

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky

VYTVOŘENÍ 3D MODELU JESKYNĚ KOŇSKÁ JÁMA Z DAT  
POZEMNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PRO POTŘEBY  
CHKO MORAVSKÝ KRAS.

Diplomová práce

VLOŽIT ZADÁNÍ PRÁCE

# ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

---

Prohlašuji, že jsem tuto práci: „Vytvoření 3D modelu jeskyně Koňská jáma z dat pozemního laserového skenování pro potřeby CHKO Moravský kras“, vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: .....

.....

Bc. Martin Gaja

## PODĚKOVÁNÍ

---

Děkuji **Ing. Miloši Cibulkovi, Ph.D.**, vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení a konzultace. Dále děkuji **Mgr. Zdeňku Hejkalovi** ze Správy CHKO Moravský kras. V neposlední řadě děkuji svým **rodičům** a blízkým, za morální, materiální a finanční podporu, bez níž by tato práce nevznikla.

Bc. Martin Gaja

VYTVOŘENÍ 3D MODELU JESKYNĚ KOŇSKÁ JÁMA Z DAT POZEMNÍHO  
LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PRO POTŘEBY CHKO MORAVSKÝ KRAS.

**Abstrakt:**

Diplomová práce pojednává o využití relativně nové technologie laserového skenování pro speleologická měření. Podnětem ke vzniku této práce jsou jednoduchá, v mnoha případech nepřesná zaměrování jeskyní, která se, od jejich vzniku po dlouhou dobu, používají až doposud. V práci je popsán postup získávání dat pozemním laserovým skenováním, následně jejich zpracování a výstupy, které je možno prezentovat popřípadě s nimi dále pracovat. Dále je vyhodnocena vhodnost použití této metody ve speleoměřictví a porovnání s aktuálně používanými metodami.

**Klíčová slova:** laserové skenování, speleoměřictví, jeskyně, 3D model, mračno bodů, Realworks 10, 3DReshaper

Bc. Martin Gaja

CREATING A 3D MODEL OF CAVE KOŇSKÁ JÁMA OF DATA FROM  
TERRESTRIAL LASER SCANNING FOR CHKO MORAVSKÝ KRAS NEEDS.

**Abstract:**

The thesis discusses the use of relatively new technologies laser scanning for speleology surveying. The impulse for the creation of this work are simple, in many cases inaccurate surveyings the caves, which are, since inception for a long time, used up to now. The work describes the process of data acquisition by terrestrial laser scanning, then their processing and outputs that can be present or work with them. It is also evaluated the appropriateness of using this method in speleosurveying and compared with the currently used methods.

**Keywords:** laser scanning, speleosurveying, cave, 3D model, point cloud, Realworks 10, 3DReshaper

# OBSAH

---

<b>OBSAH .....</b>	<b>6</b>
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>2. CÍL .....</b>	<b>10</b>
<b>3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>11</b>
3.1. POZEMNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	11
3.1.1. Principy a parametry pozemního laserového skenování .....	12
3.2. SPELEOLOGICKÁ MĚŘENÍ A MAPOVÁNÍ .....	14
3.2.1. Historie.....	15
3.2.2. Praktické metody a pomůcky .....	15
3.2.3. Tvorba mapy .....	17
<b>4. METODIKA.....</b>	<b>18</b>
4.1. POPIS LOKALITY.....	18
4.1.1. Základní údaje.....	18
4.1.2. Popis přírodních podmínek .....	18
4.1.2.1. Geologický vývoj .....	18
4.1.2.2. Pedologie .....	19
4.1.2.3. Geomorfologie .....	19
4.1.2.4. Podnebí.....	19
4.1.2.5. Hydrologie.....	19
4.1.2.6. Biota.....	20
4.2. POUŽITÉ POMŮCKY A SOFTWARE .....	22
4.3. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE A MĚŘENÍ V TERÉNU .....	26
4.3.1. Stanovení rozsahu prací .....	26
4.3.2. Shromáždění dostupných informací.....	27
4.3.3. Rekognoskace terénu .....	29
4.3.4. Vytvoření připojovacího polygonu .....	29
4.3.5. Volba stanovisek skeneru.....	30
4.3.6. Volba postavení referenčních koulí .....	30
4.3.7. Geodetické zaměření referenčních koulí.....	30
4.3.8. Proces skenování.....	31
4.4. ZPRACOVÁNÍ DAT .....	32
4.4.1. Import surového mračna bodů do Realworks 10.0.....	33
4.4.2. Relativní spojení skenů .....	33

4.4.3.	Absolutní spojení skenů – transformace do S-JTSK.....	36
4.4.4.	Vytvoření mesh.....	36
4.4.5.	Vertikální a horizontální řezy a půdorys .....	37
4.4.6.	Situování v terénu za použití DMR 4G .....	37
<b>5.</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>39</b>
5.1.	3D MODEL.....	39
5.2.	PŮDORYS.....	40
5.3.	PŘÍČNÉ A PODÉLNÉ ŘEZY .....	41
5.4.	SITUOVÁNÍ V TERÉNU .....	43
<b>6.</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>44</b>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>46</b>
<b>8.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>48</b>
<b>9.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>49</b>
<b>10.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>50</b>
<b>11.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>53</b>
1.	CD PŘÍLOHA .....	
2.	PŘEHLEDOVÁ MAPA .....	54
3.	3D MODEL .....	55
4.	PŮDORYS.....	56
5.	PODÉLNÝ ŘEZ A PŘÍČNÉ ŘEZY .....	57
6.	SITUOVÁNÍ V TERÉNU .....	58
7.	DMR 4G.....	59
8.	GEODETICKÉ ÚDAJE O BODECH PPBP.....	60

# 1. ÚVOD

---

Jeskyňe byly člověkem objevovány a využívány už od pradávna. Poskytovaly úkryt a útočiště před nepříznivými podmínkami či predátory. Vhodné jako primitivní obydlí byly především z důvodu stálé teploty a vlhkosti uvnitř těchto komplexů. I z tohoto důvodu se právě v jeskyních dochovalo, až do dnešní doby, nepřeberné množství nálezů a pozůstatků po přírodních procesech, archeologických nálezů po člověku a bývá zde dobře čitelný celý geologický vývoj oné krajiny. Je nesporné, že jsou tyto podzemní prostory považovány za pozoruhodnosti dnešní přírody a touhy objevovat dosud neprobádaná a lidskou nohou neposkvřená místa pod povrchem lákají člověka po celém světě.

Mimo již zmíněný přírodovědecký a historický význam se v současnosti ve velké míře uplatňuje význam komerční a aktuálně nabývá na významu zvýšená pozornost a ochrana jeskyní. Pro všechny tyto obory a činnosti provozované ve spojitosti s jeskynnými systémy je v menší či větší míře nutné využití vhodné dokumentace ke správné znalosti prostorového uspořádání.

Vědním oborem zabývajícím se výzkumem jeskyní je speleologie. Na našem území dochází k rozmachu po druhé světové válce, jedná se o amatérské prozkoumávání, studium a dokumentaci jeskyní. Vzniká množství speleologických klubů, tyto dne 12. 12. 1978 pokládají základ vzniku České speleologické společnosti (ČSS). Samostatným odvětvím speleologie je speleologické mapování jinak nazývané speleoměřictví, které využívá poznatků a metod geodézie a kartografie. Základy moderních metod tohoto oboru položil na přelomu 19. a 20. století prof. Dr. Karel Absolon. Jednoduché mapy a plány byly tvořeny hlavně půdorysem, příčnými a podélnými řezy, vše ve vhodném, standardně velkém měřítku.

Aktuálně, s velmi rychlým a kvalitním vývojem moderních informačních technologií, se naskýtá mnoho příležitostí pro zpřesnění a zdokonalení metod mapování jeskyní. Jednou z nich je metoda sběru dat za pomoci laserového skenování. Vývoj této technologie přinesl ohromné zefektivnění získávání informací o umístění jednotlivých bodů v prostoru, kdy je možno v řádu několika sekund uložit údaj až o několika set tisících bodech. V rámci následného zpracování těchto bodů a jejich uskupení lze vytvářet povrchy, řezy atd., na kterých lze provádět potřebná měření, modelování, analýzy, porovnávat změny a spoustu dalších. Použití laserových skenerů je vhodné pro mapování



objektů, vnitřních prostor nebo menších území. Většinou je zde požadavek zaměřen na detail a celkovou přesnost měření. Uplatnění nalezne v oborech, jako jsou geologie, speleologie, geotechnika, důlní měřičství, stavebnictví...

V úvodu práce jsou shrnuty aktuálně popsané poznatky o dané problematice, tzn. teorie laserového skenování, využití specializovaných software a současná podoba speleologického mapování.

Metodická část se zabývá vlastním terénním získáním dat, zpracováním v příslušných počítačových programech, jejich výstupy a následným možným použitím.

## 2. CÍL

---

Hlavním cílem práce je vytvoření 3D modelu jeskyně Koňská jáma. Do tohoto záměru náleží sběr dat pozemním laserovým skenováním, následné zpracování ve zvolených software (Realworks 10, 3D Reshaper), export těchto dat do zvoleného CAD software a vytvoření vlastního 3D modelu objektu. Dílčími cíli jsou tvorba příčných a horizontálních řezů půdorysu, a zobrazení umístění 3D modelu jeskyně v terénu za pomoci Digitálního modelu reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) v souřadnicovém systému JTSK.

Dalším úkolem je rozhodnutí o vhodnosti využití této metody pro tvorbu map jeskyní, popřípadě porovnání s aktuálně využívanými metodami. Nutno zohlednit časovou a ekonomickou náročnost či jiné výhody a nevýhody oproti momentálním postupům.

### 3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

---

#### 3.1. Pozemní laserové skenování

Je technologií, která vytváří nové možnosti získávání geodetických dat a rozšiřuje jejich dostupnost a využitelnost. Dle Kudy (2014) je ve spojení s laserovým skenováním skloňována zkratka LiDAR z anglického „*Light Detection And Ranging*“. Podle odborné literatury (Pfeifer, Briese, 2007) se jedná o zastřešující pojem pro laserové skenování, které se dále dělí na letecké a pozemní. Pozemní laserové skenování, dále rozděleno na mobilní a statické (Vosselman a kol., 2010), je vhodné především pro pořízení přesných geodetických dat složitých a nepřístupných objektů jako jsou průmyslové objekty, historické budovy a stavby, podzemní díla a mnoho jiných.

Zpracování objemných naměřených dat je zpracováváno ve specializovaných programech s velkou mírou automatizace. Díky nim je možné v relativně krátkém čase zpracovat mnohé formáty výstupních dat, které mohou být koncovým výstupem nebo sloužit jako podklad pro další práce. Nejvíce používanými výstupy jsou 3D modely objektů, vektorové mapy, digitální modely terénu, analýzy změny, rozměrové analýzy, animace a vizualizace a další.

V současnosti se na trhu nachází velké množství firem, které se zabývají vývojem, výrobou a prodejem laserových skenerů. Patří mezi ně firmy, jako jsou např. FARO, TOPCON, OPTECH, LEICA, TRIMBLE atd. Skenery jsou schopny v několika minutách zaměřit miliony bodů s přesností v řádu milimetrů, a tím pořídit přesnou prostorovou informaci v dané situaci se všemi detaily. Používány jsou lasery v bezpečné třídě 1 a je možno jimi zaměřit objekty až na vzdálenost několik stovek metrů s úměrnou přesností. Na základě těchto vlastností je optimální řešením pro použití v mnoha oblastech, kde by jinak musely být využity klasické geodetické metody, které jsou v mnoha případech časově a ekonomicky nákladné.

Při spojení skeneru s digitálním fotoaparátem, který může či nemusí být přímo jeho součástí, jsou rozšířeny jeho možnosti. Lze pořídit snímky dané situace a snímaného objektu a tak mračno bodů doplnit o barevnou informaci. (GEOREAL, 2016)

## Základní charakteristiky LiDAR

- Automatické měření – skenery měří samostatně bez umístění odrazových ploch na měřené body
- Neselektivní měření – skener nerozlišuje měřené objekty, pouze určuje prostorové souřadnice a parametr odrazivosti
- Velké množství a hustota bodů – zaznamenávají statisíce až miliony bodů (tzv. mračna) s proměnlivou hustotou
- Velká rychlost měření – stovky tisíc zaznamenaných bodů za sekundu
- Vysoká přesnost – u běžných pozemních skenerů v řádech mm

Z toho vyplývající definice LiDAR by mohla znít „Technologie automatického a neselektivního zaměřování prostorových souřadnic značného množství bodů (tzv. mračna) s vysokou přesností a hustotou v relativně krátkém čase.“  
(Kuda, 2014)

### 3.1.1. Principy a parametry pozemního laserového skenování

Vzhledem k vlastnostem, které má laserové záření, jsou lasery velmi výhodným zdrojem záření pro skenovací systémy. Laser je z fyzikálního hlediska kvantově elektronický zesilovač elektromagnetického záření nejčastěji v oblasti viditelného světelného spektra a přilehlých vlnových délek. Laser je založen na stimulované emisi fotonů v aktivním prostředí. Za normálních podmínek se většina atomů, iontů nebo molekul, které tvoří aktivní prostředí laseru, nachází v nejnižším energetickém stavu. Jsou-li však tyto částice excitovány do vyšších energetických stavů vnějším zdrojem energie (intenzivní světelné záblesky, elektrický výboj), budou při přechodu do původního energetického stavu vyzařovat nekoherentní světelné záření. U laseru se tyto emitované fotony pohybují v optickém rezonátoru tvořeném protilehlými, vysoce leštěnými a rovnoběžnými zrcadly. Při průchodu fotonu kolem excitované částice dojde k její stimulaci a vyzáření fotonu stejné vlnové délky a směru pohybu jako původní foton. Tak dochází k postupnému zvyšování toku fotonů, které po průchodu jedním ze zrcadel, které je polopropustné, vytvářejí velmi intenzivní, koherentní svazek. (Odo, 2011)

Základní prvky laseru:

- aktivní zesilovací prostředí (obsahuje atomy, ionty nebo molekuly schopné excitace na emisní energetické hladiny a které je schopné zajistit inverzi populace)
- zdroj energie (vyvolává excitaci)
- optický rezonátor (zajišťuje odraz fotonů na zrcadlech optického rezonátoru, a tím zesilování laserového záření)

(Odo, 2011)

3D skenery používají laserové zařízení třídy 1. To neumožní během provozu přístup lidské obsluhy k záření přesahujícímu limit přístupné emise třídy 1 pro použitelné vlnové délky a doby trvání vyzařování. Tato zařízení jsou bezpečná během používání, včetně dlouhodobého přímého sledování svazku i v případě sledování pomocí optických pomůcek (oční lupy a dalekohledy). Vztahuje se na celý rozsah vlnových délek. Pohled do svazku viditelného záření může způsobit oslňující optické efekty. Jsou bezpečné za přiměřeně předvídatelných okolností. (Letovská, 2011)

Princip měření délky je založen převážně na elektronickém způsobu měření případně na optickém (triangulace ze známé základny). Obecně elektronický dálkoměr funguje podle schématu, kde elektromagnetické vlnění vychází z vysílače, odráží se na koncovém bodě na odrazném systému a vrací se zpět do přijímače umístěného na počátku měřené délky. V současné době se u skenovacích systému využívá odrazu přímo od povrchu měřeného objektu – tzv. pasivní odraz. (Odo, 2011)

Pro řešenou práci byl využit tzv. fázový typ skeneru. Ten je založen na měření fázového rozdílu, který vzniká mezi vysílaným a přijímaným signálem a z měřeného fázového rozdílu se určuje měřená délka (GEODIS, 2016).

Základním principem fungování laserového skeneru je prostorová polární metoda. Výsledkem výpočtu jsou 3D souřadnice měřeného bodu objektu v souřadnicovém systému skeneru, který je obecně orientován a umístěn. Pro naskenování bodů objektu se používá principů rozmítání laserového svazku, pomocí kterých jsou na povrchu objektu měřeny body v profilech ve zvolené hustotě. Takto zaměřené body tvoří tzv. mračno bodů. Pro zlepšení orientace uživatele při zobrazení je v některých systémech bod zobrazen nejen polohou, ale také barvou, která vyjadřuje intenzitu přijatého signálu při měření délek. Barevně jsou takto odlišeny povrchy z různých materiálů, úprav a geometrické konfigurace. (Odo, 2011)

## 3.2. Speleologická měření a mapování

Následující část je převážně inspirována publikací Hromase a kol. (1998), projektu České speleologické společnosti, jakožto stěžejního díla a příručky pro mapování jeskynních systémů.

Mapa nebo plán je základní formou dokumentace jeskyně. Podobně důležité je i znázornění prostorového průběhu vůči zemskému povrchu či jiným objektům. Tzv. zeměměřictví, které zaštiťuje obory, jako jsou geodézie a kartografie, je vědní disciplínou, která se zabývá měřením a zobrazováním Země nebo jejích částí a je tedy, ve své podobě, aplikována právě i na speleologické prostředí. Pro speleologická měřictví lze ve značné míře využít metod důlního měřictví, inženýrské geodézie, mapování a fotogrammetrie. Mnohdy nemohou být tyto metody využity tak, jak jsou postaveny pro svůj prvotní účel. Zohledněn musí být např. členitý průběh jeskyně, časté horizontální a vertikální změny, různá průchodnost jednotlivých částí, zabezpečení měřičů (horolezecká, potápěčská technika) apod. Naopak zde například oproti důlním dílům není nutnost využívat nevybušnou úpravu pomůcek, osvětlení a ostatních přístrojů. Také pro speleologii se vyčlenilo několik specifických metod, které se používají jen pro tento obor.

Měřické práce ve speleologii lze rozdělit na a) speleologické mapování, b) speciální speleologická měření, c) speciální výpočetní a zobrazovací práce.

ad a) Část speleologického měřictví, jehož výstupem je mapa nebo plán jeskyně nebo jiného krasového nebo pseudokrasového jevu. Jedná se o nejnvýznamnější a nejstarší disciplínu. Řeší tedy především tvorbu speleologických map. Ta spočívá ve využití existujících mapových podkladů a jejich doplňování, zahrnuje přípravné práce pro měření, doplňování bodových polí na povrchu a tvorbu sítí bodů v podzemí, výpočetní práce a základní grafické práce. Dále řeší znázornění průběhu jeskyně do mapy povrchu nebo naopak zákres povrchu do mapy jeskyně.

ad b) Do této části jsou zařazeny metody inženýrské geodézie, které jsou užívané při vytyčování prorážek a přípravě různých technických projektů, fotogrammetrické metody a jiné. Někdy jsou za speciální speleologická měření označována měření pod vodou a speciální měření propastí např. geofyzikální, geologické, radiové atd.

ad c) Obsahuje výpočetní postupy a grafické metody, jinak neobvyklé při mapování jeskyní. Patří sem výpočty a metody axonometrického znázornění, kartometrie (tj. získávání informací z map, a to délkové, směrové, spádové plošné...), redukce map do různých měřítek a jejich generalizace, polygrafické práce, digitální modely terénu...

### 3.2.1. Historie

Zobrazování podzemních prostor má položeny historické základy. Prvotní snahy o zobrazení se projevují u kulturních národů Středního východu. Kvalita je úměrná tehdejšímu převážně kultovnímu využití. První známky o pozorování jeskyní z hlediska přírodovědeckého pochází ze středověku nebo spíše raného novověku a je spjata s rozvojem hornictví. Jedny z prvních map, které mají přírodovědecké hodnoty, jsou z r. 1719 od J. Bucholtze (mapa Dračí jeskyně v Demänové z knihy Mateje Bela *Hungaria antiquae et novae Prodormus*) a od V. Súsze z r. 1800 (mapa Sloupských jeskyní pro hraběte Salma). Během výzkumu v jeskyních, se vyvinulo i speleologické mapování. Jeho moderním průkopníkem byl na přelomu 19. a 20. století prof. Dr. Karel Absolon. V těchto tradicích pokračovali další průzkumníci krasu, jako byli R. Burkhardt, P. Ryšavý, J. Vodička a další. Geologické a hlavně geomorfologické aspekty zavedl do speleologického mapování R. Kettner (mapování jeskyně Domica), jehož metody rozvinuli F. Skřivánek, V. Král, J. Sekyra, A. Droppa, J. Michovská a řada dalších.

### 3.2.2. Praktické metody a pomůcky

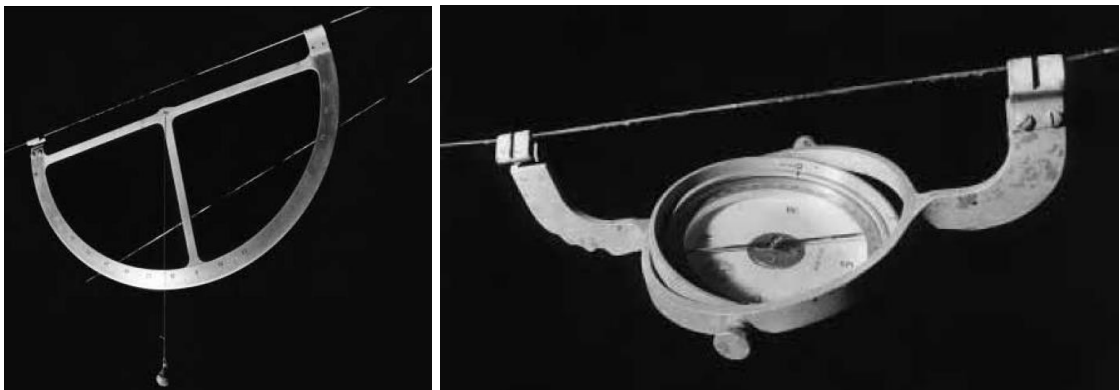
Speleoměřictví se dosud musí obejít bez závazných norem či jiných obecně uznávaných pravidel. Je tedy nutné počítat s odlišnostmi děl různých autorů. Většinou se jedná o dva krajní případy. Na jedné straně stojí speleolog (geomorfolog, geolog) jehož mapy jsou zaměřeny na podrobnosti a detaily krasových jevů nebo jiných oborových skutečností, kdežto měřický podklad bývá méně přesný. Právě naopak je tomu v případě, kdy podzemní prostory mapuje geodet a měření bývá provedeno přesněji, ale většinou chybí špatně přístupné prostory, pro jejichž prozkoumání je mnohdy nutný krajní fyzický výkon. Je ale nutno zmínit, že nové metody počítačové grafiky a kartografie přináší nové poznatky a možnosti i do tohoto odvětví.

Mapování jeskyní a úprava vlastních map se mnohdy odehrává na amatérské úrovni, ale to však neznamená i nízkou úroveň následných výstupů. Je projevována snaha o užívání jednotného značkového klíče pro vyjádření obsahu map a základních metod mapování a to tak aby ho mohli provádět i speleologové bez geodetických znalostí nebo praxe. Pro sestavení kvalitní speleologické mapy nestačí znát základní metody mapování, je zapotřebí velké dávky cviku, zkušeností a citu pro orientaci.

V současné praxi se využívá mnoha pomůcek pro usnadnění a zpřesnění mapovacích prací. Využívány jsou nástroje jak jednoduché mechanické, tak složité a mnohdy přesnější elektrotechnické. Základem jsou pevné, skládací či svinovací metry

používané pro doměrování kratších délek. Při výběru správné pomůcky je nutno zohlednit i nepříznivé podmínky v jeskyních, jako jsou vlhkost a špína a s tím spojená omezená funkčnost pomůcek. Za svinovací měřidla můžeme považovat i lanka a provázky s měrnými značkami obvykle po 1 m, které slouží pro hrubá měření a rychlou orientaci. Často jsou využívána při měření pod vodou nebo při měření komínů a propastí.

Hornický sklonoměr a kompas jsou velmi staré závěsné přístroje určené k měření úklonů a zaměřování dlouhých polygonových pořadů. V obou případech je nutné mít dva body, určovaného sklonu respektive směru, spojeny měřickou šňůrou, na kterou se přístroje zavěšují. Hornický kompas pochází z doby středověkého hornictví a ve speleologii je využíván velmi často. Nevýhodou takovýchto přístrojů je potřeba obvykle dvou a více měřičů.



Obr. 1. Grádový závěsný sklonoměr a grádový závěsný kompas (foto: Martin Přibíl)

Zajímavostí je speleology vyvinutá pomůcka pro měření délek tzv. topofil. Jedná se o cívku niti opatřenou měřicími válečky a počítadlem. Měřič upevní volný konec na místě začátku měření, vynuluje počítadlo a nechá nit volně odmotávat, na konci měřeného úseku odečte změřenou délku. Poté nit odtrhne a již ji nemusí smotávat. Výhodou tohoto zařízení je jeho vhodnost použití v nepřehledných a nepravidelných terénech. Dalším pozitivem je, že může měření provádět pouze jedna osoba, a to na vzdálenosti až několika stovek metrů. Limitujícím faktorem je menší přesnost měření, způsobená pružností nitě a omezenou přesností měřicího systému (převodních koleček a počítadla).

Měřická kola a krokoměry se využívají zejména pro pasportizace a lokalizace jeskyní na povrchu.

Mezi elektrotechnické pomůcky patří hojně využívaný laserový dálkoměr švýcarské firmy LEICA s názvem DISTO. Ten umožňuje měřit délky od 5 cm do 30 m



bez použitého odrazného systému, a s ním až do 200 m. Výhodou je i vysoká přesnost  $\pm 2$  mm. Má praktické rozměry i hmotnost a pozitivem je i viditelná laserová stopa, pro přesné určení bodu záměru.

### 3.2.3. Tvorba mapy

Vlastní tvorbu mapy jeskyně lze rozdělit do několika částí, od etapy přípravy až po její grafické ztvárnění.

Etapy tvorby mapy:

1. Přípravné práce – patří sem práce zaměřené na získání již dostupných mapových podkladů a jiných bližších specifikací o mapovaných prostorech např. s ohledem na následné měřické práce a jejich bezpečnost. Rozhodovací procesy např. o vhodném měřítku nebo souřadnicovém systému, podle používaného přístrojového vybavení a určení využití výsledné mapy, stanovení požadované přesnosti měření atd.
2. Rekognoskace podzemních prostor – slouží ke zjištění rozsahu jeskyně, a tím souvisejícího rozsahu prací a potřebného personálního zajištění. Dále ke zjištění současného stavu jeskyně, její průchodnosti členitosti, možnosti využití vybrané měřicí techniky. Je vhodné pro kontrolu stávajících měřických bodů, které by bylo možné využít.
3. Volba a určení měřických bodů – je nutno zohlednit používané přístroje. Zvolit umístění dobře přístupných bodů ve stěnách, v podlaze či stropu. Zohlednit požadovanou přesnost měření. Stanovit vhodné číslování a vlastní technický způsob stabilizace bodů.
4. Podrobné zaměření podzemních prostor – skládá se z vlastní tvorby půdorysů, příčných a podélných řezů vztahených k vytvořené síti měřických bodů. Zakresluje se do terénního náčrtu přímo v jeskyni a jako hlavní postupy se používá metody ortogonální či polární.
5. Výpočetní a zobrazovací práce – výpočty vstupních dat jsou prováděné především počítačovým softwarem, který následně generuje výsledky v grafické 2D podobě s příslušnými symboly a popisy.
6. Vyhotovení kartografického originálu.
7. Zpracování výsledného elaborátu a jeho dokumentace.

(Hromas a kol., 1998)

## 4. METODIKA

---

### 4.1. Popis lokality

#### 4.1.1. Základní údaje

Zájmové území se nachází cca 4,7 km od okresního města Blanska, jedná se o jihomoravský kraj. Lokalita leží v CHKO Moravský kras, v NPR Vývěry Punkvy v tzv. Suchém žlebu. Dva vchody do jeskyně Koňská jáma, vzdálené asi 10 m od sebe, leží v nadmořské výšce cca 350 m, asi 18 m po levé straně nad cestou při příjezdu od střediska Skalní mlýn či nově vybudovaného Domu přírody Moravského krasu, o.p.s. První výzkumy proběhly v letech 1961–1962 prof. PhDr. Josefem Skutilem, CSc. po předchozích povrchových nálezech střepů v okolí jeskyně. Následné mapování provedl již zmíněný prof. Dr. Karel Absolon.

#### 4.1.2. Popis přírodních podmínek

Moravský kras je nejlépe vyvinutým krasovým územím České republiky a obsahuje široké spektrum krasových fenoménů. Jedná se o samostatnou ortografickou jednotku Moravský kras, která je součástí drahanské vrchoviny.

##### 4.1.2.1. Geologický vývoj

Jedná se o 3–6 km široký a 25 km dlouhý pás devonských vápenců, na kterém se kras vyvinul. Rozprostírá se od Brna-Líšně až ke Sloupu a Holštejnu.

Krystalinický podklad tvoří intruzivní těleso proterozoického stáří, především z granitoidních hornin. Nejstaršími horninami jsou pískovce, arkózy a slepence. Ve středním až svrchním devonu dochází k sedimentaci dvou základních typů vápenců, lažáneckých a vilémovických. Ukončení vápencové sedimentace v nejsvrchnějším devonu a spodním karbonu je reprezentováno opět dvěma typy vápenců, a to křtinskými a hádsko-říčskými. V nadloží těchto vrstev jsou uloženy nekrasové flyšové sedimenty spodního karbonu, jsou to zejména břidlice droby a slepence. Ve zmíněných vápencových komplexech zůstaly místy dochovány denudační ostrůvky mladších mezozoických sedimentů např. jurské písčité vápence s rohovci a spongility bohaté na fosilie, z období křídly jílovito-písčité sedimenty rudických vrstev, které vyplňují hluboké deprese vápencového podkladu. Vyskytují se v minulosti těžené limonitické železné rudy a mineralogicky zajímavé křemenné geody. Mezi další sedimentární horniny, které

vyplňují nerovnosti povrchu, patří terciérní jíly, písky a štěrky bádenské transgrese, ty bývají uloženy na dně žlebů, dále rezidua kvartéru např. štěrkopísky, spraše apod. Kvartérní sedimenty dosahují v některých místech mocnosti několik desítek metrů a vyskytují se i v jeskyních, jsou to zejména jeskynní hlíny, štěrky a štěrkopísky. (Hromas a kol., 2009)

#### **4.1.2.2. Pedologie**

Na výchozech vápenců, většinou na svazích vystupují rendziny, často kambizemní (zhnědlé) s odvápněnou jemnozemi. Náhorní plošiny nesou hnědozemě na spraších a sprašových hlínách a tam, kde povrch vápenců není zakryt pokrivy, se nachází ve fragmentech také typické reliktní krasové půdy – terra fusca a terra rosa. (Culek a kol., 1996)

#### **4.1.2.3. Geomorfologie**

Celkově má Moravský kras zarovnaný povrch, který je však místy rozčleněn velmi ostrými 100–200 m hlubokými údolími. Ty mají v severní části charakter bezvodých kaňonů (Suchý žleb, v němž se nachází jeskyně Koňská jáma). Reliéf má tedy charakter ploché vrchoviny s členitostí 150–200 m, pouze v některých částech se jedná o členitou vrchovinu až 270 m. Nejnižší bod čítá hodnotu 265 m a nejvyšší cca 590 m. Typická výška území je 300–530 m, mimo kaňony 400–530 m. (Culek a kol., 1996)

#### **4.1.2.4. Podnebí**

Dle Quitta (1971) leží bioregion v klimatických oblastech od nejteplejších MT 11 na jihu, přes MT 10, MT 9, MT 5 po nejchladnější MT 3 na severu. Klima je tedy velice rozdílné v závislosti na zeměpisné šířce a nadmořské výšce nebo členitosti území. V okolí Brna teplé a poměrně suché (Brno 8,6 °C, 547 mm), chladnější a vlhčí v severnějších oblastech (Olomučany 7,7 °C, 620 mm; Sloup 641 mm). Severovýchodní část regionu má průměrné teploty asi 6,6 °C a srážky až 660 mm. Zde klima vykazuje rozdíly na malých vzdálenostech např. chladná dna kaňonů oproti teplejším a sušším horním hranám.

#### **4.1.2.5. Hydrologie**

Z Dražanské vrchoviny přitéká na území několik vodních toků, které se na jeho okraji ztrácejí v podzemí a tvoří tak složité hydrografické poměry a vodní režim. Území

Moravského krasu je rozděleno na tři hydrografické celky. Hlavním vodním tokem je řeka Punkva s plochou povodí 170 km<sup>2</sup> a průměrným ročním průtokem 0,96 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Střední část krasu odvodňuje Křtinský potok s plochou povodí 70 km<sup>2</sup> a průměrným ročním průtokem 0,25 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a jižní část Ochozský, Hádecký a Hostěnický potok o celkové ploše povodí 76 km<sup>2</sup> s průměrným ročním průtokem 0,16 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Všechny toky, které se na území nachází, a celkově hydrografické poměry a hydrologický režim jsou zde velmi důležitým faktorem, protože se velkou mírou podílí na utváření krasové krajiny. (Hromas a kol., 2009)

#### **4.1.2.6. Biota**

Díky spolupůsobení několika faktorů, jako jsou geologická stavba, členitý reliéf a mikroklimatické podmínky, které se často na malých vzdálenostech výrazně mění, je patrná vysoká rozmanitost bioty Moravského krasu. Důležitou roli hrají i poloha Moravského krasu na rozhraní hercynské, panonské a karpatské biogeografické oblasti a vlivy dob ledových. Do vývoje a skladby rostlinných společenstev dlouhodobě zasahuje také člověk.

V hlubokých kaňonovitých žlebech je typicky vyvinuta vegetační inverze. Podhorské až horské druhy javor klen (*Acer pseudoplatanus*), jilm horský (*Ulmus glabra*), v Suchém a Pustém žlebu pravděpodobně původní smrk ztepilý (*Picea abies*), játrovku podhořanku lesklou (*Porella arboris-vitae*), měsíčníci vytrvalou (*Lunaria rediviva*), zde velmi vzácné druhy vranec jedlový (*Huperzia selago*) a violku dvoukvětou (*Viola biflora*) nebo jelení jazyk celolistý (*Phyllitis scolopendrium*) rostoucí v údolích, střídají na hranách o 100 až 150 m výše druhy teplomilné jako dřín jarní (*Cornus mas*), jeřáb muk (*Sorbus aria*), skalník celokrajný (*Cotoneaster integerrimus*), tařice skalní (*Aurinia saxatilis* subsp. *arduini*), kavyl Ivanův (*Stipa pennata*) aj.

Co se fauny týče, o významu Moravského krasu svědčí to, že odtud bylo popsáno více než 50 nových druhů z různých zoologických skupin. Skalnaté a suťové biotopy se vyznačují zejména výskytem různých druhů plžů, chvostoskoků a šupinušek. Lesní společenstva bezobratlých jsou značně rozmanitá v závislosti na charakteru porostu, jeho druhovém složení, bylinném a keřovém podrostu apod. V inverzních polohách na dnech žlebů se můžeme setkat i s druhy podhorskými nebo dokonce horskými. Z druhů vyšších poloh byly ve spodních částech hlubokých údolí zjištěny např. můry dřevobarvec zimolézový (*Calliergis ramosa*), kovolesklec jestřábníkový (*Autographa bractea*) aj.

Zcela zvláštní podmínky existují na dně propasti Macocha a v jeskyních, což vedlo ke vzniku vyhraněných společenstev jeskynních druhů. Tato společenstva se postupně utvářela z druhů živočichů vázaných původně na chladná a stinná místa na povrchu. Jsou složena jednak z tzv. troglobiontů (pravých nebo výlučně jeskynních druhů), dále troglofilů (druhů, které žijí např. také v sutích, pod kameny, ve stinných vlhkých lesích) a konečně druhů, které pronikají do podzemních prostor jen příležitostně nebo zcela náhodně. Pravými jeskynními druhy jsou především někteří chvostoscoci a roztoči. Jsou mezi nimi i glaciální a interglaciální relikty (pozůstatky dob ledových a meziledových), například chvostoskok *Shaefferia emucronata*. Za zmínku stojí i druhy nově popsané pro vědu z Amatérské jeskyně, chvostoscoci *Onychirius rauseri* a *Arrhopalites ruseki*. Do jeskyní pronikají ve značném počtu a často velmi hluboko i druhy, které bychom zde neočekávali např. mýra sklepní (*Scoliopteryx libatrix*) a píďalka jeskynní (*Triphosa dubitata*). Z obratlovců na skalách a skalních ostrožnách pravidelně hnízdí výr velký (*Bubo bubo*), stálá hnízdiště jsou především v oblasti Pustého a Suchého žlebu. Z kriticky ohrožených ptáků zde ještě v 50. letech hnízdil sokol stěhovavý (*Falco peregrinus*). Z větších savců jsou běžnými obyvateli lesních komplexů např. kuna skalní (*Martes foina*), jezevec lesní (*Meles meles*), liška obecná (*Vulpes vulpes*), srnec obecný, (*Capreolus capreolus*) a prase divoké (*Sus scrofa*). Ze savců jsou dominantní skupinou netopýři (*Chiroptera*), kteří tvoří také nejdůležitější složku ve společenstvu jeskyní. Z 23 druhů netopýřů zjištěných z území České republiky jich bylo na území CHKO Moravský kras potvrzeno 21. Netopýři využívají jeskyní především k zimnímu spánku, netvoří v nich letní kolonie. (Správa CHKO Moravský kras, 2016)

## 4.2. Použité pomůcky a software

### 4.2.1. Laserový skener FARO Focus 3D S 120

Jedná se o prostřední model s dosahem od 0,6 do 120 m s možným použitím v mnoha oborech, jako jsou architektura, BIM (informační modely budov), forenzní vědy, loďařství a další. Má integrovanou barevnou kameru, jejíž snímky mohou sloužit k následnému obarvení mračna bodů. Disponuje kompaktními rozměry 24×20×10 cm a váhou 5 kg a je voděodolný. Součástí skeneru je ovládací dotykový displej. Skener je možné ovládat i dálkově přes WLAN připojení, výdrž na baterii činí 5 hodin. Všechny tyto aspekty, spolu s bezhlučností a bezkontaktní metodou sběru informací, předurčují přístroj pro využití v přírodovědeckých disciplínách. FARO Focus pracuje s přesností  $\pm 2$  mm, může skenovat okolí v zorném poli 360° horizontálně a 305° vertikálně. Využívá laser třídy 1 o vlnové délce 1550 nm s průměrem paprsku na výstupu 2,25 mm. Data lze ukládat na vyměnitelnou paměťovou kartu. (FARO, 2013)



Obr. 2. Laserový skener FARO Focus 3D S 120. (foto: oceanscan.net)

#### **4.2.2. Referenční koule FARO**

Při měření bylo využito 8 referenčních koulí o dvou průměrech 145 mm a 200 mm. Ty jsou vyrobeny z plastu a pokrývá je speciální barva, která má vynikající reflexní vlastnosti. K uchycení např. na stativ (využívají se i u skeneru a totální stanice) slouží silné magnety, které umožňují rychlou manipulaci. Pro bezpečnou přepravu jsou koule dodávány v pevném polstrovaném kufříku. Při vlastním skenování slouží k následnému propojení několika skenů z různých stanovisek.

#### **4.2.3. Totální stanice Trimble M3**

Jedná se o univerzální měřicí přístroj, tzn. kombinaci teodolitu a EDM (Rueger, 2012), což je elektronický měřič vzdálenosti (angl. electronic distance measurement). Současně tedy dokáže měřit vzdálenosti, vodorovné směry a výškové úhly. Vše je řízeno vestavěným počítačem a nainstalovaným softwarem. Totální stanice disponuje vnitřní pamětí pro uložení informací o měřených bodech, po připojení k počítači lze data přenášet v klasických formátech např. \*.dxf, \*.txt atd. Přístroj je vhodný pro sběr dat pro topografická měření, vytyčování, kontrolní měření apod.

Typ M3 umožňuje provádět měření délek bez hranolu až na 500 m a s hranolem až na 5000 m s přesností  $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ , respektive  $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ . Měření úhlů je prováděno metodou absolutního čtení s volitelnou přesností dle DIN 18723 (vodorovná a zenitová) 1", 2"/0,5 mgon, 3"/1,0 mgon, 5"/1,5 mgon. Díky jasnému, barevnému dotykovému QVGA displeji a operačnímu systému Microsoft® Windows® Embedded CE 6.0 poskytuje Trimble M3 graficky bohaté uživatelské rozhraní se zlepšenou čitelností a navigací v menu. Grafické vytyčování bodů, linií a oblouků a vyrovnání je dostupné s funkcí Active Maps. (Trimble, 2016)

#### **4.2.4. Výtyčka s odrazným hranolem**

Hranol umístěný na výtyčce, slouží k vrácení laserového paprsku vyslaného z totální stanice a umožňuje její přesné zamíření. Používá se při zaměřování podrobných bodů.

#### **4.2.5. Geodetické hřeby**

Jsou vyrobené z pevné oceli, mají různé rozměry a antikorozi úpravu povrchu. Používají se k označení měřických bodů. Umísťují se do pevného podkladu.

#### **4.2.6. Metr**

Byl použit klasický ocelový svinovací metr určený především ke změření výšky umístění totální stanice nad měřickým bodem.

#### **4.2.7. Zápisník**

I přes to, že všechny přístroje disponují buď interní, nebo vyměnitelnou pamětí pro ukládání naměřených dat, je terénní zápisník vhodnou pomůckou. Slouží k hrubému náskoku skenovaných prostor a umístění stanovisek či zaznamenání provedených nastavení přístrojů před měřením.

#### **4.2.8. Čelová svítilna**

Jelikož měření probíhá v podzemních prostorech s malou nebo žádnou viditelností, je pro dobrou orientaci a manipulaci s ostatními pomůckami nutná výkonná svítilna. Pro výhodu obou volných rukou se používají čelové svítilny, s aktuálně nejvíce oblíbenou LED technologií, u které je výborný poměr výkonu a spotřeby energie.

#### **4.2.9. Oděv, obuv a ochranné pomůcky**

Jedná se většinou o chladnější a vlhké prostory, které často bývají znečištěny jeskynními usazeninami, proto je vhodné teplejší, vodě a špíně odolné oblečení spolu s pevnou, nepromokavou obuví. Jeskyně jsou plné nástrah v podobě ostrých kamenů, nízkých stropů, úzkých průlezů, kluzkých povrchů, proto jsou nezbytné i ochranné pomůcky, především přilba popřípadě kolenní chrániče, rukavice a jiné.

#### **4.2.10. Trimble Realworks 10**

Jedná se o softwarový balík pro geodety a inženýry, který je vhodný pro zpracování bodových mračen, jako výstupů z laserových skenerů mnoha typů. Umožňuje vizualizovat, prozkoumávat, registrovat a manipulovat se seskupením mračen bodů. Zahrnuje různé druhy nástrojů, které jsou použitelné pro obory, jako jsou civilní průzkum, stavebnictví, forenzní vědy, rostlinářství a jiné. Dokáže vytvářet přesné 2D a 3D výstupy pro přímé prezentování nebo exporty pro AutoCAD® a MicroStation®. Program je dostupný v několika licenčních verzích, které zahrnují, interpolační funkce, vizualizace, tiskové funkce, pokročilé funkce registrace, profilování, ortho-projekce, funkce ve vztahu k pěstování rostlin a souvisejícímu prostředí, inspekční a kalibrační nástroje a další.



### ***Systémové požadavky:***

Operační systém: Microsoft® Windows® 7,8 a 8.1 64-bit

Procesor: minimálně 2.8 Ghz (Quad-Core) nebo vyšší, (doporučena další jádra s podporou Hyper-Threading)

RAM paměť: minimálně 8 GB (doporučeno 16 GB a více)

Grafická karta: OpenGL 3.2 kompatibilní s minimálně 1 GB VRAM (doporučeno 3 GB nebo více)

Počítačová myš se třemi tlačítky

(Trimble, 2015)

### **4.2.11. 3DReshaper**

Stejně jako předchozí software je určen pro zpracování surového mračna bodů. Jeho největší předností je vytvoření 3D trojúhelníkové sítě z mračna, a to i u nepravidelných a matematicky nedefinovatelných objektů. Do programu lze importovat mračno bodů téměř jakéhokoliv původu a velikosti a na základě specifického algoritmu ho lze napasovat na jiné mračno nebo objekt. Umožňuje jeho čištění a potlačení šumů, automatickou i manuální segmentaci, barevnou reprezentaci na základě směru pohledu. Dále je schopen 3D modelování, tzn. vytvořit již zmíněnou trojúhelníkovou síť tzv. mesh, a jejich vylepšování. Vše rychle a snadno i na velkých mračnech bodů se zachováním přesnosti a ostrých hran, tam kde mají být. 3D síť lze ladit vyhlazováním, vyplňováním děr, ředěním, spojováním atd. V programu je možno provádět výpočty kubatur, booleovské operace, výkopy a náspy, definovat hladinu vody, a tím např. kalibrovat nádrže. Dynamické mapování textur napomáhá obarvení mračna bodů či mesh. Ve 3D modelu lze provádět měření s tvorbou kótování, extrahovat řezy, vrstevnice a geometrické tvary. Modul kontroly a inspekce umožňuje porovnávat dva objekty s tvorbou barevné mapy na základě deformačních izočar s možností úpravy dle požadavků uživatele, dále export reportu o deformacích, inspekce vůči ideálním tvarům, 3D animace a virtuální prohlídky i ve formě videa a mnoho dalších. (Šantora, 2014)

### ***Systémové požadavky:***

Procesor: 2 GHz Dual Quad Core i7 nebo vyšší (minimálně i5)

RAM paměť: minimálně 4 GB pro 32-bit OS a 8 GB nebo více pro 64-bit OS

Grafická karta: NVidia-Quadro nebo GeForce 1 GHz například (s podporou OpenGL)

Operační systém: Microsoft® Windows® 7,8 a 8.1 64-bit (podporován i 32-bit)

Hard Disk: 1 GB volného místa

***Podporované formáty:***

Mračno bodů: ASCII, Nova MS50, LAS, ESRI, ZFS, FLS, PTS LandXML E57, PLY...

Mesh: MSH, DXF, OBJ, STL, VRML, DWG, PLY...

Linie a vrstevnice: IGES, DXF, ASCII, DWG...

CAD model: IGES, STEP

(Technodigit, 2016)

### **4.3. Přípravné práce a měření v terénu**

#### **4.3.1. Stanovení rozsahu prací**

Jedná se o stanovení potřebných, postupů případně jejich ekonomické, časové či personální náročnosti. Vše pro dosažení vytyčených cílů a relevantních výsledků.

Jako základní rozdělení postupů bylo zvoleno dvojí, na kancelářské a terénní práce. Mezi kancelářské práce bylo zařazeno počáteční shromáždění dostupných informací o zájmovém objektu, z důvodu hladkého průběhu měření a možnosti následného porovnání výsledků. Poté následují terénní práce v řešené lokalitě za použití vhodných prostředků a pomůcek. Práce v terénu byly dále rozděleny dle vhodné posloupnosti činností na rekognoskaci terénu, vytvoření připojovacího polygonu, volbu stanovisek skeneru, rozmístění referenčních koulí a jejich geodetické zaměření a vlastní proces skenování. V průběhu byla pořizována fotodokumentace. Navazují opět práce kancelářské, společným jmenovatelem je zpracování pořízených dat. Tyto práce jsou členěné na import surového mračna bodů do vhodného zvoleného software, relativní spojení mračen ze všech stanovisek skeneru, absolutní spojení skenů, tzn. transformace mračna bodů do zvoleného souřadnicového systému, vytvoření 3D modelu (neboli mesh), příčných a podélných řezů a půdorysu, zobrazení situování modelu ve stávajícím terénu za pomoci DMR 4G a zakončené exportem výstupů.

Pro terénní práce je důležité zvolit vhodné období. Velkou roli hraje počasí, některé přístroje jsou náchylné na vodu a znečištění. Důležitá je také dobrá viditelnost pro geodetická měření. Dále minimální vegetační pokryv, pro zmírnění rušivých šumů při skenování a nekrytý rozhled. V neposlední řadě je nutno zohlednit klidová období především chráněných živočichů.

Při plánování postupů je také žádoucí určit parametry, jako jsou přesnost a s tím spojená rychlost měření. To je závislé na požadovaných výstupech a jejich měřítku.

Měření bylo naplánováno na 20. 5. 2015, rekognoskace terénu o cca 2 měsíce dříve 23. 3. 2016, to je vhodné zejména pro dostatečnou časovou rezervu pro případné změny. Z důvodu menší rozlohy jeskyně bylo zvoleno velké měřítko výsledné mapy 1 : 300–500. S ohledem na použité vybavení byla stanovena I.–II. třída přesnosti dle Tab. 1. Tato přesnost je zcela dostačující pro účely základní speleologické mapy.

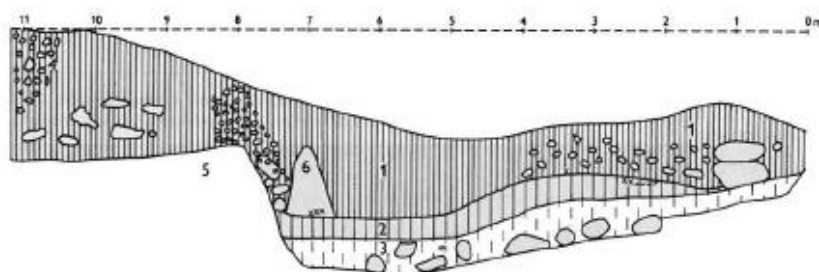
Tab. 1. Třídy přesnosti dle Hromase a kol. (1998)

TŘÍDA	PŘÍSTROJE		POUŽITÍ
	měření SMĚRŮ	měření DÉLEK	
I.	vteřinové (dvouvteřinové) teodolity, nejlépe s nucenou centrací	na mm se zavedením hlavních korekcí	technické úkoly v jeskyni (vytyčení prorážky apod.)
II.	teodolity s přesností odečtení alespoň na minuty	pásma s přesností do 1 cm	zaměřování hlavních polygonů
III.	měřeno magneticky (teodolitové busoly, busolní teodolity, závěsný hornický kompas), přesnost odečtení azimutu v desítkách minut	pásma s přesností na 1–5 cm	v hůře přístupných jeskynních prostorech
IV.	geologický kompas (měřeno z ruky) s odhadem na stupně	pásma nebo lať s přesností 5–15 cm	měření bočních chodeb, těžko přístupných prostor, orientační měření
V.	náramkové či kulové kompasy a busoly s odhadem na 5° a více	měřický provazec, měřické kolo, topofil – přesnost horší jak 25 cm	měření pod vodou, měření propastí, měření při expedici
VI.	úhломěr, odhad	odhadnuty pomocí horolezeckého lana, krokování	hrubý náčrt
VII.	od oka	od oka	hrubý náčrt

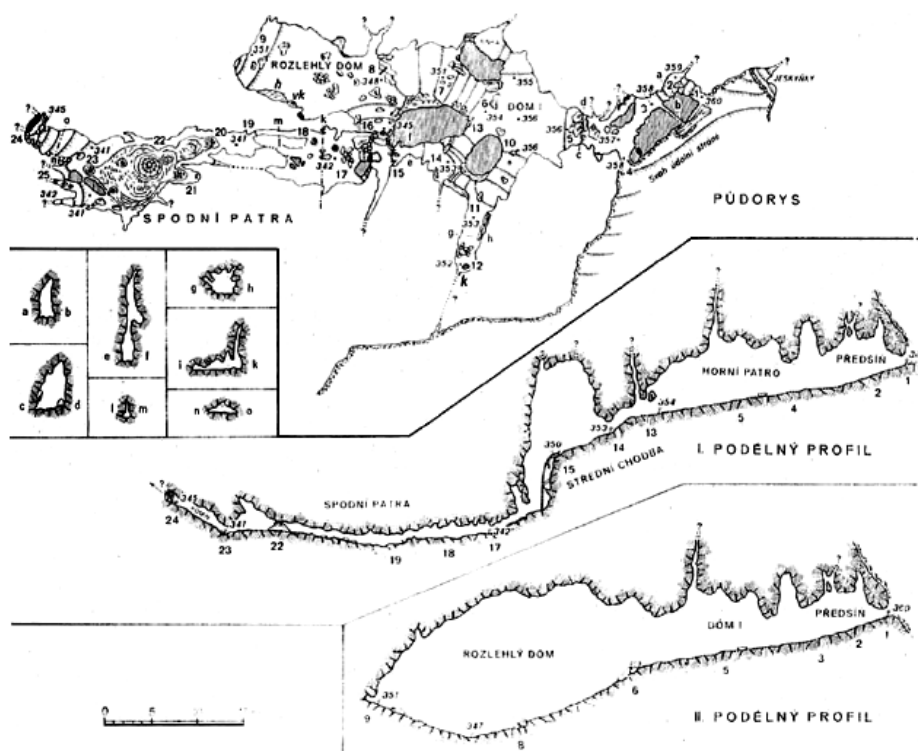
#### 4.3.2. Shromáždění dostupných informací

Evidenční číslo jeskyně je K230 12 11 J06920. Nachází se ve výšce 358,5 m n. m., je 200 m dlouhá a převýšení je 26 m. Jedná se o rozlehlou strmě klesající chodbu, která je členěna několika skalními pilíři. Největší prostor tvoří Rozlehlý dóm, který je významnou archeologickou lokalitou a zimovištěm netopýrů. Jeskyni k povrchu otvírají dva vchody, které leží cca 19 m vysoko v pravé stráni Suchého žlebu, asi 700 m před napojením na Punkevní žleb u Skalního mlýna. Je budována v lažáneckých

vápencích macošského souvrství. Rozlehlá vstupní chodba pokračuje od vchodů směrem na západ, poté v hlavním směru klesá do Rozlehlého dómu o rozměrech 30×8 m s výškou stropu 15 m. Jihozápadním směrem se odděluje chodba, která sestupuje do spodních pater, ta jsou 0,5–1 m vysoká a 10 m široká. Spodní patra měla bohatou krápníkovou výzdobu, která je již dnes značně poškozena. Je zde důvodné podezření, že jeskyně byla průtokovým tunelem a je spojena s Kateřinskou jeskyní. Z archeologických nálezů byly objeveny magdalénienské pazourkové čepele, kosterní zbytky lovené zvěře, lineární keramika, zdobená keramika s plastikou lidského obličej, keramika doby bronzové ... (Hromas a kol., 2009)



Obr. 3. Profil podél jihovýchodní stěny Předšíně jeskyně Koňské jámy. Z pozůstalosti J. Skutila. (Jarošová, 2002)



Obr. 4. Plán jeskyně Koňská jáma podle K. Absolona (1970).

### 4.3.3. Rekognoskace terénu

Při rekognoskaci terénu, která proběhla asi 2 měsíce před vlastním měřením za doprovodu Mgr. Zdeňka Hejkala ze správy CHKO Moravský kras, nebyly jištěny žádné odchylky od popsaného stavu jeskyně v literatuře. Jeskyně je dobře přístupná, není zde nutnost dlouhého přenášení vybavení, protože byl umožněn příjezd automobilem, po jinak uzavřené účelové komunikaci od Skalního mlýna. Vstup do jeskyně je otevřený a uvnitř nejsou jinak typické, větší teplotní rozdíly a zvýšená vlhkost oproti venkovnímu prostředí. Z důvodu špatného přístupu a nebezpečí poškození hodnotných přístrojů, bylo rozhodnuto o nezařazení spodních pater jeskyně do skenovacího procesu. Kromě zmíněných spodních pater, není nutné speciální lezecké či jiné vybavení. Pro umístění stativů s referenčními koulemi a samotným skenerem se v jeskyni nachází dostatek vhodných ploch. Byl zjištěn nivelační bod podrobného polohového bodového pole, vzdálený cca 300 m od vchodu do jeskyně. Pro rekognoskaci tohoto menšího jeskynního komplexu i s dopravou do zájmové lokality zcela postačoval jeden pracovní den.

### 4.3.4. Vytvoření přípojovacího polygonu

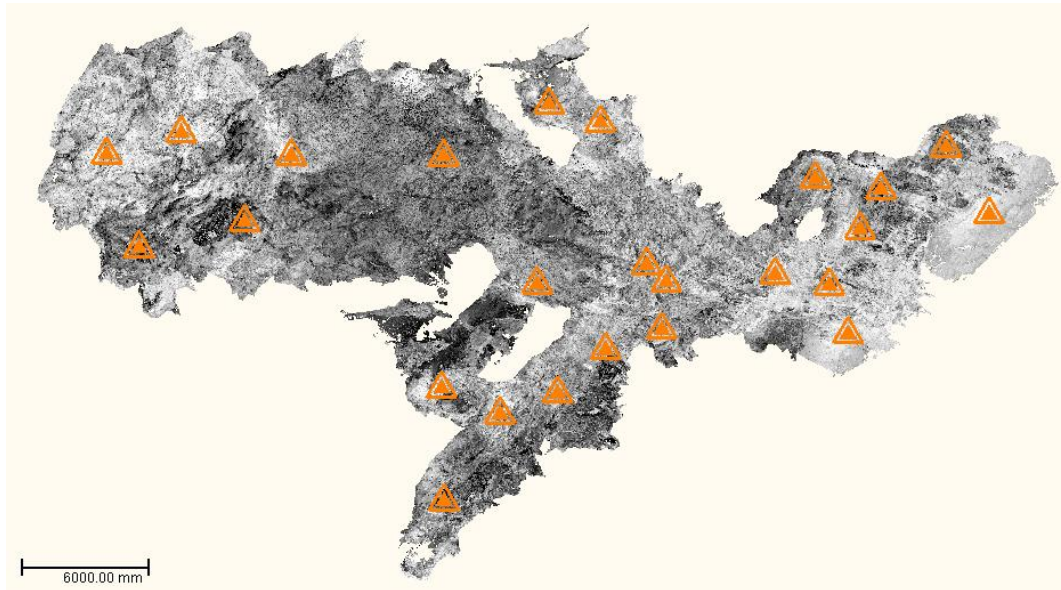
Měření bylo provedeno polární metodou s vyžitím bodů podrobného polohového bodového pole se souřadnicemi v S-JTSK a výškou v Bpv, viz příloha č. 8. Jednalo se o jednostranně orientovaný a připojený polygonový pořad. Při vlastním měření bylo vytvořeno 5 stanovišek na vzdálenost cca 300 m. Tvorba přípojovacího polygonu je potřebná pro připojení výsledného 3D modelu do souřadnicového systému.



Obr. 5. Tvorba přípojovacího polygonu za pomoci totální stanice. (foto: autor)

#### 4.3.5. Volba stanovišek skeneru

Celkem bylo vytvořeno 25 samostatných stanovišek, ze kterých bylo provedeno skenování. Stanoviška byla volena tak aby se výsledná mračna bodů dostatečně překrývala a aby byly všechny plochy jeskyně rovnoměrně pokryty body a netvořila se v nich prázdná místa. Z důvodu celkově malé rozlohy jeskyně nebyl využit maximální dosah skeneru 120 m.



Obr. 6. Rozmístění stanovišek skeneru.

#### 4.3.6. Volba postavení referenčních koulí

Referenční koule byly umístěny na stativěch i na jednoduchých stojácích do různých výšek a vzdáleností vzhledem ke stanovišti skeneru. Z důvodu menšího počtu bylo nutno koule postupně přesunovat. Důležité bylo, aby pro každé dva sousední skeny zůstaly alespoň tři společné terče bez změny jejich pozice, pro následné přesné spojení mračen bodů.

#### 4.3.7. Geodetické zaměření referenčních koulí

Pro možnost zobrazení výsledků v souřadnicovém systému S-JTSK byly čtyři referenční koule, umístěné v blízkosti vchodu do jeskyně a prvního stanoviška skeneru, zaměřeny totální stanicí a připojeny na vytvořený polygon (Tab. 2). Koule byly na stativu nahrazeny malým odrazným hranolem, jehož střed je souhlasný se středem koule. Takto je nutné zaměřit minimálně tři sféry.

Tab. 2. S-JTSK souřadnice referenčních koulí.

Poř. číslo	X	Y	Z
1.	-588540.46	-1143257.39	360.58
2.	-588534.78	-1143253.51	359.84
3.	-588536.60	-1143250.92	359.81
4.	-588538.33	-1143249.86	358.83

#### 4.3.8. Proces skenování

Před samotným skenovacím procesem byly nastaveny požadované parametry, jako jsou rozlišení, kvalita, rozsah skenovaného prostoru atd. Použitá nastavení jsou shrnuta v tabulce, viz Tab. 3. Z důvodu špatných světelných podmínek v jeskyni bylo upuštěno od pořizování fotografií v rámci skenování. Z tabulky je patrné, že při tomto nastavení není vlastní měření až tak časově náročné, jeden skenovací proces trvá 1 minutu 47 sekund. Rozsah, definovaný v úhlových stupních, nebyl stanoven, takže bylo využito celého účinného zorného pole skeneru.

Tab. 3. Použité parametry nastavení. (FARO Technologies 2011)

Resolution		Quality	Speed (kpt/sec)	Noise Compression	Net Scan Time (full scan)	pt/360°	NOHD [m]	
Mio. Pts (full scan)							axial	Radial
11.1	1/8	4×	122	–	0:01:47	5,120	6.50	1.63



Obr. 7. Proces skenování. Na obrázku skener a referenční koule. (foto: autor)

#### 4.4. Zpracování dat

Jedná se o kancelářské práce. Jak je patrné z výše zmíněných systémových požadavků jednotlivých software, je nezbytným vybavením pro tuto práci relativně výkonný počítač s monitorem, klávesnicí a počítačovou myší. Pro zpracování dat byl využit počítač Ústavu hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky, disponující vhodným hardware a potřebným software, které jsou shrnuty v Tab. 4. Rozdělení jednotlivých činností při zpracování dat bylo definováno v kapitole 4.3.1. Stanovení rozsahu prací.

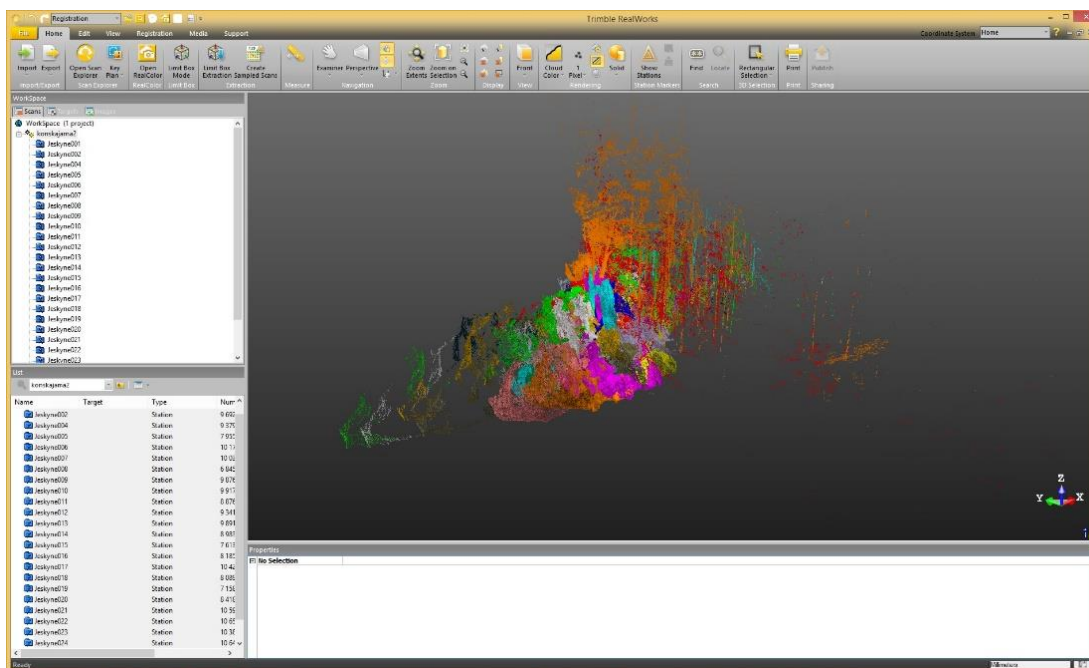
Tab. 4. Specifikace použitého PC.

<b>Procesor</b>	Intel® Core™ i7-4770 8 MB Cache, až 3.90 GHz
<b>Grafická karta</b>	NVIDIA GeForce GT 640 2 GB
<b>Operační paměť</b>	32 GB
<b>Disk</b>	1 TB
<b>Operační systém</b>	Microsoft® Windows® 8.1 Professional, 64-bit
<b>Základní deska</b>	Intel Lynx Point H87, Intel Haswell
<b>Příslušenství</b>	2 monitory, myš, klávesnice



#### 4.4.1. Import surového mračna bodů do Realworks 10.0

Prvním krokem procesu zpracování dat je jejich přenos z laserového skeneru do PC. Skener ukládá samostatně skeny z jednotlivých stanovisek ve formátu \*.fls. Ty lze jednoduše, pomocí externí SD karty, přenést do PC. První zpracování mračen bodů probíhalo v počítačovém programu Trimble Realworks 10. V módu Registration je pro import FLS souborů samostatná funkce, v jejím jednoduchém dialogovém okně lze vybrat jednotlivé soubory a hromadně je otevřít. Následně program požádá o první uložení projektu ve formátu RWP a zobrazí strom projektu se všemi skeny a koncentrovanými TZF soubory. Z těchto souborů je třeba, jejich označením a za pomoci funkce Create Sampled Scans, vytvořit mračna bodů, která budou barevně odlišena dle stanoviška skeneru. Vytvořený bodový mrak čítal 291 502 326 bodů.



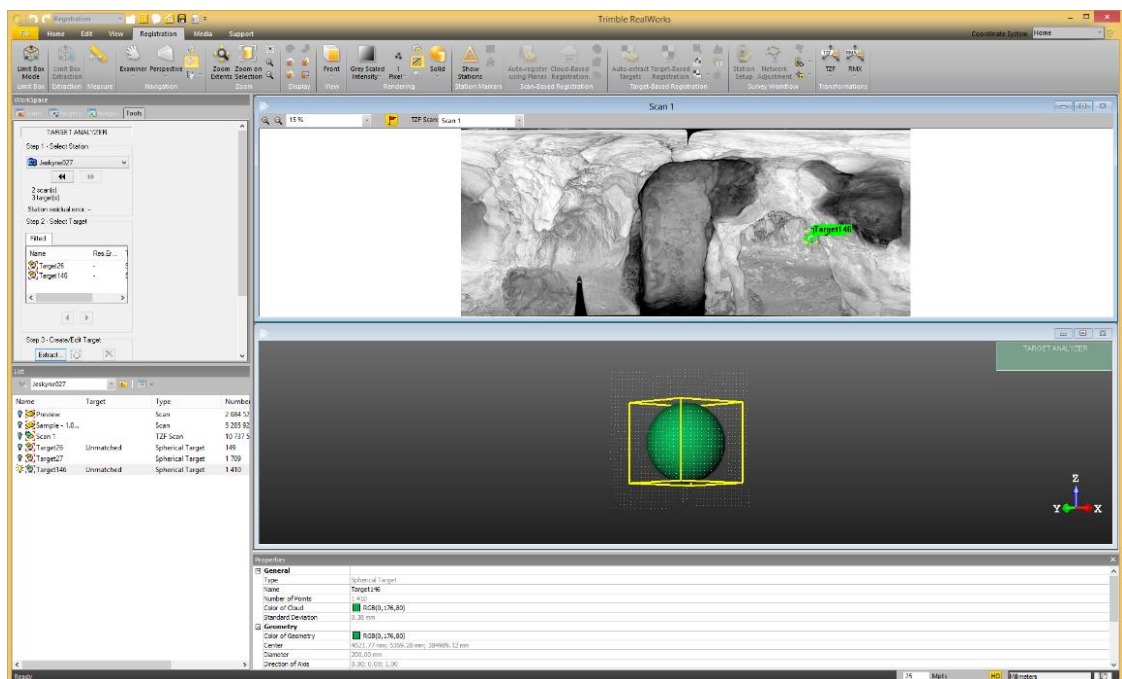
Obr. 8. Mračno bodů v prostředí Realworks 10.

#### 4.4.2. Relativní spojení skenů

Následuje spojení jednotlivých mračen bodů, která dosud tvoří jen těžko rozpoznatelný a identifikovatelný shluk, za pomoci automatického rozpoznání terčů, v tomto případě referenčních koulí.

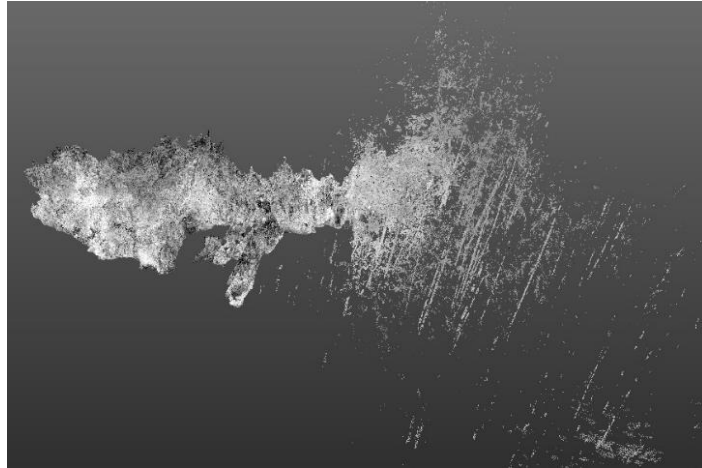
Funkce se nazývá Auto-Extract Targets v záložce Targeted-Based registration. Stále se pracuje v módu Registration a je nutné mít označené všechny TZF skeny, které jsou předmětem spojování. V nástroji se zvolí výchozí stanoviško, ke kterému se připojí

ostatní mračna, a dále je zde možnost volby typu terče a jeho bližší specifikace. Nevýhodou automatického rozpoznání je možnost použití jen jednoho průměru referenčních koulí. Jestliže byly při terénním měření použity různé průměry, jako v tomto případě, je nutná manuální korekce identifikace terčů. Při automatické analýze došlo také k tomu, že nebyly rozpoznány všechny terče, např. více vzdálené od stanoviště skeneru. Pro co nejpřesnější spojení všech skenů je vhodné manuálně identifikovat i tyto nerozpoznané terče. Pomocí funkce Target Analyzer lze přepínat mezi jednotlivými skeny, v přehledném okně vizuálně terč vyhledat, polygonovým výběrem označit body, které se nachází na referenční kouli, a na ně poloautomaticky napasovat předem zvolený průměr koule. Takto byly postupně dohledány a opraveny všechny použité referenční koule a programem byl vytvořen seznam všech terčů.



Obr. 9. Manuální identifikace terčů.

Na základě identifikovaných terčů, společných pro různá stanoviště, software spojí mračna bodů a zobrazí přehledovou tabulku. Ta zobrazuje připojená i nepřipojená stanoviště společně s jejich referenčními terči a reziduální chybu v mm. Pokud nedošlo ke spojení všech požadovaných skenů, je nutné definovat společné nepropojené terče manuálně a znovu provést spojení a následnou kontrolu celkové reziduální chyby. Jak je patrné z Obr. 11, chyba byla stanovena na 0,68 mm což je zcela dostačující, vzhledem ke stanovené přesnosti a určenému využití vytvořených výstupů.



Obr. 10. Registrované mračno bodů, nečištěné od okolního porostu.

Kvůli snadnější práci s daty a menší náročnosti na výpočetní procesy bylo výsledné mračno bodů před následujícím pracovním procesem zbaveno nepotřebných bodů. Pomocí funkce Segmentation v módu Production byly odstraněny rušivé šумы, sféry se stativy a terén s porostem v okolí vchodů do jeskyně. Nástroj pracuje na jednoduchém principu výběru bodů polygonem a volbou jejich odstranění respektive zachování vně či uvnitř tohoto polygonu. Dále byl využit nástroj Sampling, který slouží pro zředění mračna, a tím snížení celkového počtu bodů. Byla zvolena metoda Spatial Sampling, založená na definované vzdálenosti mezi jednotlivými body. Byla použita vzdálenost 5 mm, tím bylo docíleno rapidní snížení počtu bodů na hodnotu 14 494 250.

Registration Details		
Station View <input type="checkbox"/> Advanced Residual Error (Registered Stations only): 0.68 mm		
<input type="button" value="Match with..."/> <input type="button" value="Unmatch"/> <input type="button" value="Auto-match all"/> <input type="button" value="Auto-match Station"/> <input type="button" value="Export Report..."/>		
Matched Station Unmatched Station		
Name	Residual Error	Fitting Error
<b>Jeskyne001</b>	<b>0.68 mm</b>	
009	0.61 mm	0.34 mm
010	0.68 mm	0.52 mm
011	0.76 mm	0.41 mm
Jeskyne001	--	--
Target103	--	0.35 mm
<b>Jeskyne002</b>	<b>0.68 mm</b>	
009	0.61 mm	0.38 mm
010	0.68 mm	0.46 mm
011	0.76 mm	0.55 mm
Jeskyne002	--	--
<b>Jeskyne004</b>	<b>--</b>	
Jeskyne004	--	--
Target95	--	0.37 mm
Target96	--	0.55 mm
Target132	--	6.00 mm
Target133	--	0.40 mm

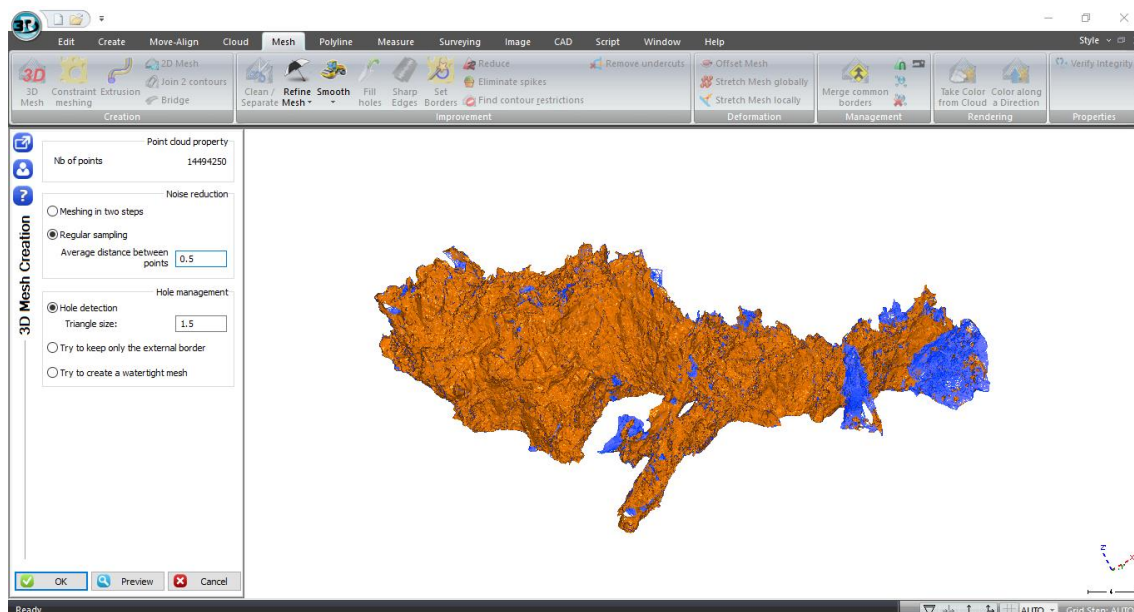
Obr. 11. Snímek přehledové tabulky s reziduální chybou spojení mračen.

#### **4.4.3. Absolutní spojení skenů – transformace do S-JTSK**

Pomocí nástroje Georeferencing lze celé mračno umístit do zvoleného souřadnicového systému. Byla zvolena možnost By Target, kdy je vybraným terčům definována souřadnice X, Y a Z. Pro referenční koule se zadává přesná pozice středu koule. Jednotlivé terče se vybírají ze seznamu a souřadnice lze zadat manuálně nebo je importovat, např. \*.txt souborem. Souřadnice z Tab. 2 byly zadány ručně. Nástroj je opět schopný definovat průměrnou chybu umístění v souřadnicovém systému, pro zmenšení této chyby je možno použít jen tři vhodné referenční koule ze čtyř zaměřených. Po absolutním spojení skenů lze provádět délková měření a jiné.

#### **4.4.4. Vytvoření mesh**

Pro tvorbu samotného 3D modelu byl využit program 3DReshaper, a to z důvodu jeho vyšší rychlosti tvorby mesh, jednoduchosti ovládání a možnosti využití dalších zajímavých nástrojů. Absolutně spojené mračno bylo z Realworks 10 exportováno ve formátu LAS a následně importováno do 3DReshaperu. Model byl vytvořen nástrojem 3D Mesh, v záložce Mesh a oddílu Creation. Tvorba probíhá zcela automaticky, jedinými definovatelnými kritérii jsou Noise Reduction a Hole Management. U prvního zmíněného bylo zvoleno nastavení Regular Sampling se zadanou průměrnou vzdáleností mezi dvěma body na 5 mm. Model je tvořen 1 507 956 body a 2 997 004 trojúhelníky. Po vytvoření mesh je vhodné provést jeho vyhlazení nástrojem Smooth, popřípadě provést eliminaci dlouhých hrotů z trojúhelníků, pro věrnější interpretaci skutečnosti. Jako další možný výstup byl programem vytvořen video průlet 3D modelem jeskyně. Za použití nástroje Create Polylines je zakreslena linie definující směr pohybu průletové kamery. Její pohyb a nasměrování je potom určen nastavením v nástroji Camera Path. Video je součástí příloženého CD.



Obr. 12. Tvorba 3D modelu v prostředí 3DReshaper.”

#### 4.4.5. Vertikální a horizontální řezy a půdorys

K vytvoření příčných a podélných řezů posloužil nástroj Planar Sections, v záložce Polyline a v oddílu Sections. Ten z vytvořeného mesh, kterým proloží definovanou rovinu nebo více rovnoběžných rovin, extrahuje souvislou linii řezu. Rovina byla definována dvěma body a aktuálním směrem pohledu. Vzhledem k nepravidelnému a nerovnoměrnému tvaru jeskyně byla, pro podélný profil, manuálně definována křivka řezu procházející přibližnou osou podlahy a stropů. Pro příčné řezy byly voleny roviny kolmé na osy zobrazovaných chodeb a dómů. Výsledné linie byly exportovány ve formátu DXF a vizualizovány a kótovány v programu AutoCAD.

Půdorys byl taktéž vytvořen v softwaru 3DReshaper. Mračno bodů bylo pomocí nástroje Clean/Separate Cloud(s) zbaveno stropů a stěn. Proběhlo doplnění popisů, které udávají délkové rozměry v metrech, pravoúhlé souřadnice vybraných bodů v systému S-JTSK a výšku v systému Bpv, nástrojem Create/Edit Label.

#### 4.4.6. Situování v terénu za použití DMR 4G

Za použití software ArcGIS a jeho platformy ArcGIS Online byl, z dostupných dat ČÚZK vrstvy Digitální model reliéfu České republiky 4. generace, vytvořen vrstevnicový plán. Použit byl nástroj Contour a definovaný interval vrstevnic 1 m a následoval Export to CAD. Vrstevnice se po přenesení do programu AutoCAD staly jakousi interpretací povrchu okolí řešené jeskyně. Zároveň je, díky transparentci

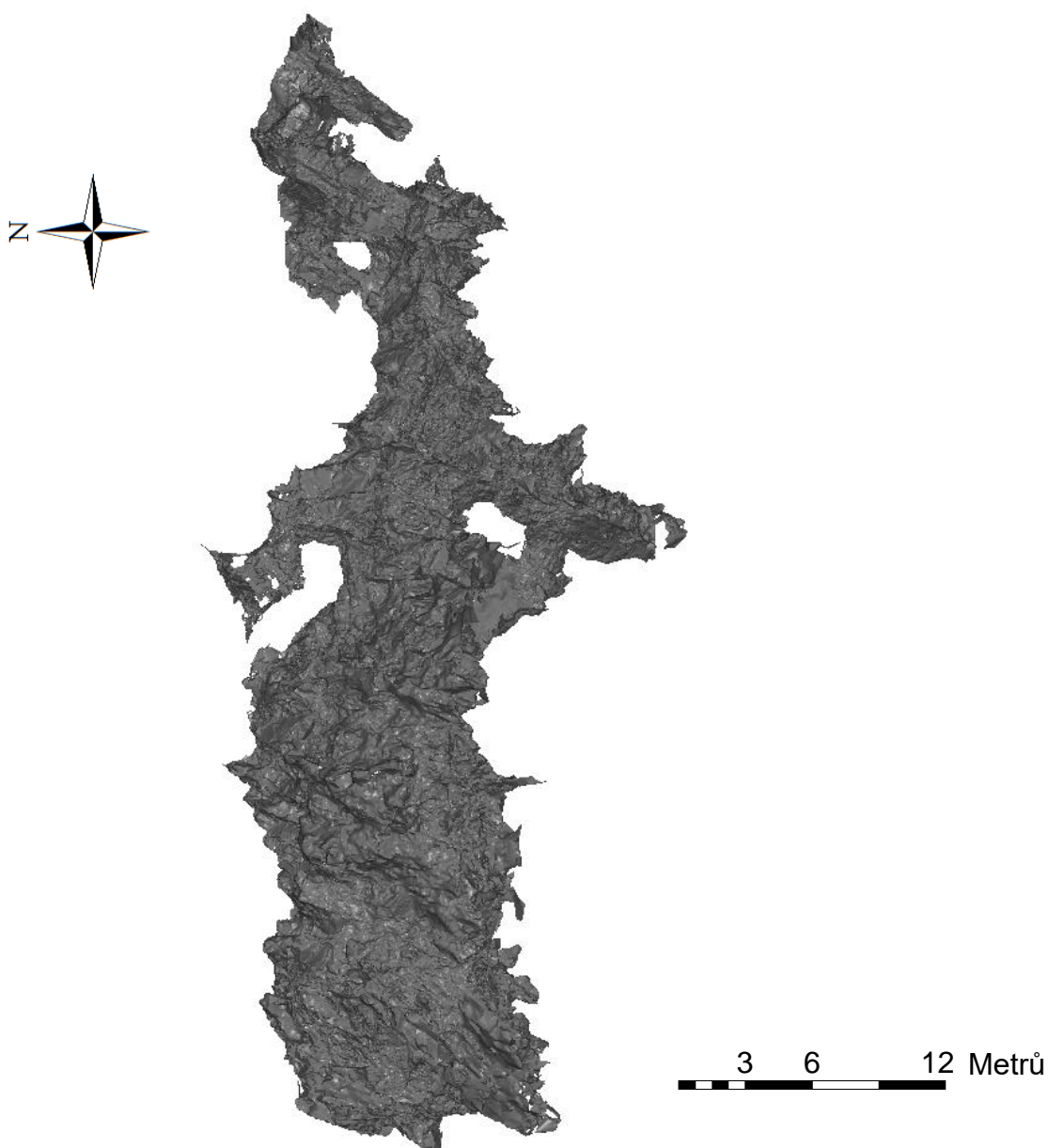
vrstevnicového zobrazení, možno do plánu umístit a jednoduše vizualizovat model jeskyně. Z důvodu zmenšení velikosti výchozího DXF souboru a snížení náročnosti na výpočetní výkon byl 3D model jeskyně nahrazen zjednodušenou sítí, která naprosto postačuje cílovému výstupu, zobrazujícímu umístění jeskyně v terénu.

## 5. VÝSLEDKY

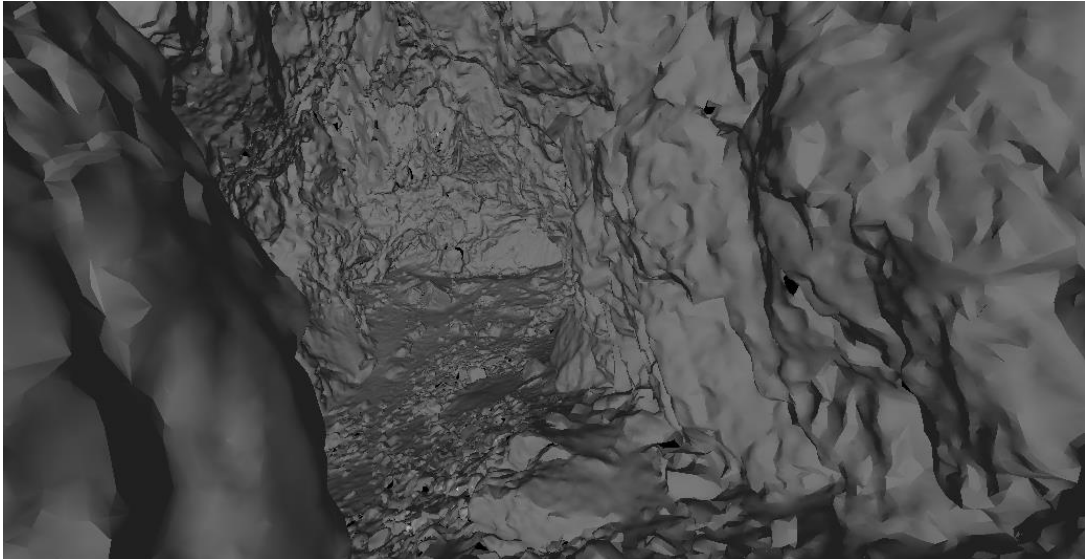
---

### 5.1. 3D model

Výsledkem zpracovaných dat pozemního laserového skenování je digitální 3D model jeskyně Koňská jáma. Výsledný model byl vytvořen a vizualizován v programu 3DReshaper. V digitální podobě je 3D model jeskyně přiložen na CD ve formátu DXF. Z důvodu trojrozměrného zobrazení modelu je vhodnější interpretace výsledků pomocí PC a vhodného software.



Obr. 13. 3D model jeskyně Koňská jáma – plášť.



Obr. 14. 3D model jeskyně Koňská jáma – pohled do Rozlehlého dómu.

## 5.2. Půdorys

Dalším výstupem je půdorys jeskyně (Obr. 16), který tvoří její plášť zbavený stěn a stropů. Z půdorysu lze jednoduše pomocí programu odečíst rozlohu podzemních prostor, která činí 470 m<sup>2</sup>. Pro srovnání byl připojen půdorys z roku 1970 vytvořený prof. Dr. Karlem Absolonem (Obr. 15).

Počet terénních výjezdů: 2

Celkový čas v terénu: 16 h

Příprava a průběh skenování: 5 h

Počet stanovisek skenování: 25

Počet naskenovaných bodů: 291 502 326

Velikost surových dat: 0,98 GB

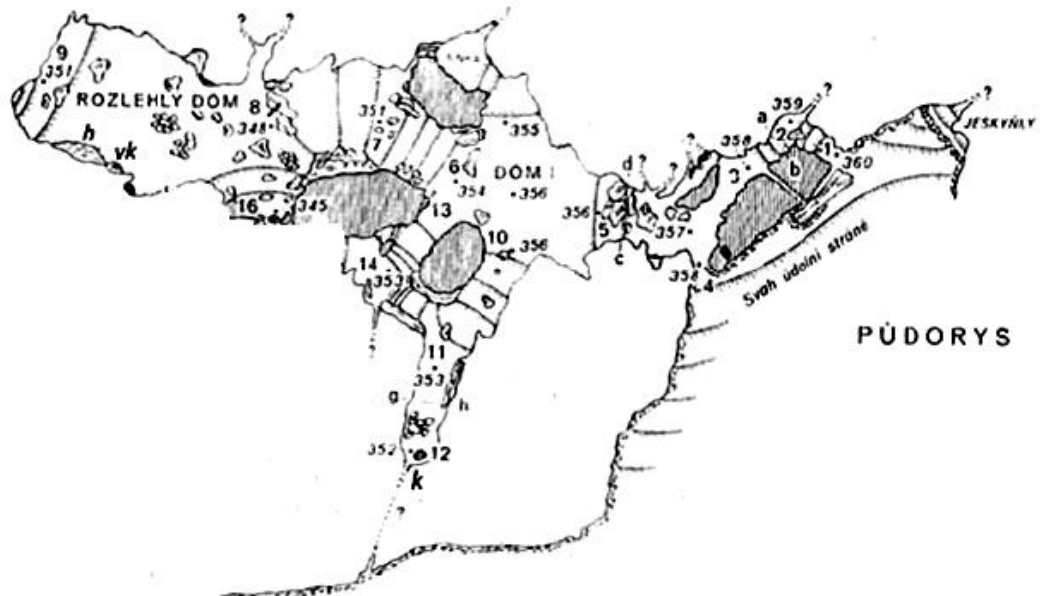
Celková délka chodeb: 77 m

Rozloha jeskyně: 470 m<sup>2</sup>

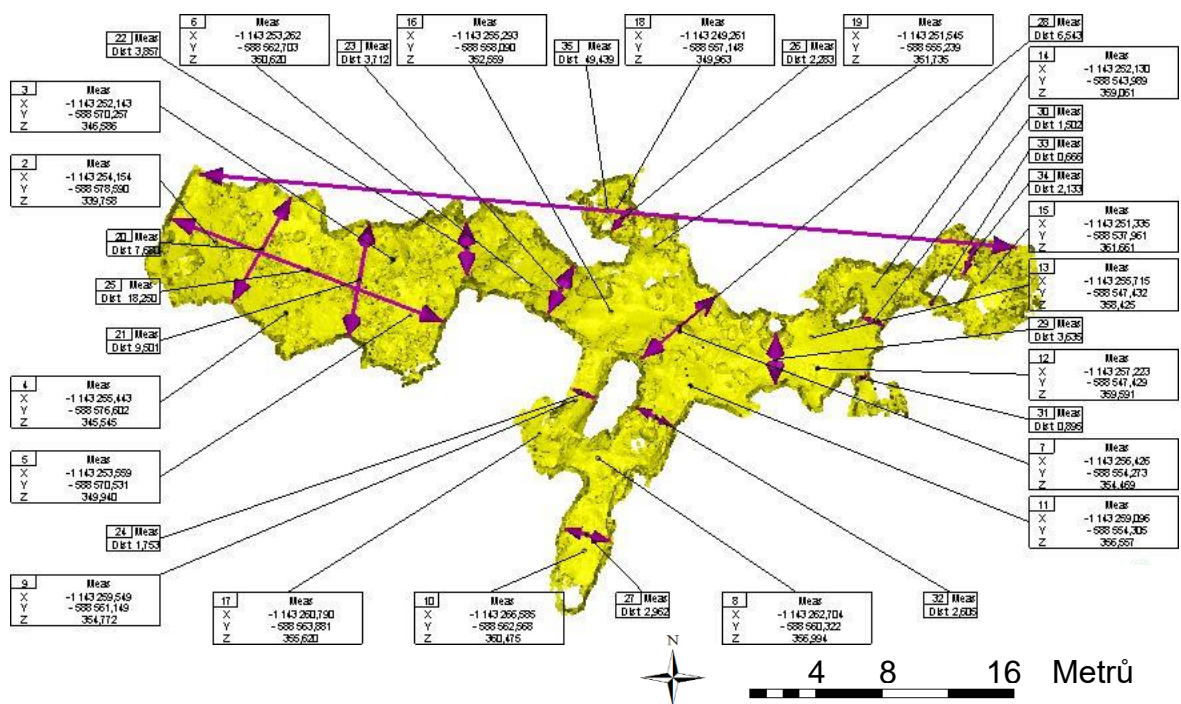
Celková plocha skenovaného povrchu: 2806 m<sup>2</sup>

Prostorový rozměr jeskyně: 2314 m<sup>3</sup>





Obr. 15. Půdorys jeskyně Koňská jáma dle K. Absolona (1970).

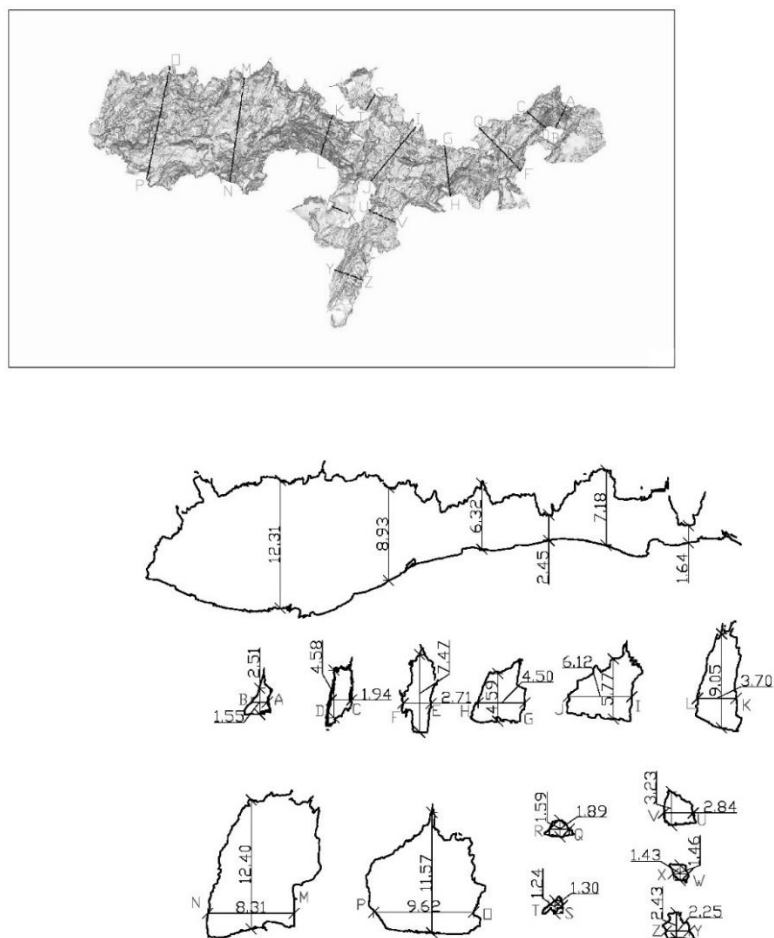


Obr. 16. Půdorys jeskyně Koňská jáma.

### 5.3. Příčné a podélné řezy

Řezy byly exportovány jako linie z programu 3DReshaper a zpracovány do výsledné podoby v AutoCAD. Společně s půdorysem tvoří podrobný plán jeskyně, který je základním a stěžejním kartografickým dílem. Je vhodný pro jakékoliv činnosti, které

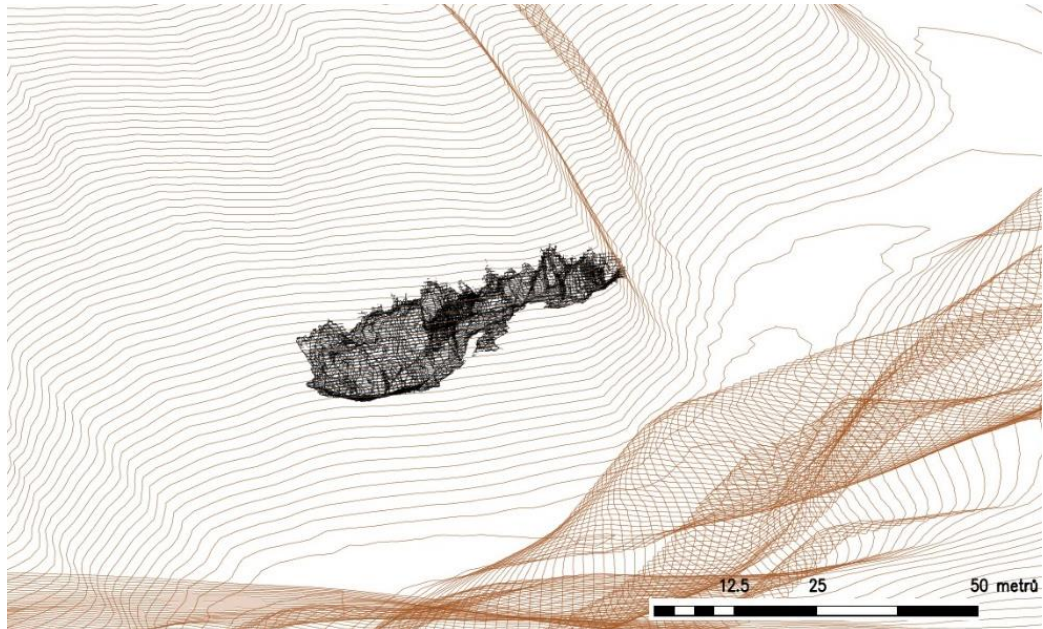
souvisejí a jsou provozované v podzemních prostorech. Výhodou je, že jej lze jednoduše interpretovat i ve 2D formátu. Vzorové řezy jsou znázorněny na Obr. 17.



Obr. 17. Podélný řez a příčné řezy jeskyně Koňská jáma.

#### 5.4. Situování v terénu

Zobrazení reprezentuje skutečný stav umístění jeskyně v zemském povrchu. Důležitými faktory jsou orientace ke světovým stranám a hloubkové poměry.



Obr. 18. Zobrazení situování jeskyně Koňská jáma v terénu.

## 6. DISKUZE

---

Prvotním záměrem bylo skenovat jeskyni Pustožlebskou-zazděnou. Z důvodu složité přístupnosti a vysoké míry znečištění jeskynními sedimenty bylo nakonec od tohoto upuštěno a pro práci byla zvolena jeskyně Koňská jáma. Prokazatelně tedy mohou být právě tyto faktory limitující pro použití řešené metody, jak ostatně píše i Kuda (2014). Ten uvádí i další slabé stránky a omezení pozemního laserového skenování i měřených prostor, které byly prací potvrzeny. Patří sem omezené světelné podmínky znemožňující využití integrované kamery skeneru pro tvorbu textury, použitelné k obarvení 3D modelu. Dále je to zvýšená vlhkost, která může negativně působit na citlivé přístrojové vybavení, a v některých částech jeskyně omezený manévrovací prostor. Je otázkou, zda lze nějakým způsobem tyto nedostatky a omezení eliminovat nebo minimalizovat.

Co se týká efektivnosti, ekonomické a časové náročnosti metody, nelze je jednoznačně a objektivně definovat. Na vlastním měření se podílely tři osoby, zpracování dat potom probíhalo pouze autorem práce. Při všech činnostech byly v jejich průběhu testovány a odlaďovány nejvhodnější postupy, proto mohlo dojít ke zkreslení skutečně potřebného času.

Metoda pozemního laserového skenování je vhodná především pro podrobnější měření a tvorbu kartografických děl velkých měřítek, předurčuje ji k tomu především dosah skeneru a celkový systém měření. Byla dodržena stanovená třída přesnosti při minimalizaci jakýchkoliv rizik, což by mohlo posloužit k zavedení jednotného přístupu při mapování podzemních prostor.

V průběhu shromažďování výsledků je možno narazit na problémy s vhodnou interpretací trojrozměrných objektů. Pro téměř jakékoliv další postupy je vždy nutné tyto převést do 2D zobrazení, čímž původní výstup postrádá smysl. Možným řešením by mohly být stále se rozvíjející moderní technologie, jedná se např. o holografické brýle či stále více diskutované 3D tiskárny.

Taktéž zatím zůstane nezodpovězeno zdokonalení celkové automatizace procesů. Technologie jsou zatím stále pouhým nástrojem člověka, který je musí ovládat a využívat rozhodovacích procesů pro stanovení nejvhodnějších východisek řešení. Týká se to především filtrování, čištění a rozpoznávání mračna bodů a jednotlivých souvislostí v něm.

Jako velmi pozitivní aspekt jsou hodnoceny možnosti využití výsledného 3D modelu. Ve spojení s jinými naměřenými daty, např. hydrologickými, může sloužit k tvorbě simulací jevů budoucích nebo minulých. Při pořízení stejných modelů v různém časovém období se nabízí možnost velmi podrobného porovnání změn. V úzkém spojení se speleologií se prostřednictvím 3D modelu jedná o přiblížení nepřístupných prostor širší veřejnosti a nespočet kontinuálního využití pro vědu a vzdělávání. V neposlední řadě je uchování detailního prostorového uspořádání zajímavých, důležitých, památkových a jiných objektů.

## 7. ZÁVĚR

---

Práce shrnuje postupy získávání dat za pomoci pozemního laserového skenování, jejich zpracování a ukazuje možnosti interpretace získaných výsledů. Veškeré stanovené cíle byly naplněny. Byl vytvořen trojrozměrný model jeskyně Koňská jáma, příčné a podélné řezy a půdorys. Bylo vyobrazeno situování jeskyně vzhledem k zemskému povrchu a na základě dosažených výsledků bylo rozhodnuto o vhodnosti použití metody pozemního laserového skenování pro účely speleologického mapování. Z výsledků práce, ale i z praktických zkušeností při terénních pracích byly stanoveny výhody a nevýhody použité metody.

V prvních dvou kapitolách je popsán úvod do problematiky řešené v práci a jsou stanoveny její cíle. Třetí kapitola krátce definuje aktuálně popsané poznatky týkající se pozemního laserového skenování a speleologického mapování od historie až po praktické aktuální postupy. Čtvrtá kapitola se zabývá použitými metodami, podrobně popisuje zájmovou lokalitu a proces získávání a zpracování dat. Práce jako taková může částečně představovat metodický manuál pro novodobé mapování nejen jeskynních systémů, ale i povrchových objektů většinou do rozměru několika stovek metrů.

Spojení speleologie a IT otevírá nové obzory a je perspektivním odvětvím. Určitou nevýhodou jsou vysoké počáteční náklady. Pro praktickou část, tzn. speleologické mapování za pomoci složitých přístrojů, jako je laserový skener nebo totální stanice, je také zapotřebí určitých zkušeností a znalostí, tedy profesní způsobilosti. Na druhou stranu potom tyto aspekty poskytují velmi efektivní a přesné informace vhodné pro další využití. Práce úspěšně využívá metody na konkrétním území jako referenčním vzorku, z toho lze usuzovat, že nalezne uplatnění v konkrétní praxi a podstoupí potřebný vývoj pro její zdokonalení.

Tradiční metody budou ještě po dlouhou dobu nepostradatelné a nenahraditelné, stejně tak amatérští speleologové a nadšenci, kteří tvorbě speleologických mapových děl věnují svůj čas, úsilí a finanční prostředky. Dávají tak prostor, oboru neznalým, objevovat a poznávat pozoruhodnosti malých, větších či rozsáhlých a v mnoha případech nepřístupných jeskynních komplexů.

Slovy autora: „Při výběru tématu závěrečné práce jsem hledal přesně toto spojení poznávání přírodních krás a využití moderních technologií, stejně jako pohyb v

příjemném venkovním prostředí spolu s úkoly typicky kancelářskými, či spojení mně známých postupů a témat s obory naprosto novými. Nyní jsem přesvědčen, že má volba byla absolutně správná. Osobně bych se zařadil do kategorie občasného jeskynního turisty s kladným vztahem k informačním technologiím a schopností rychle se učit a porozumět novým věcem a poznatkům, a tyto náležitě ocenit, uchovat je a využít. Práce pro mne byla prostředkem a možností poznat nová místa, lidi, obory, metody a spoustu jiného, ale v určité míře i sebe samého. Můj pohled na speleologii dosáhl jiných rozměrů, jedná se o disciplínu velmi obsáhlou, zajímavou, složitou atd., v některých případech možná trošku opomíjenou. Tento vědní obor je třeba rozvíjet při zachování jeho kouzla a tajemnosti, které ukrývá, stejně jako prostory, které zkoumá.“

## 8. SUMMARY

---

This thesis summarizes the procedures of getting data using terrestrial laser scanning, processing and shows possible interpretations gained results. All the objectives were met. Three-dimensional model of Horse Cave pit, transverse and longitudinal sections and plan views were created. Locating the cave due to the earth's surface was shown and on the basis of results it was decided regarding the suitability methods of terrestrial laser scanning for speleological mapping. Advantages and disadvantages of the methods used were determined based on the results, but also practical experience in field work.

The first chapter describes an introduction to the issues addressed in the thesis. It brings the importance of caves and possibilities of modern technologies for their mapping. In the second chapter are defined project objectives. The third chapter defines briefly the knowledge related terrestrial laser scanning and speleological mapping currently described. In the first-mentioned describes the principles and parameters and the second-mentioned methods are shown from the past until the practical current procedures, used aids and is defined accurate creation process maps. The fourth chapter deals with the methods used, detailing the location of interest, used tools and software, as well as process data acquisition and processing. Thesis as such may partly represent a methodological guide for modern mapping not only the cave system, but also superficial objects mostly to the size of several hundred meters.

Connection speleology and IT opens up new horizons and perspective branches. Certain disadvantage is the high initial cost. For the practical part, speleological mapping with the help of complex devices, such as a laser scanner or a total station, you also need some experience and knowledge, accordingly a professional capacity. On the other hand, then these aspects provide a very efficient and accurate information suitable for further use. Working methods successfully used in a particular area such as a reference sample, it can be assumed that finds application in actual practice and undergo development needed for its improvement.

Traditional methods will still be a long time indispensable and irreplaceable, as well as amateur speleologists and enthusiasts who are making speleological mapping works devote their time, effort and financial resources. So they give space to branch unacquainted, discover and explore the sights of small, large or extensive, and in many cases inaccessible cave complexes.



## 9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

---

2D – Dvojměrný

3D – Trojměrný

AOPK ČR – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky

BIM – Building Information Modeling, Informační model budov

Bpv – Balt(ský) po vyrovnání

CAD – Computer aided design, Počítačem podporované projektování

ČSAV – Československá akademie věd

ČSS – Česká speleologická společnost

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DIN – Deutsche Industrie-Norm, Německá národní norma

DMR 4G – Digitální model reliéfu České republiky 4. generace

EDM – Electronic distance measurement, Elektronický měřič vzdálenosti

GPS – Global Positioning System, Globální polohovací systém

CHKO – Chráněná krajinná oblast

IT – Information Technology, Informační technologie

LED – Light-Emitting Diode, Dioda emitující světlo

LiDAR – Light Detection And Ranging

MT – Mírně teplá oblast

NPR – Národní přírodní rezervace

PC – Personal computer, Osobní počítač

PPBP – Podrobné polohové bodové pole

QVGA – Quarter Video Graphics Array,

SD – Secure Digital

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

WLAN – Wireless local area network, Bezdrátová lokální síť

## 10. SEZNAM LITERATURY

---

ABSOLON, K., 1970. Moravský kras (I. a II. díl). Praha, Academia, 415 s.

BALÁK, I., VLČEK, L., APELOVÁ, B., 2014. Jaskyne: tam a zpět. 1. vyd. Brno, Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání, 232 s. ISBN 978-80-87604-64-9.

CULEK, M. a kol, 1996. Biogeografické členění České Republiky. Praha, Enigma, 347 s. ISBN 80-85368-80-3.

FARO TECHNOLOGIES, 2011. FARO® Laser Scanner Focus3D Manual. 250 Technology Park Lake Mary, FL 32746, 186 s.

FARO, 2013. FARO Laser Scanner Focus 3D. Florida, USA, 2 s.

GEODIS, 2016. Laserové skenování neboli laserscanning. [online cit. 2016-03-14]. Brno, CAD.CZ. Dostupné z: <http://www.cad.cz/gis/80-gis/1518-laserove-skenovani-neboli-laserscanning.html>

GEOREAL, 2016. 3D Laserové skenování. [online cit. 2016-03-12]. Plzeň, GEOREAL, spol. s.r.o. Dostupné z: <http://georeal.cz/cz/produktydata/laserove-skenovani>

HROMAS, J. a kol., 2009. Jeskyně. Chráněná území ČR, svazek XIV. Praha, Agentura Ochrany Přírody a Krajiny ČR, 608 s. ISBN 9788087051177; 978-80-86305-03-5.

HROMAS, J., WEIGEL, J., KUČERA, B., 1998. Základy speleologického mapování. Praha, Knihovna České speleologické společnosti.

JAROŠOVÁ, L., 2002. Výzkumy Josefa Skutíla v severní části Moravského krasu. Dolnověstonické studie 7.

KUDA, F., 2014. Aplikace pozemního laserového skenování v geovědních disciplínách. Vyd. 1. Brno, Ústav geoniky Akademie věd České republiky, 53 s. ISBN 978-80-86407-50-0.

- LETOVSKÁ, M., 2011. Ochrana zdraví při práci s lasery. [online cit. 2016-03-14]. BOZPinfo.cz. Dostupné z: [http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/tema\\_tydne/BOZP\\_lasery110923.castdruha.html](http://www.bozpinfo.cz/win/knihovna-bozp/citarna/tema_tydne/BOZP_lasery110923.castdruha.html)
- ODO, 2011. Metoda Laserové skenování. [online cit. 2016-03-14]. Praha, LA-MA Land Management. Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=88>
- PFEIFER, N., BRIESE, Ch., 2007. Laser scanning-Principles and applications.
- QUITT, E., 1971. Klimatické oblasti Československa. Brno, Studia geographica 16, Geogr. Ústav ČSAV.
- RÜEGER, J. M., 2012 Electronic distance measurement: An introduction. 4. ilustrované vydání, Springer Science & Business Media, 276 s. ISBN 3642802338, 9783642802331.
- SPRÁVA CHKO MORAVSKÝ KRAS, 2016. Flóra a fauna Moravského krasu. [online cit. 2016-03-19]. Blansko, AOPK ČR, Správa CHKO Moravský kras. Dostupné z: <http://moravskykras.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti>
- ŠANTORA, D., 2014. 3DReshaper – software pro zpracování laserového 3D skenování. Praha, Leica e-mail 8/2014, GEFOS, 11 s. Dostupné z: <http://docplayer.cz/8039987-3dreshaper-software-pro-zpracovani-laseroveho.html>
- TECHNODIGIT, 2016. 3DReshaper - Specifications. France, Technodigit, 4 s. Dostupné z: <http://www.3dreshaper.com/images/brochures/3DReshaper2016-Specifications-EN.pdf>
- TRIMBLE, 2015. SUPPORT NOTE TRIMBLE REALWORKS® VERSION 10 EDITION CONTENT. Westminster, USA, Trimble Navigation Ltd, 4 s. Dostupné z: [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-501673/Trimble\\_RealWorks\\_10\\_SPRT-NOTE\\_EDITION-CONTENT\\_ENG\\_20150915.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-501673/Trimble_RealWorks_10_SPRT-NOTE_EDITION-CONTENT_ENG_20150915.pdf)
- TRIMBLE, 2016. Totální stanice Trimble M3. [online cit. 2016-04-09]. Sunnyvale, California, Trimble. Dostupné z: [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-788113/022543-155J-CZE\\_TrimbleM3\\_DS\\_A4\\_0414\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-788113/022543-155J-CZE_TrimbleM3_DS_A4_0414_LR.pdf)

VOSSELMAN, G., MAAS, H. G., 2010. Airborne and terrestrial laser scanning.  
Whittles Publishing, 318 s. ISBN 190444587X, 9781904445876.

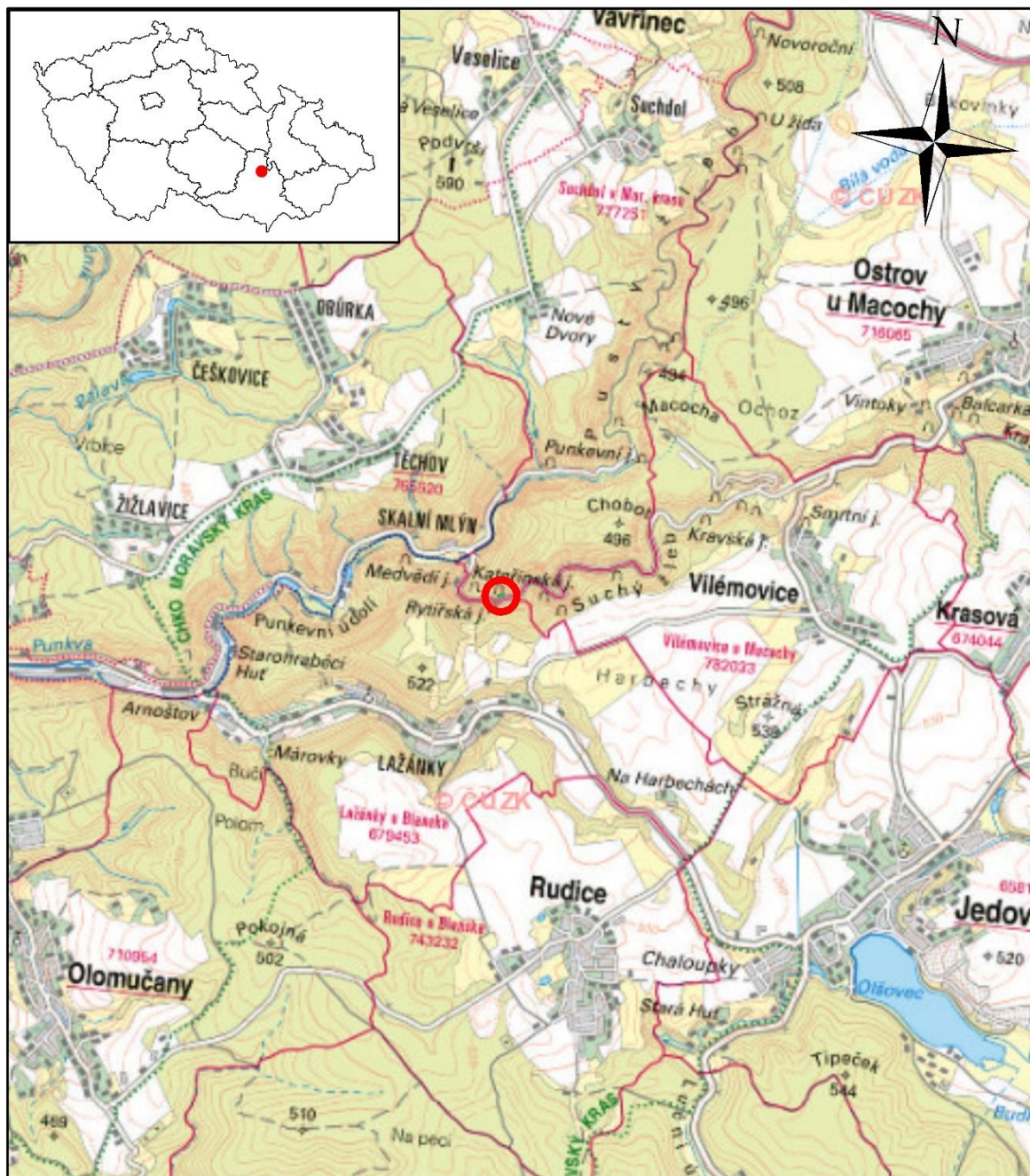
## **11. SEZNAM PŘÍLOH**

---

- 1. CD příloha**
- 2. Přehledová mapa**
- 3. 3D model**
- 4. Půdorys**
- 5. Podélný řez a příčné řezy**
- 6. Situování v terénu**
- 7. DMR 4G**
- 8. Geodetické údaje o bodech PPBP**

## Příloha č. 2


# Přehledová mapa jeskyně Koňská jáma - 2016



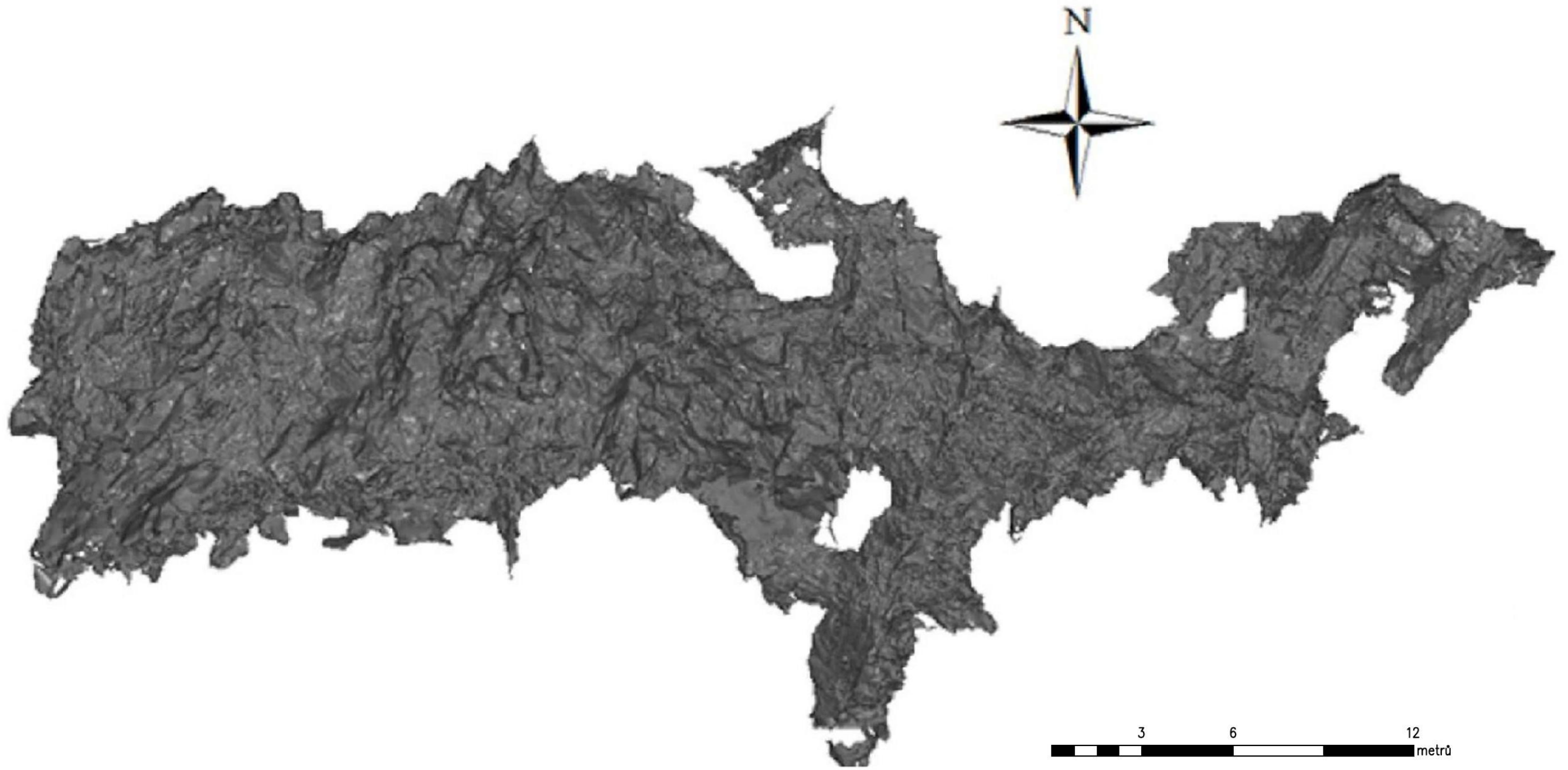
1:50 000

0 0,75 1,5 2,25 3

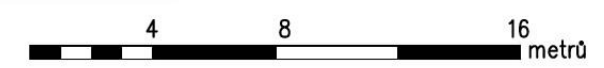
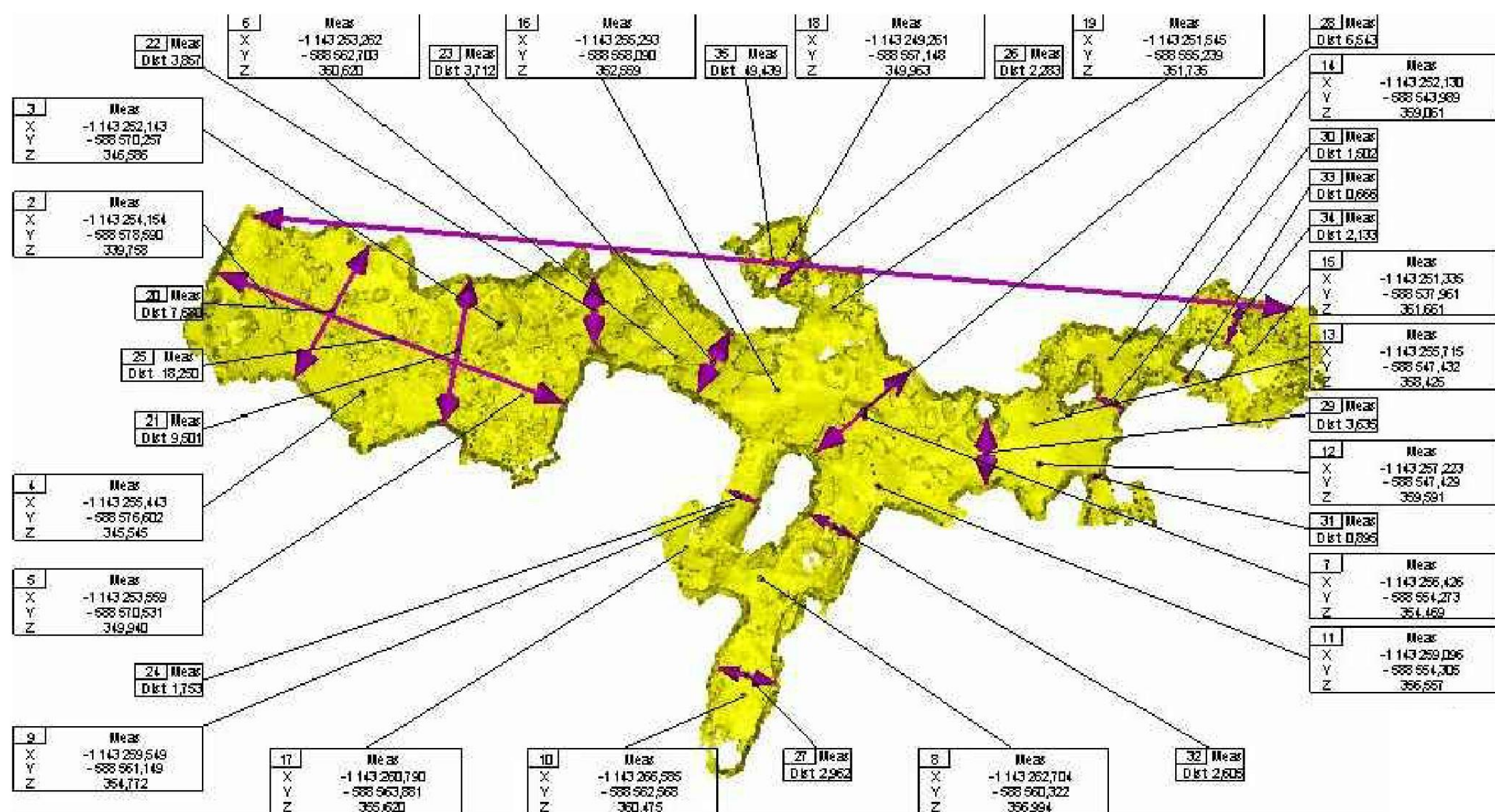
 zájmová lokalita

 kilometry



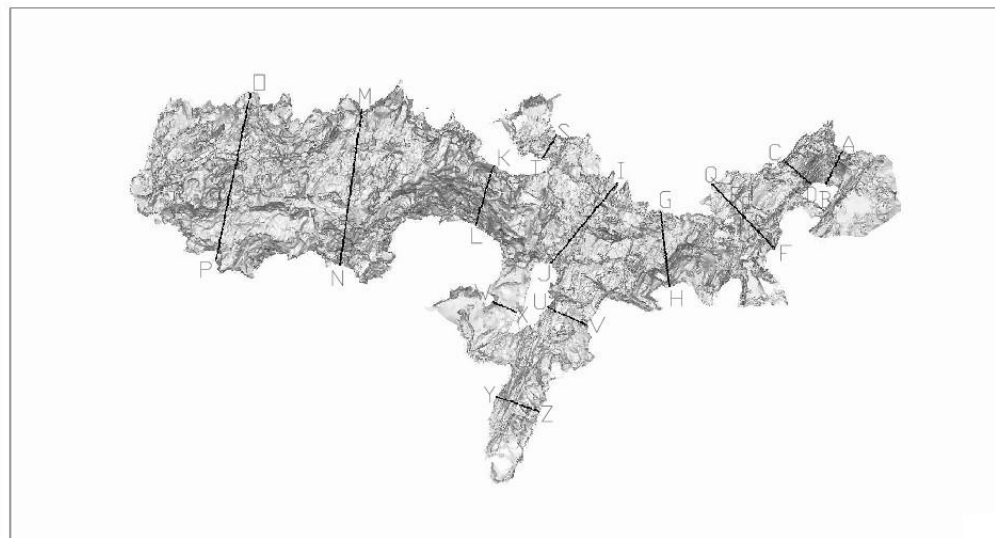
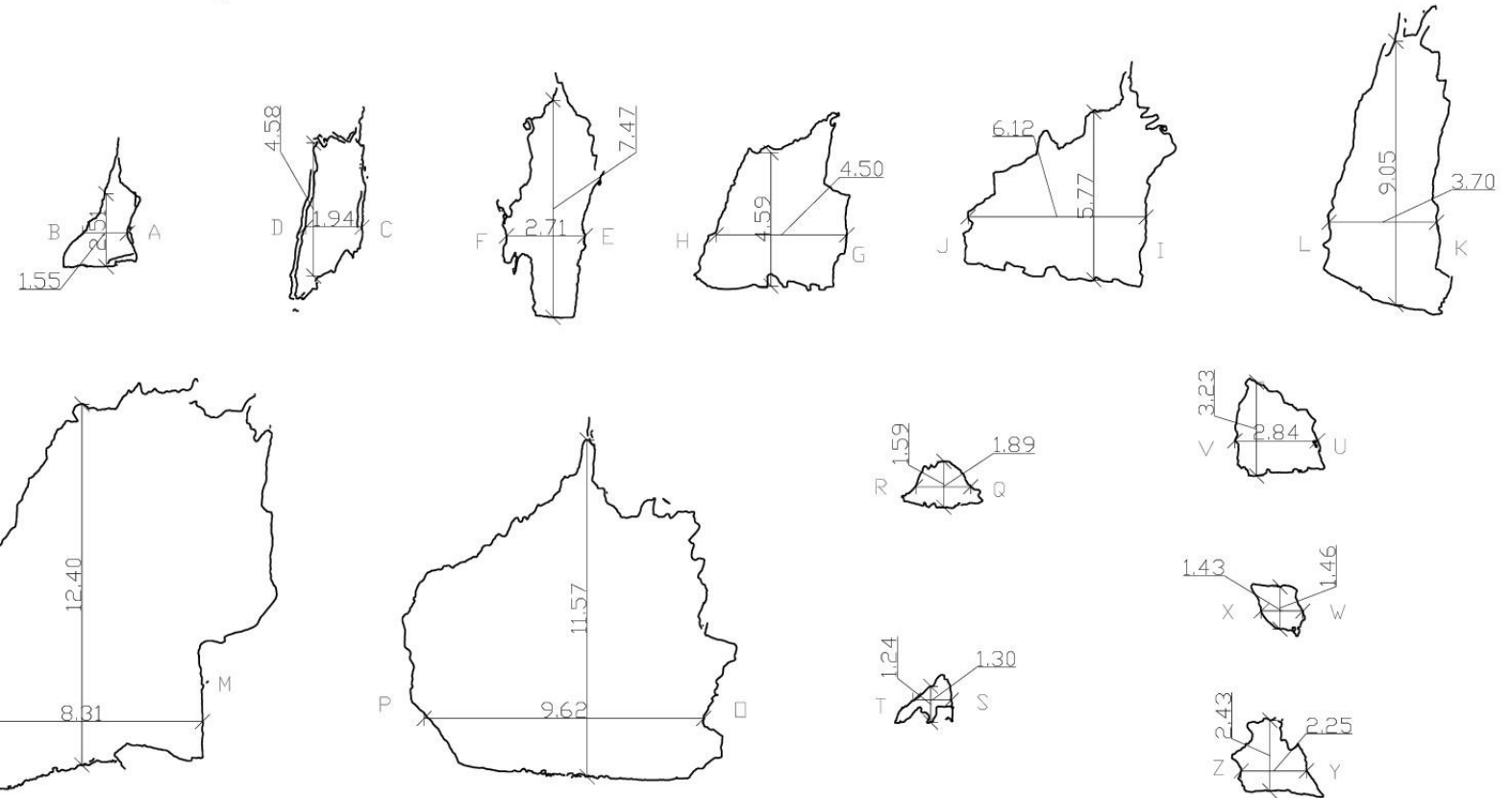
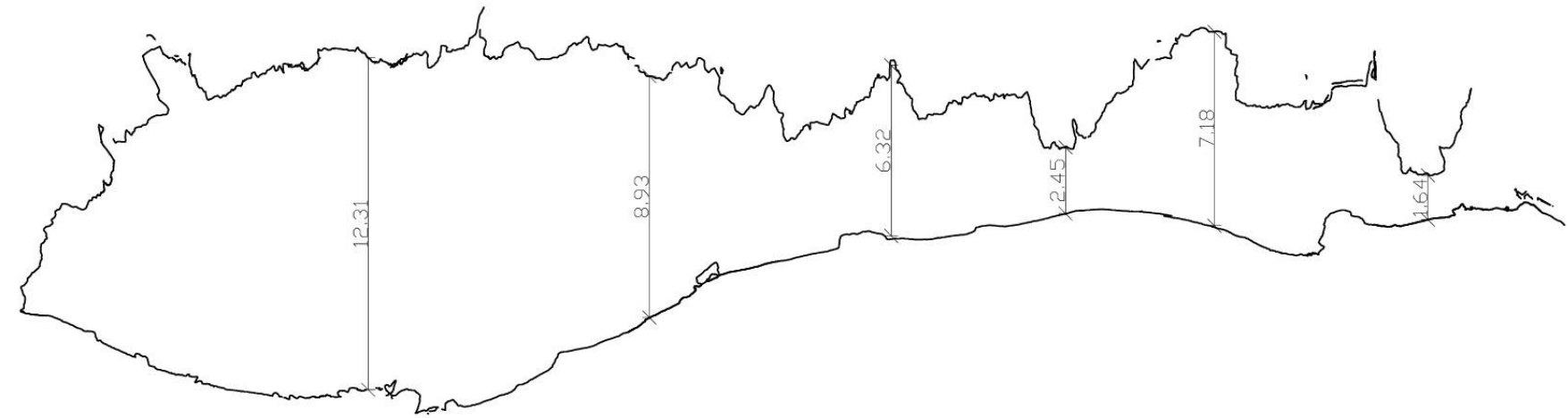


VYPRACOVAL		VÝŠKOVÝ SYSTÉM	LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ	
Bc. MARTIN GAJA		Bpv		
		POLOHOVÝ SYSTÉM		
		S-JTSK	ZEMĚDĚLSKÁ 3 613 00 BRNO	
Příloha č. 3				
AKCE	KOŇSKÁ JÁMA		MĚŘITKO	1:150
			FORMÁT	A3
			DATUM	Duben 2016
VÝKRES	3D MODEL		Č. VÝKRESU	1



Kótováno v metrech.		VÝŠKOVÝ SYSTÉM Bpv		LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ	
VYPRACOVAL Bc. MARTIN GAJA					
Příloha č. 4				ZEMĚDĚLSKÁ 3 613 00 BRNO	
AKCE KOŇSKÁ JÁMA				MĚŘITKO	1:250
VÝKRES PŮDORYS				FORMÁT	A3
				DATUM	Duben 2016
				Č. VÝKRESU	2

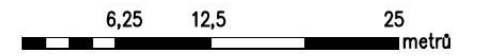
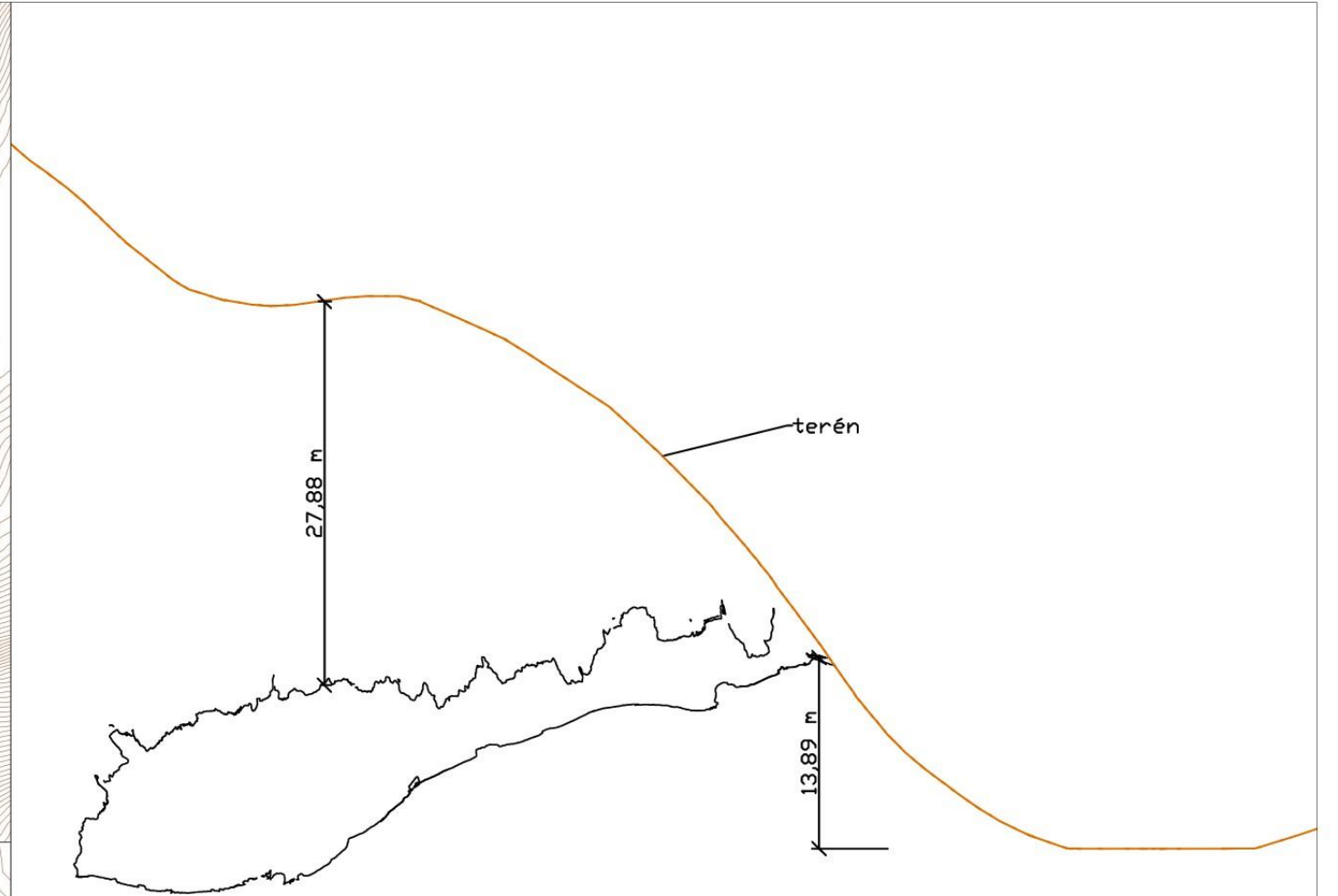
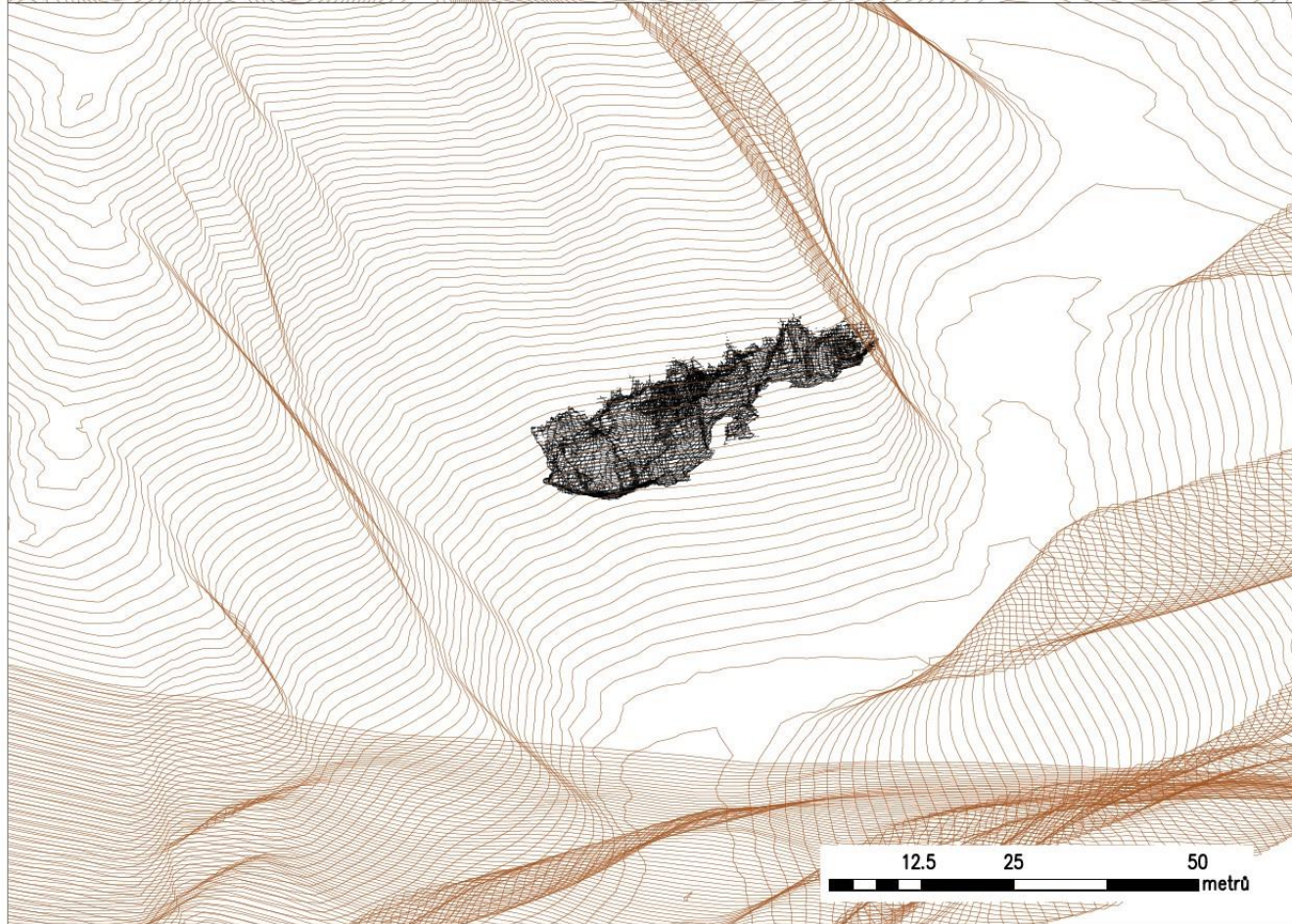
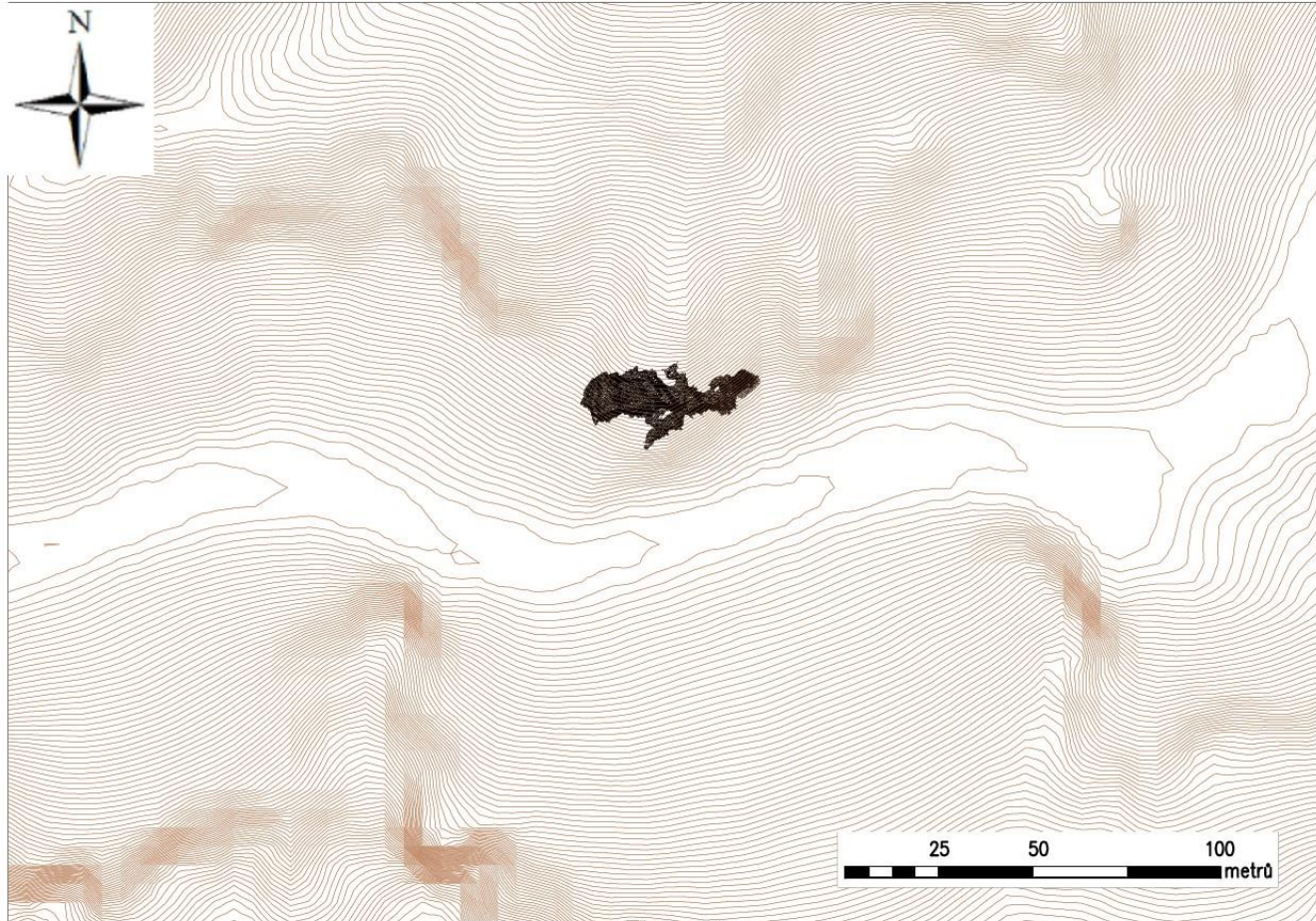




Kótováno v metrech.

VYPRACOVAL		VÝŠKOVÝ SYSTÉM	LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ		
Bc. MARTIN GAJA		Bpv			
		POLOHOVÝ SYSTÉM			
		S-JTSK	ZEMĚDĚLSKÁ 3 613 00 BRNO		
Příloha č. 5					
AKCE	KOŇSKÁ JÁMA			MĚŘITKO	1:250
VÝKRES	PODÉLNÝ A PŘÍČNÉ ŘEZY			FORMÁT	A3
				DATUM	Duben 2016
				Č. VÝKRESU	3



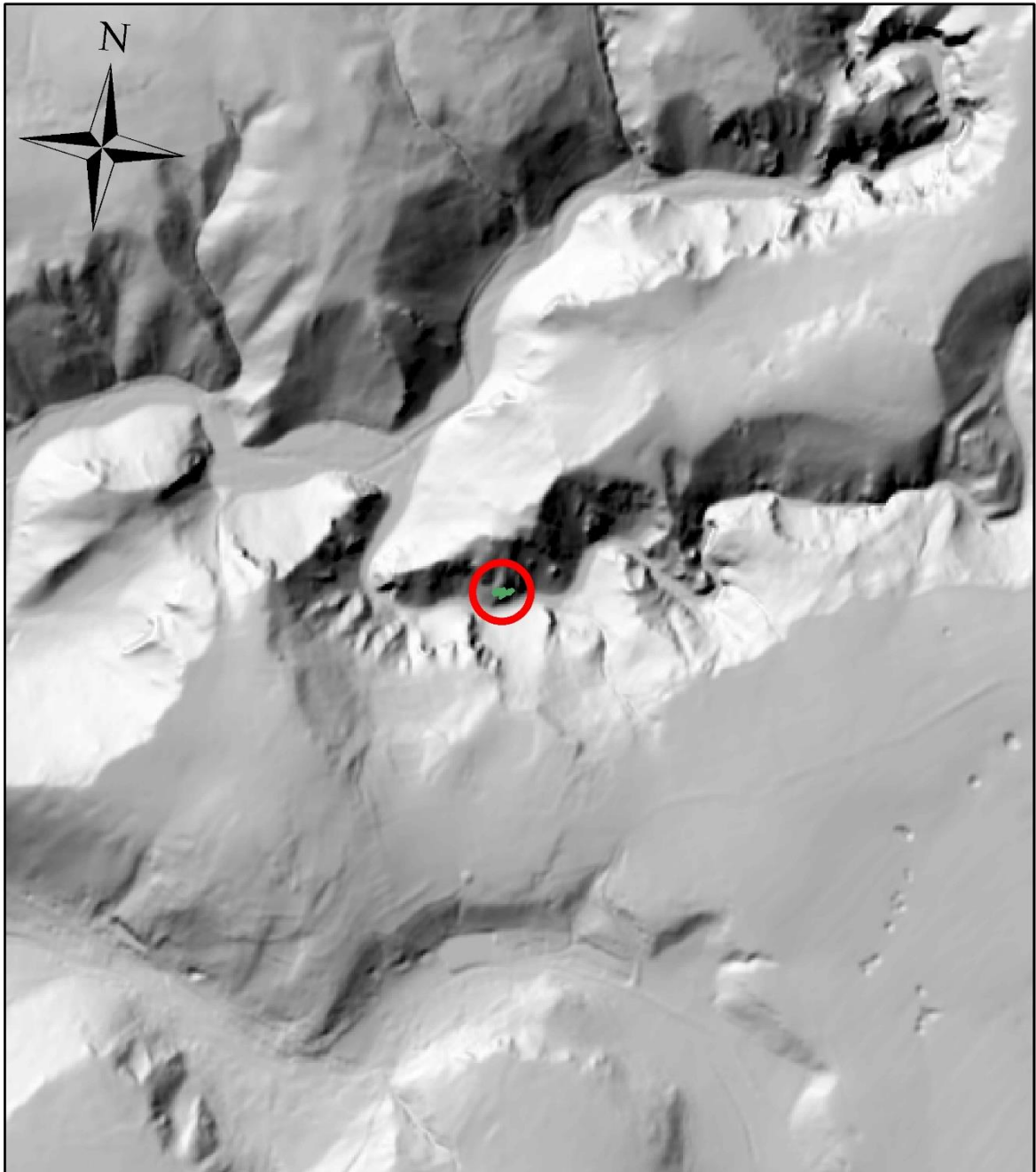


VYPRACOVAL		VÝŠKOVÝ SYSTÉM	LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ		
Bc. MARTIN GAJA		Bpv			
		POLOHOVÝ SYSTÉM			
		S-JTSK	ZEMĚDĚLSKÁ 3 613 00 BRNO		
Příloha č. 6					
AKCE	KOŇSKÁ JÁMA			MĚŘITKO	1:2000/1000/500
				FORMÁT	A3
				DATUM	Duben 2016
VÝKRES	SITUOVÁNÍ V TERÉNU			Č. VÝKRESU	4




# Příloha č. 7

## Digitální model reliéfu České republiky 4. generace



1:15 000

 zájmová lokalita



0 0,25 0,5 0,75 1  
 kilometr

# Příloha č. 8

## GEODETICKÉ ÚDAJE O BODECH PODROBNÉHO POLOHOVÉHO BODOVÉHO POLE

Kat. území Kateřinská jeskyně  
Obec  
Okres

Strana: ...1...

Bod <b>K2</b>	Bod zřídil (jméno, rok): Moravský kras	<b>y</b>	<b>588 821.95</b>	SM5 Blansko 5–1
		<b>x</b>	<b>1 143 283.12</b>	
Verze: 1	Platnost od:	Místopisný náčrt		
Popis, způsob stabilizace a určení bodu  Kámen Transformace z místní soustavy		Nadm. výška (Bpv)	<b>niv.</b> <b>337.36</b>	
		Nárys nebo detail		
Poznámka:				
Bod <b>4001</b>	Bod zřídil (jméno, rok): SJ ČR OPJ Ouhřabka Platnost od: 2011	<b>y</b>	<b>588 804.69</b>	SM5 Blansko 5–1
		<b>x</b>	<b>1 143 252.17</b>	
Verze: 1	Platnost od: 2011	Místopisný náčrt		
Popis, způsob stabilizace a určení bodu  Bod před ve vstupním portálu KJ v zámkové dlažbě v pravo od schodů  Nerezový hřeb s půlkulatou hlavou Určen polygonovým pořadem		Nadm. výška (Bpv)	<b>trig.</b> <b>341.52</b>	
		Nárys nebo detail		
Poznámka:				