yuanjiang, Southwest China). - *Minerals*, 9, 1, 51.
- HANŽL, P., MELICHAR, R., 1997: The Brno Massif: a section through the active continental margin of a composed terrane? - *Krystalinikum* 23, 33-58.
- HANŽL, P., JANOUŠEK, V., SOEJONO, I., BURIÁNEK, D., SVOJTKA, M., HRDLÍČKOVÁ, K., ERBAN, V., PIN, C., 2019: The rise of the Brunovistulicum: age, geological, petrological and geochemical character of the Neoproterozoic magmatic rocks of the Central Basic Belt of the Brno Massif. - *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 108, 4, 1165-1199.
- HANŽL, P., BUBÍK, M., BURIÁNEK, D., HRDLÍČKOVÁ, K., KOCIÁNOVÁ, L., KREJČÍ, O., KREJČÍ, Z., PECKA, T., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., VÍT, J., 2020a: Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000 24-324 Brno-sever. - Česká geologická služba. Praha.
- HANŽL, P., BALDÍK, V., BUBÍK, M., BURIÁNEK, D., DOLNÍČEK, Z., DVOŘÁK, I., FŮRYCHOVÁ, P., HAVLÍN, A., HRDLÍČKOVÁ, K., KOCIÁNOVÁ, L., KONEČNÝ, F., KREJČÍ, O., KREJČÍ, Z., KRUMLOVÁ, H., KRYŠTOFOVÁ, E., MÜLLER, P., PALEČEK, M., PECINA, V., PECKA, T., POUL, I., SEDLÁČKOVÁ, I., SKÁCELOVÁ, D., SKÁCELOVÁ, Z., SLOBODNÍK, M., ŠRÁMEK, J., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., VEČEŘA, J., VÍT, J., 2020b: Vysvětlivky k Základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 24-324 Brno-sever. 152 s. - Česká geologická služba. Praha
- HUBATKA, F., 2004: Brno - Obora Holedná. Parametrické georadarové měření. - KOLEJConsult servis spol. s r.o., Středisko geofyziky 2000. Brno. 7 s.
- JANOUŠEK, V., FARROW, C. M., ERBAN, V., 2006: Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). - *Journal of Petrology*, 47, 6, 1255-1259.
- KIRCHNER, K., ROŠTÍNSKÝ, P., 2006: Svahové procesy na západním svahu. Hობრტენკ v Kohoutovické vrchovině na západním okraji Brna. - In: Smolová I. (ed.): Geomorfologické výzkumy v roce 2006, 104-107. Sborník z konference „Stav geomorfologických výzkumů“, konané 10.-12. 4. 2006 v Olomouci. Univerzita Palackého Olomouc.
- KIRCHNER, K., KUČA, M., 2007: Brno (k.ú. Jundrov, okr. Brno-město). „U Jezírka“ MMK. Povrchový průzkum. - Přehled výzkumů 48, 338-340. Archeologický ústav AV ČR v Brně.
- KIRCHNER, K., UNGER, J., VELEK, J., KUDA, F., KUBALÍKOVÁ, L., 2019: Lokalita Holedná - hradisko z mladší doby bronzové v západní části Brna zjištěné geomorfologickým průzkumem. In. Kleprlíková, L., Plichta A., Turek, T. eds. - Sborník abstraktů. Konference 25. Kvartér. s. 36. Masarykova univerzita Brno.
- KIRCHNER, K., UNGER, J., 2020: Brno (k. ú. Jundrov, okr. Brno-město). Holedná. Mladší doba bronzová. Ohražená lokalita. Geomorfologický průzkum. - Zprávy o výzkumech za rok 2019: Doba bronzová - Přehled výzkumů 61/1, 2020, 61/1, 2020. s. 168-170.
- KONIČKOVÁ Š., LOSOS Z., HOUZAR S., 2015: Geneze zelené plazmy - specifického mikrokrystalického křemičitého produktu zvětrávání serpentinitů (moravské moldanubikum, Český masiv). - *Bull. Mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 23, 1, 81-91
- KREJČÍ, O., BUBÍK, M., BURIÁNEK, D., DOLÁKOVÁ, N., KREJČÍ, V., NEHYBA, S., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., VÍT, J., 2021: Kenozoické sedimenty v lomu Předklášteří u Tišnova. - Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 28, 1-2, 20-32.
- KUBALÍKOVÁ, L., KIRCHNER, K., KUDA, F., 2021: New opportunities for geotourism development at ge archaeological site Holedná Hill (Brno, Czech Republic). In: Fialová, J. ed.: Public recreation and landscape protection - with sense hand in hand!. - Conference proceeding. 10th-11th May 2021. On-line. 312-316. Mendel University in Brno.
- LI, M. Y. H., ZHOU, M.-F., 2020: The role of clay minerals in formation of the regolith-hosted heavy rare earth element deposits. - *American Mineralogist* 105, 1, 92-108.
- LIU, X., MAO, X., YUAN, Y., MA, M., 2019 Aeolian accumulation: An alternative origin of laterite on the Deccan Plateau, India. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 518, 34-44.
- MAURIZOT, P., SEVIN, B., LESIMPLE, S., BAILLY, L., ISEPII M., ROBINEAU, B., 2020: Chapter 10 Mineral resources and prospectivity of the ultramafic rocks of New Caledonia. - Geological Society, London, Memoirs 51, 1, 247-277.
- MOMO NOUAZI, M., BEAUVAIS, A., TEMATIO, P., AMBROSI, J.-P., YEMEFACK, M., YERIMA, B. P. K., YONGUEFOUATEU, R., 2019: Lateritic weathering of trachyte, and bauxite formation in West Cameroon: Morphological and geochemical evolution. - *Journal of Geochemical Exploration* 205, No. 106324.
- PAČES, D., 2007: Obora Holedná (Holedná game reserve). - *Svět myslivosti* 8, 45-47.
- PAPOUŠEK, Z., 1983: Inženýrskogeologický průzkum pro stolovou trasu horních štol, stoly Letná - Bosonohy, objekty úpravní vody Švařec, vodojem Švařec, vodojem Čebín Ia., doplněk Čebín Ia - alternativa, vodojem Semtice a vodojem Medláňky II. - *Archiv ČGS Geofond P043616*, 74 s.

- ŘEPKA, R., KECLÍKOVÁ, J., ŠEBESTA, J., 2021: Comparison of forest species- diversity and composition inside and outside of the Holedná game reserve (the city of Brno, Czech Republic). - *Journal of Landscape Ecology* (2021), 14, 1, 1-18.
- SCHELLMANN, W., 1983: A new definition of laterite. - *Nat. Resour. Dev.* 18, 7-21.
- SVOBODA J., BENEŠ K., BUDAY T., BUCHA V., CIMBÁLNÍKOVÁ A., ČECH F., GUTH V., HEJL V., HOLUBÁR V., KOUTEK J., LOTEK V., PAČES T., PALIVCOVÁ M., PETRÁNEK J., POKORNÝ V., SUK M., ŠILAR J., VEJNAR, Z., ZÁRUBA Q., 1983: Encyklopedický slovník geologických věd A - M. - Academia, Praha, 1-920.
- ŠMÍD, J., 1987: Zpráva o podrobném inženýrskogeologickém průzkumu pro vybudování tunelu tepelného napaječe z JE Dukovany do Brna, Holedná a Chochola. - *Archiv ČGS Geofond P059462.* 37 s.
- TAYLOR, S. R., MCLENNAN, S. M., 1995: The geochemical evolution of the continental crust. - *Rev. Geophys.* 33, 2, 241-265
- THOMAS, M. F., 1994: *Geomorphology in the Tropics: a Study of Weathering and Denudation in Low Latitudes.* - Wiley, Chichester.
- TOMANOVÁ PETROVÁ, P., BURIÁNEK, D., KIRCHNER, K., KREJČÍ, O., LAUFEK, F., NEHYBA, S., OTAVA, J., 2018: Pestré sedimenty ottnangu v Brně-Kohoutovicích. - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 25, 1-2, 73-79.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/
https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/
http://www.vov.cz/: VOV_BROŽURA_2019.pdf