

Amatérská jeskyně, 3D sken – revoluce v měření jeskyní

Marek Audy (ZO ČŠS 6-17 Topas)

audy@speleo.cz

Připravovaná výstava k 50. výročí objevu Amatérské jeskyně evokovala několik otázek: Co všechno patří do systému Amatérské jeskyně, jak je dlouhý, kolik má vchodů?

Filozoficko-historickou otázku systému Amatéřky jsem nakouzl již v úvodníku. Dospěl jsem však k poznání, že odpovědět na velmi frekventovaný dotaz, jaká je souborná délka systému Amatérské jeskyně exaktně nelze. Udávat délku jeskyně je nesmysl. Pokud myslíte, že jsem blázen zkuste si sami odpovědět: Jaká je délka vnitřních prostor pětipatrového domu s několika schodišti a s mnoha prostorami?

Objem – to je fyzikálně správná veličina pro udání velikosti jeskyně. Dávno je pryč doba, kdy se tahal po jeskyni provázek a počítaly sáhy. Měření „délky“ polygonu a doplňkových záměr je potřebné, avšak slouží pouze k vytvoření mapy nebo 3D modelu a samozřejmě také k výpočtu objemu jeskynních prostor. Touhou každého geodeta je získat co nejpřesnější měřičská data.

Hlavní polygon Nové Amatérské jeskyně byl zaměřen přesnými geodetickými přístroji v minulosti již dvakrát. Při

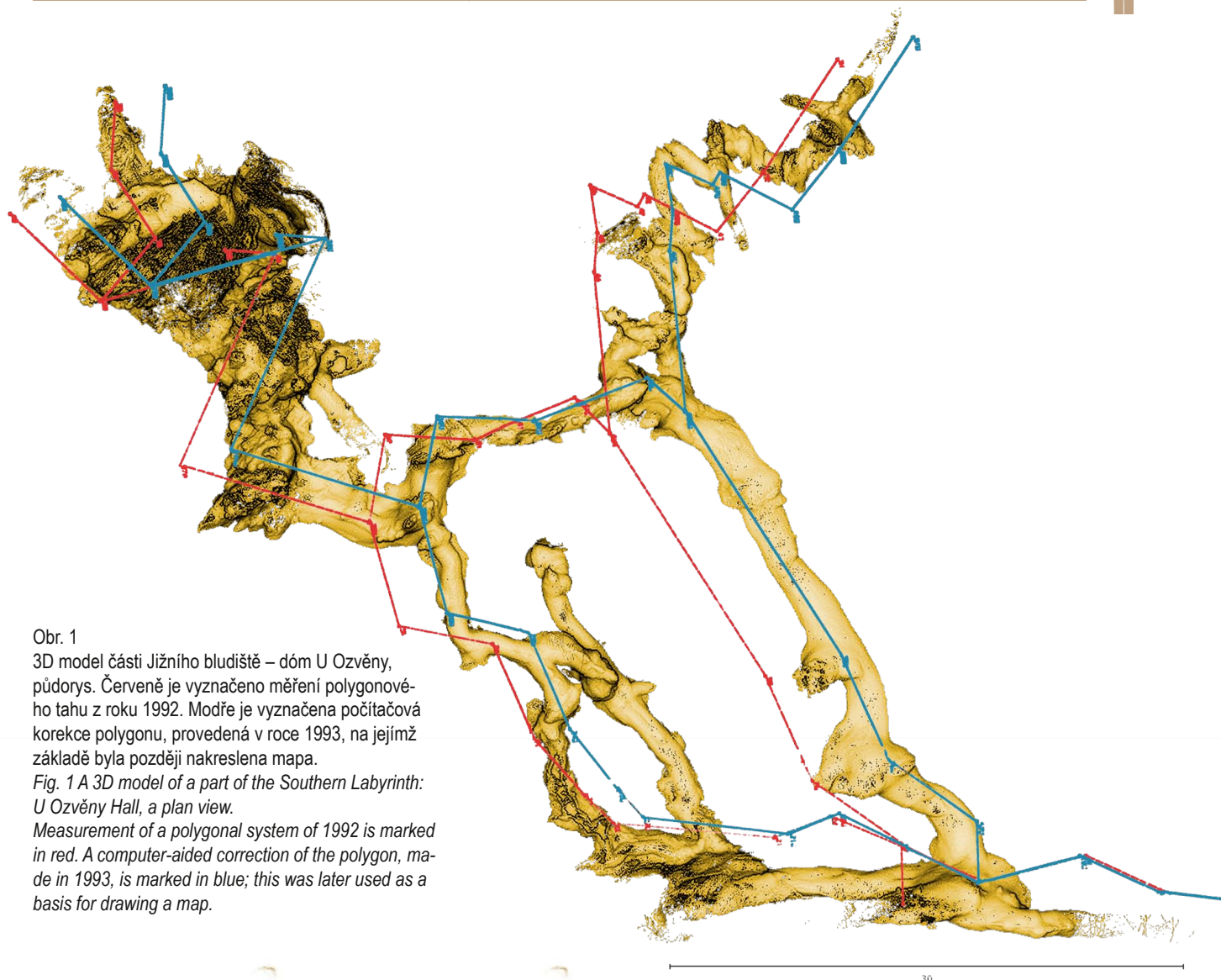
porovnání prvního (Příbyl a Rajman 1980) a druhého měření nebyly nalezeny zásadní chyby. Průměrná polohová odchylka bodů polygonového pořadu je kolem 7 m. Druhé měření, realizované Pustožlebskou skupinou, bylo na konci Sloupského koridoru ověřeno radiomajákem. Odchylka nepřesáhla 2 m (Sirotek 2000).

Velkým topografickým problémem jsou komplikované labyrinty: Bludiště Milana Šlechty a okolí Černého domu. Tyto prostory byly zaměřeny podstatně méně přesnými metodami. Po nástupu laserových dálkoměrů s modulem DistoX navíc došlo ke zjištění, že k největším topografickým chybám docházelo při zaznamenávání obrysu chodeb mapérem. Velmi často byly okraje chodeb pouze odhadovány a zakreslovány na základě subjektivních pocitů a zkušeností měřičů. V případě dlouhých záměr to vedlo při kreslení map k chybám v řádech až desítek metrů! Mnoho tlakových kanálů v Bludišti M. Šlechty je také načrtnuto do map pouze odhadem nebo tam není vůbec. Padesát let od objevu Amatéřky stále chybí přesná komplexní mapa nebo atlas celého



Foto 1 3D skener GeoSLAM ZEB1 při práci v Jižním bludišti (Foto M. Audy)

Photo 1 The GeoSLAM ZEB1 3D scanner during use in the Southern Labyrinth (Photo by M. Audy)

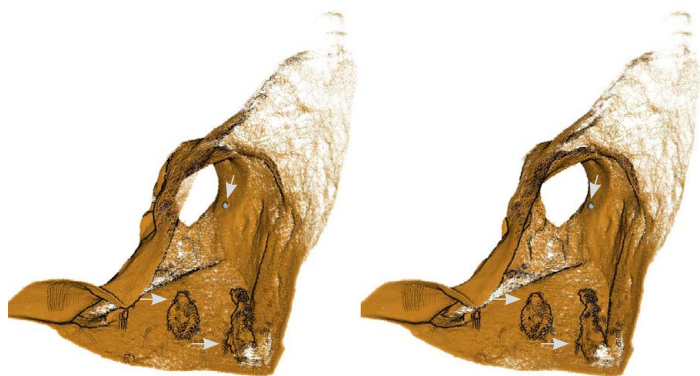


Obr. 1

3D model části Jižního bludiště – dóm U Ozvěny, půdorys. Červeně je vyznačeno měření polygonového tahu z roku 1992. Modře je vyznačena počítačová korekce polygonu, provedená v roce 1993, na jejímž základě byla později nakreslena mapa.

Fig. 1 A 3D model of a part of the Southern Labyrinth: U Ozvěny Hall, a plan view.

Measurement of a polygonal system of 1992 is marked in red. A computer-aided correction of the polygon, made in 1993, is marked in blue; this was later used as a basis for drawing a map.



Obr. 2 Stereoskopický pohled na příčný řez. Šípky označují sedící postavu a fixní měřicí bod z dřívějších konvenčních měření. Takovéto body mohou být využity ke georeferencování (kalibraci) při zpracování modelu.
Fig. 2 A stereoscopic view of a transverse cross-section. A sitting figure and a fixed geodetic point from previous conventional measurements are marked by arrows. Such points can be used for georeferencing (calibration) during model processing.

systému. V roce 2017 přišel Jan Sirotek s myšlenkou digitalizovat stávající kvalitní mapové podklady a také doplnit polygon o zaměření stěn, stropů, komínů i odboček. Do ambiciózního projektu přizval několik organizací ČSS. Data jsou finálně zpracovávána v aplikaci Therion. Therion gene-

ruje 3D model z tzv. scrapů (úseků) zakreslených měřičem na základě polárních záměr z každého bodu polygonu (Sluka 2017). Dalším sofistikovaným řešením, jak získat přesné tvary stěn, je fotogrammetrie a laserový 3D sken.

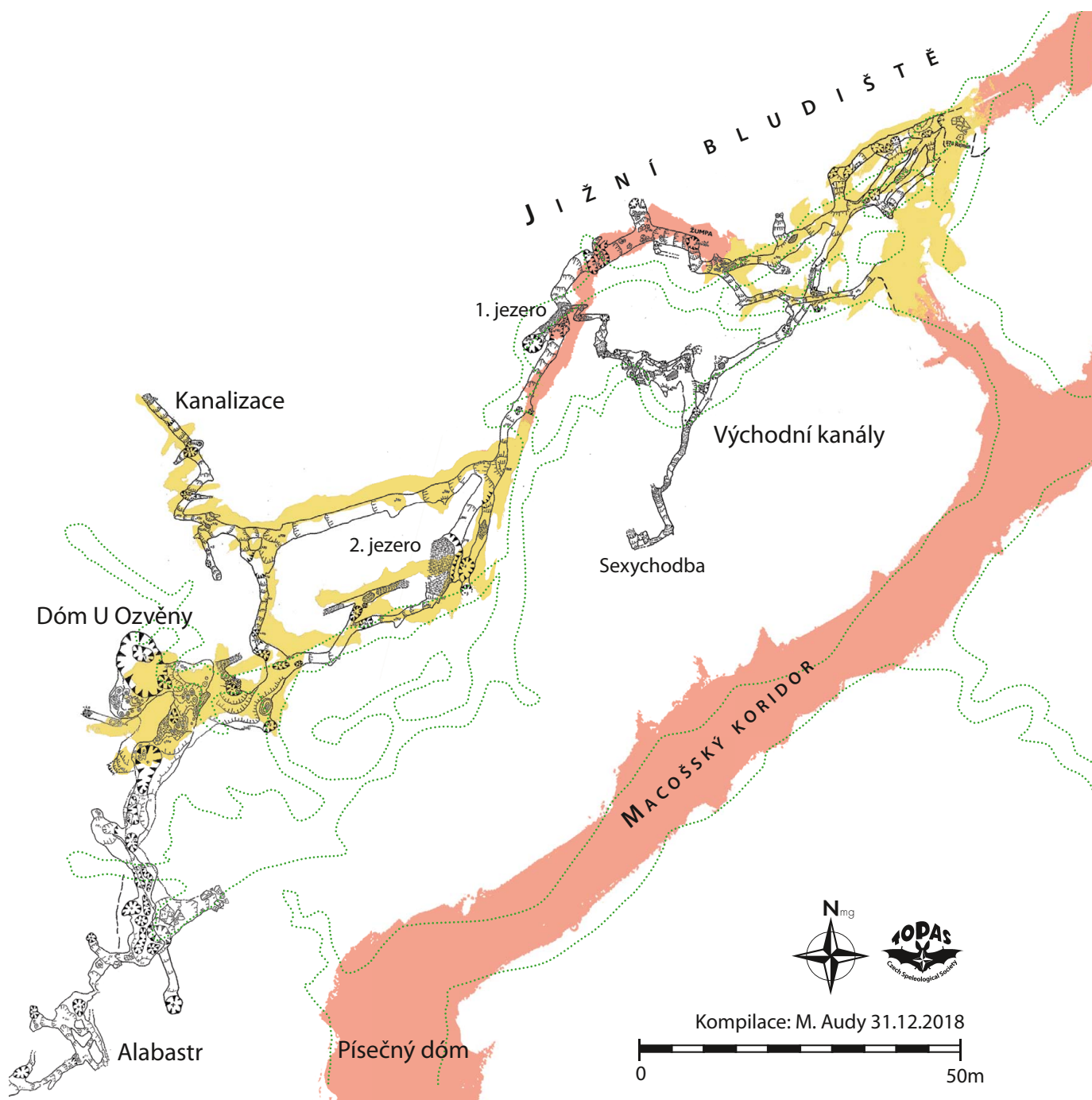
Fotogrammetrie nebo spíše stereofotogrammetrie nebo také videostereogrammetrie je poměrně stará metoda používaná již před více než sto lety v aerotopografii. Současné výkonné počítače umožňují matematické zpracování série dvojic snímků na prostorový model. Ten je však třeba napasovat na konvenčně zaměřený polygon. Nevýhodou je, že pro správné nasnímání potřebujeme dostatek světla. Problémem jsou stíny, které jsou zdrojem falešných informací. Tato metoda je vhodná spíše pro získání 3D modelů menších fragmentů jeskynních prostor k mediálnímu využití. Její výhodou je finanční dostupnost. Lze využít prakticky jakýchkoliv kamer. K dispozici je také několik open-source nástrojů, ve kterých je možné snímky zpracovat a převést na mračno bodů a 3D model.

Pulsní laserové 3D skenování - Lidar (Light Detection and Ranging) – V Amatérské jeskyni byl k 3D skenování poprvé využit stacionární pulsní laserový skener Leica ScanStation C10 již v roce 2013 (Lejska a kol. 2016).

Tento a podobné stacionární přístroje pracují ze stativu. Jsou sice velmi přesné, ale práce s nimi je pomalá a v menších, členitých prostorách komplikovaná. Stacionární skener zaznamená pouze to, co vidí ze svých pevných měřičských bodů. Nezaznamená tak místa zastíněná za balvany, žebry, sintrovými kupami apod. Tento problém řeší mobilní Lidar.

Pro měření Jižního Bludiště jsme proto zvolili mobilní skener GeoSLAM ZEB1. Je schopen zaznamenat 43 200

bodů za sekundu a jeho dosah v jeskynním prostředí je až 30 m. Nízká hmotnost a malé rozměry skenovací hlavy umožňují práci i v úzkých plazivkách. Algoritmus zpracování dat postupně spojuje jednotlivé skeny, kterých je 100 za sekundu. Každý z těchto skenů si nese informace o poloze skeneru v okamžiku skenu. Propracovaná technologie GeoSLAM dnes není žádnou horkou novinkou. Britská společnost navázala na starší australský projekt ZeBeDee z roku 2011 a ta pro vývoj využila levný 2D skener japonské firmy Hokuyo.



Obr. 3 Porovnání 3D skenování Jižního bludiště s historickými mapovými podklady

Žlutě: GeoSLAM ZEB1, červeně: Leica ScanStation C10, černě: mapa Audy, Sirotek 1993 (kompas, sklonoměr, pásmo, chyba do 5 m), zeleně: mapa Rajman 1980 (chyba až 35 m!). Je patrné, že precizní přesnost 3D skenů v souvislosti s extrémní rychlostí sběru dat předznamenávají budoucnost mapování jeskyní.

Fig. 3 A comparison of 3D scanning of the Southern Labyrinth with historical maps. These include GeoSLAM ZEB1 (in yellow), Leica ScanStation C10 (in red), the map of Audy and Sirotek of 1993 (in black, measured with a compass, a clinometer and a tape measure with an error of <5 m), and the map of Rajman of 1980 (in green, with an error of as much as 35 m!). It is obvious that the high precision of 3D scans combined with extreme velocity of data collection mark the future of cave survey.



Technické specifikace GeoSLAM ZEB1:

- rychlost sběru dat – 43 200 bodů za sekundu,
- rozlišení 3D měření bod o průměru cca 7 mm,
- dosah v jeskyni 30 m,
- hmotnost skenovací hlavy – 0,7 kg,
- rozměry skenovací hlavy – $6 \times 6 \times 36$ cm.

Skenování Jižního bludiště

Uváděné parametry spolu s efektními animacemi na webu v nás evokovaly stav euforie i nedůvěry. Nezbyvalo než skener předem vyzkoušet.

Kontaktovali jsme proto plzeňskou firmu Mensuro dodávající geodetické přístroje a požádali o testovací akci. Jako lokalitu jsme zvolili jeskyni Řečiště. Výsledek byl šokující v pozitivním slova smyslu. Během 35 minut byly naskenovány dva scrapy (úseky) vč. povrchového propojení starého vchodu, které je dnes zavaleno.

Po této pozitivní zkušenosti jsme naplánovali na polovinu prosince 2018 „ostrou“ měřičskou akci do Jižního bludiště v Amatérské jeskyni. Jižní bludiště patří k nejobtížnějším partiím Amatérské jeskyně. Je charakterizováno tlakovými kanály zpola zatopenými vodou s řadou plazivek a vertikálních stupňů. Labyrint je rozložen v různých výškových úrovních. Chodby se často mimoúrovňově kříží.

V historii byl hlavní tratuár Jižního bludiště mapován již čtyřikrát! Pouze mapa Audyho a Sirotky z roku 1993 ale zahrnovala většinu známých prostor. Ke shodě naměřených dat u jednotlivých historických měření docházelo jen sektorově. Výjimkou nejsou chyby v řádech několika metrů.

Začátek hlavní přístupové chodby byl v roce 2017 naskenován výše zmíněným stacionárním skenerem Leica ScanStation C10 Ústavem geoniky AV ČR (Lejska a kol. 2016). Stacionární skener neumí „nahlédnout“ do paralelních chodeb propojených sítí propástek a odboček. Toto stávající, geodeticky zkalibrované mračno bodů půjde však snadno spojit se scrapy nového skenování z mobilního skeneru. Společný 3D model se tak rozšíří a obohatí o přilehlé odbočky.

Během 3 hodin (vč. transportu) se pomocí GeoSLAM ZEB1 podařilo naskenovat prakticky celý labyrint Jižního bludiště, s výjimkou východních kanálů a Alabastru. Délka fiktivního polygonu odečtená z nového 3D modelu je cca 380 m.

Jednotlivé scrapy byly spojeny nativní aplikací GeoSLAM Hub&Draw. Aplikace také umí vygenerovat vektorové kresby, řezy v kterékoliv rovině jeskyně či chodby, příp. výpočet objemu všech prostor nebo jen určitých zvolených chodeb či domů jeskyně. Řezy modelem jsou důležité. Nejen příčné a podélné, ale především horizontální řezy poslouží k vykreslení půdorysu. V případě víceúrovňového labyrintu chodeb, vícevrstevnými horizontálními řezy získáme obrysy stěn překrývajících se chodeb. K této činnosti jsme použili volně dostupné aplikace CloudCompare nebo Meshlab. Aplikace také umožní zadávání georeferenčních bodů pro GIS a export do dalších 3D formátů.

Nejdůležitějším přínosem lidarů je vyloučení subjektivního vlivu, či dokonce pocitu měřiče. Neznamená to však, že mapér nemůže do mapy své vize a hypotézy naznačit.

Naopak rizikem doby se stává ponechání surových mračen bodů bez dalšího zpracování ve stylu pubertálních statusů na sociálních sítích. Sken není hotová mapa! Je to pouze metoda, jak získat precizní vstupní data.

V Amatérské jeskyni bylo naskenováno celkem již přes 3 km chodeb. Délkový údaj byl opět odečten dodatečně. Masovému rozšíření značně efektivnějšímu 3D mapování jeskyní pomocí Lidarů brání už jen jediný parametr: vysoká cena mobilních skenerů. Jak z historie víme, jistě se to ale velmi brzy změní a ve vizi nedaleké budoucnosti nahradí tablet s 3D modelem papírovou mapu.

První cenově dostupnou vlašťovkou je americký projekt Caveatron (<http://caveatron.com>), který kombinuje klasické zaměření polygonového pořadu laserem s doplňujícím 3D lidarovým skenem mezi jednotlivými body.

Stejně jako realistické malíře nahradila revoluční fotografie, nahrazuje dnes laserové skenování konvenční měření a to nejen v jeskyních. Nemusíme se ale obávat, že by zanikli mapéři a kreslíči map. Výtvarné umění koneckonců také nezaniklo.

Summary: Amatérská Cave, a 3D scan – a revolution in cave measurement

Laser 3D scanning – Lidar was used in the largest cave system in the Czech Republic – in the Amatérská Cave. A 3D model was created for the Southern Labyrinth using the GeoSLAM ZEB1 scanner. The spaces are characterized by phreatic passages, partly filled with water, with a number of narrow passages and vertical steps. A complex labyrinth consists of a network of passages of different directions, often with no intersections. The resulting 3D model is used for the creation of a precise map.

Literatura:

- Lejska S., Kuda F., Kněžínek K., Divišek J. (2016): Hydrologické poměry a 3D mapování Amatérské jeskyně se zaměřením na soutokovou oblast Sloupského potoka a Bílé vody. – *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, 63: 46–67. Praha.
- Příbyl J., Rajman P. (1980): *Punkva a její jeskynní systém v Amatérské jeskyni*. – Geografický ústav ČSAV: 1–141. Brno.
- Sirotek J. (2000): Geodetické a kartografické práce. – In: Motyčka Z. a kol.: *Amatérská jeskyně, 30 let od objevu největšího jeskynního systému ČR*: 147–156. Česká speleologická společnost. Praha.
- Sluka M. (2017): Krátká história digitálnej trojrozmernej dokumentácie jaskynných priestorov. – *Spravodaj SSS*, 48, 2: 44–52. Liptovský Mikuláš.