

# Kam směřují horní patra Škocjanských jam z Martelovy dvorany?

Pavel Kalenda<sup>1</sup>, Rudolf Tengler<sup>2</sup>, Stanka Šebela<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CoalExp, Pražmo 129, 739 04 Pražmo, Czech Republic, [p.kalenda@volny.cz](mailto:p.kalenda@volny.cz)

<sup>2</sup> Ing. Rudolf Tengler – RTG, Českobratrská 357/13, 276 01 Mělník, Czech Republic, e-mail: [rtg@rtg-tengler.cz](mailto:rtg@rtg-tengler.cz)

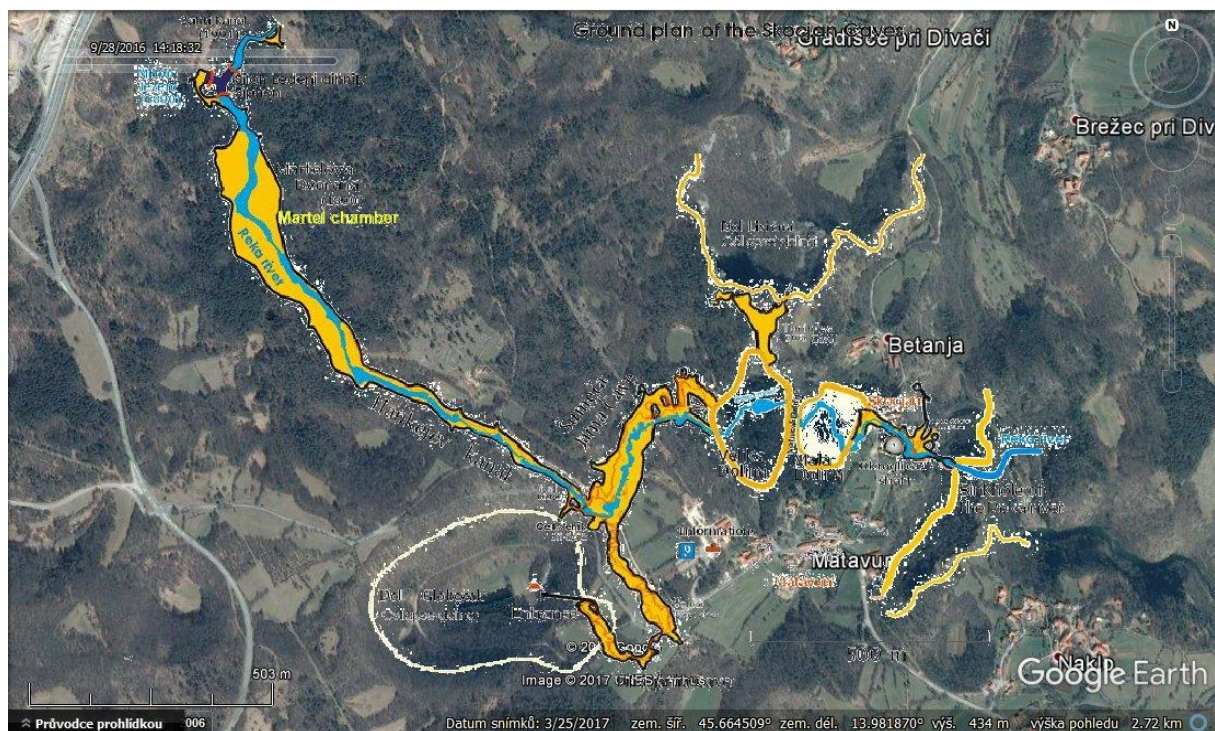
<sup>3</sup> ZRC SAZU Karst Research Institute, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenia, e-mail: [sebela@zrc-sazu.si](mailto:sebela@zrc-sazu.si)

## Abstrakt

Za pomoci nového typu georadaru Roteg s velkým hloubkovým dosahem byly proměřeny profily z. a s. od Martelovy dvorany ve Škocjanských jamách s cílem nalezení předpokládaného fosilního horního patra v hloubkách 60 až 100 m pod povrchem. Byly nalezeny tři významné dutiny v předpokládaných směrech, jejichž pokračování bylo také detekováno západně od dálnice Divača – Postojna.

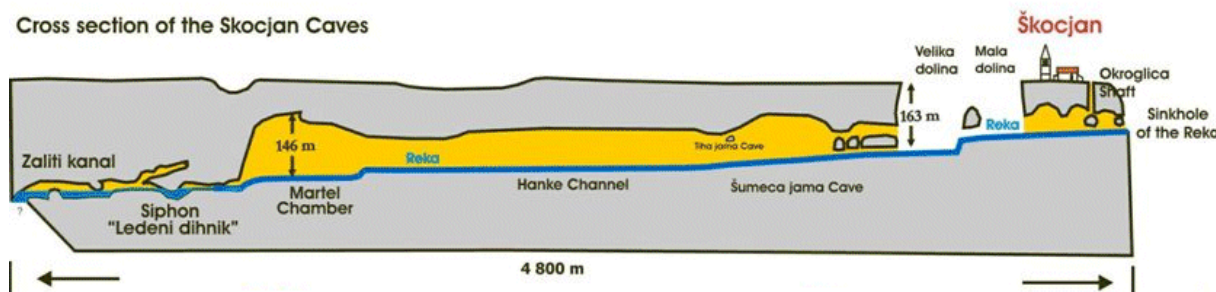
## Úvod

Škocjanske jame ve Slovinsku jsou jedním ze světových unikátních příkladů propadání nekrasové řeky (Reka) do podzemí. Vznikly tak hluboké kaňony, poloslepá údolí, propasti a také jeskyně v několika výškových údolích. V dnešní době pokračuje podzemní tok řeky Reka z Martelovy dvorany (viz obr. 1) přes několik sifonů do jeskyně Kačna jama (Hadí jeskyně), která se nachází na SZ od Škocjanských jam. Odtok přes relativně úzké a hluboké sifony nekorresponduje s obrovskými vstupními prostory celých vstupních partií Škocjanských jam až po Martelovu dvoranu, která vyniká svými rozměry (300d x 80š x 146 m v) (viz obr. 2).



Obr.1 – Ortofotomapa (Google Earth 2015) s polohou Škocjanských jam. Martelova dvorana na SZ je největší prostorou s délkou cca 300 m, šířkou až 80 m a výškou až 146 m.

Fig. 1 – Ortophotomap (Google Earth 2015) with map of Škocjan Caves (<http://www.park-skocjanske-jame.si/vsebina/skocjanske-jame/opis-jam>). Martel chamber on NW is the biggest chamber with the length of 300 m, width of 80 m and height of 146 m.



Obr. 2 – Vertikální řez Škocjanskými jamami podél toku řeky Reka

Fig. 2 – Cross-section of Škocjan Caves along Reka River (<http://www.park-skocjanske-jame.si/vsebina/skocjanske-jame/opis-jam>)

Musí zde tedy existovat další pokračování jeskyně ve vyšších patrech (přibližně v úrovni Tihe jamy, která je dnes součástí prohlídky jeskyně přibližně 60 m nad aktivním tokem (viz obr. 2).

V roce 2014 byl vyvinut nový typ georadaru „Roteg“, který svým abnormálním výkonem (až 20 kV na vysílací anténě) umožňuje „vidět“ v krasových oblastech do hloubek několika set metrů.

V letech 2015 – 2017 probíhalo testování tohoto georadaru „Roteg“ na mnoha místech v ČR i v zahraničí (v závorce jsou uvedeny průkazně dosažené hloubky): Pytlíková jeskyně (20 m) (Kalenda a kol. 2016), lom Malá dohoda (20 m) (Kalenda a kol. 2016), oblast pod lomem Na Bradinách (20 m) (Kalenda a kol. 2016), Holštejnská jeskyně (40 m) (Kalenda a Tengler 2016), Spodní Suchdolská jeskyně (40 m) (Kalenda a kol. 2016), jeskyně Lopač (20 – 60 m) (Tengler a kol. 2016), jeskyně č. 561A v lomu Velká dohoda (40 m s jednodetektorovými anténami 150 MHz) (Kalenda a kol. 2016), Amatérská jeskyně (90 – 110 m) (Tengler a kol. 2016), jeskyně Pekárna Cave (140 m) (Kalenda a kol. 2017). Po těchto pozitivních zkušenostech z Moravského krasu jsme otestovali maximální hloubkový dosah ve Slovinsku nad systémem Postojenská jeskyně – Planina. Bezpečně jsme detekovali jeskyni Jama na poti (40 m) (Kalenda a kol. 2017b), Crna jama a Pivka jama (60 – 70 m) (Kalenda a kol. 2017b), Postojenskou jeskyni (80 – 150 m) a Planinskou jeskyni (180 m) (Kalenda et al. 2017c).

### Georadar „Roteg“

Georadar se stal jedním z nejužívanějších přístrojů pro vyhledávání nehomogenit v zemi do hloubek několika metrů pro svou vysokou efektivitu prací v terénu (Bláha a kol. 1999). Radar je založen na vysílání vysokofrekvenčních pulzů (nejčastěji 25 – 1000 MHz) jednou anténou a přijímání odrazů těchto pulzů druhou anténou se zpožděním, které je úměrné

hloubce daného rozhraní materiálů s rozdílnými konduktivitami ( $\sigma$ ), od kterého se pulzy odrážejí. Amplituda odrazů je úměrná poměru elektrických vodivostí ( $\sigma$ ) a permitivit ( $\epsilon$ ) obou materiálů a klesá s hloubkou v závislosti na útlumu prostředí (van der Kruk et al. 1999). Pro běžně užívané GPR a typická prostředí střední Evropy s měrnými odpory stovek  $\Omega\text{m}$  je hloubkový dosah několik metrů až první desítku metrů (Chamberlain et al. 2000).

Na speleologicky známých krasových lokalitách v České Republice jsme v roce 2015 vyzkoušeli hloubkový dosah nového typu GPR „Roteg“ (Tengler a kol. 2016), který se oproti stávajícím GPR vyznačuje vyšším pulzním výkonem (puls až 5-20 kV – při délce kolem 5 ns). Vysílač obchází běžně užívané polovodičové prvky MOS a LDMOS a využívá jiskřiště, kde vznikají Dirakovy pulsy o délkách do 5 ns přímo vybitím kondenzátorů (RTG-Tengler 2013). Ze spojitého spektra se vybírají ty převažující frekvence, na které jsou naladěny speciální širokopásmové antény. Pro 6-ti metrovou anténu je převažující frekvencí 25 MHz, pro 3-metrovou je to 50 MHz a pro 1-metrovou anténu to je 150 MHz. V optimálních podmínkách s půdním pokryvem nepřesahující několik metrů při použití 6-metrové antény byly zřetelně detekovány odrazy od stropů jeskyní v hloubkách okolo 100 m pod povrchem krasové plošiny (Tengler a kol. 2016). Ve Slovinsku nad systémem Postojenské jeskyně jsme byli schopni detekovat jeskyně na aktivním toku v hloubce 200 m pod povrchem (Kalenda a kol. 2017).

Na základě těchto našich zkušeností jsme odhadli, že s 3-metrovými anténami bychom měli být schopni detekovat chodby horního jeskynního patra v hloubkách 50 – 150 m pod povrchem. Průměrovali jsme 80-100 pulzů v jednom kroku při rychlosti cca 2 km/h. Krok mezi měřeními byl 0,1 m, přesnost GPS byla cca 1 m. Délka záznamu byla 42000 vzorků po 0,277ns, což je celkem 5040 ns, vzorkovací frekvence vlny byla 3,6 GHz. Pro tabulkovou rychlost 12cm/ns představuje 5040 ns maximální hloubku možných odrazů 302 m.

Proměřili celkem 16 profilů (sko1 – sko16) o délkách 65 – 410 m (viz obr. 3). Profily byly vedeny západně a severně od Martelovy dvorany, kde jsme předpokládali staré odtokové chodby horního patra (viz obr. 3).

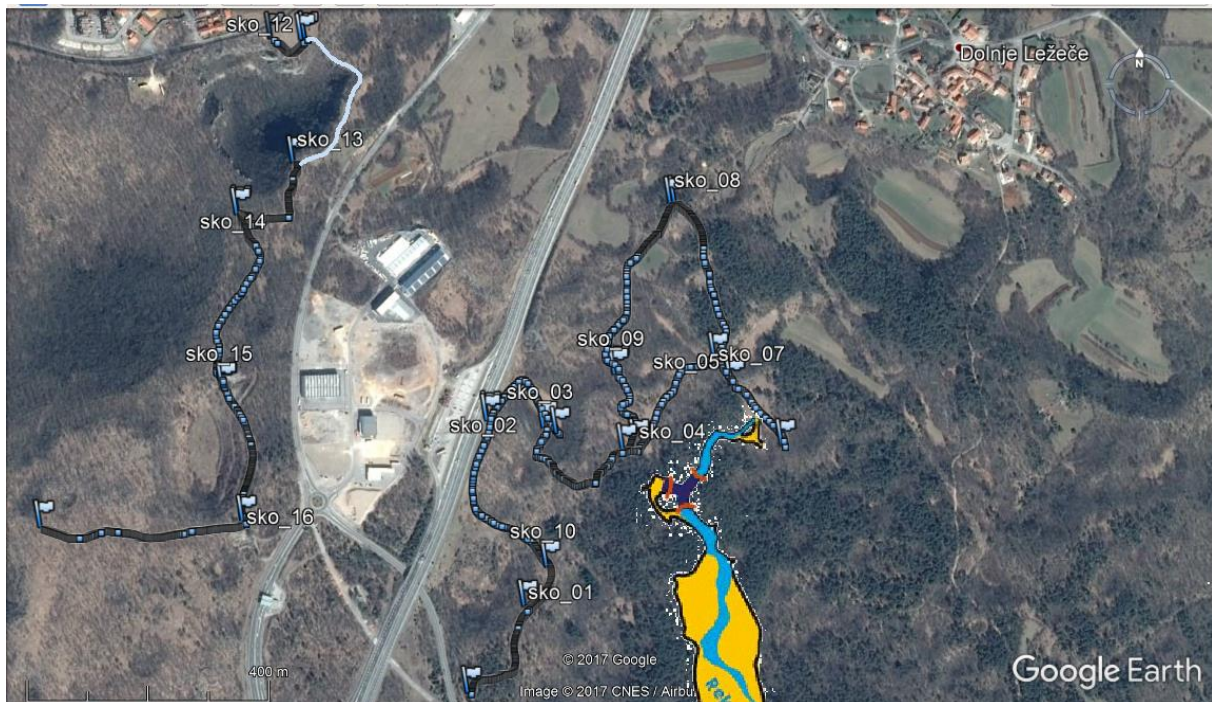
Primární georadarové záznamy jsme filtrovali a zpracovávali v programu REFLEXW (Sandmeier Software, Karlsruhe, Germany).

```
file: D:\1-ROTEG\Slov17\Post25MHz\PROCDATA\POST25MHZ_001.10T
time cut / 8500 / 0 / 0 / 0 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
gain function / 400 / 1,238347 / 0 / 10000 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
spectral whitening / 2 / 50 / 1 / 0 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
average xy-filter / 5 / 5 / 0 / 8501 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
bandpassbutterworth / 5 / 100 / 0 / 0 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
filter/timedependent / 0 / 50 / 0 / 25 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
move starttime / -30 / 0 / 0 / 0 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
gain function / 900 / 0,064 / 0 / 10000 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
time cut / 5050 / 0 / 0 / 0 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
average xy-filter / 10 / 20 / 0 / 5051 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
manual gain (x) / 0 / 0 / 0 / 0 // 1 / 509 / 1 / 1076 / 0 / 0 / 0 / 0
```

Postup filtrace byl přibližně následovný:



- a) lineární zesílení s přibývajícím hloubkou
- b) omezení frekvencí 1-100 MHz
- c) odstranění vzdušných odrazů s parametrem rychlosti kolem 0,15 cm/ns, pokud tam byly
- d) průměrování 5 sousedních bodů
- e) u profilů 9-15 vzhledem k velkému útlumu v povrchových hlínách bylo použito spektrální bělení 1-100 MHz



*Obr. 3 – Profily nad Škocjanskými jamami a západně od nich. Názvy profilů označují počátky profilů.*

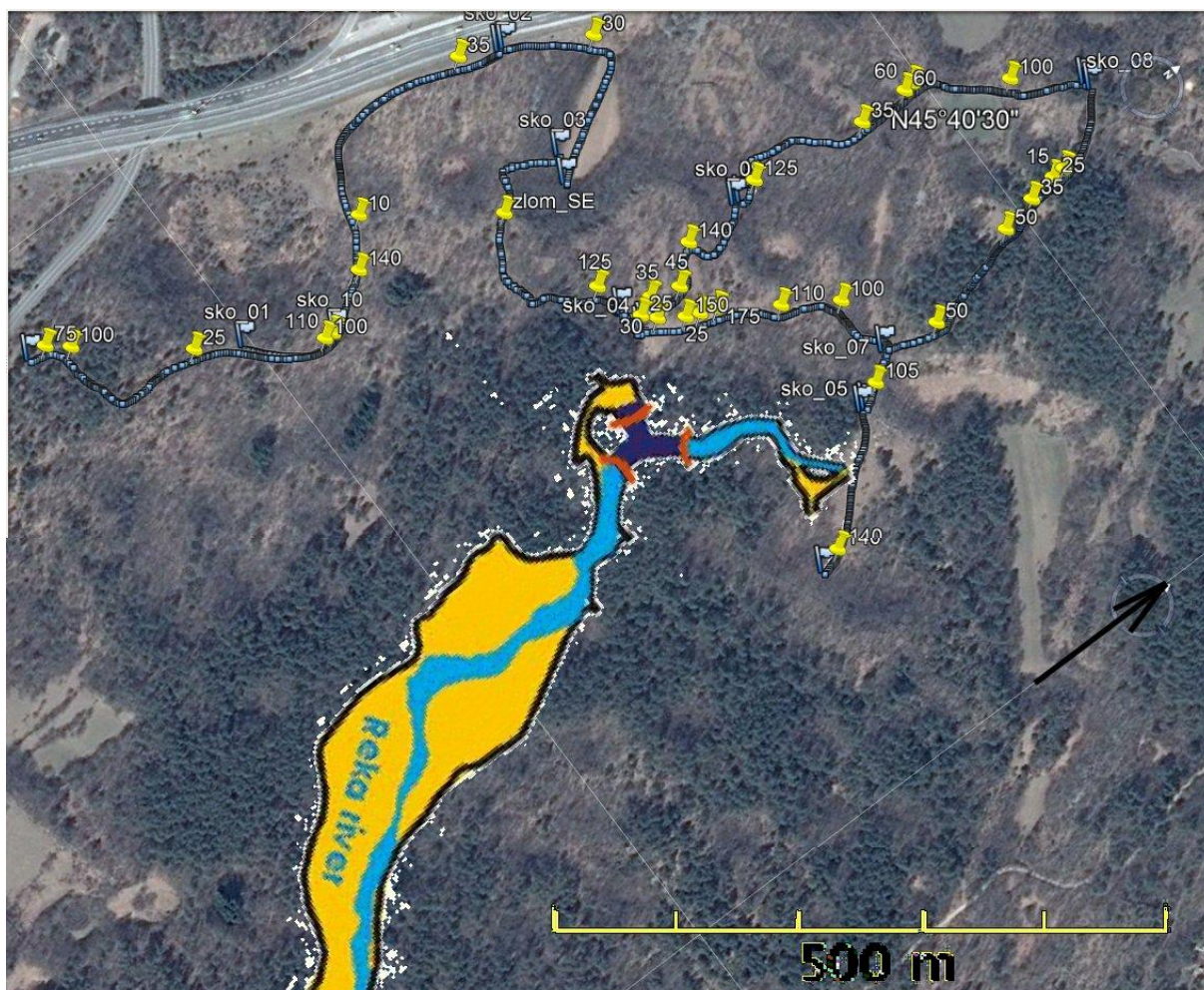
*Fig. 3 – Georadar profiles above and westerly of Škocjan Caves. The names mark the beginnings of profiles.*

## **Výsledky měření**

### **Část profilů východně od dálnice**

Pro detekci horního jeskynního patra v pokračování a na západ od Martelovy dvorany byly rozhodující profily sko10, sko1, sko3, sko4 a sko5. Profily sko7, sko8 a sko9 mohly potvrdit detekci nějakých jeskyní na profilu sko4. Obdobně pak profily sko11 až sko16 západně od dálnice mohly ukázat směr dalšího pokračování předpokládaného horního patra.

Na obrázku 4 jsou na ortofotomapě GoogleEarth vyznačeny průběhy profilů sko1 – sko10 spolu s Martelovou dvoranou a koncovými sifony Ledeni dihnik a druhým sifonem na konci Zaliteho kanalu.

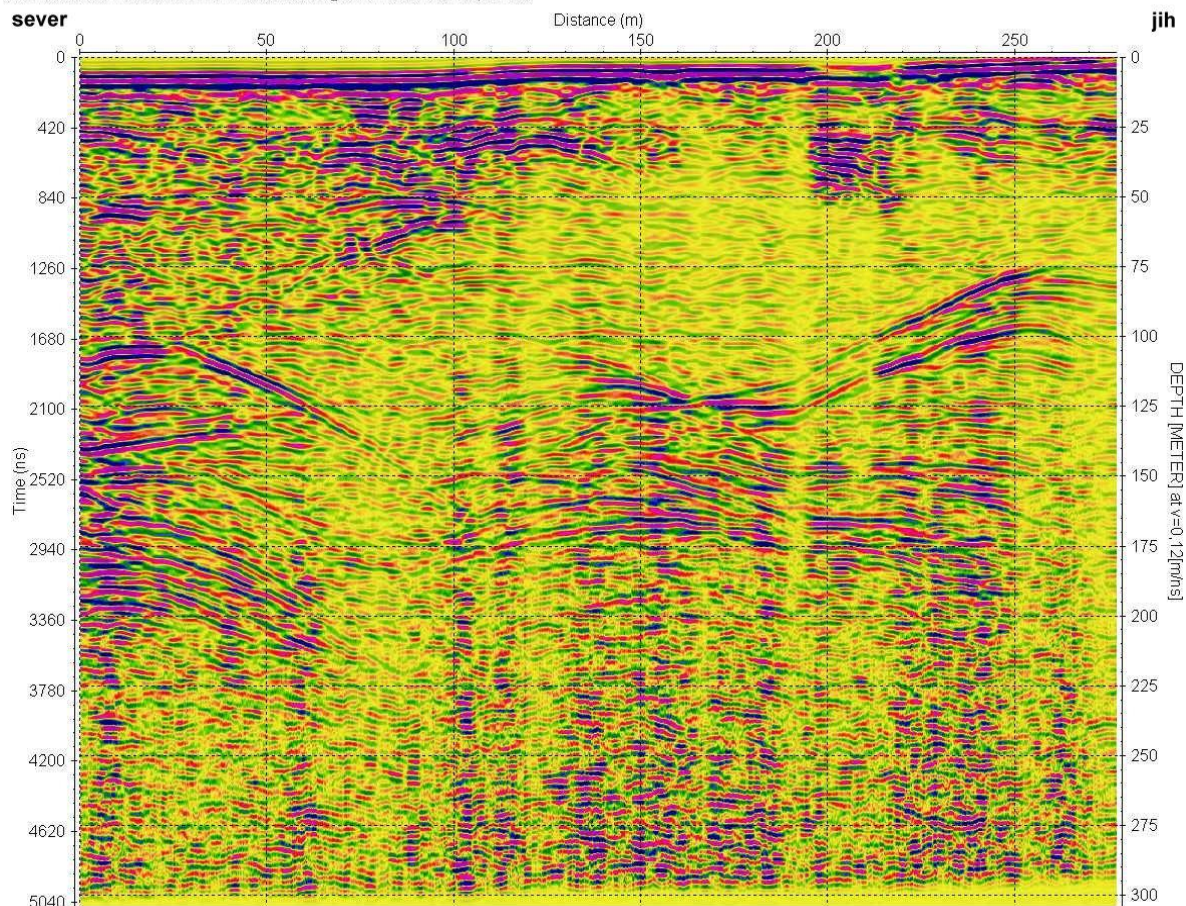


Obr. 4 – Mapa profilů severně a severozápadně od Martelovy dvorany. Připínáčky označují polohy nalezených utin a jeskyní. Čísla udávají hloubku.

Fig. 4 – The map of profiles to the north and northwest of the chamber Martel Dvorana. The thumbnails mark the positions of cavities and caves. Numbers are dpths.

Na nejjižnějším profilu sko10 byly zachyceny velké prostory na třech místech – mezi staničeními 10 m a 25 m v hloubce 100 m, kde sahají další významné reflexy do hloubek až 200 m; okolo staničení 140 – 150 m v hloubkách 110 – 175 m a na konci profilu mezi staničeními 250 – 270 m v hloubkách 75 – 100 m (viz obr. 5). Nad těmito velkými dutinami se nachází řada menších jeskyní a dutin v hloubkách do 50 m, které však pro nás nebyly zajímavé z pohledu našeho cíle měření.



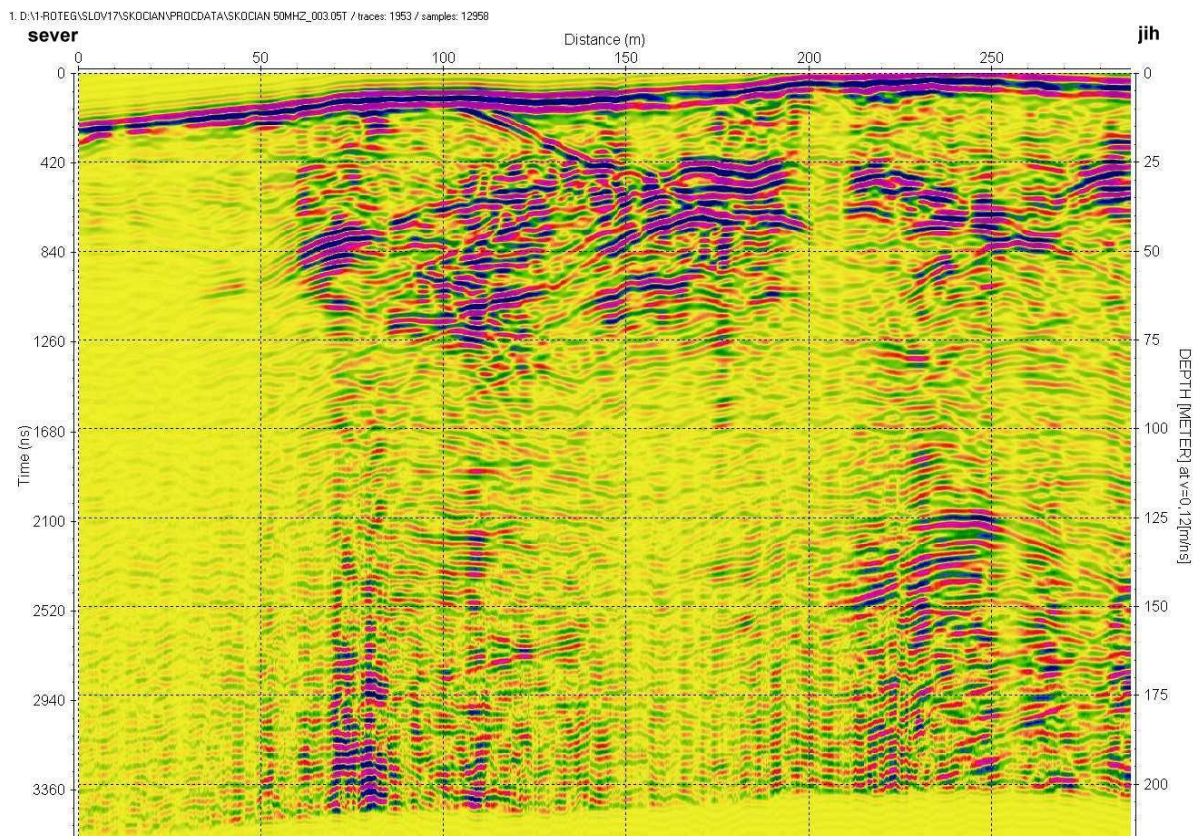


*Obr. 5 – Radarogram na profilu sko10*  
*Fig. 5 – Radarogram on profile sko10*

Na profilu sko1 je zachycena ve staničení 60 – 80 m stejná dutina jako a profilu sko10 ve staničení 10 – 25 m (který ale byl naměřen v opačném směru). Další významné dutiny nebo jeskyně v hloubkách pod 100 m nebyly detekovány.

Taktéž profilem sko2 nebyly zachyceny žádné významné dutiny zejména proto, že větší část profilu vedla dnem velkého závrtu, kde mocnost hlín přesahovala několik metrů a neumožnila elektromagnetickým vlnám proniknout hlouběji do podloží než na několik prvních desítek metrů.

Na profilu sko3 byla zachycena velká dutina nebo jeskyně ve staničení 230 – 250 m v hloubce 125 – 150 m (viz obr. 6).



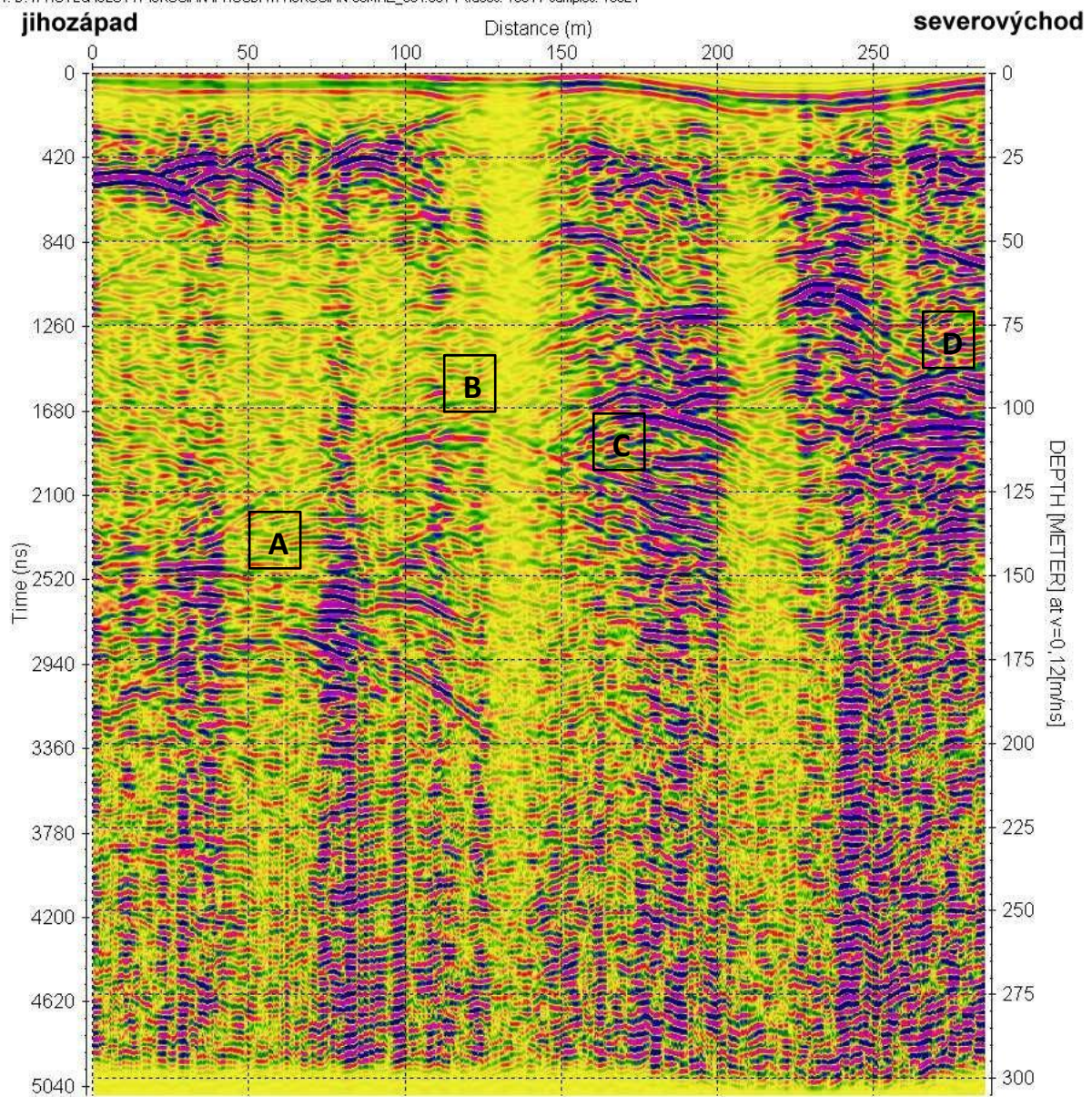
*Obr. 6 – Radarogram na profilu sko3*  
*Fig. 6 – Radarogram on profile sko3*

Na profilu sko4 byly zachyceny čtyři významné struktury (dutiny) v hloubce pod 100 m – ve staničení 20 – 70 m v hloubce 150 – 175 m (A), ve staničení 110 – 120 m v hloubce 110 m (B), ve staničení 170 m v hloubce 100 m (C) a ve staničení 265 – 280 m v hloubce 100 m (D) (viz obr. 7). První z nich ve staničení 20 – 70 m leží v přímém pokračování Martelovy dvorany (viz obr. 4).

Na profilu sko5 byla zachycena buď korodovaná vrstevní plocha nebo tektonická porucha ve staničení 90 – 130 m v hloubce 140 – 135 m, která se nachází o cca 50 m výše nad koncovými sifony Škocjanských jam (viz obr. 4).

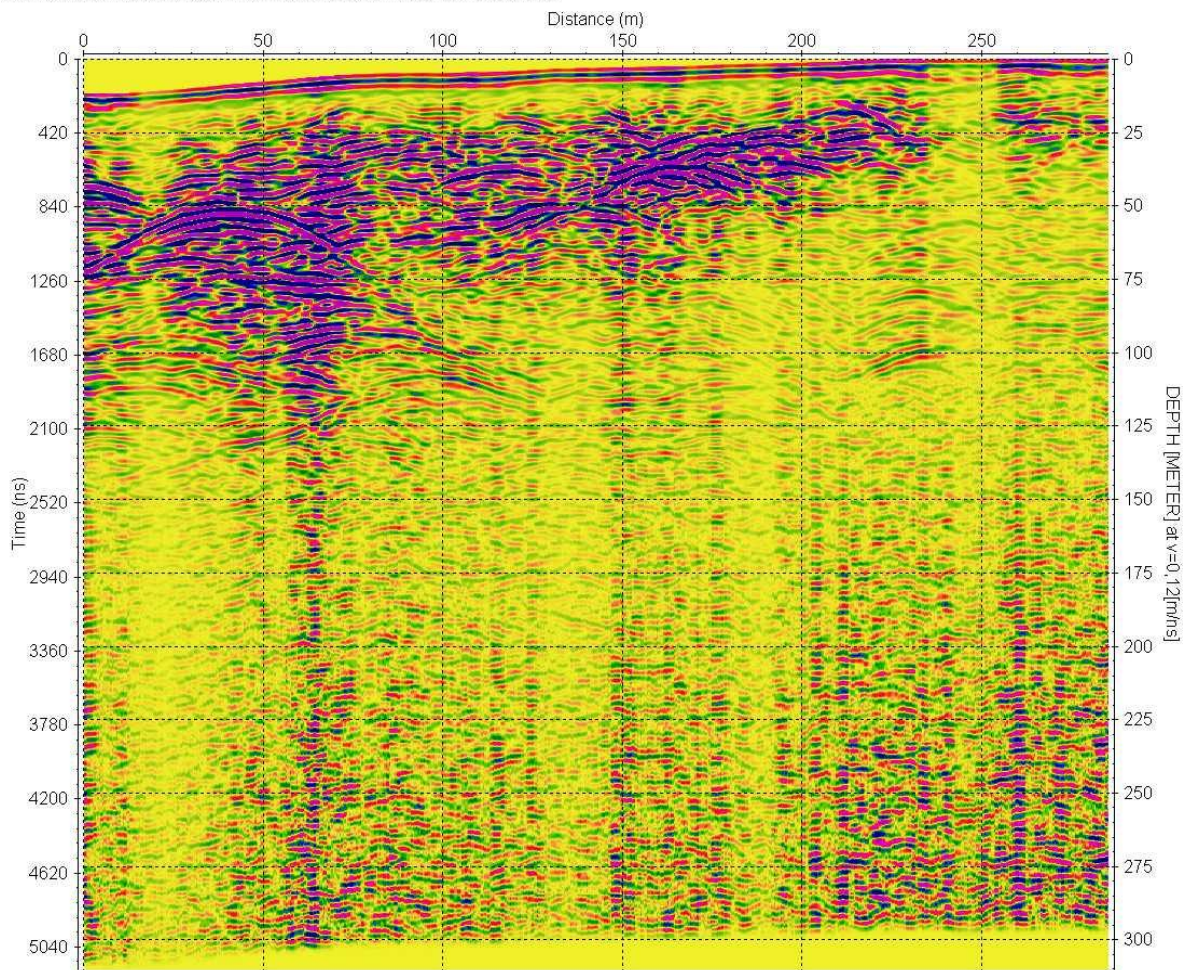
Na profilu sko7 byla nalezena řada velkých a kontrastních dutin nebo jeskyní, ale všechny byly v hloubkách do 60 m. Největší byla ve staničení 30 – 45 m (viz obr. 7).





Obr. 6 – Radarogram na profilu sko4  
Fig. 6 – Radarogram on profile sko4

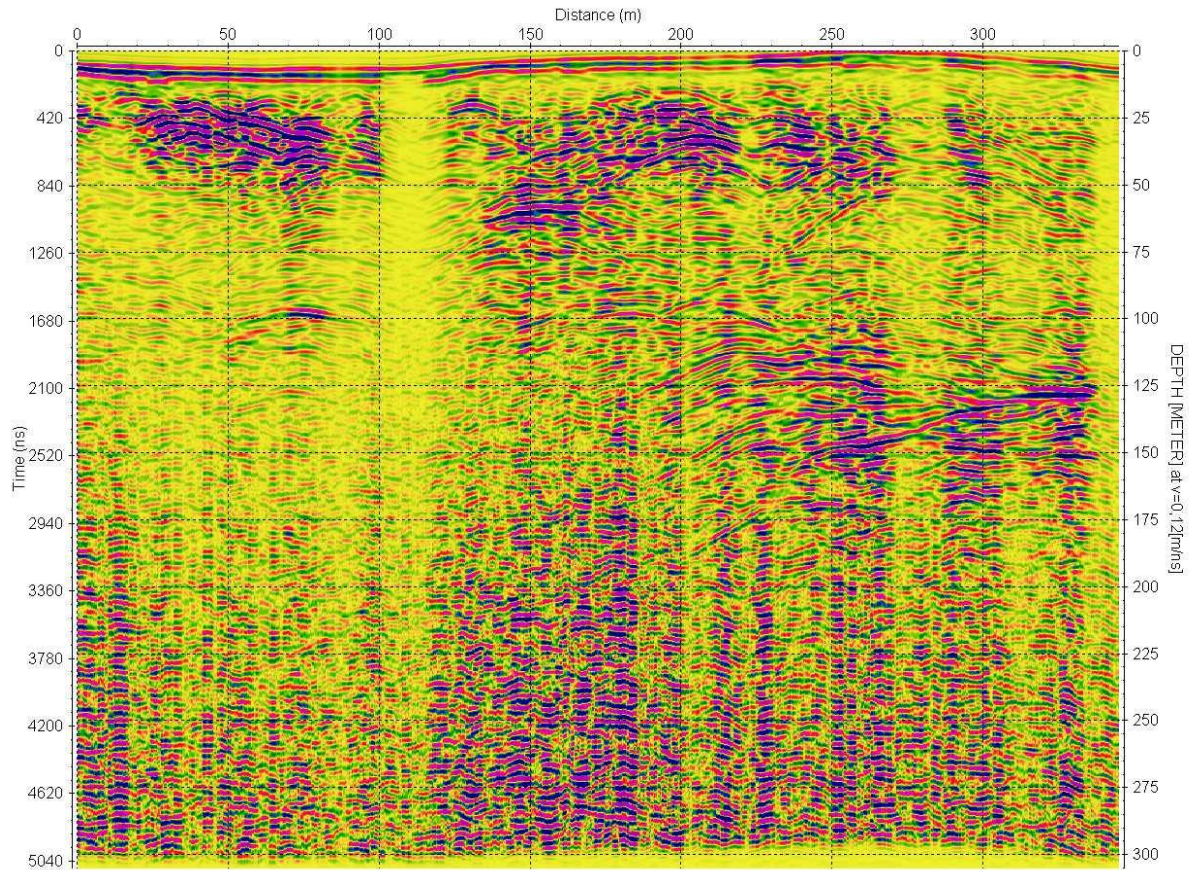




*Obr. 7 – Radarogram na profilu sko7*  
*Fig. 7 – Radarogram on profile sko7*

Naopak, na profilu sko8 byly detekovány velké dutiny nebo jeskyně ve staničeních 230 – 250 m v hloubce 115 – 125 m pod povrchem a ve staničeních 320 – 340 m v hloubce 125 m (viz obr. 8). Ty se také nacházejí v přímém pokračování Martelovy dvorany (viz obr. 4). Řada dalších dutin a jeskyní byla detekována v hloubkách 100 m (ve staničení 70 – 80 m), 65 m (ve staničení 140 – 165 m) a v hloubkách do 50 m.

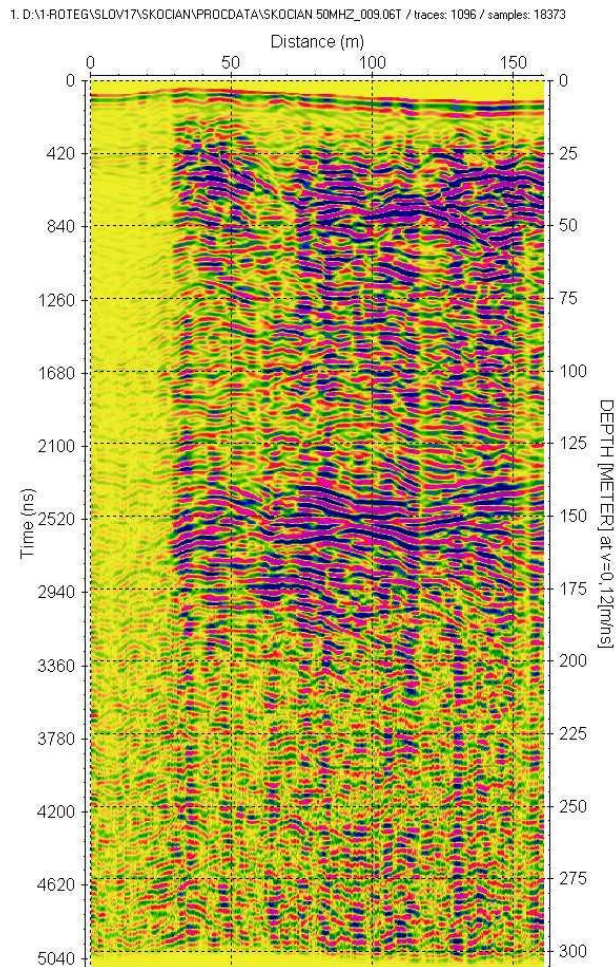




*Obr. 8 – Radarogram na profilu sko8*  
*Fig. 8 – Radarogram on profile sko8*

Na profilu sko9 bylo detekováno celé „reflexivní patro“ mezi staničeními 40 m a 150 m (viz obr. 9). To mohlo být způsobeno tím, že se pod velkou částí profilu může nacházet chodba, odrazy od níž netvoří typické hyperboly, ale reflexy „kopírují“ výšku stropu se všemi výklenky a komíny.





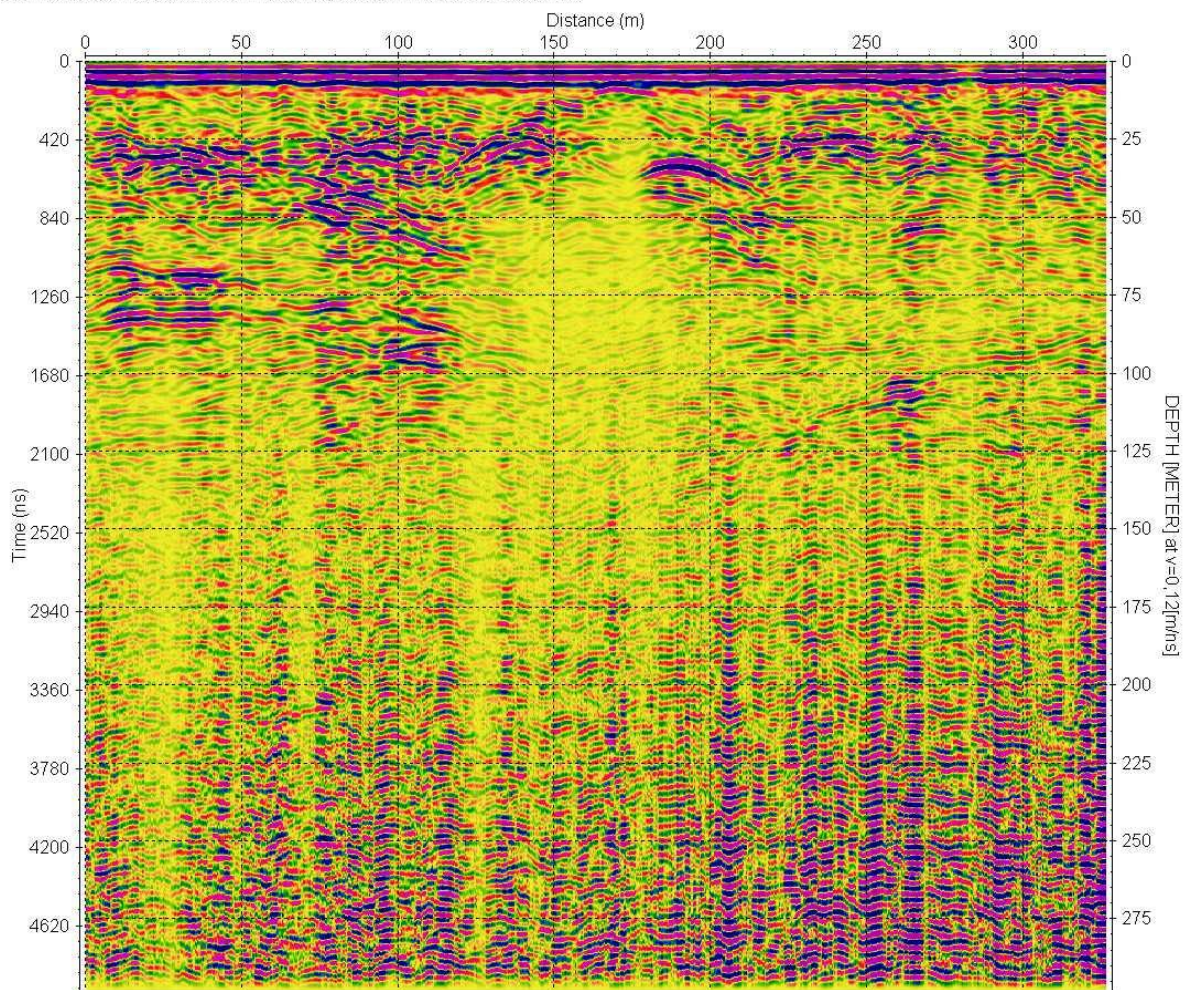
*Obr. 9 – Radarogram na profilu sko9*  
*Fig. 9 – Radarogram on profile sko9*

### **Část profilů západně od dálnice**

Na profilu sko11 (délka pouze 60 m) nebyla detekována žádná významná prostora. Na profilu sko12 byly detekovány pouze prostory do hloubky 125 m. Největší z nich byla detekována ve staničení 15 – 40 m v hloubce 65 – 80 m (viz obr. 10). Tato se nachází v přímém pokračování výběžku doliny Velký Risník (viz obr. 3).

Na profilu sko13 nebyla detekována žádná významná dutina v hloubce větší než 75 m. Největší (z malých) dutin se nachází ve staničení 140 – 160 m v hloubce 60 – 65 m.

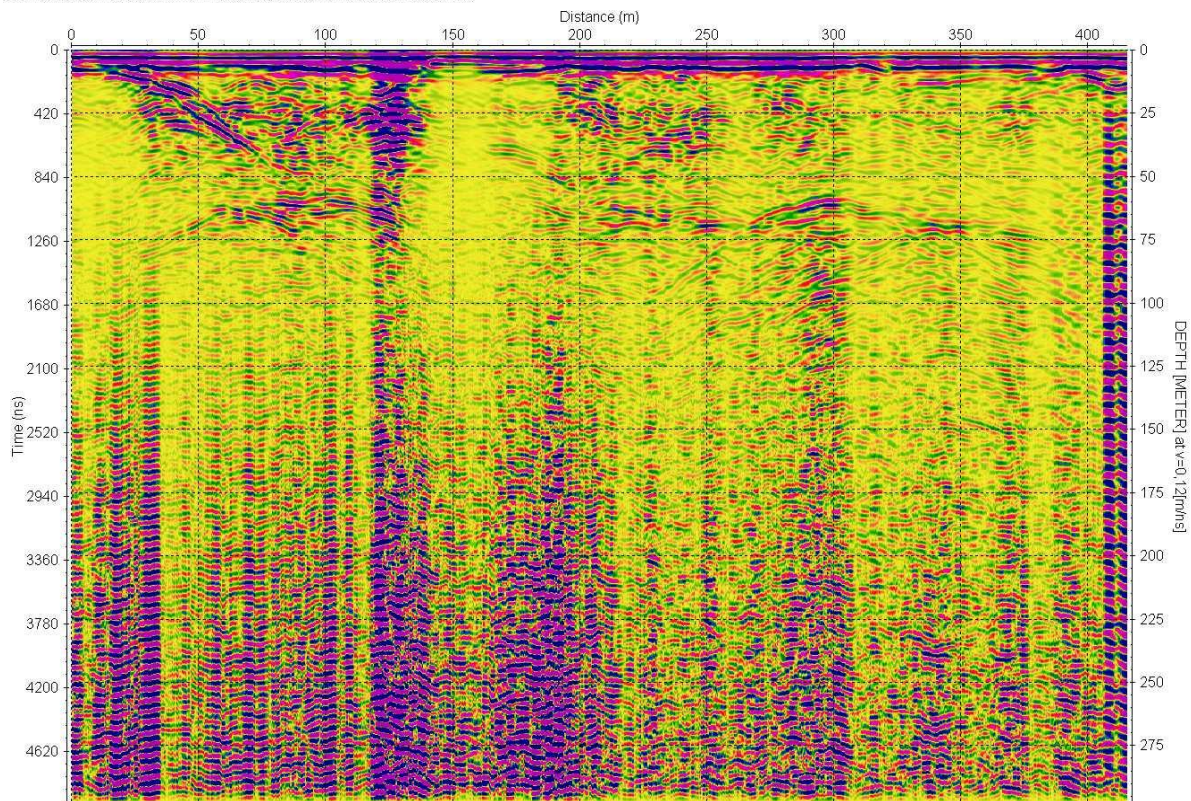
Profil sko14 zachytil významnou tektoniku se sklonem ve směru profilu, která zdánlivě vychází na povrch ve staničení 10 m.



*Obr. 10 – Radarogram na profilu sko12*  
*Fig. 10 – Radarogram on profile sko12*

Profil sko15 zachytil významnou tektoniku se sklonem ve směru profilu, která zdánlivě vychází na povrch ve staničení 20 m (viz obr. 11). Kromě této tektoniky byla detekována řada jeskyní v hloubkách okolo 60 – 70 m a to ve staničích 65 – 100 m, 290 – 300 m a 340 m. Žádné hlubší dutiny nebo jeskyně nebyly detekovány.



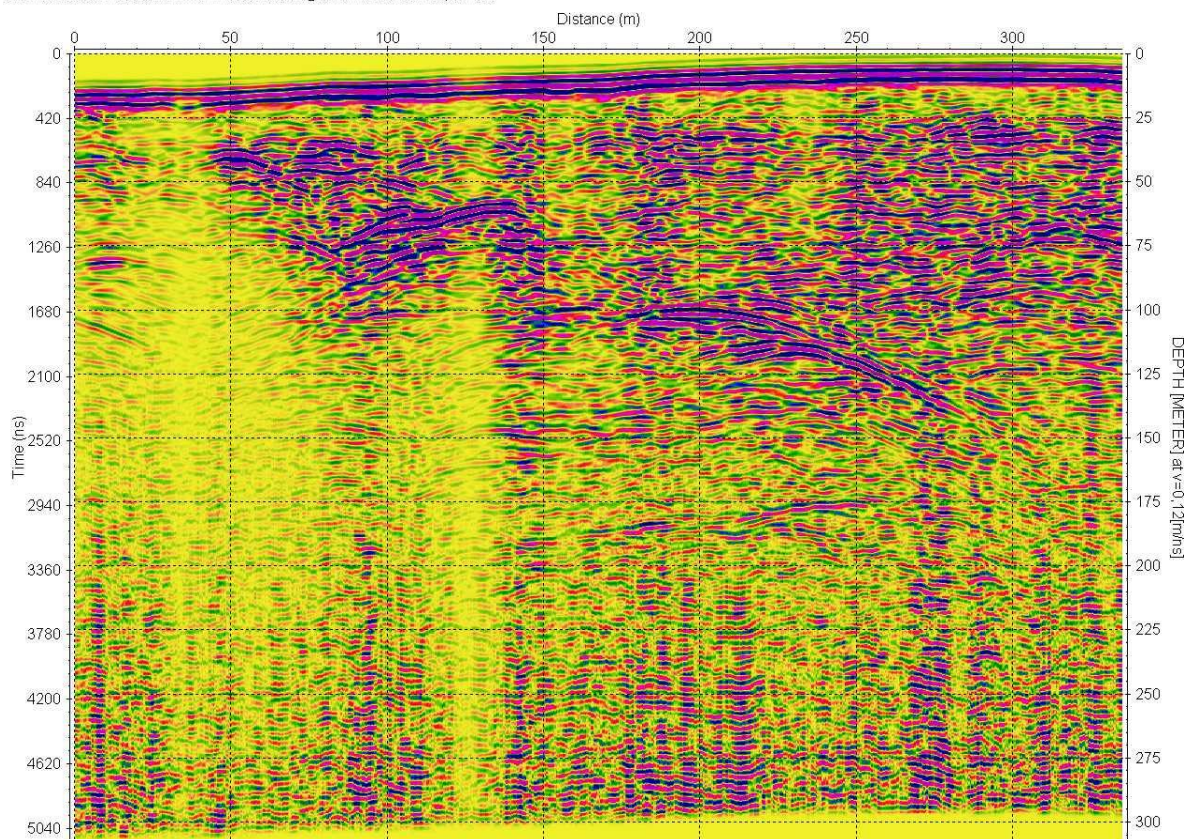


*Obr. 11 – Radarogram na profilu sko15*

*Fig. 11 – Radarogram on profile sko15*

Velice rozsáhlé a kontrastní jeskyně byly zachyceny na profilu sko16 (viz obr. 12). Největší byla detekována mezi staničeními 170 – 210 m v hloubce 100 – 115 m. Strop této dutiny může pokračovat až do staničení 100 m ve stejné hloubce pod další velké prostory, které se nacházejí ve staničeních 100 – 130 m v hloubce „jen“ 60 – 70 m. Zajímavý je i téměř subhorizontální odraz mezi staničeními 160 a 240 m a hloubce 175 – 185 m, který může naznačovat výšku těchto prostor srovnatelnou s Martelovou dvoranou.





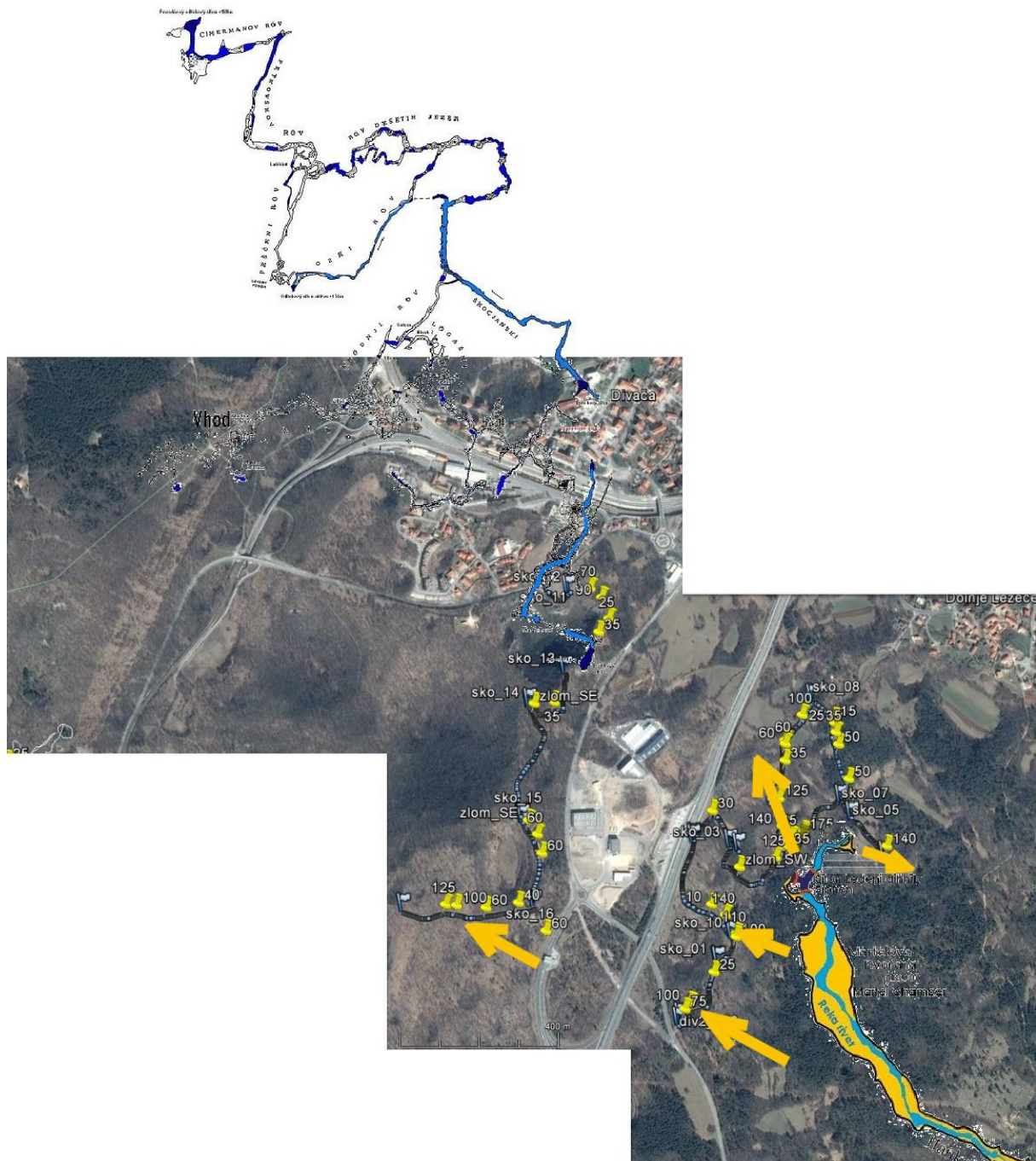
*Obr. 12 – Radarogram na profilu sko16*  
*Fig. 12 – Radarogram on profile sko16*

## Závěr

Pomocí nového typu georadaru „Roteg“ jsme proměřili celkem 16 profilů (celkem 4005 m) západně a severně od známého konce Škocjanských jam. Věrohodné odrazy byly detekovány z hloubek 200 – 300 m, pouze pod závrtky se maximální dosah georadaru snížil na první desítky metrů vlivem velké mocnosti hlín. V hloubkách 50 – 150 m pod povrchem jsme detekovali řadu rozsáhlých dutin nebo jeskyní (viz obr. 3 a 13). Největší z nich byly srovnatelné s velikostmi prostor Škocjanských jam (šířky 30 – 50 m a výšky 50 – 80 m).

Byly nalezeny rozsáhlé prostory západně od Martelovy dvorany (viz obr. 3 a 13), ale také v jejím přímém pokračování v hloubkách většinou 100 – 140 m pod povrchem, tedy v nadmořské výšce 300 – 350 m n.m.. Soudíme, že z Martelovy dvorany musel existovat odtok ve vyšším patře také západně od dnešního aktivního toku směrem k jeskyni Divaška a k jižním partiím jeskyně Kačna jama. Tímto směrem dnes směřuje podzemní tok řeky Reka, ale o cca 200 m níže.





Obr. 13 – Profily nad Škocjanskými jamami a západně od nich. Názvy profilů označují počátky profilů. Připínáčky ukazují na místa, kde byly detekovány jeskyně. Číslce označují hloubku stropu. Oranžové šipky naznačují nejpravděpodobnější pokračování jeskynního patra cca 60 – 100 m nad aktivním tokem. Je zakreslena i jeskyně Kačna jama, kterou prochází podzemní tok řeka Reka

Fig. 13 – Georadar profiles above and westerly of Škocjan Caves. The names mark the beginnings of profiles. Thumbnails mark the positions, where the cavities and caves were detected. Numbers are depths of cavities. Orange arrows points to the most probable continuation of the upper cave level, which is 60 – 100 m above recent flow. The cave Kačna Jama with Reka river flow is drawn.

## Summary

With the help of new kind of Ground Penetrating Radar (GPR) „Roteg“ with large penetration depth, we measured the profiles westerly and northerly from Martelova Dvorana chamber in Škocjanske Jame cave with the aim to find the fossil corridors of upper cave level at a depth of 60 – 100 m below the surface. We found three important cavities (maybe corridors) in the supposed directions. The important cavities at the same depth were found also westerly of the highway Divača – Postojna.

## References

- Bláha, P., Karous, M., Kněz, J., Müller, K. (1999): Možnosti georadaru v inženýrském průzkumu (Ground penetrating radar and its ability in engineering investigation). *Geotechnika* 3/99, 12-15 (září).
- Hladík, V., Hruška, J. (1999): Jak hluboko s georadarem? *Geotechnika*, Roč. 2, č. 4 (1999), s. 10-11. -- ISSN 1211-913X.
- Chamberlain, A.T., Sellers, W., Proctor, C., Coard, R. (2000): Cave detection in limestone using Ground Penetrating Radar. *J. of Archaeological Science*, 27, 957–964.
- Kalenda, P.; Tengler, R.; Doležal, F. K., Reichel, V., Chlup, L. (2016). Geofyzikální týden 2015. *Speleo*, 68, s. 15-23. ISSN 1213-4724.
- Kalenda, P., Tengler, R. (2016): Porovnání výsledků geofyzikálních metod nad Holštejnskou jeskyní. *Speleofórum 2016*. Vol. 35, 31-34.
- Kalenda, P., Tengler, R., Cendelín, R., Slezák, L., Pokorný, J. (2017): Georadarová měření nad Pekárnou 2016. *Speleofórum 2017*. Vol. 36, 30-35.
- Kalenda, P., Tengler, R., Blatnik, M., Drole, F. (2017b): Georadarová měření Postojna 2016. *Speleofórum 2017*. Vol. 36, 87-89.
- Kalenda, P., Tengler, R., Šebela, S., Blatnik, M., Drole, F. (2017c): Field test of the ground penetrating radar (GPR) above karst of Planina cave (Slovenia) for >150 m depth. *Acta Carsologica*, Postojna. Submitted.
- Knez, M., Slabe, T. (2005): Non-destructive georadar researches in the area of road subsidence of motorway near Postojna, classical Karst, Slovenia.- *Geophysical Research Abstracts*, 7.
- Pavlič, M.U., Praznik, B. (2011): Detecting karstic zones during highway construction using ground-penetrating radar. *Acta Geotech. Slovenica*, 8, 1, 17–27.



RTG-Tengler, (2013): Available from: <http://georadar.rtg-tengler.cz/geologicky-zlom-u-sobotky>

Tengler, R., Kalenda, P., Doležal, F.K., Chlup, L. (2016): Testování nového typu georadaru s velkým hloubkovým dosahem, *Speleofórum 2016*, Vol. 35, 35-42.