

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**  
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**  
**KATEDRA GEOLOGIE**

**JESKYNĚ TVAROŽNÉ DÍRY V KRASU KRÁLICKÉHO  
SNĚŽNÍKU – GEOLOGIE A CHARAKTER  
KRASOVÝCH VOD**

bakalářská práce

**Veronika Bezděková**

Environmentální geologie (B1201)

prezenční studium

Vedoucí práce: Ing. Lada Hýlová, Ph. D.

Olomouc 2014

Čestně prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracovala samostatně a že veškerá použitá literatura a další zdroje, z nichž jsem čerpala, jsou řádně ocitovány.

V Olomouci dne

.....  
podpis

#### Poděkování

Ráda bych poděkovala především vedoucí bakalářské práce Ing. Ladě Hýlové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Dále děkuji Mgr. Kamilu Kropáčovi, Ph.D. za konzultace a pomoc s petrografickou charakteristikou hornin a nakonec také RNDr. Petru Hekerovi, Ph.D. a Mgr. Monice Ličbinské, Ph.D. za pomoc s analýzou odebrané vody.

## **Bibliografická identifikace:**

**Jméno a příjmení autora:** Veronika Bezděková

**Název práce:** Jeskyně Tvarožné díry v krasu Králického Sněžníku – geologie a charakter krasových vod

**Typ práce:** Bakalářská práce

**Pracoviště:** Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

**Vedoucí práce:** Ing. Lada Hýlová, Ph. D.

**Rok obhajoby práce:** 2014

**Abstrakt:** Samotná oblast Králického Sněžníku je charakterizována jako území, které je budováno silně metamorfovanými horninami stroňské a sněžnické skupiny. Na kontaktu stroňské skupiny s ortorulami sněžnické skupiny se nachází zvrásněné polohy krystalických vápenců, ve kterých se utvořily veškeré krasové jevy na Králickém Sněžníku. Jeskyně Tvarožné díry leží v severní části spodního pruhu krystalických vápenců. Vzorky odebrané pro petrografickou charakteristiku byly ve většině případů popsány jako bílé drobnozrné krystalické vápence s lepidogranoblastickou strukturou a všesměrnou texturou. Ze strukturně-tektonických měření vyplývá, že pukliny v jeskyni jsou přednostně orientovány stejným směrem jako hlavní tektonické linie probíhající danou oblastí (S – J, V – Z). Chemická analýza odebrané vody pak přinesla základní charakteristiku vod podzemního toku, který jeskyní protéká.

**Klíčová slova:** Králický Sněžník, stroňská skupina, krystalický vápenec, krasové jevy

**Počet stran:** 38

**Počet příloh:** 0

**Jazyk:** Český jazyk

## **Bibliographical identification:**

**Author's first name and surname:** Veronika Bezděková

**Title:** The Tvarožné díry cave in karst Králický Sněžník – geology and characteristic of karst water

**Type of thesis:** Bachelor's thesis

**Institution:** Department of geology, Faculty of science Palacký University in Olomouc

**Supervisor:** Ing. Lada Hýlová, Ph. D.

**The year of presentation:** 2014

**Abstract:** Králický Sněžník is characterized as area, which is created by high grade metamorphic rocks of Stroňská group and Sněžnická group. On the contact of Stroňská group with Orthogneisses from Sněžnická group are located folded layers of crystalline limestones in which were created all karst phenomena on Králický Sněžník. The Tvarožné díry cave is located in the northern part of the lower strip of crystalline limestones. For petrographic characteristics were taken samples described as a white, fine grained crystalline limestones with a lepidogranoblastic structure and confining texture. Result of structure-tectonic surveys is that crevices in cave are primarily orientated in the same direction as the main tectonic lines crossing the area (N – S, E - W). Chemical analysis brought basic characteristic of underground water in the Tvarožné díry cave.

**Key words:** Králický Sněžník, Stroňská group, crystalline limestone, karst phenomena

**Number of pages:** 38

**Number of appendices:** 0

**Language:** Czech language



# Obsah

1	Úvod .....	5
2	Geologie Králického Sněžníku .....	6
3	Hydrologie a hydrochemie vod na Králickém Sněžníku.....	10
4	Krasové jevy na Králickém Sněžníku .....	13
4.1	Lokalita Tvarožné díry a okolní krasové jevy .....	13
4.1.1	Podzemní krasové jevy – jeskyně Tvarožné díry .....	13
4.1.2	Další podzemní krasové jevy – jeskyně Propáštka a Kančí díra .....	17
4.1.3	Povrchové krasové jevy.....	17
5	Metodika.....	18
5.1	Terénní část.....	18
5.2	Laboratorní část .....	18
6	Petrografická charakteristika hornin.....	20
7	Strukturně-tektonická měření .....	26
8	Základní chemismus krasových vod.....	29
9	Diskuze .....	32
10	Závěr.....	36
11	Použitá literatura.....	37

# 1 Úvod

Jeskyně Tvarožné díry leží v údolí řeky Moravy asi 3,1 km na SV od obce Velká Morava v nadmořské výšce 840 m n. m. Jeskyně je utvořena v krystalických vápencích, kde dosahuje délky 184 m a lze v ní rozeznat tři zdroje podzemních vod (Hromas et al. 2009).

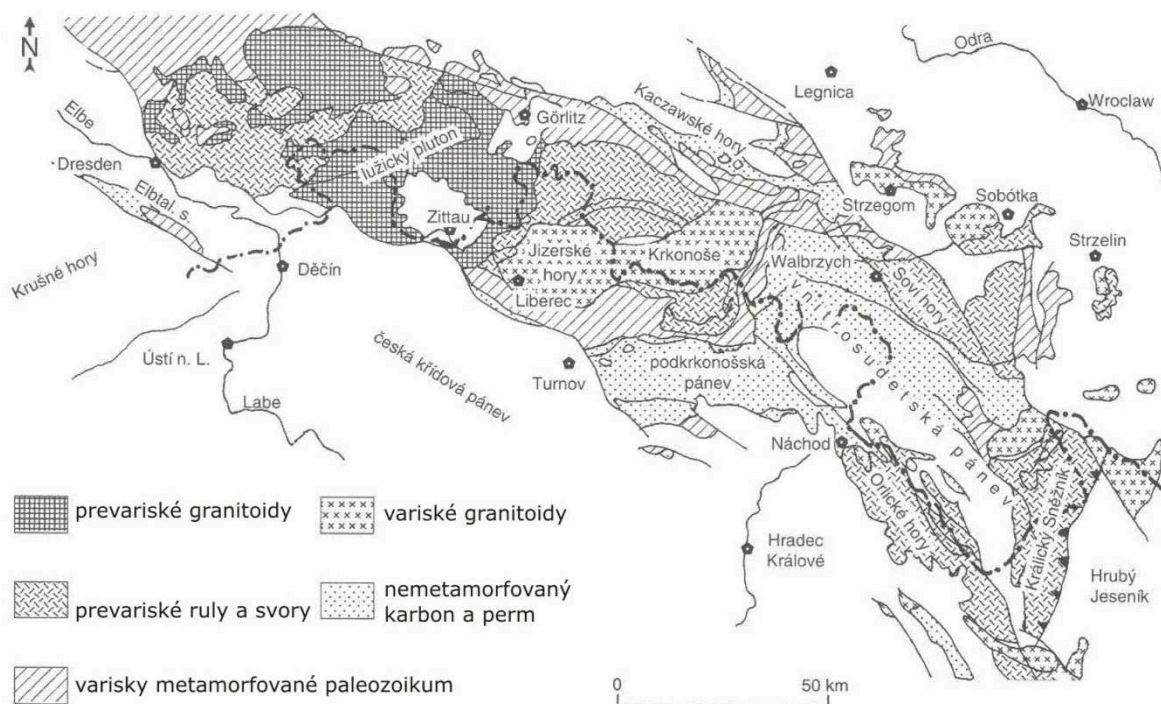
Oblast Králického Sněžníku je podle Ciężkowského et al. (1993) budována metamorfovanými horninami proterozoického - paleozoického stáří: stroňskou a sněžnickou skupinou. Podle posledních výzkumů jsou krystalické vápence v této oblasti zvrásněny do okolních rul. V současnosti se považují za tvůrce krasu na Králickém Sněžníku tavné vody s korozní schopností.

Maděra (1979) uvádí, že krystalické vápence, v nichž se utváří veškeré krasové jevy na Králickém Sněžníku, tvoří dva paralelní tektonicky rozčleněné pruhy severojižního směru. Každým z těchto pruhů prochází napříč tektonické linie, které je dělí na severní, střední a jižní část.

Cílem této práce je zhodnotit základní petrografickou charakteristiku hornin, v nichž je jeskyně Tvarožné díry budována, určit v jakých strukturně-tektonických systémech je jeskyně založena a stanovit základní chemismus krasových vod, které jeskyní protékají, jelikož veškeré publikované výsledky jsou poměrně zastaralé (do r. 1992).

## 2 Geologie Králického Sněžníku

Králický Sněžník spadá do lužické oblasti, která se rozprostírá v severovýchodní části Českého masivu a na naše území zasahuje pouze její jižní a jihovýchodní část. Veškeré hranice lužické oblasti vůči sousedním jednotkám jsou především tektonické, a to různé povahy od poklesových zlomů po náspové zlomy (Cháb 2008). Jak uvádí Mísař (1983) od sasko-durynské oblasti je lugikum na SZ odděleno tektonicky tzv. středosaským nasunutím. Jižní hranice se střeďočeskou oblastí je rovněž tektonická, avšak skryta pod platformními sedimenty české křídové tabule. Zmiňovanou hranicí je výrazné zlomové pásmo označované jako labský lineament. Východní hranici s moravskoslezskou oblastí tvoří ramzovské a nýznerovské nasunutí, což jsou výrazné tektonické linie. Severní hranice lužické oblasti se nachází až na území Polska a je překryta mocnými vrstvami sedimentárních hornin. S největší pravděpodobností však lugikum pokračuje v podloží sedimentů alespoň k oderskému lineamentu. Oblast budují granitoidy lužického a krkonoško-jizerského plutonu a ortoruly, pararuly, svory, fylity, migmatity a amfibolity krkonoško-jizerského, orlicko-sněžnického a zábřežského krystalinika (Chlupáč 2011). Orlicko-sněžnické krystalinikum tvoří jihovýchodní část lužické oblasti (obr. 1) a se svým stářím 650 – 550 mil. let je řazeno do období proterozoika, blíže pak do konce kadomského cyklu.



Obr. 1: Mapa lužické oblasti (z podkladu Waltera 1992 in Chlupáč et al. 2011).

Na tvorbě orlicko-sněžnického krystalinika se podílejí dvě skupiny hornin – sněžnická a stroňská. Ty představují centrální část orlicko-sněžnické klenby. Jak zmiňuje Svoboda et al. (1961) stroňskou skupinu tvoří mnohem pestřejší pruh metamorfovaných hornin, především pararul, svorů, kvarcitů, amfibolitů a také mramorů a erlanů. Sněžnická skupina je zastoupena křemen-živcovými rulami, ortorulami, žulorulami a migmatity.

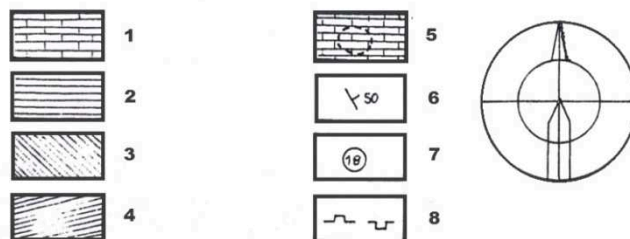
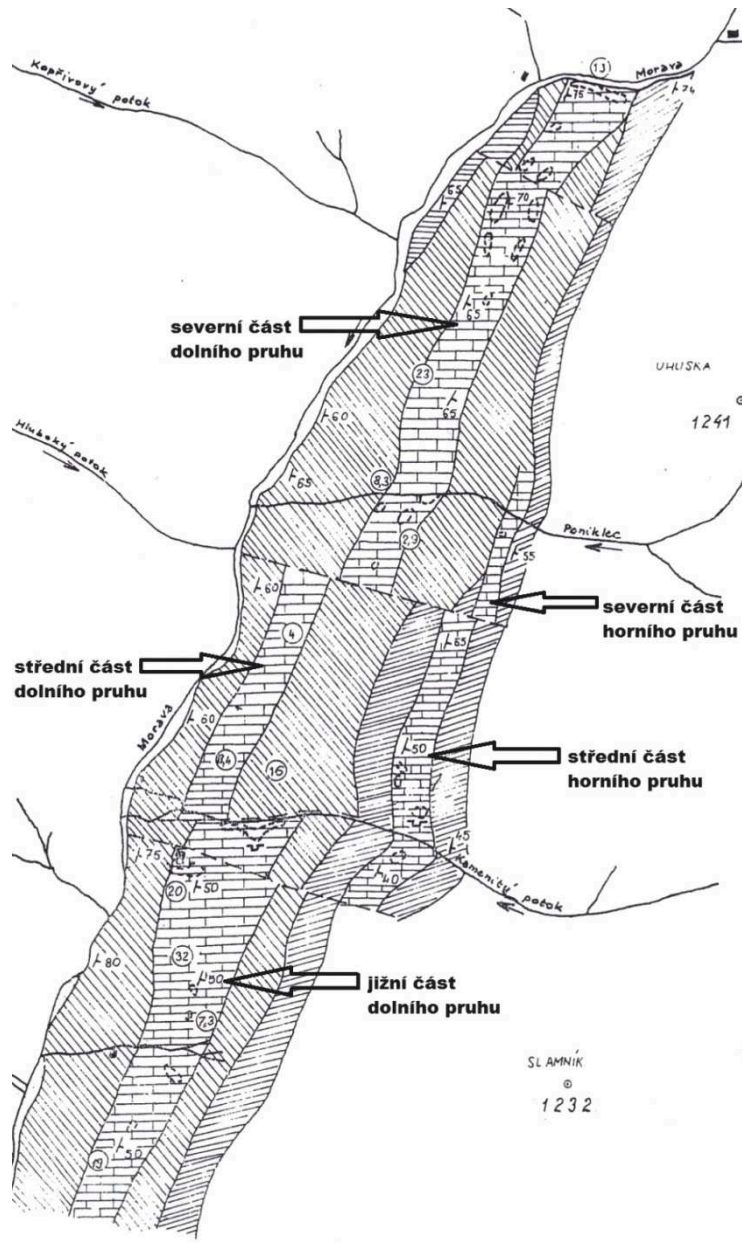
Samotnou oblast Králického Sněžníku charakterizuje Hromas et al. (2009) jako území, které je budováno silně metamorfovanými horninami stroňské a sněžnické skupiny východní větve orlicko-sněžnického krystalinika. Na kontaktu stroňské skupiny s ortorulami sněžnické skupiny se nachází zvrásněné polohy krystalických vápenců (obr. 2), ve kterých se utvořily veškeré krasové jevy na Králickém Sněžníku. Maier (2008) popisuje mramory z Králického Sněžníku jako velmi čisté, převážně bílé, někdy šedě, růžově až zelenavě šmouhované krystalické vápence. Jde o drobnozrnnou, masivní horninu s akcesorickým obsahem flogopitu, biotitu, chloritu, křemene a pyritu.

Typologií krystalických vápenců se nejvíce zabýval Maděra (1979), který uvádí, že krystalické vápence tvoří dva paralelní pruhy (obr. 2) „horní a spodní“ s průběhem přibližně S – J rozčleněné tektonickou linií. Hlavní vápencové těleso tzv. spodní pruh dosahuje šířky 130 – 350 m, vystupuje v levém svahu údolí Moravy. Na severu se pravděpodobně krystalické vápence zanořují pod ostatní nekrasové horniny krystalinika a vystupují až na území polského Sněžníku v údolí Klešnice. Jižní hranici krystalických vápenců představuje údolí Mlýnského potoka (Maděra 1986). O druhém menším tělese tj. horním pruhu Maděra (1979) uvádí, že dosahuje šířky až 80 m, leží výše ve svahu na V od dolního pruhu. Na povrchu krystalických vápenců se hromadí velké množství svahových zvětralin a sutí. Z vrtů bylo zjištěno, že zvětralinový plášť dosahuje mocnosti až 32 m.

Spodní i horní pruh se následně člení na základě příčných tektonických linií zhruba směru V – Z a krystalické vápence tak lze rozdělit do tří skupin (Maděra 1979):

- severní část – Severní hranici spodního pruhu představuje řeka Morava a jižní hranici tektonická linie Hlubokého potoka. Spodní pruh zde dosahuje šířky 150 m. Podloží i nadloží budují horniny stroňské skupiny (pararuly a svory). V blízkosti jeskyně Tvarožné díry jsou to i ortoruly sněžnické skupiny. Jižní hranici horního pruhu tvoří taktéž tektonická linie Hlubokého potoka, severní hranice je nejasná. Horní pruh v severní části dosahuje šířky 80 m a délky 600 m.

Podloží horního pruhu opět budují horniny strošské skupiny (svory a pararuly), nadloží tvoří i ortoruly sněžnického typu.



0 50 100 m

Obr. 2 Geologická situace krasové oblasti (upraveno podle Maděry 1979). Vysvětlivky: 1 – krystalické vápence, 2 – kvarcity, 3 – svory a pararuly, 4 – ortoruly sněžnického typu, 5 – přirozené odkryvy krystalických vápenců, 6 – foliace, 7 – vrty, 8 – lomy v těžbě a opuštěné lomy k r. 1979

- střední část – Tato část je na severu ohraničena tektonickou linií Hlubokého potoka, jižní hranici představuje tektonická linie údolí Kamenitého potoka. Ve střední části dosahuje spodní pruh šířky až 130 m a délky 800m. I ve střední části tvoří podloží a nadloží horniny série stroňské (pararuly a svory). Severní hranici horního pruhu tvoří tektonická linie Hlubokého potoka a jižní hranici tektonická linie procházející mezi Starým a Mramorovým lomem na jižním svahu Kamenitého potoka. Podloží i nadloží horního pruhu ve střední části budují ortoruly sněžnického typu.
- jižní část – Jde o plošně nejrozsáhlejší výskyt krystalických vápenců, které se nachází jižně od údolí Kamenitého potoka v prostoru Starého a Mramorové lomu. Spodní pruh krystalických vápenců zde dosahuje délky 1,4 km a šířky 350 m. Mezi Starým a Mramorovým lomem byla zjištěna tektonická linie, která představuje jižní hranici horního pruhu.

Krystalické vápence se sklání pod  $50^{\circ} - 75^{\circ}$  k J – JV. Dosahují minimální mocnosti 60 m a maximální mocnosti 250 m. Pro vznik krasových jevů mají podle Maděry (1979) hlavní význam zlomy přibližně směru S – J a V – Z.

# 3 Hydrologie a hydrochemie vod na Králickém Sněžníku

Hranice povodí údolí potoka Klešnice a povodí údolí řeky Moravy představuje také rozvodnici Baltického a Černého moře (Ciężkowski et al. 1993). Jak uvádí Hromas et al. (2009) odvodnění krasových těles na Králickém Sněžníku je umožněno díky velkému množství vydatných pramenů (Tvarožné díry –  $23 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , pramen Jeskyně, Mléčný pramen  $100 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , ROH, Salaš apod.). Velký význam mají právě poznatky krasové hydrografie tohoto území. V oblasti byla prováděna dlouhodobá měření odtoků z hydrografických povodí, důležité jsou i výsledky stopovacích zkoušek, zoologické indicie a poslední geologické výzkumy. Veškeré výsledky těchto výzkumů potvrzují domněnky o kontaktu krasových vod v údolí Klešnice a Moravy hlubokými a prozatím neznámými podzemními systémy.

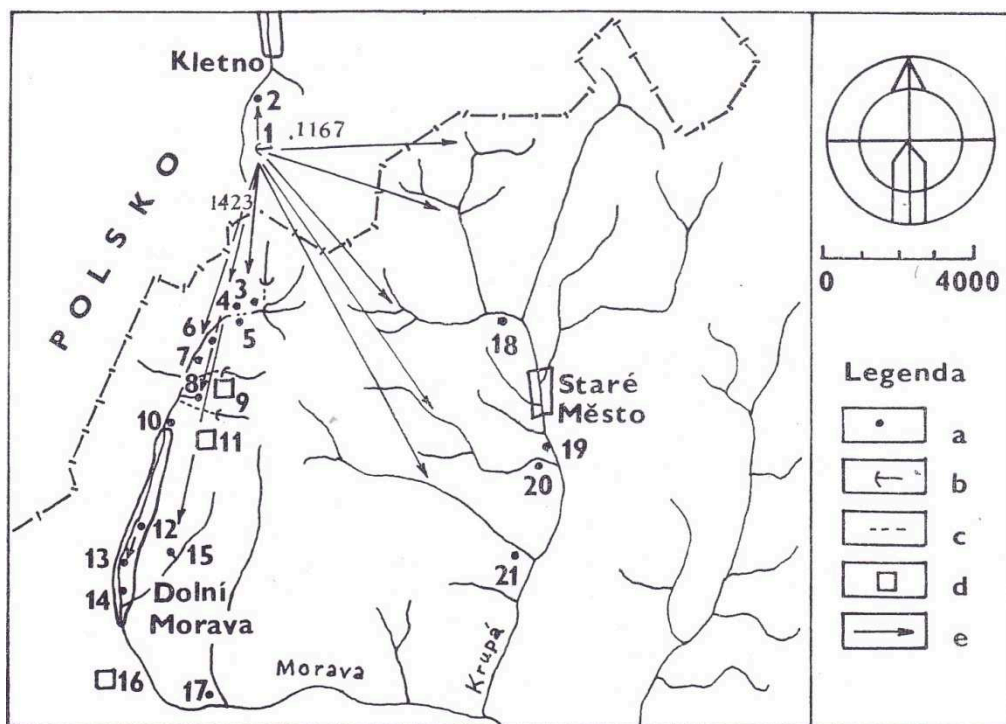
Ciężkowski et al. (1993) uvádí, že v severní oblasti Dolní Moravy byla instalována hlavní registrační stanice, která měla za úkol po dobu pěti let sledovat průtoky vod v údolí Moravy. Současně bylo provedeno několik jednotlivých měření na řece Moravě. Dále byly sledovány i krasové vývěry, na něž se instalovaly samostatné limnigrafové stanice a zbudovaly se měrné hráze. Veškeré výsledky pozorování spolu se speleologickými průzkumy potvrdily, že v jeskyních Tvarožné díry a Propáстка existuje veliký průtok krasových vod, který má spojitost s povodím údolí Klešnice.

V údolí Moravy a Klešnice bylo provedeno několik stopovacích zkoušek, jejichž cílem bylo ověřit hydrologické spojitosti jednotlivých ponorů a vývěrů nebo podzemních toků v jeskyních (Ciężkowski et al. 1992). Řehák (1987) podrobně informuje o druhé stopovací zkoušce (obr. 3) provedené v roce 1983, která s sebou přinesla pozitivní výsledky. Cílem bylo vysledovat průběh krasových vod z ponoru Bílý Kámen. Tento ponor je situován v katastru Kletna, 940 m n. m., 0,8 km na JJV od Medvědí jeskyně. Během tohoto pokusu byla voda označena fluoresceinovým barvivem uraninem o dávce 3 kg. Při sledování předpokládaných vývěrů s označenými vodami v povodí Moravy a Krupé byly aplikovány dva způsoby (Maděra 1986):

1. V intervalu 1 – 2 týdnů docházelo na zvolených stanovištích k odběrům vzorků vod.
2. Bylo využito schopnosti uraninu vázat se na aktivní uhlí. Sledované prameny toků byly opatřeny sáčky z plátna naplněnými aktivním uhlím. Z odebraných sáčků byly následně zhotoveny výluhy.

Maděra (1986) informuje o postupu následných analýz. Vzorky odebraných vod a výluhů byly podrobeny analýze spektrofluorescenční metodou. V povodí Moravy a Krupé bylo odebráno na 250 vzorků vody a 121 výluhů. Výsledky jejich analýz potvrdily, že v zájmové oblasti došlo k vývěru značkových vod, a proto byl v roce 1985 tento pokus opětovně proveden pro získání dalších detailnějších informací.

Pro určení chemismu vod v údolí Moravy byla od roku 1971 do roku 1974 prováděna hydrochemická pozorování pouze ve dvou vývěrech. Od roku 1981 byly prováděny chemické analýzy všech vyvěraček a pramenů včetně potoků a řek. Vody v údolí Moravy a Klešnice byly rozděleny na krasové a nekrasové (tab. 1) na základě 200 analýz z 80 odběrových míst (Ciężkowski et al. 1993).



Obr. 3: Zájmová oblast během koloračních experimentů v masivu Králického Sněžníku (Maděra 1979). Vysvětlivky: a – stanoviště pozorování při stopovací zkoušce v r. 1983, na nichž byl zjištěn vývěř indikátoru, b – ponory, c – občasně suché úseky vodních toků, d – lokality odběru vzorků a paleontologických nálezů, e – směr podzemní krasové vodní cirkulace z ponoru Bílý kámen, 1 – ponor Bílý kámen, 5 – pramen odvodňující Tvarožné díry



Tab. 1: Chemické složení a některé vlastnosti vod údolí Moravy a Klešnice (Ciężkowski et al. 1993).

Druh vod	Teplota vody (°C)	pH	Mineralizace g/dm <sup>3</sup>	Hlavní pořadí aniontů	Hlavní pořadí kationtů
<b>Údolí Moravy</b>					
krasové vody	4,4 – 6,8	6,6 – 8,8	0,06 – 0,20	HCO <sub>3</sub> – SO <sub>4</sub> - Cl	Ca – Mg – Na
nekrasové vody	0,0 – 10,2	4,3 – 7,4	0,03 – 0,08	SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub> – Cl	Na – Ca - Mg
<b>Údolí Klešnice</b>					
krasové vody	4,4 – 7,0	7,5 – 8,2	0,08 – 0,12	HCO <sub>3</sub> – SO <sub>4</sub> - Cl	Ca – Mg – Na
nekrasové vody	1,8 – 5,5	5,3 – 7,6	0,03 – 0,08	/SO <sub>4</sub> / - /HCO <sub>3</sub> / - Cl	/Ca/ – /Mg/ – /Na/

Hodnoty v závorkách představují ionty s měnícím se obsahem.

Konečná (1993) odebrané vzorky vod rozdělila do tří kategorií:

1. skupina vod typu CaHCO<sub>3</sub>: Mléčný pramen, pramen Salaš, Pacltova jeskyně, Blom-blom, Tvarožné díry apod.; pro všechny je charakteristická vyšší mineralizace = 97 – 195 mg/l, pH = 6,92 – 7,82, CaO v množství = 25 – 62 mg/l
2. skupina smíšených vod typu CaHCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> a CaCl: převaha CaHCO<sub>3</sub> v Kamenitém potoce pod vápenci, v Ponikleci pod i nad vápenci apod.; převaha CaSO<sub>4</sub> zejména v Kamenitém potoce nad vápenci a v Moravě nad Mlýnským potokem; převaha CaCl v Moravě nad vápenci; všechny vzorky mají nižší mineralizaci = 53 – 89 mg/l, pH = 4,8 – 6,3, obsah CaO = 8,25mg/l
3. 1 vzorek vody typu NaSO<sub>4</sub> z pramene Moravy; mineralizace = 40,5 mg/l, pH = 6,23, obsah CaO = 1,12 mg/l

Hydrogeologií krystalických vápenců na Králickém Sněžníku se zabýval také Ouhrabka (1992). Stanovil některé chemické a fyzikální vlastnosti vod protékajících Tvarožnými děrami (tab. 2).

Tab. 2: Chemické složení a vlastnosti vod v Tvarožných děrách (Ouhrabka 1992).

<b>Teplota</b>	4,9 °C
<b>pH</b>	7,4
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	14,4 mg/l
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	2,4 mg/l
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	48,8 mg/l
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	2,9 mg/l
<b>Cl<sup>-</sup></b>	4,6 mg/l

## 4 Krasové jevy na Králickém Sněžníku

Dříve byly kuželovité krasové tvary na Králickém Sněžníku považovány za výsledek krasování v tropickém klimatu. Podle novějších výzkumů se předpokládá spíše vznik krasových jevů v chladném podnebí, který byl vyvolán silnou korozní schopností sněhových tavných vod. Kuželovité krasové tvary byly totiž později označeny za hluboké škrapové tvary, které nejsou typickou formou tropického kuželovitého krasu (Bosák 1993).

Maděra (1979) dělí krasové jevy v oblasti Králického Sněžníku na pět krasových celků. Rozdělení bylo provedeno na základě průzkumů a výzkumů se zaměřením na topografii jevů a studium odvodňování:

- Lokalita Tvarožné díry a okolní krasové jevy
- Úsek mezi ponory potoka Poniklec a pramenem Milchbrunnen
- Starý lom, Mramorový lom a jejich okolí
- Celek Pacltova jeskyně a její okolí
- Krasové jevy na západním úbočí kóty 1233 Slamník

### 4.1 Lokalita Tvarožné díry a okolní krasové jevy

Jak uvádí Maděra (1979), krasové jevy v oblasti lokality Tvarožné díry jsou lokalizovány na S, SZ a Z od kóty 1241 Uhliska a 2,6 km na J od vrcholu Králického Sněžníku. Jedná se o severní část spodního pruhu krystalických vápenců.

#### 4.1.1 Podzemní krasové jevy – jeskyně Tvarožné díry

Prvotní zmínky o návštěvě jeskyně pochází z kroniky Štefana a Karla Lembergů z Králík. Šlo o italské zlatokopy, kteří v 17. století navštívili jeskyni Trpasličí díry (dnes Tvarožné díry). Jeskyni podrobně prozkoumal a popsal E. Maděra (Hromas et al. 2009). V roce 1985 započal průzkum České speleologické společnosti, se kterým souviselo hloubení odvodňovacího kanálu, štoly (obr. 4) a uzávěru jeskyně. Po odtěžení jeskyních sedimentů byly odkryty typické tvary chodeb a vývěry v zadní části jeskynního systému (Řehák 1987).

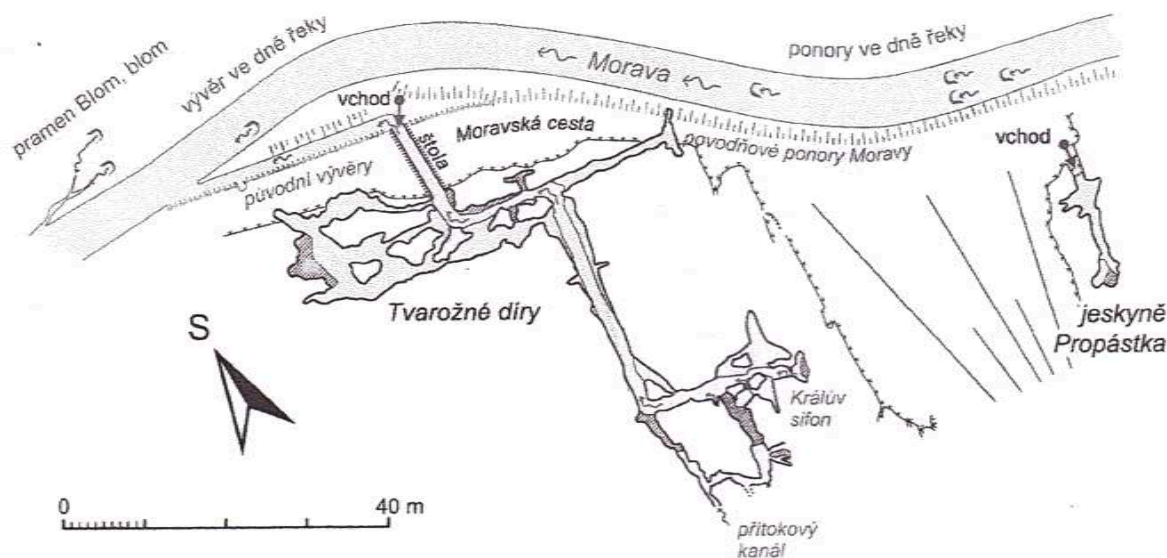
Jeskyně se nachází v nadmořské výšce 840 m. n. m, kde řeka Morava příčně protíná pruh krystalických vápenců. Na povrch ústí z jeskyně několik vchodů sloužících jako povodňové

ponory Moravy a vývěry podzemního toku. Odvodňovací štola je pak jediným přístupem do jeskyně. Jeskyně (obr. 5) je dlouhá 184 m, z toho 60 m protéká aktivní podzemní tok (Ciężkowski et al. 1993). Jeskyně je založena na pravoúhlém systému tektonických linií směru S – J, V – Z ( $\pm 15^\circ$ ), který je pro krasové jevy na Králickém Sněžníku typický (Maděra 1979).



*Obr. 4: Vstupní štola do jeskyně.*

Do hlavní chodby, která dosahuje šířky 2 m, se vstupuje odvodňovací štolou. Odbočky, které z ní pokračují jižním směrem, spojují hlavní chodbu se systémem nízkých a širokých chodeb původního podzemního toku. Na svém konci se hlavní chodba stáčí ve směru S – J v úzkou chodbu (Koupaliště). Ze dna chodby Koupaliště vyvěrají pod tlakem vody podzemního toku. Za odbočkou na jejím konci následuje poslední jeskynní prostor, tzv. chodba U Madony. Na jejím konci se nachází dva významné jeskynní vývěry (Hromas et al. 2009).



Obr. 5: Půdorys jeskyně Tvarožné díry (Hromas et al. 2009).

Vývojem jeskyně se významně zabýval Bosák (1993), který vycházel z jeskynních sedimentů a ze základního tvaru původních freatických rourovitých chodeb. Snížení piezometrické úrovně následně přemodelovalo morfologii chodeb ve vadózním režimu. Právě hlavní vstupní chodba je typická širokým a hlubokým vadózním kaňonem. Za odbočkou ke Koupališti se šířka kaňonu snižuje, chodba nabývá spíše charakteru úzkého, korodovaného koridoru. Profil vadózně přemodelované původní freatické chodby se postupně snižuje, což je způsobeno nižší průtočností vody, a chodba svým profilem připomíná kříž. V klidném prostředí jen se slabým proudem také došlo k jezernímu vývoji. Na tuto etapu poukazuje boční korozní prořezávání, boční korozní výklenky a vznik plochého stropu (Bosák 1993).

V jeskyni Tvarožné díry lze rozpoznat tři různé zdroje podzemních vod. Prvním významným zdrojem jsou vody přitékající přítokovým kanálem a vyvěrající ze studny v zadní části chodby U Madony. Menším zdrojem vody je dále Králův sifon, rovněž v koncové části chodby u Madony, který komunikuje s vodami v řece Moravě. Posledním zdrojem jsou vody vyvěrající pod tlakem z několika míst ve dně chodby Koupaliště. Pro všechny zdroje vod byly

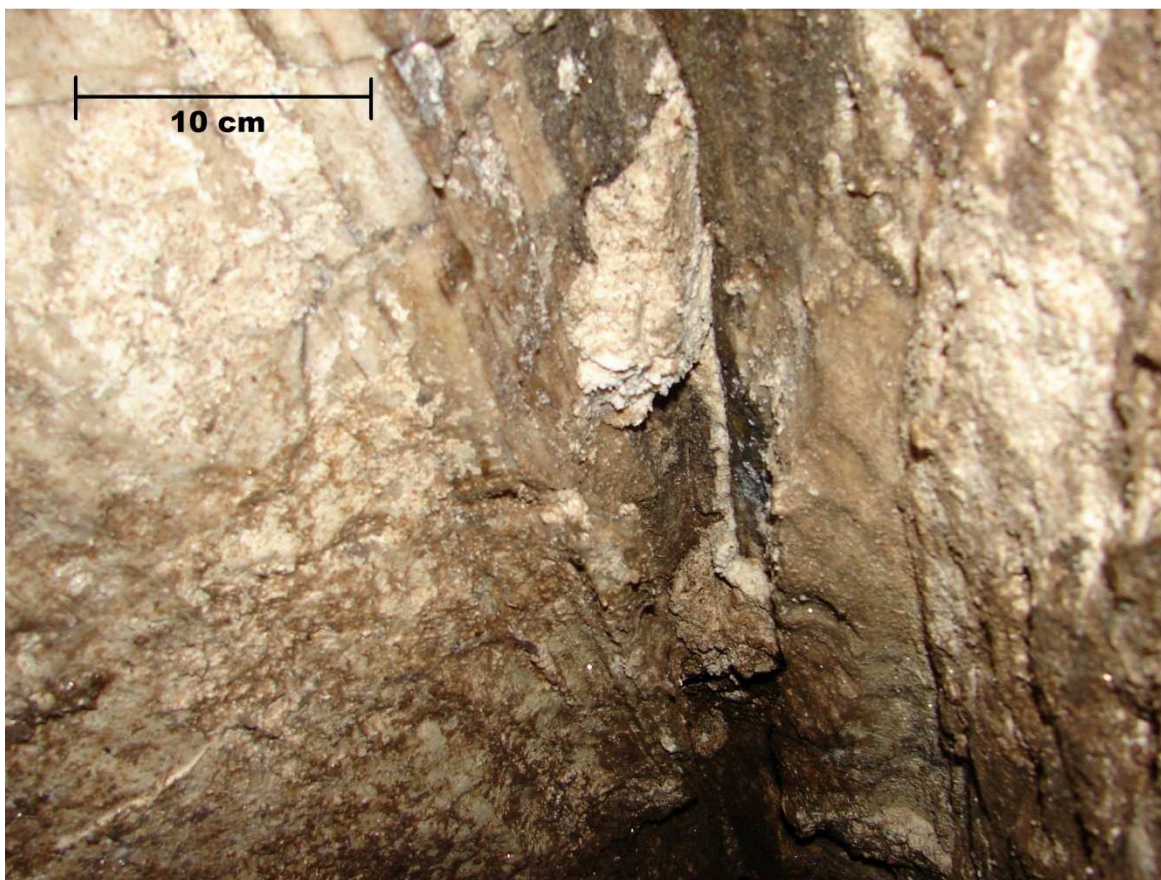


zjištěny hodnoty jejich konduktivity a teploty (tab. 3). Souhrnná vydatnost podzemních vod ve Tvarožných děrách je  $23 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (Ciężkowski et al. 1993).

Tab. 3: Hodnoty teploty a konduktivity vod ve Tvarožných děrách (Ciężkowski et al. 1993).

zdroje vody	teplota (°C)	konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
přítokový kanál	5,4	95
Králův sifon	7,1	78
vývěry ze dna Koupaliště	4,5	110

Ze sekundárních krasových jevů je pro jeskyni Tvarožné díry typický výskyt nickamínku na stěnách chodeb (obr. 6), kterými trvale nebo periodicky protéká podzemní tok (Maděra 1979). Nickamínek představuje bílou, kyprou hmotu z 95 % tvořenou vodou a z 5 % mikroskopickými zrnky kalcitu (Rubín, Skřivánek 1963). V jeskyni dále byly zjištěny tenké povlaky sintrů narušené mrazovým zvětráváním i sintry silné 0,5 cm, až 15 cm dlouhá brčka, monokrystalické stalaktity a až 20 cm dlouhé sintrové záclony (Maděra 1979).



Obr. 6 Nickamínek v jeskyni Tvarožné díry.

### *4.1.2 Další podzemní krasové jevy – jeskyně Propáštka a Kančí díra*

Do jeskyně Propáštka se vstupuje vchodem, který ústí nedaleko kontaktu krystalických vápenců a ortorul sněžnického typu. V jeskyni se nachází 4 m hluboká propast. Sekundární krasovou výzdobu jeskyně postrádá. Pravděpodobně se jedná o opuštěný ponor řeky Moravy, na což poukazuje umístění jeskyně a modelace jeskynních stěn (Maděra 1979).

Do jeskyně Kančí díra od Z přitékají sifonem vody z jeskyně Tvarožné díry (Hromas et al. 2009). V důsledku ztíženého odvádění vod náspem lesní cesty zaplnilo jeskyni bahno, a proto odvodňuje jeskyni Tvarožné díry jen částečně (Maděra 1979).

### *4.1.3 Povrchové krasové jevy*

Jeskyně Tvarožné díry, Propáštka i Kančí díry jsou otevřeny svými vchody ve skalním pásu, ve kterém byly zjištěny i povrchové krasové jevy. Příklady uváděné Maděrou (1979):

- komíny ve skalní stěně, které jsou zahloubeny pod úroveň terénu
- povodňové ponory řeky Moravy
- závrt Vlčí díra hluboký 3 m, široký 11 m
- vývěry krasových pramenů z jeskyně Tvarožné díry

## 5 Metodika

Veškerá strukturně-tektonická měření, odběry vzorků hornin i vody probíhaly v jeskyni Tvarožné díry, která spadá do katastrálního území Velké Moravy. Vstup do této veřejnosti nepřístupné jeskyně byl umožněn panem Mgr. Vratislavem Ouhřabkou ze Správy jeskyní České republiky. Průzkum a shromažďování dat byly provedeny v období od září 2013 do dubna 2014.

### *5.1 Terénní část*

V jeskyni proběhlo ve dvou termínech ke strukturně-tektonickým měřením. Veškerá měření puklin, foliace a průběhu kalcitových žil byla zanesena do mapy jeskyně a byly z nich zhotoveny stereografické diagramy. Měření proběhla ve všech hlavních chodbách jeskyně.

V jeskyni Tvarožné díry bylo odebráno 5 vzorků hornin, jejichž odběrová místa jsou zanesena v mapě jeskyně.

Na konci dubna byla v zadní části jeskyně (v místě vývěru vody z Králova sifonu) odebrána voda pro základní chemickou analýzu proto, aby výsledné hodnoty poukázovaly na charakter vod přitékajících do jeskyně z Králova sifonu, a které tak ještě nejsou smíšené s vodami z ostatních vývěrů. Odběrná láhev byla na místě dvakrát propláchnuta vodou a poté byl 20 cm pod hladinou odebrán 1 l vzorku. V místě odběru byla změřena i teplota vody digitálním teploměrem a pH vody pH-metrem Voltracft PH – 100 ATC. Do laboratoře byl vzorek dodán do 24 h a do té doby byl uchováván při teplotě 5,5 °C. Konzervace vzorku a časový interval mezi odběrem a analýzou by měl být co nejkratší, aby se u vzorku zamezilo změnám a uchovaly se stejné hodnoty ukazatelů vody v odebraném vzorku (Horáková 1989).

### *5.2 Laboratorní část*

U všech pěti vzorků odebraných hornin byl proveden makroskopický popis. Pro mikroskopický popis byly zhotoveny leštěné výbrusy a následně byly pozorovány v procházejícím světle i při zkřížených nikolech pod mikroskopem CX 41. Fotografie výbrusů byly pořízeny na mikroskopu BX 50. Průměrná velikost zrn byla u minerálů zastoupených v podstatném množství stanovena na základě změřených velikostí min. 30 zrn, u minerálů zastoupených ve vedlejších či akcesorickém množství byla změřena velikost max. 15 zrn

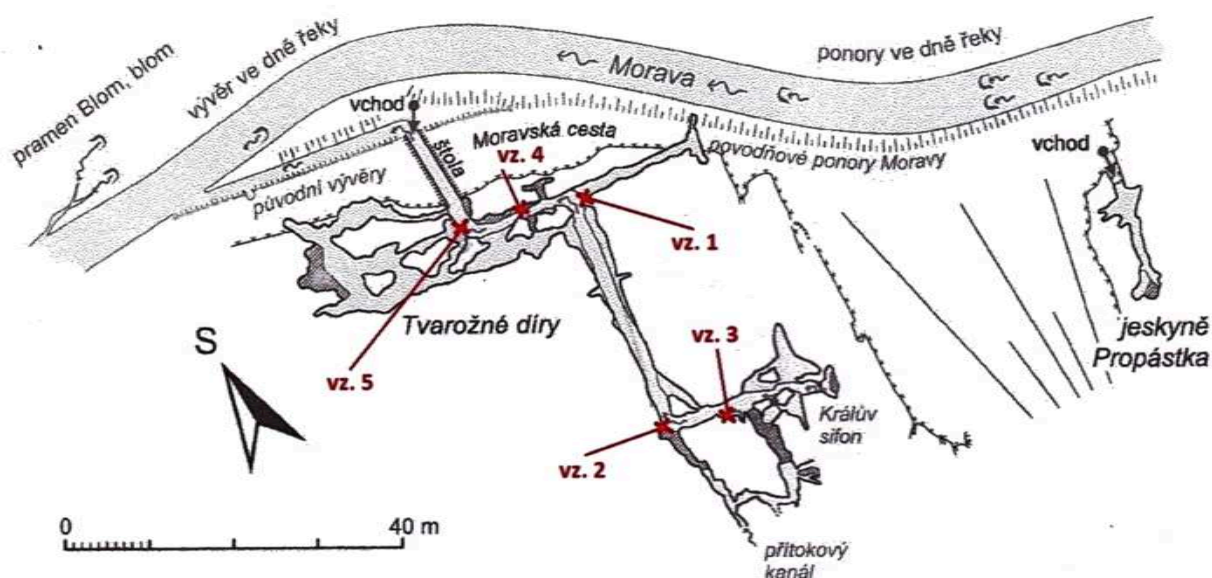
v závislosti na jejich obsahu ve vzorku. Pro popis minerálů na fotografiích byly použity zkratky podle Whitneyho a Evanse (2010) – použité zkratky: Bt – biotit, Cal – kalcit, Chl – chlorit, Phl – flogopit, Qz – křemen.

Chemická analýza vzorku odebrané vody byla provedena v laboratoři katedry ekologie UP v Olomouci. Měření množství  $\text{NH}_4^+$  proběhlo na spektrofotometru DR – 2000 firmy Hach. Pro zjištění množství  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  byl použit spektrofotometr DR – 2800 firmy Hach. Spektrofotometr pracuje na principu pohlcování světla v různých vlnových délkách spektra, proto bylo vždy na přístroji nastaveno číslo metody s příslušnou vlnovou délkou dle manuálu firmy Hach (1991). Destilovaná voda byla při analýze využita jako předloha s nulovými hodnotami u zjišťovaných složek odebrané vody a pro následné srovnání. Při měření byly použity patentované balené reagenty firmy Hach. Množství  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a  $\text{Ca}^{2+}$  bylo zjišťováno atomovou absorpční spektrometrií na přístroji Avanta S od firmy GBC. Titrací roztokem HCl byla změřena i celková alkalita vody za použití indikátoru methylová oranž. Hodnota  $\text{KNK}_{4,5}$  (celková alkalita, mmol/l) byla po měření vypočtena podle vzorce, který uvádí Horáková (1989):  $\text{KNK}_{4,5} = V_e \cdot c_{(\text{HCL})} \cdot 10^3 / V_0$ , kde  $V_e$  je spotřeba roztoku HCl při titraci (ml),  $c_{(\text{HCL})}$  je koncentrace roztoku HCl (mol/l) a  $V_0$  je původní objem titrovaného vzorku (ml).



## 6 Petrografická charakteristika hornin

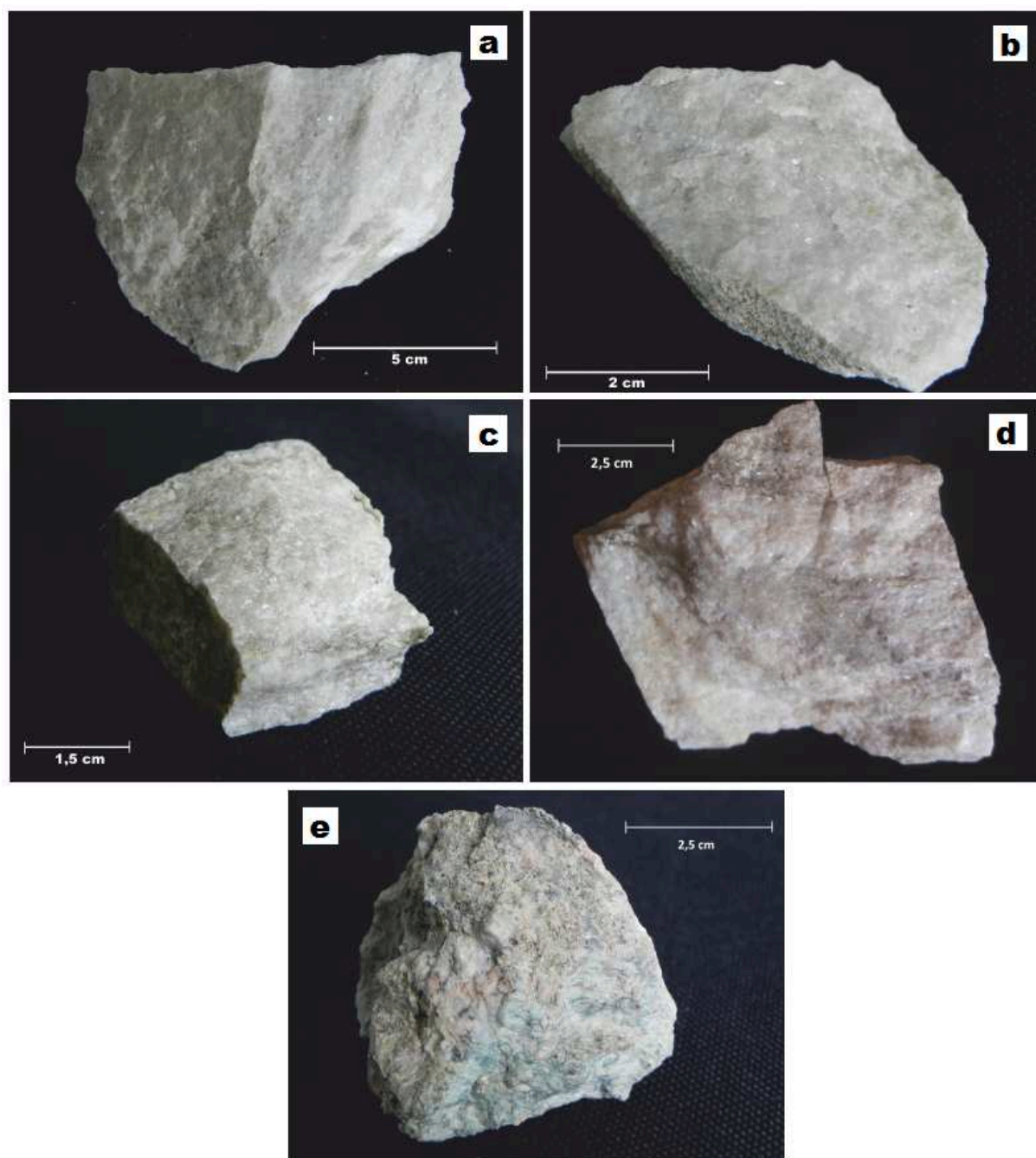
Všechny studované vzorky, tj. 5 krystalických vápenců, byly odebrány z různých míst jeskyně Tvarožné díry. Vzorek 1 byl odebrán v koncové části hlavní chodby, vzorek 2 v koncové části chodby Koupaliště, vzorek 3 ve střední části chodby U Madony, vzorek 4 ve střední části hlavní chodby a vzorek 5 na začátku hlavní chodby. Odběrová místa jsou zakreslena do schematického plánu jeskyně na obr. 7. Na základě bouřlivé reakce povrchu vzorků s 3% roztokem kyseliny chlorovodíkové lze považovat přítomné karbonáty za kalcit. Karbonát se v chladné kyselině rozkládá beze zbytku, což nenasvědčuje přítomnosti většího množství dolomitu. Rozlišení karbonátů ve výbrusech pomocí barvicích metod prozatím nebylo provedeno.



Obr. 7: Schematický plán jeskyně Tvarožné díry se značenými místy odběru horninových vzorků (upraveno podle Hromase et al. 2009).

Ve většině případů se jedná o bílý, drobnozrnný krystalický vápenc s všesměrnou texturou a lepidogranoblastickou strukturou (obr. 8; tab. 4), podmíněnou zejména převažujícím karbonátem, méně křemenem a fylosilikáty. Na základě relativní velikosti částic lze strukturu označit jako homeoblastickou. Tuto charakteristiku zcela splňují pouze vzorky 1 a 3, ostatní se mírně odlišují barvou nebo některým stavebním znakem, konkrétně: vzorek 2 má díky absenci fylosilikátů granoblastickou strukturu, vzorek 4 se liší nezřetelně páskovanou texturou, kterou tvoří střídání pásků bílé barvy s lepidogranoblastickou strukturou a šedé barvy s granolepidoblastickou strukturou. Na složení pásků se různou měrou podílí kalcit a biotit. Šířka pásku kolísá v řádech mm až do 2 cm, jsou neprůběžné a rozplývavé. Výjimku tvoří také vzorek 5 s bílou, narůžovělou, nazelenalou až nahnědlou barvou a lepidogranoblastickou až

granolepidoblastickou strukturou. Na základě mikroskopického pozorování bylo zjištěno, že růžové zbarvení způsobuje přítomný kalcit, zelené zbarvení chlorit a hnědé biotit.



Obr. 8: Studované vzorky krystalických vápenců z jeskyně Tvarožné díry; a–c) bílé, drobnozrnné krystalické vápence s všesměrnou texturou (vzorek 1–3); d) šedobílý, drobnozrnný krystalický vápenec s nezřetelně páskovanou texturou (vzorek 4); e) proměnlivě narůžovělý, nazelenalý až našedlý drobnozrnný krystalický vápenec (vzorek 5).

Tab. 4: Průměrná velikost zrn, barva, struktura a textura krystalických vápenců (vzorky 1–5).

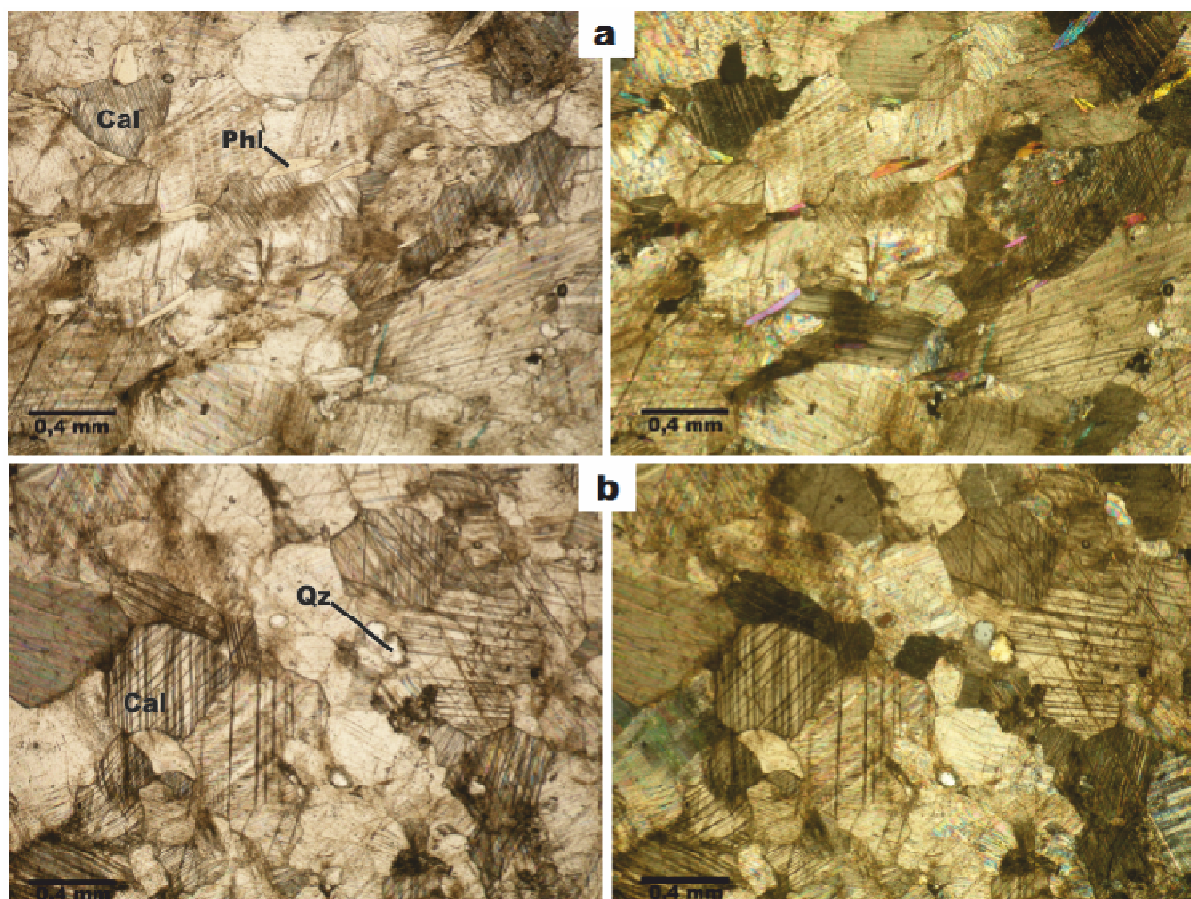
VZOREK	VELIKOST ZRN	BARVA	STRUKTURA	TEXTURA
1	0,67 mm	bílá	lepidogranoblastická	všesměrná
2	0,61 mm	bílá	granoblastická	všesměrná
3	0,62 mm	bílá	lepidogranoblastická	všesměrná
4	0,83 mm	bílá / šedá	lepidogranoblastická / granolepidoblastická	nezřetelně páskovaná
5	0,48 mm	bílá/ narůžovělá/ nazelenalá/ nahnědlý	lepidogranoblastická / granolepidoblastická	všesměrná

Dominujícím minerálem ve všech studovaných vzorcích je karbonát (kalcit). Kalcit tvoří izometrická a xenomorfně až hypautomorfně omezená zrna (obr. 9). Nejmenší krystaloblast měří 0,11 mm (vzorek 5) a největší dosahuje velikosti 2 mm (vzorek 2). Průměrná velikost zrn kalcitu ve studovaných vzorcích je však velmi podobná (~0,95 mm). V PPL je kalcit bezbarvý a bez pleochroismu, v XPL má bílou interferenční barvu vyššího řádu. Na téměř všech zrnech je viditelné dvojčatné lamelování až podle tří systémů. Lamely jsou průběžné, různě mocné a většinou husté. Na krystaloblastech kalcitu jsou také dobře pozorovatelné tři systémy štěpných trhlin (dokonalá štěpnost podle romboedru).

Vedlejším minerálem zastoupeným ve všech vzorcích je křemen. Pouze ve vzorku 5 je zastoupen stejně jako kalcit v podstatném množství. Křemen tvoří izometrická a xenomorfně omezená zrna o průměrné velikosti 0,38 mm (obr. 9b, 10a, 11a, b). V procházejícím světle je bezbarvý a bez pleochroismu, při zkřížených nikolech vykazuje nízký dvojlom (šedá až oranžová interferenční barva I. řádu). Většina zrn zháší undulózně, pouze cca 20 % jednotně. V křemeni byly pozorovány i sekundární, jednofázové fluidní inkluze s vodným roztokem, které tvořily řádky probíhající od okraje zrn.

Ve vzorcích 1 a 3 (obr. 9a a 10a) se nachází krystaloblasty flogopitu. Šupinky či lístečky flogopitu jsou hypautomorfně omezené a mají drsný povrch. Jejich průměrná velikost ve směru protažení se pohybuje kolem 0,42 mm. V PPL je flogopit bezbarvý až světle žlutý a v těchto odstínech velmi slabě pleochroický. V XPL vykazuje střední dvojlom (citlivá fialová až červená interferenční barva II. řádu). Lístečky flogopitu mají dokonalou štěpnost podle jednoho systému (001) a zháší prakticky rovnoběžně vůči štěpným trhlinám a protažení zrna. Biotit s určitým zastoupením Fe komponenty (annitu) se nachází ve vzorku 4 s nezřetelně páskovanou texturou

(obr. 10b), kde tvoří hypautomorfně omezené šupinky, a také ve vzorku 5, kde se nachází v podobě xenomorfně omezených roztroušených lupínků (obr. 11b). Šupinky biotitu dosahují velikosti od 0,2 mm do 0,8 mm ve směru protažení. V PPL je biotit nažloutlý až světle hnědý a v těchto odstínech pleochroický. V XPL vykazuje střední dvojlom (zelená až růžová interferenční barva III. řádu, která je zčásti nebo zcela překryta vlastní barvou minerálu). U biotitu nebyly pozorovány pleochroické dvůrky.



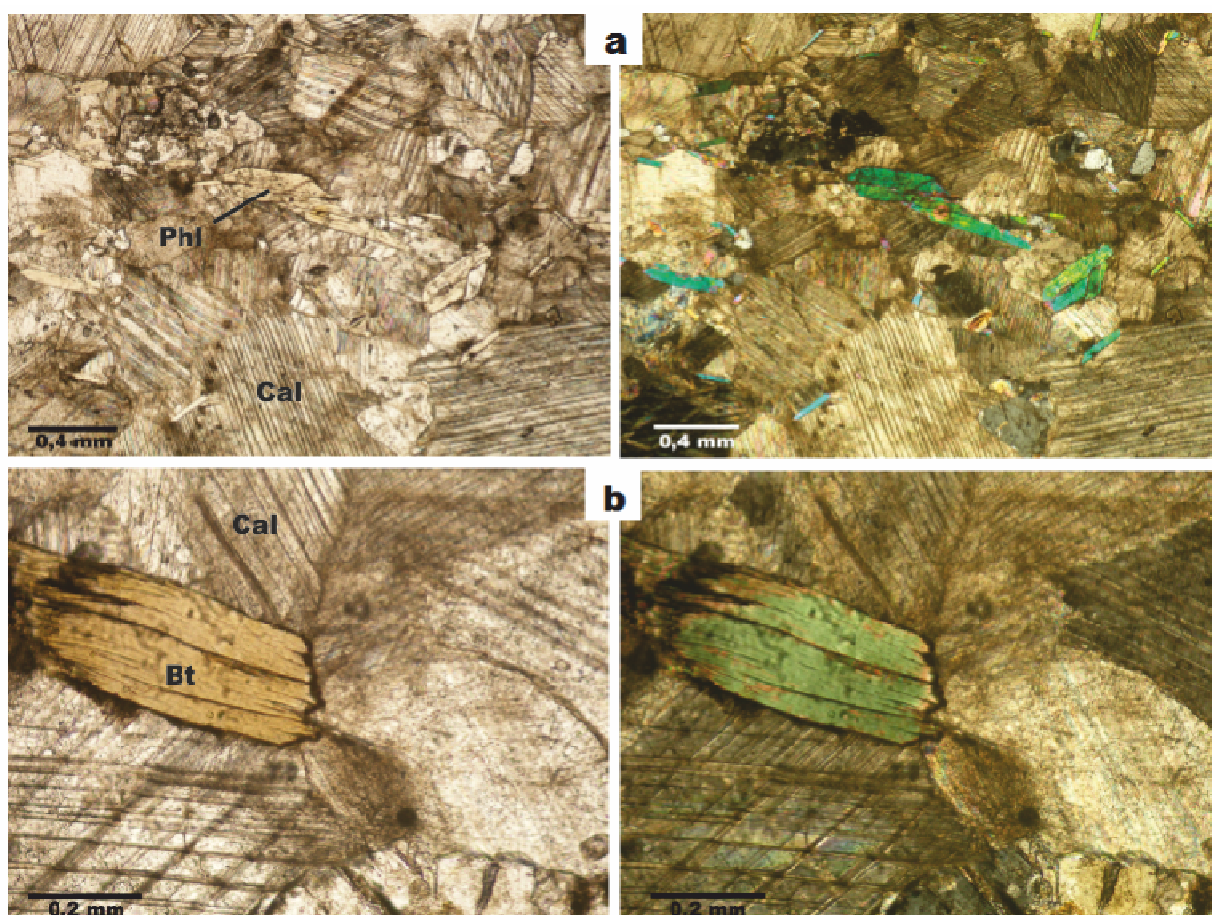
*Obr. 9: Mikrofotografie výbrusů drobnozrnných krystalických vápenců 1 a 2 z jeskyně Tvarožné díry (vlevo foto v PPL, vpravo foto v XPL); a) dokonale štěpná zrna kalcitu izometrického tvaru a slabě pleochroické lístečky flogopitu tvořící lepidogranoblastickou strukturu vzorku 1; b) granoblastická struktura vzorku 2 s krystaloblasty kalcitu a xenomorfními zrna křemene.*

Nepřavidelné shluky a lupínky chloritu (obr. 11b) byly pozorovány ve vzorcích 1, 4 a 5. Agregáty dosahují ve vzorku 1 a 4 průměrné velikosti 0,5 mm a velikost lupínků ve vzorku 5 se pohybuje v rozmezí od 0,2 mm do 0,55 mm. Chlorit má xenomorfní omezení a hladký povrch. V PPL má chlorit žlutozelenou barvu a slabý pleochroismus byl pozorován pouze ve vzorku 5 (od bezbarvé po světle žlutozelenou barvu). V XPL vykazuje anomální modrošedou, šedozelelou až hnědozelelou interferenční barvu. Vůči kalcitu má vystupující reliéf.

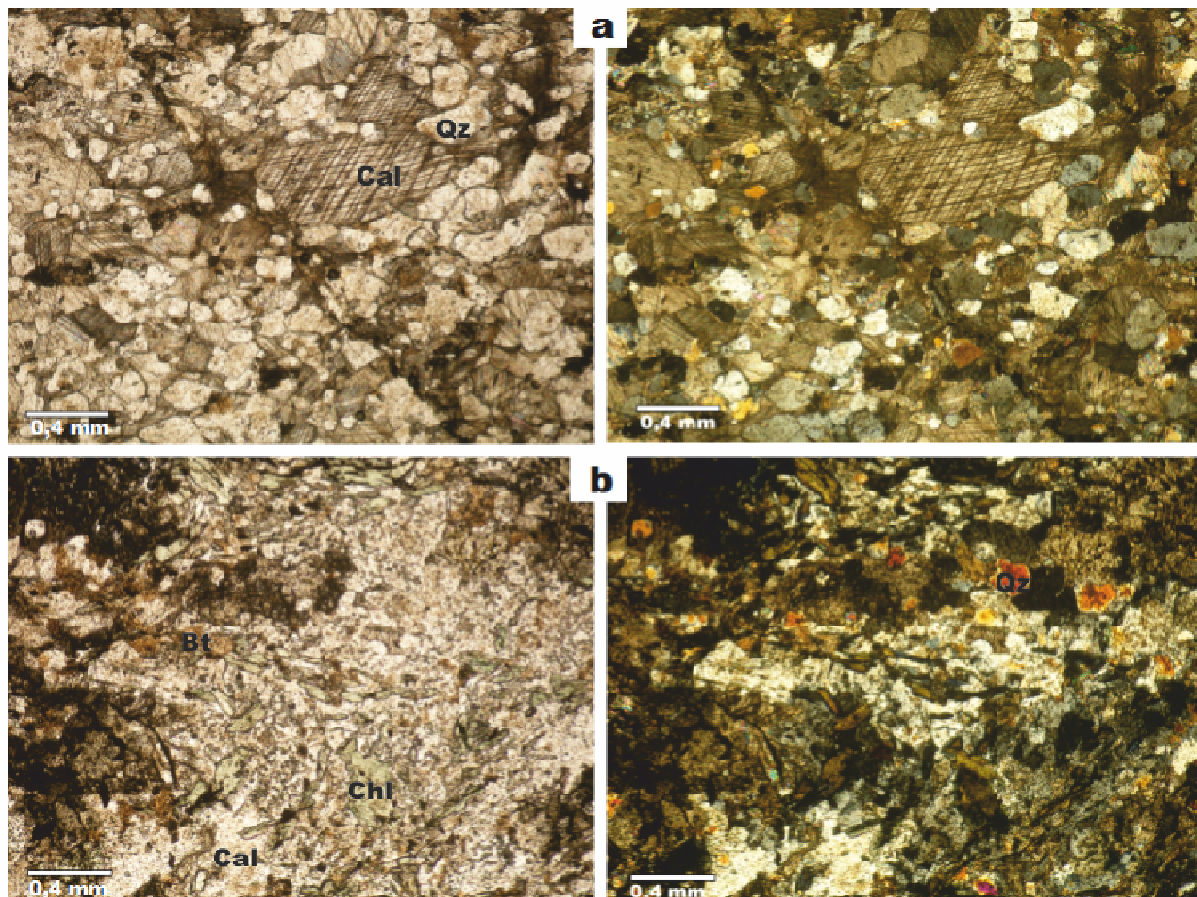


Ve vzorku 5 se také v malé míře vyskytoval fylosilikát, který nebyl mikroskopicky blíže určen. Minerál má optické vlastnosti muskovitu i mastku. Vzhledem k chybějícímu vhodnému řezu (001) nemohlo být provedeno rozlišení na základě optického charakteru. Fylosilikát tvoří šupinky s hypautomorfním omezením o velikosti 0,2–0,4 mm. V PPL je fylosilikát bezbarvý, bez pleochroismu, v XPL vykazuje střední dvojlom (modrá, zelená, růžová a červená interferenční barva II. řádu). U fylosilikátu byly pozorovány štěpné trhlinky podle jednoho systému a rovnoběžné zhášení vůči štěpnosti a protažení zrna.

Akcesoricky se ve všech vzorcích s výjimkou vzorku 2 vyskytují také opakní minerály, které tvoří zrna oválného i nepravidelného tvaru nebo zrna s obdélníkovým či čtvercovým průřezem. V PPL i XPL jsou zcela neprůhledné, černé, pouze na jejich okrajích je patrná limonitizace. Dosahují maximální velikosti až 0,8 mm.



Obr. 10: Mikrofotografie výbrusů drobnozrnných krystalických vápenců 3 a 4 z jeskyně Tvarožné díry (vlevo foto v PPL, vpravo foto v XPL); a) lepidogranoblastická struktura vzorku 3 tvořená převážně xenomorfně omezenými krystaloblasty kalcitu a slabě pleochroickými šupinkami flogopitu se středním dvojlomem; b) krystaloblasty kalcitu a mírně zdeformovaná šupina hypautomorfně omezeného biotitu ve vzorku 4.



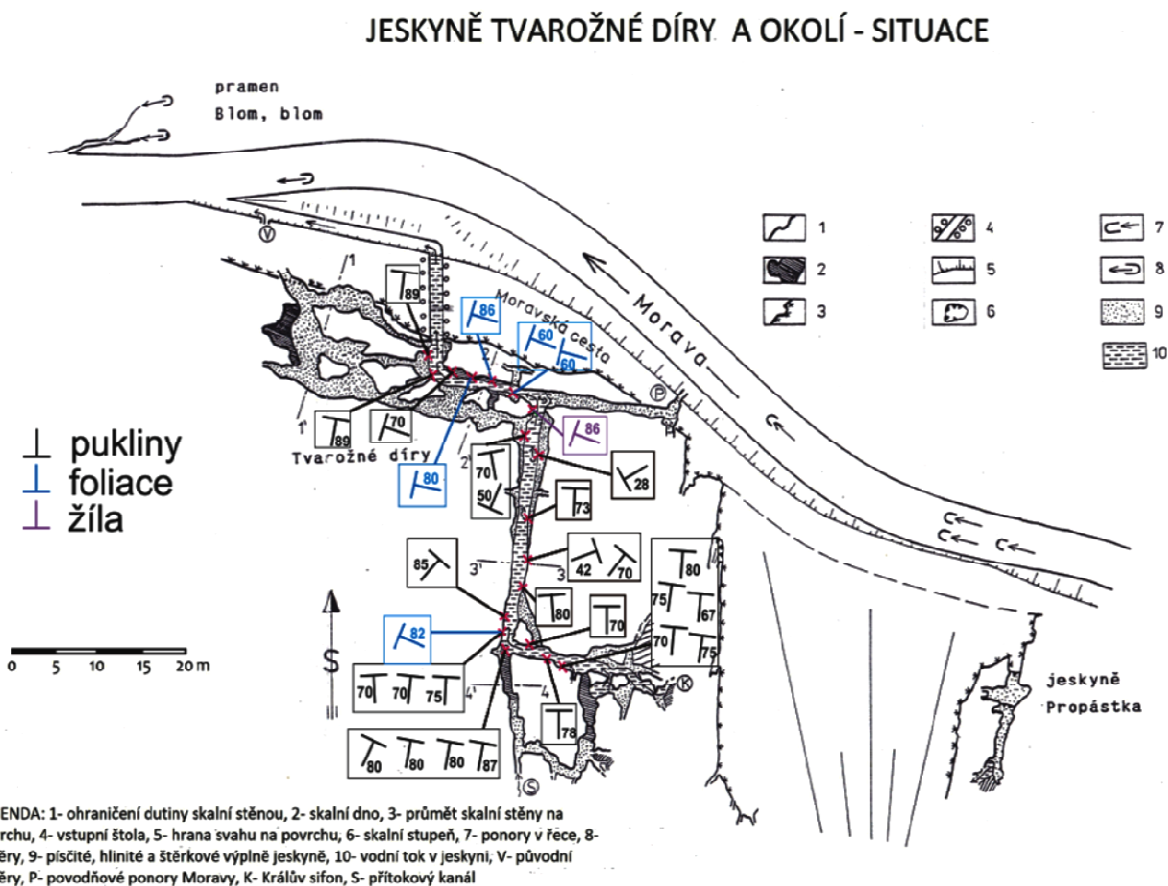
Obr. 11: Mikrofotografie drobnozrnného krystalického vápence 5 z jeskyně Tvarožné díry (vlevo foto v PPL, vpravo foto v XPL); a) rozptýlená izometrická zrna kalcitu s dobře patrnými lamelami a zrna křemene s nízkým dvojlomem; b) izometrická zrna kalcitu a křemene a šupinky hnědého biotitu a žlutozeleného chloritu vykazujícího v XPL anomální interferenční barvy.

## 7 Strukturně-tektonická měření

Strukturně-tektonická měření proběhla pouze v krystalických vápencích ve vnitřních prostorách jeskyně, kde bylo naměřeno 31 hodnot (tab. 5) sekundárních struktur (pukliny, foliace a průběh kalcitové žilky). Naměřené hodnoty byly následně zaneseny do schematického plánu jeskyně Tvarožné díry (obr. 12) a byl z nich vytvořen bodový diagram (obr. 13).

Tab. 5: Naměřené hodnoty sekundárních struktur.

Sekundární struktura	Naměřené hodnoty
pukliny	187/89, 190/89, 108/70, 170/70, 23/50, 60/28, 182/73, 250/42, 218/70, 176/80, 180/70, 188/75, 184/80, 180/70, 185/70, 185/67, 188/75, 221/85, 177/70, 186/70, 183/75, 205/80, 190/80, 190/87, 190/80
foliace	107/86, 110/60, 105/60, 102/80, 113/82
kalcitová žíla	110/86



Obr. 12: Schematický plán jeskyně s naměřenými hodnotami puklin, foliací a průběhu kalcitové žíly.

## **Foliace**

Foliace byla nejlépe měřitelná v hlavní chodbě. Její hodnoty poukazují na SSV – JJZ průběh. Hodnoty směru sklonu se pohybují mezi  $102 - 113^\circ$  s velikostí sklonu v rozmezí  $60 - 86^\circ$ . Foliace se uklání opět pod poměrně velkým úhlem a to směrem k VJV.

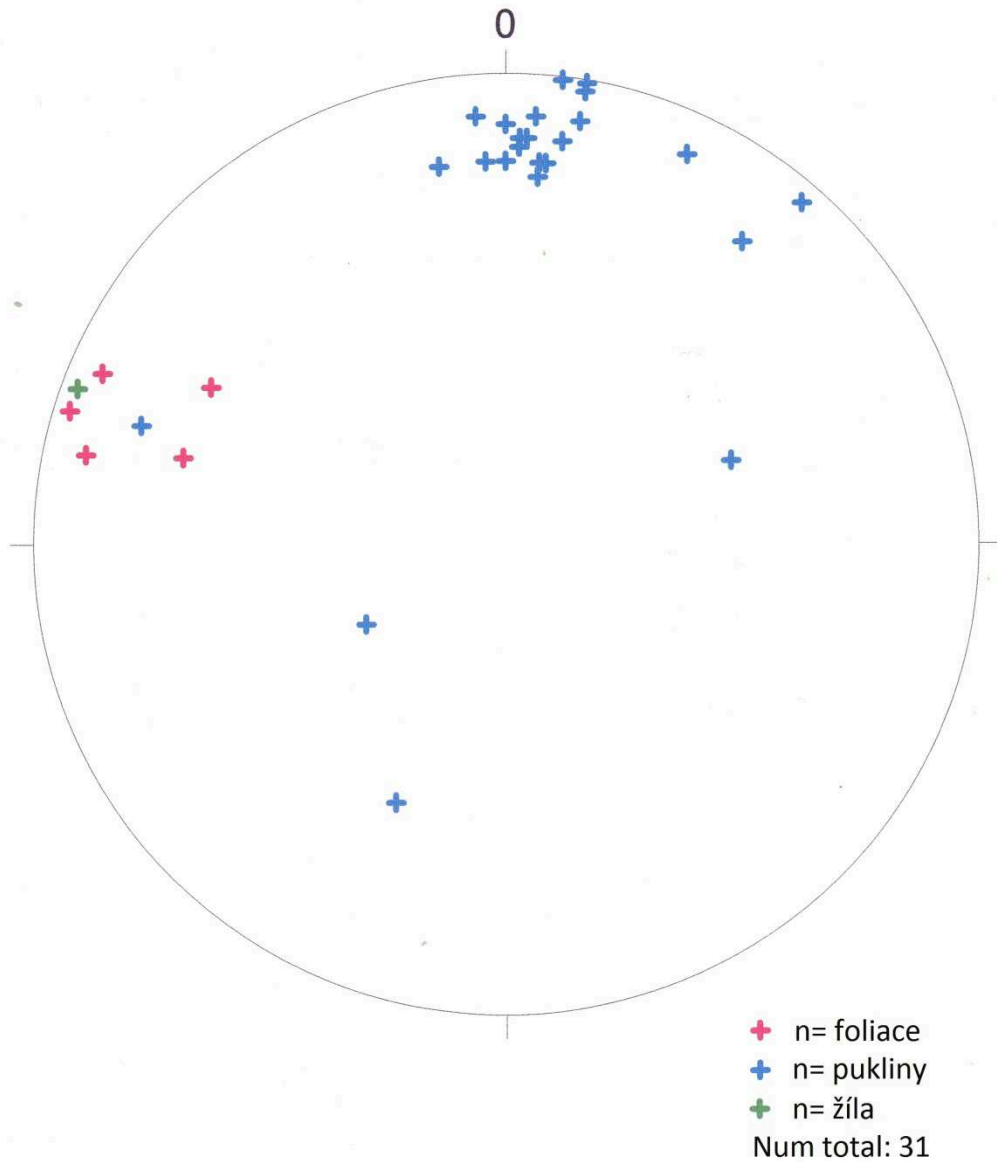
## **Pukliny**

V jeskyni bylo naměřeno 25 hodnot směru a velikosti sklonu puklin. Z naměřených hodnot vyplývá, že pukliny preferenčně prochází přibližně V – Z směrem. Směr sklonu odpovídá nejčastěji rozmezí  $170 - 190^\circ$  a velikost sklonu  $67 - 89^\circ$ . Pukliny se tedy sklání pod velkým úhlem především k J. Na začátku chodby Koupaliště byly naměřeny hodnoty, které odpovídají průběhu přibližně ve směru SZ – JV. Pukliny se na tomto místě sklání směrem k SV. Opačné hodnoty byly zjištěny na konci chodby Koupaliště, kde pukliny procházely ve směru SZ – JV a skláněly se poměrně strmě k JZ.

## **Kalcitová žilka**

Pro kalcitovou žilku byla naměřena pouze jedna hodnota v koncové části hlavní chodby, kde prochází stropem napříč chodbou SSV – JJZ směrem, který je shodný se směrem foliace. Žilka byla 4 cm mocná, průběžná a dosahovala délky přibližně 1,20 m. Směr sklonu kalcitové žilky odpovídá hodnotou  $110^\circ$  východo-jihovýchodnímu směru.

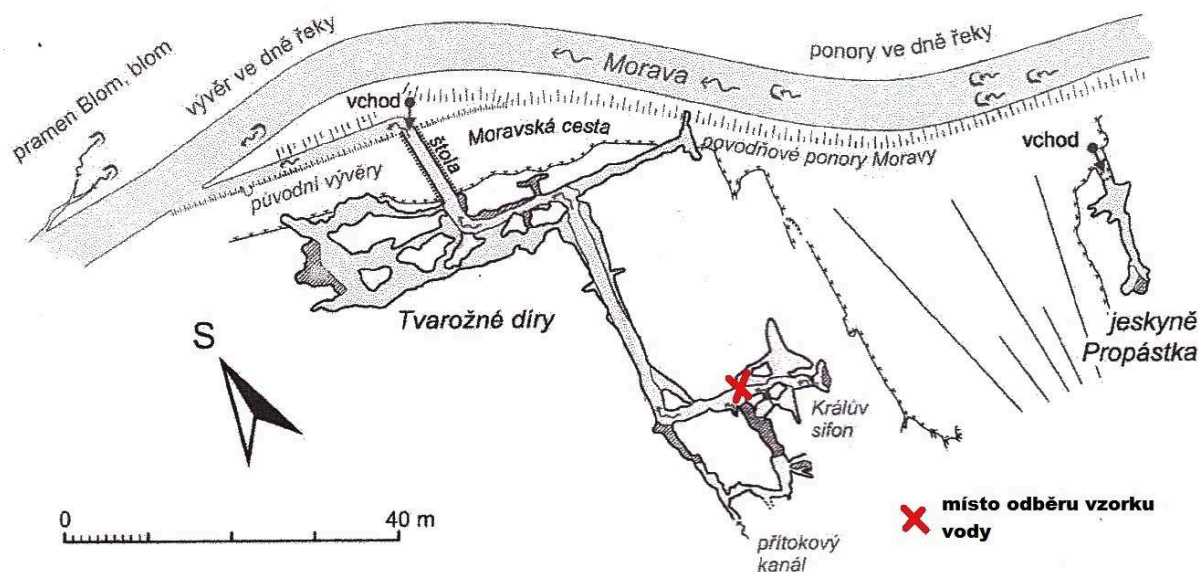




*Obr. 13: Bodový diagram s hodnotami naměřených puklin, foliací a kalcitové žílký. Zobrazeno na spodní hemisféře.*

## 8 Základní chemismus krasových vod

Vzorek vody určený pro základní chemickou analýzu byl odebrán v zadní části jeskyně, a to asi 1 m od místa, kde přitéká do jeskyně voda z Králova sifonu o vysoké vydatnosti toku, kterou Hromas (2009) uvádí jako 23 l/s. Místo odběru je zaznačeno v mapě jeskyně Tvarožné díry (obr. 14) a výsledné hodnoty vybraných iontů jsou zaneseny do grafu (obr. 15).



Obr. 14: Místo odběru vzorku vody pro základní chemickou analýzu.

### Teplota a pH

Teplota vody a pH vody byly měřeny přímo v terénu. Hodnota teploty vody změřené digitálním teploměrem činila 4,1 °C. Při stanovení pH odebrané vody byl použit pH metr, který byl nejdříve kalibrován pomocí roztoku o známé hodnotě pH = 7. Poté mohlo být provedeno měření u vzorku. Naměřená hodnota pH byla 6,38.

### Stanovení $\text{NH}_4^+$

Pro stanovení množství  $\text{NH}_4^+$  bylo odměřeno 5 ml destilované vody a 5 ml vzorku. Následně byly ke každému z nich do zkumavek přidány 3 kapky Nessler-Reagent (tetrajodortuňnan sodný). Vše bylo promícháno a po 10 minutách vloženo do spektrofotometru s nastavenou vlnovou délkou 425 nm. Přístroj nedokázal, kvůli příliš nízké hodnotě pod mezí detekce, změřit množství.  $\text{NH}_4^+$  bylo tedy ve vodě obsaženo v množství menším než 0,1 mg/l.

### **Stanovení $\text{PO}_4^{3-}$**

Pro zjištění hodnoty  $\text{PO}_4^{3-}$  bylo k odebraným 25 ml přefiltrovaného vzorku přidáno 1 balení Phos Ver3. Vzorek byl promíchán a po 10 minutách z něj bylo odměřeno 10 ml a zvlášť také 10 ml destilované vody. Spektrofotometrem, který byl nastaven na vlnovou délku 890 nm, byla naměřena hodnota 0,06 mg/l.

### **Stanovení $\text{SO}_4^{2-}$**

Při stanovování množství  $\text{SO}_4^{2-}$  bylo k odměřeným 25 ml vzorku přidáno 1 balení SulfaVer4. Vzorek byl promíchán. Po 5 minutách z něj bylo odebráno 10 ml a zvlášť 10 ml destilované vody. Spektrofotometr s nastavenou vlnovou délkou na 450 nm naměřil hodnotu  $\text{SO}_4^{2-}$  v množství 6 mg/l.

### **Stanovení $\text{N-NO}_3^-$**

Následně byla měřena hodnota  $\text{N-NO}_3^-$ , kdy bylo k odebraným 10 ml vzorku přidáno 1 balení Nitra Ver5. Po promíchání a 5-ti minutovém odstavení byl vzorek spolu s 10 ml destilované vody analyzován spektrofotometrem při vlnové délce 500 nm. Pro  $\text{N-NO}_3^-$  byla naměřena hodnota 0,9 mg/l.

### **Stanovení $\text{Cl}^-$**

Při měření  $\text{Cl}^-$  byly k odebraným 25 ml destilované vody i k 25 ml vzorku přidány dvě reagensie. Do obou zkumavek bylo přidáno po 2 ml Mercuric Thiocyanate sol. a 1 ml Ferric Ion sol. Vše bylo promícháno a po 2 minutách vloženo do spektrofotometru s nastavenou vlnovou délkou na 455 nm. Hodnota naměřená u destilované vody (2,3 mg/l) byla odečtena od hodnoty u vzorku (3,6 mg/l). Množství  $\text{Cl}^-$  bylo stanoveno na 1,3 mg/l.

### **Stanovení $\text{K}^+$ a $\text{Na}^+$**

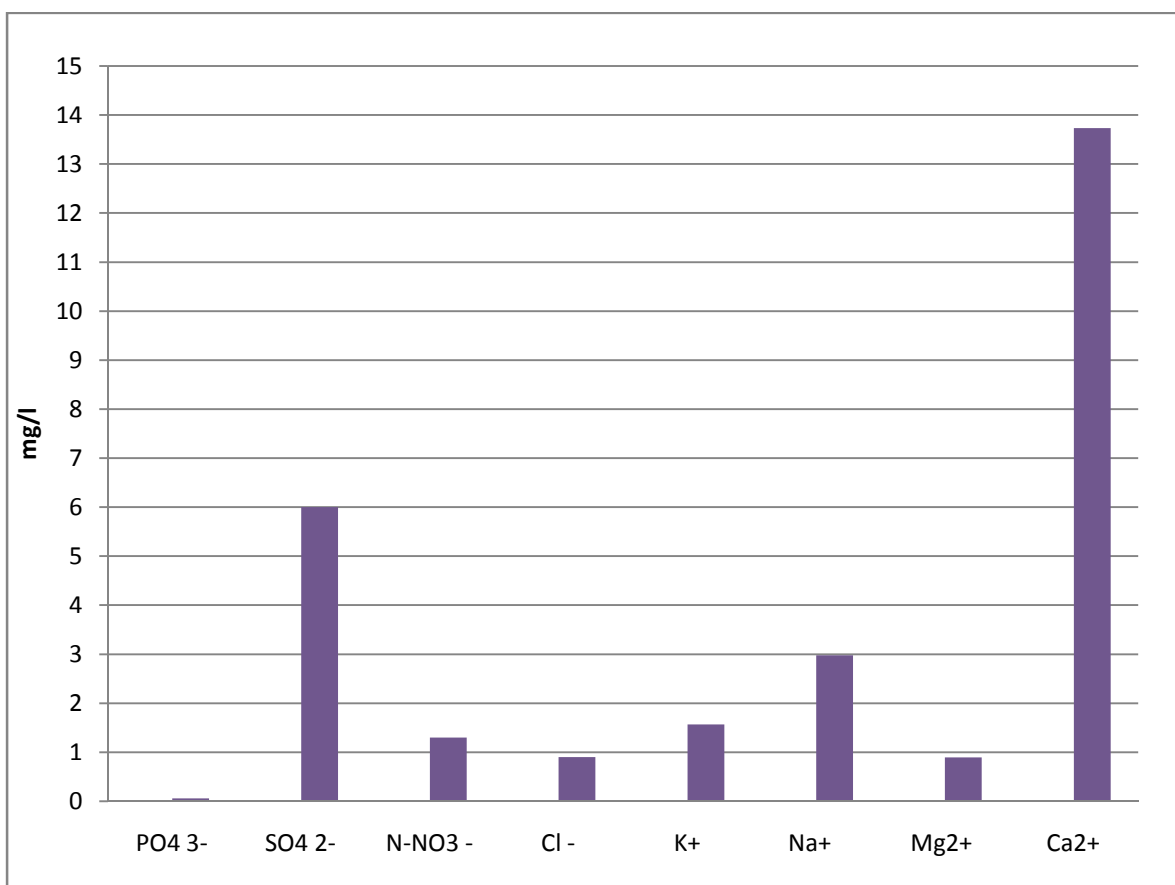
Pro změření  $\text{K}^+$  a  $\text{Na}^+$  byla využita metoda atomové absorpční spektrometrie. Obě veličiny byly měřeny v plameni acetylén-vzduch v emisním modu. Změřená hodnota u  $\text{K}^+$  odpovídá 1,570 mg/l a u  $\text{Na}^+$  2,978 mg/l.

## Stanovení $Mg^{2+}$ a $Ca^{2+}$

Množství  $Mg^{2+}$  a  $Ca^{2+}$  bylo rovněž stanoveno metodou atomové absorpční spektrometrie.  $Mg^{2+}$  i  $Ca^{2+}$  byly měřeny v plameni acetylén-oxid dusný v absorpčním modu. U  $Mg^{2+}$  bylo naměřeno množství 0,893 mg/l a u  $Ca^{2+}$  13,732 mg/l.

## Celková alkalita

Pro stanovení celkové alkality titrací byl použit odměrný roztok HCl o koncentraci 0,1 mol/l. Při přípravě roztoku indikátoru bylo použito 0,004 g indikátoru methylové oranže na 100 ml destilované vody. Dále bylo odměřeno 50 ml roztoku, ke kterému byly přidány tři kapky methylové oranže. Následně proběhla titrace roztokem HCl až do barevného přechodu. Při titraci bylo použito 0,6 ml roztoku HCl. Všechny hodnoty byly zaneseny do vzorce pro výpočet  $KNK_{4,5}$ :  $KNK_{4,5} = 0,6 \cdot 0,1 \cdot 10^3 / 50 = 2 \text{ mmol/l}$ .



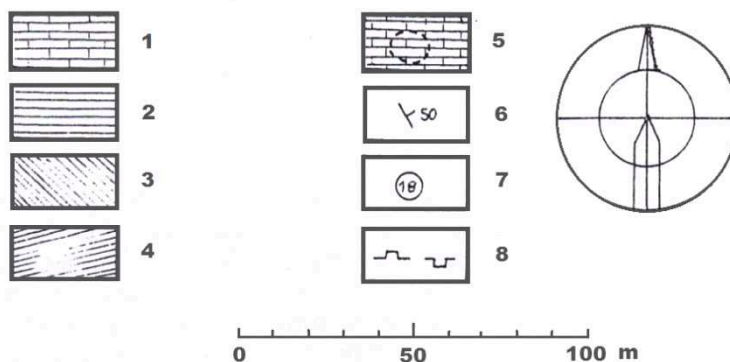
Obr. 15: Graf s vybranými změřenými ionty.

## 9 Diskuze

K petrografii mramorů na Králickém Sněžníku a v samotných Tvarožných děrách nebylo publikováno mnoho prací, a proto neexistuje příliš dat pro srovnání. Maier (2008) popisuje zdejší mramory jako velmi čistý, drobnozrnný a masivní krystalický vápenec. Barva horniny je převážně bílá, někdy šedě až zelenavě šmouhovaná s narůžovělými partiemi. Z akcesorií obsahuje flogopit, biotit, chlorit, křemen a pyrit, které ovlivňují barvu horniny. Odebrané vzorky se s výše uvedeným popisem poměrně dobře shodují.

Složení vzorků zároveň nikterak nevybočuje z obecného rámce udávaného pro mramory vyskytující se v asociaci s pararulami (amfibolitová facie). Ty mohou obsahovat podle Hejtmana (1962) kromě kalcitu a dolomitu také křemen, živce, flogopit, biotit, diopsid, obecný amfibol, wollastonit, granát, spinel, skapolit, forsterit, grafit, pyrit a magnetit. Z výčtu výše uvedených minerálů obsahují studované vzorky kromě kalcitu také křemen, flogopit, biotit a blíže neurčené opakní minerály.

Jak uvádí Maděra (1979) mají pro vznik krasových jevů na Králickém Sněžníku hlavní význam dislokace směru S – J a V – Z s lokální odchylkou +/- 15°. Z naměřených hodnot vyplývá, že ani jeskyně Tvarožné díry není výjimkou. Je založena na pravouhlém systému tektonických linií směru S – J a V – Z a převážná většina změřených puklin v jeskynních chodbách prochází přednostně právě těmito směry. 18 z 25 naměřených hodnot pro pukliny odpovídá jejich průběhem ve směru V – Z dislokacím v oblasti a vzhledem k množství provedených měření je to jediný určitelný systém puklin. Ostatní hodnoty se od hlavních tektonických směrů podstatně liší a odpovídají směru SZ – JV. Pro téměř všechny pukliny platí i poměrně velké sklony. Ty se pohybují průměrně kolem 72°. Foliace prochází ve směru SSV – JJZ opět pod velkým úhlem. Tyto hodnoty jsou shodné s měřeními zanesenými do mapy geologické situace v dané oblasti (obr. 16).



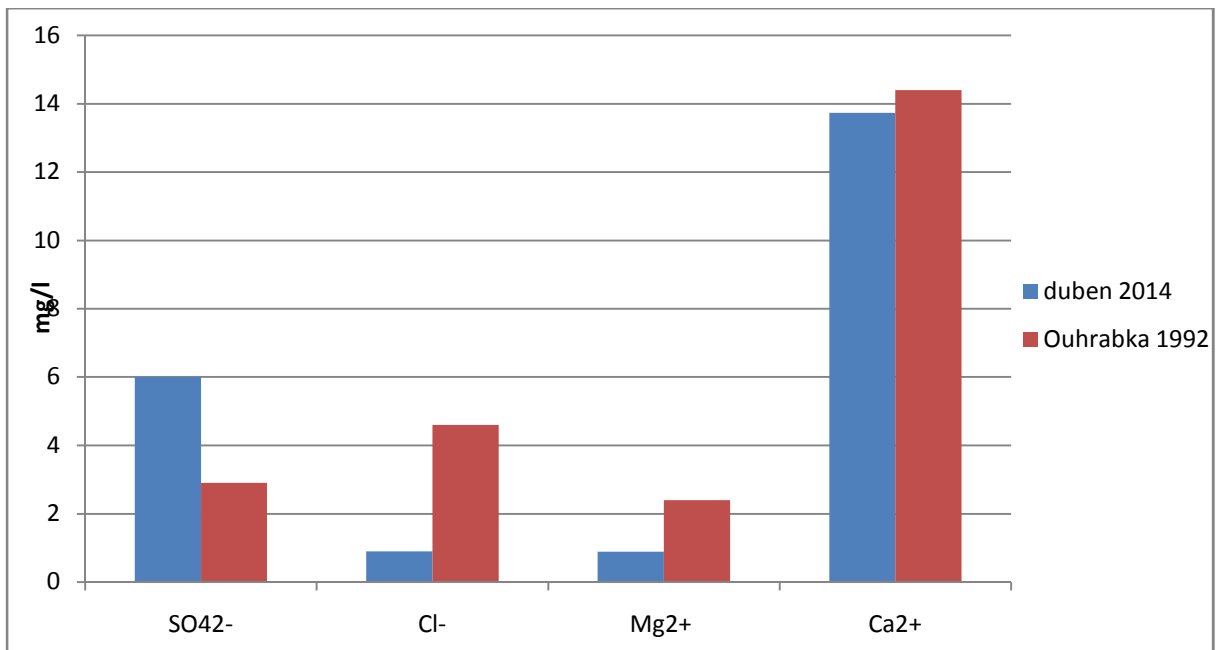
Obr. 16: Geologická situace krasové oblasti s vyznačenými hlavními tektonickými liniemi a foliacemi (upraveno podle Maděry 1979). Vysvětlivky: 1 – krystalické vápence, 2 – kvarcicity, 3 – svory a pararuly, 4 – ortoruly sněžnického typu, 5 – přirozené odkryvy krystalických vápenců, 6 – foliace, 7 – vrty, 8 – lomy v těžbě a opuštěné lomy

Lze předpokládat, že vývěr v zadní části jeskyně, ze kterého byl odebrán vzorek vody, je založen na křížení puklinového systému probíhajícího ve směru V – Z se směrem foliace horniny (SSV – JJZ), který je na tento systém kolmý. Ciężkowski et al. (1993) se zabýval charakteristikou krasových vod v údolí Moravy. Teplota těchto vod se pohybuje mezi 4,4 – 6,8 °C, pH bylo naměřeno v rozmezí 6,6 – 8,0. Hlavní pořadí aniontů bylo stanoveno na  $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$  a u kationtů na  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+$ . Hodnoty teploty i pH odebraného vzorku byly naměřeny o něco nižší, a to s rozdílem v řádech desetinných čísel než je uváděná spodní hranice. Hlavní pořadí aniontů souhlasí s výše uvedeným pořadím. U hlavního pořadí kationtů bylo naměřeno více  $\text{Na}^+$  než  $\text{Mg}^{2+}$ .

Bližším určením chemismu vod v jeskyni Tvarožné díry se zabýval Ouhrabka (1992). Hodnoty uvedené v tab. 6 se více či méně liší s mými výsledky odebrané vody (obr. 17). Rozdíly mohou být způsobeny odlišným místem odběru vody v jeskyni, dobou odběru a také srážkami. Vody, které vtékají do jeskyně Královým sifonem, komunikují s vodami v řečišti Moravy, a to může být příčinou jiných výsledných hodnot vzorku vody.

Tab. 6: Chemické složení a vlastnosti vod v Tvarožných děrách – výsledky Ouhrabky 1992 a z dubna 2014 (upraveno podle Ouhrabky 1992).

	Ouhrabka 1992	duben 2014
<b>Teplota</b>	4,9 °C	4,1 °C
<b>pH</b>	7,4	6,38
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	14,4 mg/l	13,732 mg/l
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	2,4 mg/l	0,893 mg/l
<b>K<sup>+</sup></b>	—————	1,570 mg/l
<b>Na<sup>+</sup></b>	—————	2,978 mg/l
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	48,8 mg/l	—————
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	2,9 mg/l	6 mg/l
<b>Cl<sup>-</sup></b>	4,6 mg/l	1,3 mg/l
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	—————	0,9 mg/l
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	—————	0,06 mg/l



Obr. 17: Graf srovnání výsledků chemismu vod protékajících Tvarožnými děrami.



## 10 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit v jeskyni Tvarožné díry petrografickou charakteristiku hornin, provést tektonická měření a stanovit základní chemismus vod. Práce přináší především bližší poznatky o petrografii mramorů, ve kterých jsou utvořeny krasové jevy na Králickém Sněžníku, a ke kterým nebylo publikováno mnoho prací. Také byla provedena nová analýza vod protékajících jeskyní, která poukazuje na rozdíly od starších výsledků.

V jeskyni bylo odebráno pět vzorků mramorů, které byly popsány ve většině případů jako drobnozrnné, bílé krystalické vápence s lepidogranoblastickou strukturou a všesměrnou texturou. V hlavním množství být zastoupen kalcit, ve vedlejším množství křemen, flogopit, biotit a chlorit.

Strukturní měření poukázala na to, že pukliny přednostně probíhají ve stejném směru jako hlavní tektonické linie v zájmové oblasti (V – Z). Pukliny jsou tedy přibližně kolmé na foliace, které probíhají přibližně ve směru SSV – JJZ.

Na konci dubna byl v jeskyni odebrán vzorek vody, u kterého bylo na místě stanoveno pH a teplota a dále byly v laboratoři zjišťovány koncentrace hlavních iontů ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Hodnota pH a koncentrace některých iontů byly naměřeny o něco nižší, než jsou publikované výsledky chemismu vody ve Tvarožných děrách. Množství  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a  $\text{Cl}^-$  stanovil Ouhrabka (1992) s vyššími hodnotami. Naopak vzorek odebraný na jaře 2014 vykazuje větší množství  $\text{SO}_4^{2-}$ . Odchylka může být způsobena především odlišným místem odběru vzorku vody, jelikož lze v jeskyni rozpoznat tři zdroje podzemních vod. Zvláště vody přitékající v zadní části jeskyně, kde byl odebrán i vzorek pro chemickou analýzu, komunikují s vodou z řeky Moravy.

## 11 Použitá literatura

- Bosák P. (1993): Několik poznámek k vývoji tvarů chodeb ve Tvarožných děrách. In: Řehák J. (eds.) Kras Sudet IV. symposium o krasu krkonošsko - jesenické soustavy. Zlatý Kůň a Česká speleologická společnost, Praha, p. 65 – 67.
- Bosák P. (1993): Nový pohled na vznik krasových jevů Horní Moravy. In: Řehák J. (eds.) Kras Sudet IV. symposium o krasu krkonošsko - jesenické soustavy. Zlatý Kůň a Česká speleologická společnost, Praha, p. 55 – 58.
- Ciężkowski W., Krawczyk W., Ouhrabka V., Řehák J. (1992): Kompleksowe badania wód krasowych górnej części doliny Moravy w masywie Śnieżnika. In: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. Wrocław, p. 29 – 36.
- Ciężkowski W., Pulina M., Řehák J. (1993): Poslední výsledky polsko - českých výzkumů v oblasti Kralického Sněžníku. In: Řehák J. (eds.) Kras Sudet IV. symposium o krasu krkonošsko - jesenické soustavy. Zlatý Kůň a Česká speleologická společnost, Praha, p. 34 – 42.
- Hach company (1991): DR/2000 Spectrophotometer instrument manual for use with software version 3. Hach, USA.
- Hejtman B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin. Československá akademie věd, Praha, 538 s.
- Horáková M., Grünwald A., Lischke P. (1989): Chemické a fyzikální metody analýzy vod. SNTL, Praha, 389 s.
- Hromas J. (ed.) et al. (2009): Jeskyně. In: Mackovčín P., Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek XIV. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 607 s.
- Cháb J., Breiter K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. Česká geologická služba, Praha, 283 s.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha, 436 p.

- Konečná J. (1993): Předběžné zhodnocení hydrochemického průzkumu v krasu Kralického Sněžníku. In: Řehák J. (eds.) Kras Sudet IV. symposium o krasu krkonoško-jesenické soustavy. Zlatý Kůň a Česká speleologická společnost, Praha, p. 42 – 46.
- Maděra E. (1979): Krasové jevy Kralického Sněžníku. In: Práce a studie - přír., Krajské středisko státní a památkové péče a ochrany přírody Východočeského kraje, Pardubice, p. 29 – 52.
- Maděra E. (1986): Výzkum Kralického Sněžníku v letech 1981 - 1983. In: Československý kras, Academia Praha, Praha, p. 33 – 43.
- Maier H. (2008): Sněžníkovský mramor. In: Zpravodaj Svaz kameníků a kamenosochařů, issue 2, p. 11 – 13, Praha.
- Mísař Z. et al. (1983): Geologie ČSSR I. Český masiv. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 333 p.
- Ouhrabka V. (1992): Hydrogeologie krystalických vápenců v horním povodí Moravy pod Kralickým Sněžníkem. Diplomová práce PřF UK, Praha.
- Rubín J., Skřivánek F. (1963): Československé jeskyně. ÚV ČSTV, Praha, 138 s.
- Řehák J. (1987): Zpráva o speleologickém průzkumu a výzkumu v krasové oblasti navrhované SPK Kralický Sněžník za rok 1982 - 1986. manuskript v archivu České speleologické společnosti, ZO ČSS 5-01 Bozkov, 10 s.
- Svoboda J., Chaloupský J. (1961): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000, M-33-XVII Náchod. Československá akademie věd, Praha, 185 s.
- Whitney D. L., Evans B. W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. In: American mineralogist, volume 95, str. 185 – 187.