

Nový pohled na vznik a hloubku Hranické propasti

Hranickou propast najdeme u Hranic na Moravě 35 km východně od Olomouce. Není možná tak populární jako známá Macocha v Moravském krasu, přesto její věhlas v posledních letech daleko přesáhl hranice České republiky. Letos publikované výsledky geofyzikálního výzkumu ukazují, že jí titul nejhlubší zatopené jeskyně světa patří právem.

text **JAROSLAV KADLEC, RADEK KLANICA, JAN MRLINA, PETR TÁBOŘÍK**

PRVNÍ písemná zpráva o Hranické propasti pochází již z roku 1580. Pojednání sepsané jakýmsi Tomášem Jordánem ze Sedmíhradska zmiňuje také neúspěšný pokus potopit se na dno jezera v propasti. Jedná se pravděpodobně o nejstarší informaci o speleo-potápěčském průzkumu nejen u nás, ale možná i v celosvětovém měřítku.

Na počátku 20. století byla hloubka jezera v propasti změřena olovnicí na 36 m. V šedesátých letech pak začíná systematický potápěčský průzkum zatopených vertikálních prostor propasti. V sedmdesátých letech je překonána hloubka 100 m. Od začátku osmdesátých let začali potápěči používat směs kyslíku a helia (tzv. trimix) a týmy moravských a polských potápěčů se postupně dostávaly stále hlouběji - až do neuvěřitelných 265 m pod hladinu jezera. Dno propasti však bylo stále v nedohlednu.

Současně probíhaly pokusy s dálkově ovládanou ponornou sondou, která nakonec 27. září 2016 pronikla do hloubky 404 m pod hladinu jezera (obr. 1). Hlouběji sondu nepustila omezená délka ovládacího kabelu. I přesto se Hranická propast stala nejhlubší zatopenou jeskyní světa s tím, že celková hloubka propastovitého systému zůstává stále neznámá. Do roku 2016 kralovala na první příčce nejhlubších propastí světa italská Pozzo del Merro s hloubkou 392 m naměřenou pod vodní hladinou.

JAK JE HLUBOKÁ?

Ve vodě vyplňující Hranickou propast se ve zvýšené koncentraci vyskytuje oxid

uhličitý (CO₂), voda je tak vlastně minerální vodou - kyselkou. Ve stopovém množství byla zjištěna také přítomnost helia. Oba tyto plyny pocházejí ze spodních částí zemské kůry, případně až ze zemského pláště - tedy z hloubek desítek kilometrů pod zemským povrchem. Zvýšený obsah CO₂ v jeskynních vodách Hranického krasu a také ve vodách jímáných vrty pro nedaleké lázně Teplice nad Bečvou, společně s vyšší teplotou vody (14,5–18,8 °C), vedly v třicátých letech minulého století k představě, že místní jeskyně včetně Hranické propasti vznikly hypogenním (hydrotermálním) způsobem - tj. rozpouštěním vápence odspodu směrem k zemskému povrchu agresivními vodami obohacenými o CO₂. Proces si můžeme zjednodušeně představit tak, jako kdybychom pomalu namáčeli kostku cukru do čaje a ten ji odspodu zvolna rozpouštěl.

Odhady možné hloubky propasti se v závislosti na poznatcích o geologické stavbě Hranického krasu pohybují v řádu prvních kilometrů, ale najdou se i odvážní kolegové přesvědčení, že Hranická propast by mohla být hluboká až 40 km.

Při hloubkových ponorech potápěči mapovali rozměry zatopených vertikálních prostor propasti. Z horizontálních řezů konstruovaných v různých hloubkových úrovních až do -170 m je patrné, že dutiny vznikaly rozpouštěním vápenců podél dominantního zlomu směru SZ-JV. Rozpouštění a cirkulaci podzemní vody podporovaly také husté systémy tlakových puklin (tzv. kliváz) stejného směru, jaký má zlom.

Radek Klanica, Jan Mrlina a Petr Tábořík věnují tento článek památce Jaroslava Kadlece, který krátce před odesláním tohoto čísla do tisku nečekaně zemřel.

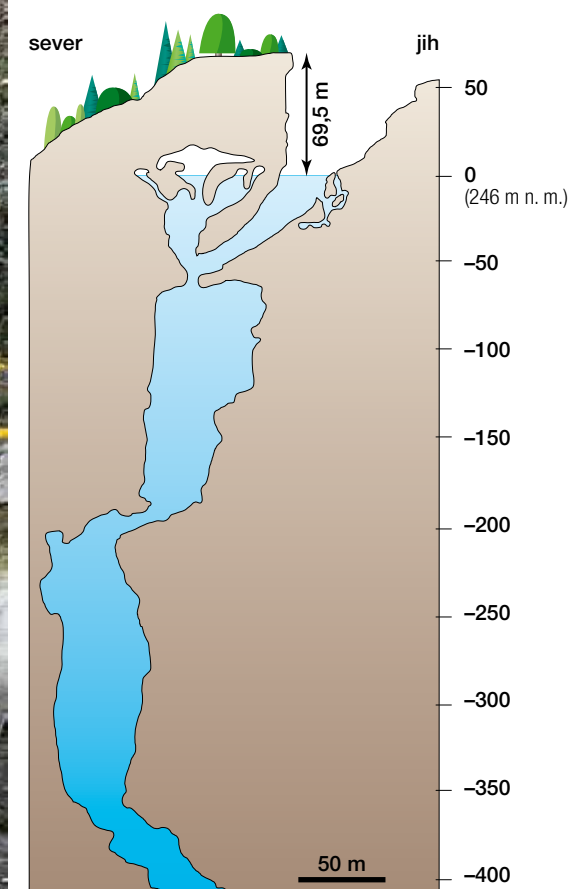
Tvar vertikálních dutin je většinou úzký s délkou do 60 m a maximální šířkou 15 m.¹ Do větších hloubek se mohou rozměry

Doc. RNDr. JAROSLAV KADLEC, Dr., (*1961, †2020) vystudoval geologii na PŘF UK v Praze. V laboratoři geomagnetismu Geofyzikálního ústavu AV ČR využíval environmentálně magnetické metody za účelem rekonstrukce prostředí v nejmladší geologické minulosti Země.

Mgr. RADEK KLANICA, Ph.D., (*1990) vystudoval geofyziku na PŘF UK v Praze. Působí v geomagnetickém oddělení Geofyzikálního ústavu AV ČR. Věnuje se magnetotelurické metodě jak po stránce teoretické (modelování, vývoj nových programů), tak především po stránce praktické (měření nových dat, geologická interpretace).

RNDr. JAN MRLINA, Ph.D., viz Vesmír 99, 498, 2020/9.

RNDr. PETR TÁBOŘÍK, Ph.D., (*1981) vystudoval fyzickou geografii a geoeologii na PŘF Ostravské univerzity v Ostravě. Působí v oddělení neotektoniky a termochronologie Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR a v Ústavu hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky PŘF UK v Praze.



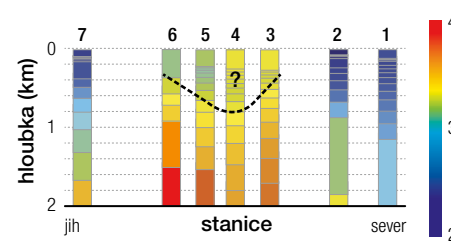
1. VLEVO: Suchá část Hranické propasti. Tmavá hladina jezera na dně propasti je zčásti zakryta hnědým napadaným listím. Tudy se vstupuje do zatopeného systému propasti. **VPRAVO:** vertikální řez známou částí Hranické propasti – rozlišeny jsou hloubky suché a zatopené části propasti.

Snímek Radek Klanica, ilustrace podle Klanica et al., 2020 (upraveno)

i tvary dutin měnit, ale je spíše pravděpodobné, že i tam rozpouštění vápence probíhalo hlavně v místech, kde je hornina porušená - tedy podél zlomu a klivázových puklin.

GEOFYZIKÁLNÍ METODY

V posledních letech byl výzkum Hranické propasti zaměřen hlavně na vodu, která



Upraveno podle Klanica et al., 2020

2. VÝSLEDKY magnetotelurických měření v profilu kolem Hranické propasti. Barevná škála vyjadřuje dekadický logaritmus elektrického odporu – chladné barvy reprezentují vodivé vrstvy hornin, zatímco teplé odpovídají vysokoodporovým vrstvám.

propast vyplňuje - na její vlastnosti a původ. Náš tým z Geofyzikálního ústavu AV ČR, Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR a Přírodovědecké fakulty UK se rozhodl použít geofyzikální metody k odhadu celkové možné hloubky propasti a k upřesnění vnitřní stavby a geologického vývoje Hranického krasu.

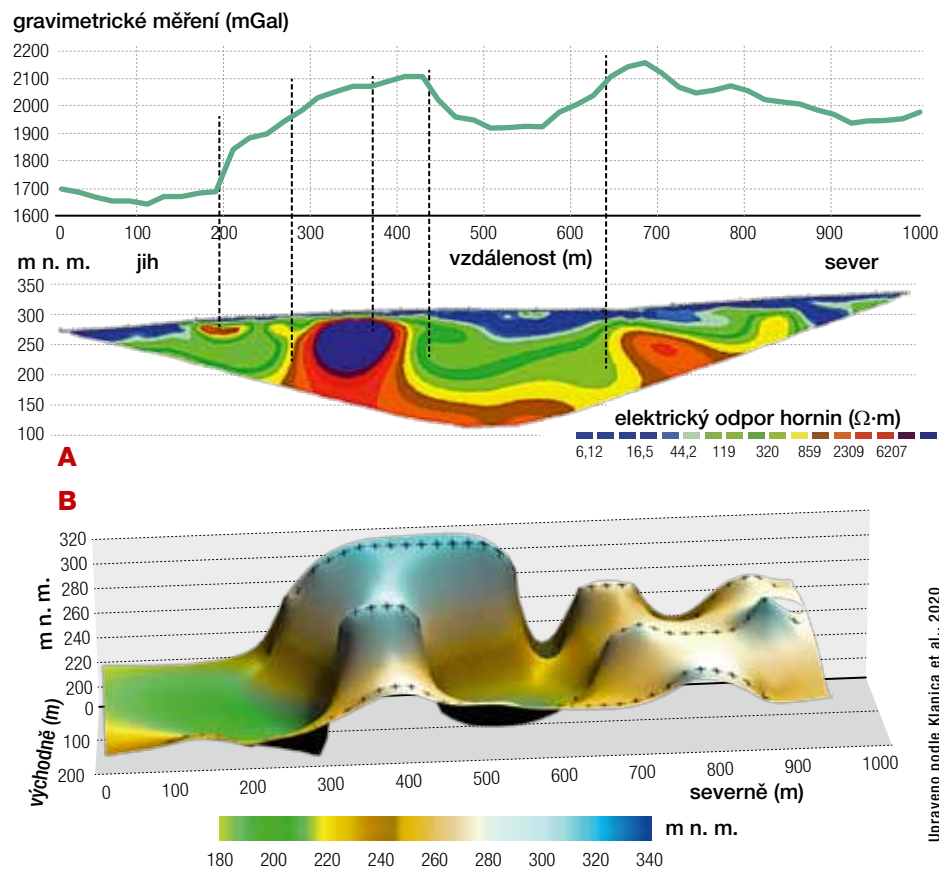
Pomocí geofyzikálních metod lze na povrchu Země registrovat různá fyzikální pole, která odrážejí podpovrchovou geologickou stavbu. Pokud mají horniny pod povrchem odlišné fyzikální vlastnosti, lze z velmi přesných měření od sebe odlišit různá prostředí geologická, tektonická nebo hydrogeologická. Je k tomu možno využít řadu metod reagujících na rozdíly např. v měrném elektrickém odporu, hustotě nebo rychlosti šíření seismických vln. Pro úspěšné použití jakékoli geofyzikální metody je však klíčové, aby se fyzikální vlastnosti zkoumaného geologického prostředí dostatečně lišily.

Ke zjištění hloubky vodou nasycenou zónou korespondující s tělesem propasti jsme použili magnetotelurickou metodu. Jedná se

o elektromagnetickou induktivní metodu, která využívá variace přírodního elektromagnetického pole Země. Ty indukují v zemi proudy, jejichž odezvu v podobě elektrické a magnetické složky na povrchu měříme a následně z nich můžeme dopočítat elektrický odpor prostředí. Ve vodivých strukturách se indukují proudy silnější, ve strukturách s vyššími odpory se indukují proudy slabší. Hloubkový dosah metody lze kontrolovat tím, jakou frekvenci variací registrujeme - nižší frekvence má větší vlnovou délku a proniká hlouběji. Díky širokému frekvenčnímu rozpětí přírodního elektromagnetického pole lze metodu v ideálním případě využít k určení elektrického odporu hornin až do hloubek desítek kilometrů.

V rámci našeho výzkumu jsme změřili profil probíhající přes Hranickou propast, jehož výsledky ukázaly rozložení elektrického odporu až do hloubky 2000 m (obr. 2). Vodou nasycená zóna je elektricky vodivější

1) <http://hranickapropast.cz/mapy/ostatni-mapy>



3. A. Křivka tíhových anomálií dle gravimetrického měření kombinovaná s tomografickým odporovým řezem z elektrické odporové tomografie. B. Výsledný model členitého pohřbeného reliéfu miocenního krasu, rekonstruovaný na základě izolinie 1000 Ω·m z metody elektrické odporové tomografie. Výškové rozdíly mezi vápencovými věžemi, údolními a závrty dosahují podle modelu až 70 metrů.

a vykazují nižší odpor než okolní vodou málo saturované vysokoodporové vápence. Výsledky magnetotelurické metody naznačují, že vodou vyplněná zkrasovělá struktura může zasahovat do hloubky až 1000 m pod zemský povrch, což by vzhledem ke známé geologické a tektonické stavbě mohla být i celková hloubka Hranické propasti.

POHŘBENÝ KRAS
Hranický kras skrývá ještě další zajímavosti z historie svého vzniku. Tvary krasového povrchu vznikaly v průběhu spodního miocénu (před 23 až 16 miliony let) a následně byl krasový povrch zakryt středně miocenními mořskými písky a jíly v průběhu posledního průniku moře na naše území.

Abychom získali detailnější informace o tomto pohřbeném fosilním krasu, použili jsme elektrickou odporovou tomografii (ERT). Aplikace metody spočívá v roztažení kabelu, ke kterému jsou v pravidelných vzdálenostech připojeny elektrody. Mikroprocesorem řízená aparatura poté pošle dvěma elektrodami do země proud a mezi jinými dvěma měří vybuzečné napětí. Přepínáním mezi jednotlivými elektrodami tak postupně ve vrstvách proměřuje ve

vertikálním řezu pod zemským povrchem geologické prostředí. Z aplikovaného proudu a registrovaného napětí lze následně dopočítat měrný elektrický odpor (rezistivitu). Hloubkový dosah získaných informací je dán vzdáleností proudových elektrod - čím dále jsou od sebe, tím hlouběji metoda „vidí“. Odporová tomografie nám poskytla detailní informace o odporových poměrech až do hloubky přes 200 metrů. V okolí Hranické propasti geofyzikální metody také potvrdily nízké odpory vápenců nasycených kyslíkem v zóně širší, než se doposud předpokládalo.

Vzhledem k tomu, že podložní krasové vápence vykazují většinou vysoké odpory a jsou zakryty mladšími sedimenty, které mají naopak odpory velmi nízké, je ERT ideální pro zjišťování morfologie pohřbeného krasu. Pro upřesnění výsledků jsme měření doplnili na jednom z profilů o gravimetrická (rozlišuje horniny dle jejich hustoty) a seismická měření (rozlišuje horniny dle rychlosti šíření seismických vln). Kombinace výsledků tří použitých metod ukázala členitý krasový povrch tvořený kuželovými věžemi, vysokými až 70 m, údolními a četnými závrty. Dnes je pohřben pod mladšími mořskými sedimenty (obr. 3), původní krasový povrch však mohl



4. KRASOVÉ vápencové homole u města Guilin v Číně. Hranický kras mohl kdysi vypadat podobně.

připomínat světoznámé vápencové homole u města Guilin v Číně (obr. 4).

NOVÁ HYPOTÉZA O VZNIKU PROPASTI

Závrty byly vytvořeny vodou pronikající do krasového podzemí. Zásadní otázkou ovšem je, kam voda dále vápencovým souvrstvím proudila.

Hranický kras se utvářel ve velmi dynamickém prostředí na styku Českého masivu a karpatské orogenní soustavy. Nasouvání karpatských příkrovů v průběhu alpského vrásnění probíhalo ještě v nedávné geologické minulosti, ve spodním i středním miocénu, a tektonické tlaky pokračují dodnes. Svědčí o tom poměrně častý výskyt slabých zemětřesení v oblasti Hornomoravského úvalu i v širokém okolí.

Stlačování horninových mas v důsledku horotvorných pohybů mělo za následek otevírání hlubokých pánevních a příkopových depresí. Jednou z nich je vídeňská pánev, jejíž nejsevernější výběžky zasahují až k Uherskému Hradišti. V těsné blízkosti Hranického krasu se kombinací vertikálních a horizontálních pohybů horninových bloků otevřel v rámci karpatské předhlubně až 1000 m hluboký kaňonovitý příkop. Dnes jej označujeme jako příkop Moravské brány. Hloubka příkopu je známa díky hlubokým vrtům (obr. 5). Dno příkopu se stalo místní erozní bází, ke které proudila podzemní voda z okolí. Je pravděpodobné, že voda snadněji proudila podél zlomů a puklinových systémů, které porušují horniny. To se týká hlavně vápencových souvrství Hranického krasu, bezprostředně sousedících s kaňonovitým příkopem. U dna kaňonu pak voda vyvěrala. Horizontální vzdálenost mezi Hranickou propastí a předpokládanými vývěry v předhlubni jsou pouhé 2–3 km. Podle této představy by výškový rozdíl kolem

900–1000 m extrémně urychlil proudění vody vápencovým souvrstvím. Hloubka Hranické propasti by tak mohla dosahovat ~900 m. Tuto interpretaci podporuje i hloubkový dosah vodou saturované zóny zjištěný pomocí magnetotelurického měření.

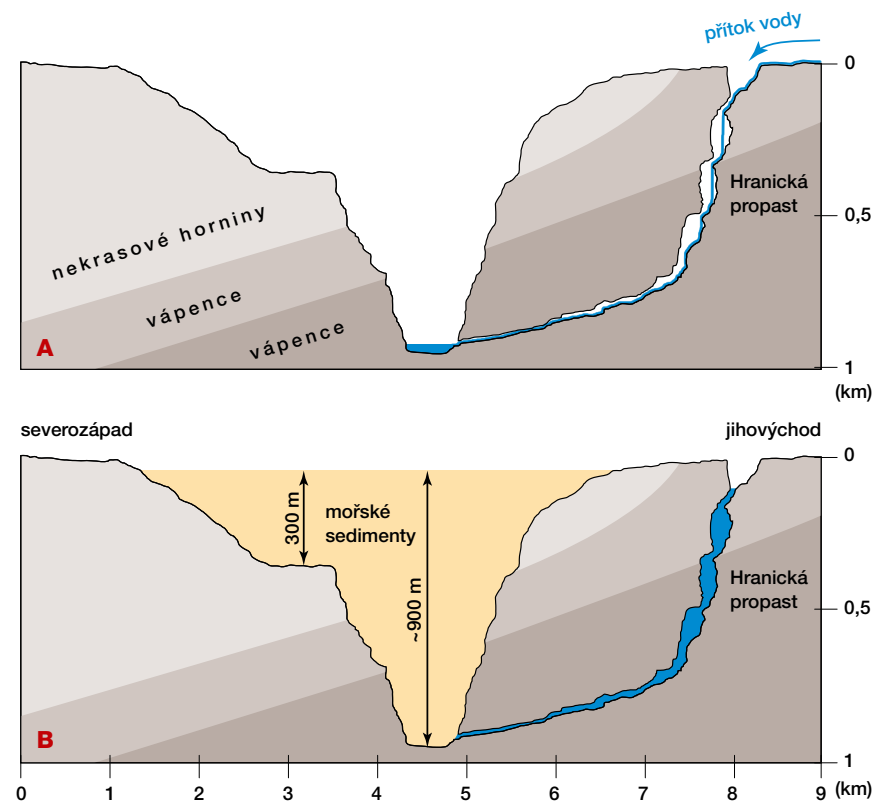
Počátkem středního miocénu (před 16 miliony let) zaplavilo východní okraj Českého masivu moře. Karpatská předhlubně byla vyplněna

mořskými písky a jíly a krasový vývěr Hranické propasti u dna příkopu Moravské brány zůstal natrvalo zablokovaný. Mořské sedimenty zakryly i členitý povrch Hranického krasu. Po ústupu moře hladina podzemní vody postupně vystoupala na současnou úroveň a Hranická propast se zaplnila vodou.

Takto prezentovaná teorie ovšem znamená, že Hranickou propast vytvořila voda proudící

z povrchu miocenního krasu dolů směrem k místní erozní bází. V takovém případě by propast vznikla běžným, tzv. epigenetickým způsobem, který dominuje ve většině krasových oblastí. Naše interpretace tedy nabízí alternativní vysvětlení vzniku Hranické propasti. Představa je ovšem v protikladu s tradičně přijímanou hypogenní teorií, že propast vytvořily agresivní vody rozpouštěním odspodu směrem k zemskému povrchu.

Hypogenní teorie je založena mimo jiné na faktu, že ve vodě Hranické propasti i v okolních jeskynních systémech je ve zvýšené koncentraci rozpuštěn CO₂ a teplota vody je také mírně zvýšená. Podzemní vody s vyšší koncentrací CO₂ však nejsou v této části karpatské předhlubně výjimkou. Plyn vystupuje podél hluboce založených zlomů sahajících do spodních částí zemské kůry a pravděpodobně až k hranici se zemským pláštěm. Přítomnost CO₂ v podzemní vodě zcela jistě přispívá k rozpouštění vápence, a tím i k sekundárnímu (hypogennímu) dotváření epigeneticky vzniklého propastovitého systému, včetně vzniku hydrotermální jeskynní výzdoby - např. raftových stalagmitů. ●



5. SCHEMATICKÝ VERTIKÁLNÍ ŘEZ napříč Moravskou bránou se znázorněním situace ovlivňující vznik Hranické propasti. A. Vznik kaňonovitého příkopu Moravské brány, jehož dno tvořilo erozní bází pro proudění vody ve vápencových souvrstvích a umožnilo epigenetický vznik Hranické propasti; spodní miocén. B. Vyplnění příkopu Moravské brány mořskými sedimenty blokujícími původní vývěry vod z Hranické propasti u dna kaňonu. Svislé linie vyznačují hluboké vrty, které provrtaly mořskou výplň příkopu; střední miocén až současnost. Upraveno podle Klanica et al. 2020

K dalšímu čtení...

Geršl M., Travěnek F.: Gejzírové stalagmity v Hranickém krasu – nová teorie geneze. Speleofórum 2002, ČSS, 21, 67–69, 2002.
Klanica R., Kadlec J., Tábořík P., Mrlina J., Valenta J., Kováčiková S., Hill G. J.: Hypogenic Versus Epigenic Origin of Deep Underwater Caves Illustrated by the Hranice Abyss (Czech Republic) – The World's Deepest Freshwater Cave. Journal of Geophysical Research: Earth Surface 125, 1–16, 2020/9, DOI: 10.1029/2020JF005663.
Zajíček P.: Krasové oblasti střední a severní Moravy a Slezska. Pozoruhodné dějiny objevů podzemního světa. Academia, Praha 2020, 246 s.