

Využití georadaru v krasových oblastech a pro průzkum jeskyní

Vratislav Ouhrabka

Jeskyně definované jako podzemní dutiny přírodního charakteru jsou hlavním předmětem speleologického výzkumu. Jeho metody pak zahrnují nejčastěji speleologický průzkum a dokumentaci jeskynních prostor a slouží i k objevování nových jeskyní a jejich částí. Se speleologickými výzkumy těsně souvisí hydrologická,

klimatická a jiná pozorování a měření, odběry vzorků jeskynních výplní, mineralogický, tektonický, geofyzikální, ale i biospeleologický či paleontologický výzkum a řada dalších činností směřujících k získávání poznatků o jeskyních a s nimi spojenými jevy.



Georadarový průzkum na povrchu krasového tělesa v okolí jeskyně Ponikelské propadání s použitím dlouhých antén tažených lidskou silou. Foto Vratislav Ouhrabka



Proutkař při práci. Autor Pierre le Brun, 1732

Tajemné jeskyně fascinovaly lidstvo od pradávna. A tak se není co divit, že první z dnešního hlediska odborné a systematické speleologické průzkumy byly na našem území zahájeny již před 300 lety. Zasloužil se o ně především matematik císařského dvora Josef Anton Nagel (1717–1794), který byl v roce 1784 vyslán na v podstatě první speleologickou expedici na Moravu. Podrobnosti uvádí Zajíček (2018). Tyto první speleologické průzkumy se zaměřovaly většinou pouze na průstup volně přístupnými, většinou známými jeskyněmi a na jejich popis a základní dokumentaci (mapy a kresby). Teprve později v průběhu 19. století se začal speleologický průzkum cíleně zabývat i vyhledáváním a objevováním nových jeskyní, případně jejich prodloužení. To bylo často spojeno s využitím náročných technických prací. Nejvýznamnějším představitelem této generace speleologů je bezesporu Karel Absolon (1877–1960).

Metody speleologického průzkumu

V každé historické etapě speleologických výzkumů bylo možné k objevování jeskyní používat jen v té době známé metody a dostupnou techniku. Zpočátku to byly pouze žebříky, konopná lana, krumpáče a lopaty, vrátky a okovy, případně vrtačky a dynamit. Později přibyla stále zdokonalovaná potápěčská výzbroj a speleoalpinistické pomůcky. Modernější technika umožnila pronikat do nových jeskyní průkopy přes mohutné závaly, sedimenty vyplněné chodby, skalní úžiny a vodní sifony či vystoupat do vysokých komínů.

Postupem času se však snadnější možnosti objevů jeskyní vyčerpávají a dostat se do nových prostor či objevit zcela nové jeskyně je stále složitější. A tak nabývají na důležitosti metody, kterými lze s různou mírou nejistoty vysledovat, případně vytyčit podzemní dutiny z povrchu. Tou nestarší a dodnes běžně používanou pomůckou je virgule (proutek). Přestože je to metoda často zatracovaná a její princip není dosud zcela objasněn, je mezi speleology řada zkušených proutkařů, kteří dokáží bezpečně vytyčit tektonické linie, horninová rozhraní i podzemní dutiny. Mezi exaktní vědecké disciplíny využívané k „nahlédnutí pod povrch“ krasových území patří zhruba od 40. let 20. století nejrůznější geofyzikální metody. Příkladem velmi úspěšného použití k vyhledávání jeskyní jsou provedená elektrodoporová měření v areálu Bozkovských jeskyní v roce 1959 (Skřivánek et Valášek 1960). Zde se podařilo na základě na povrchu zjištěných anomálií měřeného elektrického odporu zcela přesně vytyčit místa pro zaražení 5 kopaných sond. Všemi následně speleologové postupně pronikli do předpokládaných jeskynních prostor.

Georadar

Novou a v jistém ohledu převratnou metodu nahlížení pod zemský povrch přinesl v posledních letech georadar, přístroj, který „vidí“ do pevných látek. Georadar dokáže určit rozhraní mezi jednotlivými materiály v podloží. Najde kovy, dutiny i šachty, je velmi citlivý na obsah vody v horninách. Použití je velmi široké, od archeologie přes hledání zasypaných sklepů, inženýrských sítí, mapování skalního podloží, základů budov až po studium geologické stavby, a v našem případě najde využití při speleologickém výzkumu. Dle použité technologie a charakteru podloží umožňuje nahlédnout do hloubek až stovek metrů pod povrchem.

Georadar pracuje na principu průniku a odrazu elektromagnetických rádiových vln. Z vysílače pulsuje rádiové vlny do podloží. Odtud jsou odrazeny zpět k povrchu z rozhraní jednotlivých vrstev majících odlišné dielektrické vlastnosti. Příjímač tyto odražené pulzy přijímá. Z těchto přijatých impulsů se skládá odražená vlna. Speciální software dokáže vlnu zobrazit v jakémkoliv bodě měření a z jednotlivých vln složit celý radarogram. Vyhodnocení a zpracování naměřených dat a interpretace radarogramů je vždy individuální. Stejná data vyhodnotí každý odborník vždy trochu jinak. O výsledku měření je vždy možné diskutovat. Z pouhého pohledu na radiogram není možné přesně určit od čeho (od jakého materiálu) se daná vlna odrazila, to je třeba prozkoumat nakonec stejně jinými prostředky (např. vrt či sonda do podloží). Více o problematice georadarů, čtení radarogramů a jejich využití např. na <https://georadar.rtg-tengler.cz>.



Měření georadarem Roteg v prostorách Kateřinské jeskyně. Foto Petr Zajíček



Georadarový profil měřený po turistické trase Kateřinské jeskyně za účelem zjištění mocnosti jeskynních sedimentů. Foto Petr Zajíček

Testování georadaru v krasových terénech

I přes problematickou interpretaci naměřených dat mohou georadarová měření významně pomoci při vyhledávání i takových podzemních dutin, jako jsou krasové jeskyně.

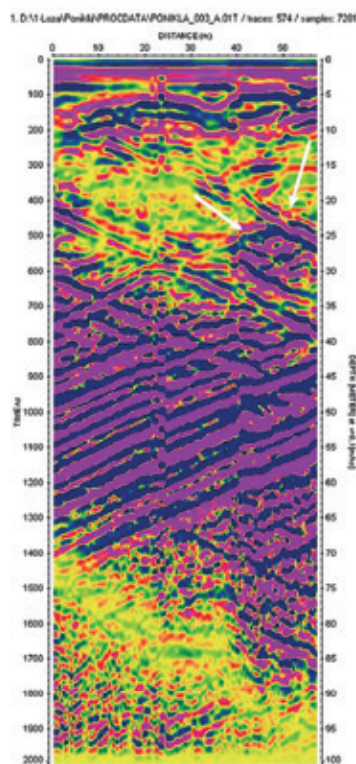
U nás se zabývá vývojem a testováním různých typů georadarů v krasových územích Ing. Rudolf Tengler



Detailní měření v Ledové chodbě Kateřinské jeskyně sloužilo k určení příhodného místa pro umístění archeologické sondy. Foto Petr Zajíček



Netypické použití georadaru pro měření na vertikální stěně jeskyně. Foto Jiří Hebelka



Ukázka vyhodnoceného radiogramu. Bílé šipky ukazují na možné dutiny v hloubce kolem 25 m. Narušené pásmo se od nich táhne až do hloubky 90 m. Zdroj Archiv SJ ČR

zhruba od roku 2015. V první fázi byly porovnávány výsledky již dříve použitých geofyzikálních metod a georadarová měření nad známými úseky jeskyní (Amatérská, Holštejnská, Lopač, ...) v severní části Moravského krasu (Kalenda et Tengler 2016). Radarový průzkum poblíž Hranické propasti ukázal, že je možné detekovat odrazy elektromagnetických pulzů i velikých hloubek. Zde byly zaznamenány odrazy od jeskynních stropů a od litologických

rozhraní nacházejících se až 580 m pod povrchem, to je přibližně 515 m pod hladinou podzemní vody (Kalenda, Tengler et Geršl 2020).

Úspěchy i neúspěchy

V podstatě první velký úspěch spojený s testováním georadaru při vyhledávání neznámých jeskynních chodeb zaznamenali začátkem roku 2019 slovinští speleologové. Na základě měření (Tengler, Kalenda et Šebela 2018) v okolí Škocjanských jeskyní během roku 2016 byly určeny možné směry a hloubky dalšího pokračování známých jeskynních prostor. Průkopem u stropu tzv. Martelovy dvorany v hloubce okolo 90 m pod povrchem se skutečně jeskyňáři dostali do nových jeskyní. Georadarový průzkum tak pomohl k prvnímu velkému objevu ve Škocjanských jeskyních po téměř 100 letech. Na druhou stranu ne vždy jsou výsledky georadarových průzkumů objektivní. Například přestože radarogramy z měření v okolí Albeřické jeskyně v Krkonoších či Ševčíkova závrtu v Moravském krasu žádné další dutiny navazující na známé části jeskyní nepredikovaly, byly zde později speleologickým průzkumem objeveny rozsáhlé prostory procházející pod proměřovaným územím.

Měření v podzemí

Výhodu této metody je i to, že ji lze využít i pro měření přímo v jeskyních. V roce 2017 byl proveden georadarový průzkum v prostorách Kateřinské jeskyně. Jeho cílem bylo určení mocnosti sedimentů a hloubky skalního podloží v hlavních částech jeskyně (Vstupní chodba, Hlavní dóm, Ledová chodba a Dóm chaosu). V Dómu chaosu bylo provedeno měření i po vertikální severozápadní skalní stěně, které mělo potvrdit možnost pokračování jeskynních prostor v tomto směru. Naměřené odrazy však tuto domněnku nepotvrdily. K měření byl použit georadar Roteg od

firmy RTG s anténami 150 MHz a vysílač s pulzem 5 kV s hloubkovým dosahem cca 25 m. Na radarogramech jsou dobře patrné vrstvy hlín nebo jílu provlhčených vodou, jsou velmi kontrastní a převládají v nich horizontální odrazy. Pod nimi jsou většinou méně kontrastní odrazy od kamenů s výplní patrně opět jílu a hlín nebo písků. Skalní vápencová podloží ukazují nevýrazná horizontální zvlněná rozhraní v hloubkách až okolo 15 m (Tengler 2019). Pro detailní upřesnění hloubky skalního podloží v Ledové chodbě Kateřinské jeskyně byla provedena georadarová měření i v rámci probíhajících archeologických výzkumů (viz článek P. Zajíčka v tomto čísle OP).

Seznam literatury najdete na www.casopis.ochranaprirody.cz