vá přehled o úspěšnosti infiltrace do spodních vod v krasu během kalendářního roku sestavený z třicetiletých průměrných hodnot. K nejvyšší infiltraci dochází v měsíci březnu (16%), kdy půda je již naplno rozmrzlá, k nejmenší v měsíci říjnu (1,3%). Vyšší srážková činnost od května do září není pro autochtonní krasové vody přínosná a ztrácí se z terénu prostým výparem, ale hlavně též evapotranspirační činností vegetace.

Poděkování

Autor děkuje všem kamarádům ve speleologii, kteří obětavě vykonávali všechny potřebné terénní práce nutné k získání naměřených hodnot, z nichž pak bylo možné odvodit poznání a závěry výzkumu. Ing R. Donocikovi a Českomoravskému cementu a. s. děkuje za podporu projektu.

Summary: On the origin of karst-autochthonous waters in the Moravian Karst and their study

The author reports on the results of a thirty-years' measurement of the formation of autochthonous subsurface waters in the Moravian Karst in relation to precipitations (Diagram 1) and the season of the year (Diagram 2). The amount of annual effective precipitations was found to be 11.2% of the sum of precipitations on average.

Georadarová a telegnostická měření nad Pekárnou 2017

Kalenda Pavel1*, Tengler Rudolf², Cendelín Richard³, Slezák Ladislav⁴, Pokorný Josef⁴

- ¹ CoalExp, Pražmo 129; *ČSS ZO 6-19 Plánivy, e-mail: pkalenda@volny.cz
- ² Ing. Rudolf Tengler RTG, Českobratrská 357, 276 01 Mělník

³ Brno, Česká republika,

⁴ ČSS ZO 6-12 Speleologický klub Brno

Abstrakt

Výsledky společného virgulového a georadarového (GR) měření v letech 2015 a 2016 v přímém předpolí jeskyně Pekárna v Moravském krasu urychlily další společné aktivity. V roce 2017 byly virgulí nalezeny další odbočky z hlavního směru jeskyně Pekárna, paralelní chodba západně od vchodu a bylo pokračováno v hledání směrů odvodnění zejména k JJZ. Detailní GR měření ukázala na charakter chodeb, potvrdila telegnostická měření a existenci hlubšího jeskynního patra v hloubce cca 60–75 m pod povrchem (30–45 m pod úrovní jeskyně Pekárna).

Úvod

Cílem naší práce bylo navázat na měření ve stejné oblasti jako v letech 2015 a 2016 a zpřesnit průběh jeskyně Pekárny v oblasti koncového závalu a bezprostředně za ním.

Vlastní předpolí jeskyně Pekárna na ploše cca $100 \times 150 \text{ m}$ (obr. 1) jsme proměřili pomocí nového typu georadaru Roteg s velkým hloubkovým dosahem (RTG-Tengler 2013; Tengler a kol. 2016) a paralelně detekovali kontury možných chodeb pomocí virgule.

Geologie

Geologická stavba vápencové kry, ve které se nachází Pekárna, byla popsána v předchozí práci (Kalenda a kol. 2017). Nově byly získány dosud nepublikované komplexní interpretace z geofyzikálního průzkumu v předpolí lomu Mokrá, který probíhal na plošině v širším okolí lomu Mokrá v letech 1965–1983 (obr. 2; Hruška 1985). Výsledky ukazují, že depresí za známým koncem Pekárny probíhá jedna z významných vodivých zón směru SV–JZ. Detailní geofyzikální (GF) měření ukázala, že za touto depresí pravděpodobně pokračuje Pekárna téměř ve svém původním směru. Všechny vodivé anomálie a in-



Obr. 1 Schéma profilů proměřená georadarem Roteg v roce 2017 v předpolí Pekárny – bod PB1 označuje konec jeskyně a je fixován na povrchu (Slezák, Cendelín a Pokorný 2017; mapový podklad Seznam.cz 2016) *Fig. 1 A scheme of profiles measured by GPR Roteg in 2017 behind the known end of the Pekárna Cave – point PB1marks the known end of the cave and is fixed to the surface (Slezák, Cendelín a Pokorný 2017; map adopted from Seznam.cz 2016)*

dicie zkrasovění končí na velké přesmykové zóně, která prochází téměř podél lesní cesty z Hostěnic do mokrské hájenky. Podél ní pokračuje významná vodivá zóna dále k JZ.

Georadarová měření

Na obrázku 3 jsou výsledky GR měření v roce 2016. Při našem měření nad Pekárnou jsme tentokrát zvolili třímetrové antény v uspořádání "za sebou", které jsou vhodnější do neprostupnějšího terénu a pro nehluboké jeskyně (obr. 4). Střední frekvence pro zvolené antény je 50 MHz.



Obr. 2 Komplexní interpretace geofyzikálních měření v předpolí lomu Mokrá na podkladě topografické mapy 1 : 1 000 (upraveno podle Hrušky, 1985). Žlutě – krasové zóny podle několika detailních GF měření, hnědé body, křivky, oblasti – lineární minima podle VES a SOP, červeně – hlavní zlomové linie a přesmyky. Černě – Pekárna a Ochozská jeskyně.

Fig. 2 Complex interpretation of geophysical measurements in the foreground of the Mokrá quarry on the topographic map 1 : 1 000 (adopted from Hruška, 1985). Yellow – karstic zones according to several detailed geophysical measurements; brown dots, curves and areas – linear minima according to VES and RP; red – main faults and thrusts. Black – the Pekárna and Ochozská caves.

Sčítali jsme 10 pulzů při rychlosti cca 3 km.h⁻¹. Krok mezi měřeními byl 0,1 m, přesnost GPS byla cca 1 m. Délka záznamu byla 6 966 vzorků po 0,277 ns, což je celkem 1 929 ns (odpovídající maximální hloubce reflexů 115 m při rychlosti vln 12 cm.ns⁻¹). Vzorkovací frekvence vlny byla 3,6 GHz. Výsledky georadarových měření, interpretace a diskuze Profily byly navrženy tak, aby pokryly území cca 100×150 m bezprostředně za známým koncem Pekárny, kde jeskyni kříží deprese, a které nebylo detailně proměřeno georadarem v roce 2016 (porovnej obr. 1 a 3). Krok mezi profily byl cca 10 m podle možností a průchodnosti terénu. Části profi-



Obr. 3 Výsledky interpretace radarového a telegnostického měření 2015– 2016 (Kalenda a kol. 2017). Žlutě – výsledky telegnostického průzkumu, připínáčky označují radarem detekované dutiny a jejich hloubku pod povrchem. Šipky ukazují na další detekované směry pokračování jeskynního systému (mapový podklad GoogleEarth 2016).

Fig. 3 Results of GPR and telegnostic measurements in 2015–2016 (Kalenda et al. 2017). Yellow – telegnostically detected caves, thumbnails mark the cavities detected by GPR, arrows show possible direction and continuation of the Pekárna Cave. (Map adopted from GoogleEarth 2016).



Obr. 4 Měření radarem nad Pekárnou 23. 4. 2017. Vzadu vysílač a anténa, vpředu přijímací anténa s přijímačem, měřením vzdálenosti na profilu a GPS (Foto J. Pokorný).

Fig. 4 Field GPR measurements above the Pekárna Cave of April 23, 2017. The transmitter and transmitting antenna (back), the receiver antenna, receiver with GPS and distance tracking in the front (Photo by J. Pokorný)

lů procházely mladým listnatým lesem s prořezávkou, kam jsme se v roce 2016 nebyli schopni dostat se dvěma šestimetrovými paralelními anténami, aniž bychom museli dělat průseky. Realizované profily a detekované jeskyně s hloubkami jsou na obrázku č. 5.



Obr. 5 Mapa profilů jižně od Pekárny v jejím předpokládaném pokračování. Označení profilů je vždy u jejich začátků (staničení 0 m). Kroužky označují začátky a konce detekovaných jeskyní (žlutě) spolu s jejich hloubkou (mapový podklad GoogleEarth 2016). P1 až P6 označují polohy jeskyně vymapované georadarem v roce 1995 (Hruška 1995). *Fig. 5 A map of profiles south of the Pekárna Cave. Profile names are marked at their beginnings (position 0 m). The circles mark the positions of the detected caves (yellow) with their depths. (Map adopted from GoogleEarth 2016). P1–P6 mark the positions of the cave detected by GPR in 1995 (Hruška 1995).*



Obr. 6 Radarogram na profilech P01 (A) a P02 (B). Bílé čtverečky označují pokračování osy jeskyně. Zřetelné jsou jak odrazy od stropu Pekárny (staničení 50–60 m, profil P01, staničení 50–75 m, profil P02, hloubky 23–29 m) tak také odrazy od stropu jeskyně v podloží Pekárny v hloubce 62–65 m. *Fig. 6 A radarogram on profiles P01 (A) and P02 (B). White squares mark the position of the axes of the Pekárna Cave. The distinct reflections are caused by the Pekárna Cave ceiling (positions of 50–60 m on profile P01, positions of 50–75 m on profile P02, depth 23–29 m) as well as by an unknown cave below the Pekárna Cave at a depth of 62–65 m.*



Obr. 7 a) Radarogram profilu P03, b) Radarogram profilu P04 Fig. 7 a) A radarogram on profile P03, b) A radarogram on profile P04 Na profilech P01 a P02, tedy ve vzdálenostech 10 a 20m za známým koncem jeskyně, byla detekována jeskyně 20–30 m JZ od jejího předchozího průběhu v hloubkách 23–29 m (obr. 6). Kromě Pekárny byla detekována i dosud neznámá hlubší jeskyně 60–65 m pod povrchem. Ta je vázána na zlomové pásmo, na kterém je vytvořena deprese a míří směrem na JZ. Na dalším profilu P03 už tato jeskyně není zachycena, je však detekován okrajový zlom deprese (obr. 7). Na profilu P04 je zachyceno pokračování jeskyně Pekárna jen v náznaku v původním směru. Na dalších profilech P07, P08 a zejména P10 je již opět Pekárna dobře patrná a kromě ní je vidět i slabší reflexe od méně výrazné dutiny ve staničeních 12 m (P7) a 47 m (P8) v hloubce cca 30 m (obr. 8).



Obr. 8 a) Radarogram profilu P07, b) Radarogram profilu P08, c) Radarogram profilu P10 *Fig. 8 a) A radarogram on profile P07, b) A radarogram on profile P08,* c) *A radarogram on profile P10*

Profily P11 a P12 zachytily dvě větve Pekárny v hloubce cca 20–25 m pod povrchem (obr. 9). Dobře jsou patrná také šikmo (k SV) ukloněná rozhraní, která jsou v blízkosti povrchu pravděpodobně silně zkrasovělá, na což ukazuje velký odporový kontrast. Interpretovaný průběh jeskyní je na obrázku 10.



Obr. 9 a) Radarogram profilu P11, b) Radarogram profilu P12 Fig. 9 a) A radarogram on profile P11, b) A radarogram on profile P12

Na tektonické linii F1 začíná koncový zával jeskyně Pekárna, který pokračuje až na linii F2. Na povrchu tvoří zával mělkou, ale výraznou depresi. Strop vlastní jeskyně je nevýrazně detekovatelný jz. od původního směru jeskyně, výrazněji podél zlomové linie F2. Podél obou zlomových linií F1 a F2 pokračují odbočky Pekárny k JZ.



Obr. 10 Mapa všech georadarových profilů v okolí Pekárny, proměřených v letech 2016 a 2017 (modře) a interpretovaný průběh chodeb (žlutě; mapový podklad GoogleEarth 2016)

Fig. 10 A map of all GPR profiles in the surroundings of the Pekárna Cave, which were measured in 2016 and 2017 (blue), with interpreted courses of corridors (yellow; map adopted from GoogleEarth 2016)

Výrazný odraz od stropu Pekárny začíná být vidět až na profilu P10 téměř v ose jejího pokračování za tektonickou linií F3. Také zde jsou pozorovatelné odbočky k JZ od hlavního směru. Jedna z nich je dobře patrná na radarogramu profilu P12 ve staničení 90–100 m (obr. 9).

Kromě chodeb vlastní Pekárny byla na V od ní detekována menší paralelní dutina, ústící do Kamenného žlíbku (obr. 10). Její strop je 8–11 m pod povrchem.

Kromě upřesnění průběhu chodeb v úrovni Pekárny mezi tektonikami F1 a F3 byly již v roce 2016 (Kalenda a kol. 2017) nalezeny chodby nižšího (50–75 m pod povrchem) a spodního patra (90–95 m pod povrchem) z. a j. od Pekárny podél lesní cesty. Tyto byly potvrzeny na profilech P01 a P02, vedoucích podél tektonické linie F1. Chodby spodního patra jsou geneticky svázány s nepropustnými spodnodevonskými bazálními klastiky, které tvoří bázi odvodnění celého území. Toto bylo také potvrzeno profilem vrtu V303, ve kterém byla navrtána v hloubce 92 m dutina o výšce téměř 1 m a to přímo nad bazálními klastiky.

Telegnostická měření

V roce 2017 se naše trojice SE3 (Cendelín, Pokorný a Slezák) velmi bedlivě zabývala detailními telegnostickými měřeními v polích mezi profily vedenými georadarem. Cílem bylo ověření detailních konfigurací tahů krasových dutin, opřených navíc o radarem určené hloubky možných výskytů. Tyto práce byly směrovány k určení genezí jednotlivých dutinových výskytů, jejich korelaci k tektonice, stupni krajinné denudace a v neposlední řadě k vazbám na genezi jeskynních paleoúrovní.

Byly zjištěny kontury dutiny nehluboko pod povrchem, vycházející do Kamenného žlíbku v. od Pekárny (obr. 11), které byly v roce 2016 objeveny při měření georadarem. V roce 2017 bylo naše úsilí zaměřeno na oblast z. od Pekárny, kam směřovaly chodby, které byly indikovány georadarem v hloubce 50–95 m pod povrchem (Kalenda a kol. 2017). Zde jsme nalezli možnou dutinu, směřující paralelně s Pekárnou k jihu, kterou jsme pracovně nazvali Pekárna IV (obr. 11). Její kontury jsme na několika pracovních akcích vysledovali až j. od silnice Hostěnice–Mokrská hájenka.

Porovnání výsledků všech měření

Výsledky GR měření nad Pekárnou v letech 2016 a 2017 můžeme porovnat s nyní dostupnými interpretacemi GF měření v letech 1965–1983 (Hruška 1985; obr. 12).



Obr. 11 Telegnosticky detekované jeskyně (žlutě) Pekárna II, Pekárna IV a Kůlnička Fig. 11 Cavities according to divining rod (yellow): Pekárna II, Pekárna IV and Kůlnička caves



Obr. 12 Mapa interpretovaného průběhu jeskynního systému Pekárny z georadaru (žlutě), interpretovaných vodivých zón podle odporových metod (Hruška 1985; hnědě), krasových zón podle drobné geofyziky (Hruška 1985; okrově) a lokální tektoniky (červeně), černě jsou vyneseny kontury dutin podle virgule (mapový podklad GoogleEarth 2016). *Fig. 12 A map of interpreted GPR courses of the Pekárna Cave corridors* (*yellow*), *interpreted conductive zones according to resistivity methods* (*Hruška 1985; brown*), *karstified zones according to detailed geophysical measurements (Hruška 1985; ochre) and local tectonics (red). The black lines contour the cavities according to divining rod. (Map adopted from GoogleEarth 2016).*

Z porovnání je dobře patrné, že všechny GF metody zachytily správně odskok průběhu jeskyně Pekárna k JZ po příčné tektonice F1 a to o 20-30 m. V přímém pokračování (v depresi) jsou vidět jen náznaky původního směru jeskyně, která je pravděpodobně celá destruována a zavalena. Druhá příčná deprese F2 tvoří jv. hranici deprese cca 50 m za známým koncem jeskyně a je na ní vyvinuta řada dutin a jeskyní. Velice silně se projevuje v geoelektrických metodách nízkými odpory (Hruška 1987; Crha 1983). Na této příčné tektonice jeskyně opět odskakuje k JZ asi o 20 m a dále pokračuje k JV a postupně se stáčí k V. Detailní GF měření v 80. letech (Hruška 1985) se shoduje s výsledky z georadaru až na větev, směřující k J cca 100 m za známým koncem Pekárny. Tato větev nebyla potvrzena na žádném ze 3 GR profilů, proměřených v roce 2016. Krátká větev mezi rozvětvením odpovídá dutině v hloubce 16-24 m pod povrchem a krátká větev z. od osy Pekárny byla zachycena radarem jako významná chodba v hloubce 58-60m, představující část nižšího patra. Krátká větev na V od Pekárny představuje menší korozní dutinu, vyvinutou na tektonice paralelní s Pekárnou v hloubce 8-11 m.



Telegnostické detekce dutin také ukázaly, že mezi tektonikami F1 a F2 je Pekárna pravděpodobně zavalena až na nějaké menší průlezy a generelně odskakuje k JZ od původního směru. Pokračování hlavní chodby – Pekárna II – se na tektonické linii F3 stáčí k JZ, kde byly georadarem detekovány chodby v hloubce 16–27 m. Za lesní cestou pokračuje telegnostická detekce dále k J. V roce 2017 byla nově detekována dutina – Pekárna IV, která však nemá žádnou podporu v GF měřeních 1965–83 (Hruška 1985). Do této oblasti bude nově nasměrováno ověřovací GR měření, protože již proměřené profily neumožnily detekovat v této oblasti chodby převážně směru S–J. Jedinou indicií jsou profily P01–P04, které ukázaly, že v okolí tektonické linie F1 jsou vyvinuty dutiny v hloubkách 18–24 m. Tyto dutiny odpovídají v krátkém úseku 30 m telegnosticky detekované dutině.

Závěr

Georadarem byly detailně zmapovány dutiny a chodby, které geneticky souvisí s jeskyní Pekárnou, v jejím bezprostředním předpolí. Bylo zjištěno, že Pekárna nepokračuje v přímém směru dále k JV (pravděpodobně je přímé pokračování zcela zavaleno), ale uskakuje na příčné tektonice k JZ asi o 20–30 m a dále se dělí na několik ramen s převládajícím pokračováním k JZ.

Byly detekovány významné chodby v hloubkách 60–75 m pod povrchem a to jak bezprostředně jz. od Pekárny, tak také na tektonice F1 (směřující také k JZ) a 100 m v předpolí Pekárny (směřující k J). Nejhlubší významné dutiny byly detekovány z. od Pekárny v hloubce cca 92 m, která odpovídá hranici mezi bazálními devonskými klastiky a vápencovým komplexem. Tyto dutiny potvrdily úroveň nejhlubší báze odvodnění, navazující pravděpodobně na erozní bázi v úrovni Mokrské jeskyně.

Zevrubná korelace dosažených poznatků během r. 2017 velmi výrazně posunula představy o paleogeografickém vývoji j. části Moravského krasu, zvláště z hlediska pozice jeskyně Pekárny, jako torza předneogenního jeskynního systému, zčásti zdevastovaného v období mladších modelačních fází vázaných na Hostěnický potok, a jeho erozní báze (Mokrská jeskyně).

Tyto poznatky by ve svém výstupu měly velký význam pro směřování jednak speleologického průzkumu, jednak pro poznání akumulací krasových vod v zónách pod úrovní dnešní, velmi kapacitně problematické úrovně.

Summary: Ground penetrating radar and telegnostic measurements above the Pekárna Cave in 2017

The results of the divining rod and the Ground Penetrating Radar (GPR) measurements in the immediate foreground of the Pekárna Cave in the Moravian Karst in 2015 and 2016 accelerated the subsequent common activities. New branches of the Pekárna Cave and a parallel corridor was found to the west of the main Pekárna Cave corridor. The drainage mainly to the SSW from the Pekárna Cave was discovered. Detailed GPR measurements showed the character of the cave corridors, confirmed the divining rod measurements and confirmed the existence of a deeper cave level at a depth of 60–75 m below the surface (i.e., 30–45 m below the Pekárna Cave level).

Literatura:

- Crha J. (1983): Souhrnná závěrečná zpráva Mokrá, část II. Nepublikovaná zpráva, GP Ostrava, závod Brno.
- Hruška J. (1985): Komplexní analýza geofyzikálních měření v předpolí lomu Mokrá. Nepublikovaná zpráva, Geofyzika Brno.

Hruška J. (1987): Horákov – Mokrá, závěrečná zpráva o provedeném geofyzikálním měření na území ložiska. – Nepublikovaná zpráva, Geofyzika Brno, Z-6706.

Hruška J. (1995): Pekárna, georadarová měření v roce 1995. – Nepublikovaná zpráva, Geofyzika Brno.

Kalenda P., Tengler R., Cendelín R., Slezák L., Pokorný J. (2017): Georadarová a telegnostická měření nad Pekárnou 2016. – *Speleofórum*, 36: 30–35. Praha.

RTG-Tengler (2013): http://georadar.rtg-tengler.cz/geologicky-zlom-u-sobotky.

Slezák L., Cendelín R., Pokorný J. (2017): Jeskyně Pekárna v jižní části Moravského krasu ve světle nových výzkumů. – *CD edice SE-3-2017*, TO-2-5. Tengler R., Kalenda P., Doležal F. K., Chlup L. (2016): Testování nového typu georadaru s velkým hloubkovým dosahem. – *Speleofórum*, 35: 35–42. Praha.

ročník *volume* **37 2018**

•

SPELEOFÓRUM



setkání speleologů v Moravském krasu meeting of cavers in the Moravian Karst

20.-22. dubna 2018 April 20 to 22, 2018

Česká speleologická společnost Czech Speleological Society