

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra geologie
Jana Mlynářová

**Mělké geofyzikální mapování Javoříčského krasu
metodou elektrické odporové tomografie (ERT)**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.
Olomouc 2018

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie



Mělké geofyzikální mapování Javoříčského krasu metodou
elektrické odporové tomografie (ERT)

Diplomová práce

Jana Mlynářová

Vedoucí práce: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Olomouc 2018

Bibliografické údaje

- Jméno a příjmení autora:** Bc. Jana Mlynářová
Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
- Název práce:** Mělké geofyzikální mapování Javoříčského krasu
metodou elektrické odporové tomografie (ERT)
- Studijní obor:** Environmentální geologie
- Vedoucí práce:** prof. Doc. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.
- Akademický rok:** 2017/2018
- Počet stran:** 68
- Klíčová slova:** geofyzikální průzkum, elektrická odporová tomografie,
Javoříčské jeskyně, vápenec, devon, kras

Bibliographic Entry

Author: Bc. Jana Mlynářová
Palacky University Olomouc
Faculty of Science

Title of Thesis: Shallow geophysical survey of the Javoříčský Karst using the electrical resistivity tomography (ERT) method.

Field of Study: Environmental geology

Supervisor: prof. Doc. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Academic Year: 2017/2018

Number of Pages: 68

Keywords: geophysical survey, electrical resistivity tomography, Javoříčko caveslimestone, the Devonian, karst

Abstrakt

V této diplomové práci se věnuji problematice mělkého geofyzikálního mapování Javoříčského krasu metodou elektrické odporové tomografie (ERT), za účelem vyhledání neznámých jeskynních prostor v masivu Špraňku, kde se vyskytují Javoříčské jeskyně, které leží v hloubce od 5 – 100 m pod terénem. Hloubka měřených profilů dosahuje cca 40 m pod povrch. Z devíti měřených profilů byly pouze u jednoho zachyceny možné neznámé prostory vyplněné sedimenty, které by odpovídaly směru i hloubce předpokládaných neznámých prostor. Na dalších 5 profilech byly zřejmě zachyceny stropy známých jeskynních prostor.

Abstract

In this Thesis I deal with the issue of shallow geophysical survey of the Javoříčský Karst using the electrical resistivity tomography (ERT) method in order to search for unknown cave areas in the Špraňek massif, where the Javoříčské caves, lying at the depth of 5 to 100 m under the terrain, are situated. The depth of the measured profiles is about 40 m under the terrain. Out of nine measured profiles, only in case of one possible unknown areas filled with sediments that would correspond to the direction and depth of the anticipated unknown areas were noticed. The ceilings of the known cave areas were probably noticed in other 5 profiles.

Univerzita Palackého

Fakulta: Přírodovědecká.....

Katedra:geologie

Školní rok: .. 2013/2014.....

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student: Bc. Jana Mlynářová.....

obor:Environmentální geologie

Název tématu: Mělké geofyzikální mapování javoříčského krasu metodou elektrické odporové tomografie (ERT)

Zásady pro vypracování

Jako javoříčský kras se označuje poměrně malé krasové území s výraznými povrchovými a podpovrchovými krasovými jevy (skalní brány, říčené závrtvy, jeskynní systémy). Krasu je nejlépe odkryt v masívu Špraňku, ve kterém je vyvinut i rozsáhlý systém javoříčských jeskyní, který je předmětem intenzivního speleologického průzkumu. Mapování jeskyní potvrzuje přítomnost řady koridorů, které vesměs sledují tektonické linie. Cílem práce bude vymapovat mělké podloží Špraňku v sérii 2D profilů elektrické odporové tomografie a identifikovat možné průběhy dosud neznámých jeskynních chodeb. Změřené profily budou doplněny analýzou geomorfologie z digitálního modelu reliéfu a měřeními drobně tektonických struktur na povrchu (především pukliny a foliace).

Metody:

- (1) Stručná literární rešerše na téma: a) využití odporového profilování v kvartérmí geomorfologii s důrazem na krasové horniny; b) regionálně geologický přehled širšího okolí s důrazem na konicko – mladečské paleozoikum; c) geomorfologie javoříčského krasu;
- (2) přípravné a terénní práce: a) dohledání vrtné dokumentace ze zájmového území (Geofond) a vytipování vhodných 2D profilů; b) měření automatickým geoelektrickým systémem ARES na cca 5-10 profilech; c) měření orientace (kompas) drobných tektonických struktur na výchozech v masívu Špraňku;
- (3) laboratorní práce: a) zpracování odporových dat v programu RES2DINV a SURFER; b) zpracování / interpretace digitálního modelu reliéfu masívu Špraňku; c) konstrukce a interpretace geofyzikálních řezů, návaznost na vrtná data;

Práce bude obsahovat diskuzi a závěr.

Rozsah textové části: do 60 stran včetně grafických příloh a seznamu literatury
Rozsah grafických příloh převzaté ČB obrázky v rešeršní části textu (mapy, schémata, apod.), grafická dokumentace vrtných dat, profily zdánlivého měrného odporu ve formátu SURFER, digitální model reliéfu a jeho interpretace, mapa a stereogramy puklin a foliací, syntéza interpretovaných profilů (Corel Draw), příp. další

Seznam odborné literatury:

- ARES - uživatelská příručka v. 5.3, GF Instruments, s.r.o., 139 pp.
- ARES - Short guide for resistivity imaging, GF Instruments, s.r.o.
- Musset, A.E., Aftab Khan M. (2000) Looking into the Earth. An Introduction to Geological Geophysics. Cambridge Univ. Press., 470 pp.
- Milsom, J. (2008) Field Geophysics. Third Edition. J. Wiley and Sons Ltd. 232 pp.
- Očábska, Š (1986) Geofyzika. Základy fyziky Zeme a jej kozmického okolia. Slov. Pedag. Nakl. Bratislava. 366 pp.
- Witten, A.J. (2006) handbook of Geophysics and Archaeology. Equinox Publi. Ltd., 329 pp.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. (1990) Applied Geophysics. Second Edition. Cambridge Univ. Press. 770 pp.
- mezinárodní literatura krasové geomorfologie

další literatura dle potřeby a pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Datum zadání diplomové práce: 19.11.2013

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015

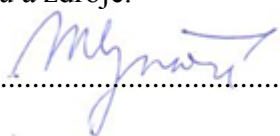

.....
doc. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 19. 11. 2013

Poděkování:

Prof. Mgr. Ondřejovi Bábkovi Dr. (vedoucímu diplomové práce) za cenné odborné rady a trpělivost. Děkuji kolegům ze speleologické skupiny ZO ČSS 7-09 Estavela, za maximální podporu, pomoc při měření profilů a cenné rady. A také musím poděkovat své rodině a hlavně svému synovi za jejich podporu a pochopení.

Prohlašuji,
že jsem zadanou diplomovou práci řešila zcela samostatně a uvedla jsem v ní veškerou
použitou literaturu a zdroje.

V Olomouci.....

OBSAH

ÚVOD	12
1. Vymezení zájmového území	13
2. Javoříčské jeskyně	14
2.1 Historie speleologie a mapování krasových oblastí	15
2.2 Historie výzkumů Javoříčských jeskyní	15
3. Geomorfologie zájmového území	16
3.1 Zábřežská vrchovina	17
3.2 Bouzovská vrchovina.....	18
3.3 Ludmírovská vrchovina	18
3.4 Javoříčko - mladečský kras.....	19
3.5 Krasové jevy v Javoříčském kras.....	19
3.5.1 Kras	19
3.5.2 Krasové jevy.....	19
3.5.3 Exokrasové jevy	20
3.5.4 Endokrasové jevy	22
4. Geologická charakteristika území	25
4.1 Stratigrafie a faciální vývoj	27
4.1.1 Faciální vývoj	27
4.1.2 Dražanský vývoj	27
4.1.3 Ludmírovský vývoj	28
4.1.4 Vývoj Moravského krasu	28
4.2 Tektonika konicko-mladečského devonu	29
4.3 Hydrologie	30
4.3.1 Vodní toky Javoříčko – mladečského krasu	30
4.3.2 Prameny a vyvěračky	31
4.3.3 Proudění ponorných toků	31
4.4 Vrtná prozkoumanost zájmového území.....	33
5. Geofyzika a její průzkumné metody	35
5.1 Geoelektrické metody.....	35
5.2 Elektrické vlastnosti hornin.....	36
5.3 Fyzikální vlastnosti odporových metod	37
5.4 Stejnoseměrné odporové metody	40
5.4.1 Uspořádání elektrod	40
5.4.2 Automatický geoelektrický systém ARES	42
5.5 Elektromagnetické metody.....	43
5.6 Elektromagnetické profilování.....	43
5.6.1 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)	44

5.6.2 Vícerozsahové elektromagnetické měřiče vodivosti CMD	44
6. Metodika.....	45
6.1. Použité přístroje pro měření.....	45
6.2 Měření v terénu.....	47
6.3 Softwarové zpracování.....	49
7. Výsledky	51
7.1 Měření metodou elektrické odporové tomografie (ERT).....	51
7.2 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)	58
8. Diskuze	60
9. Závěr.....	63
Literatura:.....	65

ÚVOD

Javoříčský kras je poměrně malé krasové území s výraznými povrchovými a podpovrchovými krasovými jevy (skalní brány, říčené závrtky, jeskynní systémy). Kras je nejlépe odkryt v masívu Špraňku, ve kterém je vyvinut i rozsáhlý systém Javoříčských jeskyní, který je předmětem intenzivního speleologického průzkumu, díky kterému zde v posledních dvou letech bylo objeveno několik nových částí, a průzkumy i nadále intenzivně pokračují. Také zde speleologická skupina Estavela celý systém mapuje a mapy převádí do 3D modelů.

V této práci se zabývám průzkumem mělkých podpovrchových krasových jevů metodou elektrické odporové tomografie (ERT) přístrojem ARES v Javoříčském krasu na vrchu Špraněk, ve kterém je známý jeskynní systém – Javoříčské jeskyně. Tento průzkum má pomoci při objevování nových částí jeskynního systému a vytvoření přesnějšího modelu jeskyní.

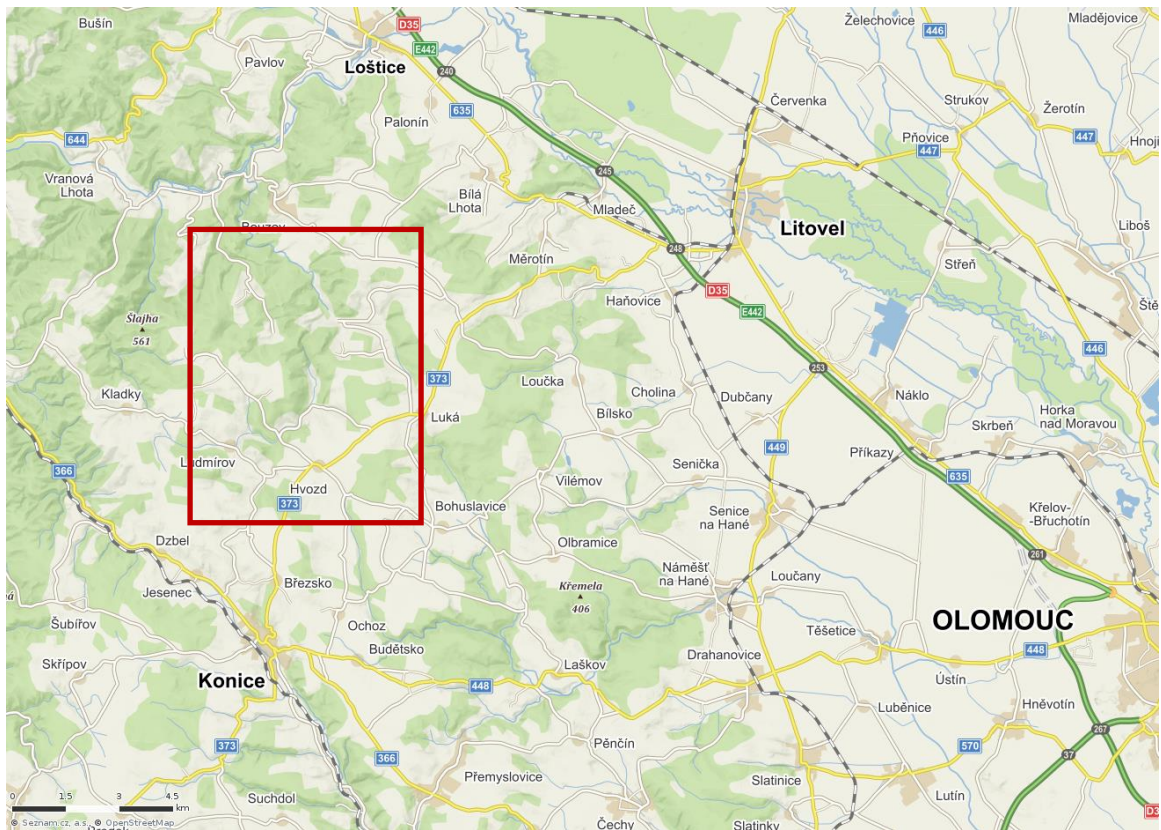
Jeskyně jsou součástí chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví, proto byl zvolen tento nedestruktivní způsob měření, který je pro tuto lokalitu nejvhodnější. O možnost zde provést toto měření jsme museli žádat u CHKO Litovelské Pomoraví.

Cílem diplomové práce bylo provést mělké geofyzikální měření, které by pomohlo odhalit neznámé jeskynní systémy. Ty zde předpokládal již Doc. RNDr. Vladimír Panoš CSc. při svém bádání v padesátých a šedesátých letech dvacátého století. Při současných speleologických průzkumech se zatím jeho předpoklady potvrzují, díky novým objevům v posledních čtyřech letech, které jsou ve směru a místě, kde je docent Panoš předpokládal. Měření takového rozsahu zde ještě nikdy neproběhlo, neboť se jedná o chráněnou krajinnou oblast. Díky rozsáhlému měření jeskyní v posledních letech a novým objevům se ale toto měření zdá být dokonce nutností pro další výzkumy. Tato měření v sérii 2D profilů elektrické odporové tomografie by měly tedy identifikovat průběhy dosud neznámých jeskynních prostor a doplnit poznatky o již známém jeskynním systému, který je speleologickou skupinou ZO ČSS 7-09 Estavela, v téměř celé jeho délce, zmapován. Tímto spojením vznikne velice přesný a jedinečný model Javoříčských jeskyní a snad i pomůže při dalším objevování nových částí těchto jeskyní, které jsou všeobecně považovány za nejkrásnější u nás.

1. Vymezení zájmového území

Javoříčský kras leží na střední Moravě v severozápadní části Drahanské vrchoviny, přibližně 30 km jihovýchodně od Svitav a 35 km severozápadně od Olomouce (obr. 1). Kras vymezuje několik vápencových výchozů v souvrství konicko - mladečského devonu, rozkládající se na jih a na jihozápad od Mladečského krasu mezi městy Konicí a Litovlí (Panoš a Zikmund 1955). Území je protáhlého tvar ve směru JZ – SV. Ve střední části okolo Vojtěchova se zužuje. Severozápadní část Javoříčského krasu se rozkládá mezi Vojtěchovem, Javoříčkem a Kadeřínem, jihozápadní část mezi Jesencem, Vojtěchovem a Ludmírovem (Panoš a Zikmund 1955).

Krasové tvary v okolí Javoříčka jsou v naší literatuře nazývány „Javoříčský kras“. Označují se tak vápencové ostrůvky o celkové rozloze 5,93 km² v území odvodňovaném potokem Špraňkem mezi obcemi Střemeníčko a Ponikev (Loučková - Michovská 1964). Jeskyně Javoříčko leží jihozápadně od osady Javoříčko v severním svahu vápencového vrchu Špraňku. (Loučková - Michovská 1962).



Obr. 1 - Mapa s vyznačením Javoříčského krasu (www1).

2. Javoříčské jeskyně

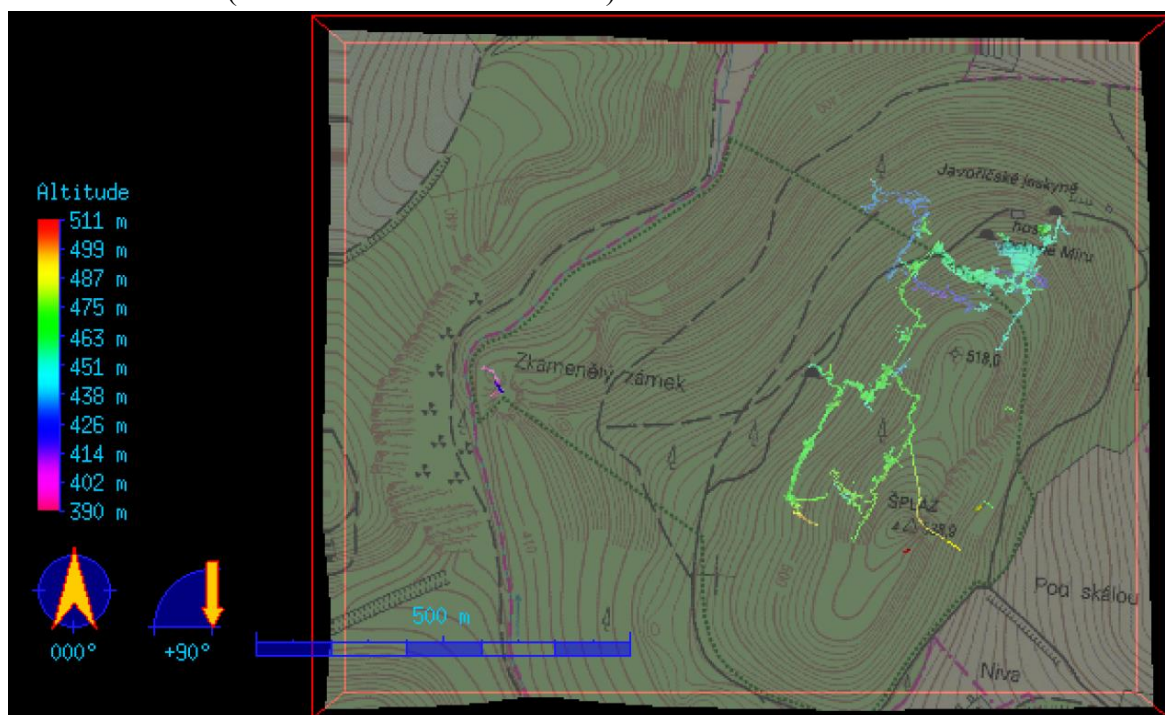
Jeskyně Javoříčko (obr. 2) leží v severním svahu vápencového vrchu Špraňku (obr. 2), jihozápadně od osady Javoříčko, v severní části Dražanské vrchoviny. Typem jsou to říční jeskyně dnes opuštěné vodním tokem. Větší jeskynní prostory vznikly při pozdějším řícení, ke kterému došlo po sestoupení vodního toku do nižších pater. Celá jeskyně je charakteristická svojí velkou vertikální členitostí a komínovitými propastmi spojující jednotlivá patra (Loučková - Michovská 1962).

Území nad Javoříčskými jeskyněmi tvoří krátké hřbety a vrcholy se skalnatými svahy vrchu Špraněk (539 m n. m.), částečně vystupujícími nad okolní reliéf na nekrasových horninách. Vápence Javoříčského krasu nepřesahují rozlohu 6 km² (Morávek 2007).

Zdejší propast Zátvořici znali pravděpodobně již pravěcí lovci a starou Svěcenou díru znali lidé určitě už několik století před objevením samotného jeskynního systému. Jedna z prvních informací o jeskyni je od anonymního autora ve Světozoru z roku 1873 - „velkou skalní jeskyni u Březiny s domkem, zakrývajícím vchod“ (Skutil a Skutil 1951).

První bližší informace o Javoříčských jeskyních se zmiňují pouze o Svěcené díře, protože je nejdéle známou jeskynní částí. Z jejího dna v roce 1938 byla objevena cesta k další krápníkové jeskyni, o níž jsou zmínky pod různými jmény (Loučková - Michovská 1962).

Název „jeskyně Javoříčko“ uvedl v roce 1950 J. Kinský s odkazem na osadu, která je svým tragickým osudem všeobecně známá. Tento název se všeobecně vžil a je používán do dnešních dnů (Loučková - Michovská 1962).



Obr. 2 - 3D model Javoříčských jeskyní (Estavela 2015, nepublikováno).

2.1 Historie speleologie a mapování krasových oblastí

Následující informace pocházejí z Přichystala a Náplavy (1995).

Předpokládá se, že historicky prvním speleologem byl král Salmanassar III., který vyrazil v roce 852 př. n. l. se svým dvorním doprovodem zjistit, odkud vytéká řeka Eufrat. V iráckých horách objevil jeden ze zdrojů řeky, což byl krasový vývěr, který vytékal z krápníkových jeskyní. První písemné zmínky o jeskyních ležících na území České republiky jsou z roku 1037 v Břetislavské donanční listině Sázavskému klášteřu. První zpráva, která se dá posoudit jako „bádání“ v jeskyních je rukopis Antonia Walle z Krakova, který v roce 1430 napsal o jeskyni Na Špičáku u Supíkovice. V sedmáctém století vzniká touha po poznání a také po jeskynním bádání. V roce 1609 vzniká spis Jeskyně v Křtinském údolí od lékaře Rudolfa II., A. Boëtius, ve kterém vysvětluje podstatu tvorby krápníků. O rok později popsal jeskyni Sv. Ivana v Českém krasu německý lékař Hippolit Guaranonimus.

Za první kartografický údaj v historii naší speleologie lze pokládat zakres Hranické propasti na Komenského mapě Moravy. V roce 1627 tuto mapu vydal holandský rytec a nakladatel N. I. Piscatorem. V osmáctém století badatel Johann Antonín Nagela, císařský dvorní fyzik a matematik, důkladně procestoval Moravský kras a své výzkumy sepsal v roce 1749 v prvním odborném speleologickém spisu, věnovaném císaři Františku I. Spis byl doplněn malbami a mapami od inženýra Karla Beduzziho, stavitele rájeckého zámku.

2.2 Historie výzkumů Javoříčských jeskyní

Jeskyně objevil v roce 1937 lesní správce Vojtěch Švec z Javoříčka. Se spolupracovníky do podzemí pronikl zavaleným komínem. Pohádkové jeskyně byly objeveny později a postupně byly objevovány i další prostory. V roce 1952 byly jeskyně otevřeny pro veřejnost. Pracovní skupina pod vedením doktora Vladimíra Panoše z Kabinetu pro geomorfologii ČSAV objevila v roce 1958 v Javoříčských jeskyních další systém pojmenovaný Jeskyně Míru, které se zpřístupnily v roce 1961 (Kučera 1975). V 50. a 60. letech dvacátého století zde byly prováděny dílčí i rozsáhlé výzkumy, jejichž výsledkem bylo komplexní přírodovědné zpracování a hlavně celá řada pozoruhodných speleologických objevů (Morávek 2007). V roce 1959 se zde prováděl výzkum jeskynních sedimentů. Byly odebrány vzorky sedimentů pro zrnitostní a petrografické studium, týkajících se otázek geneze sedimentů a tím i geneze jeskynních prostor. Mikrofaunu v těchto jeskynních sedimentech zkoumal dr. R. Musil z Moravského muzea (Pelíšek 1960). Vědecké studie zde v posledních letech prováděl doktor V. Panoš (1962, 1990, 1991) a bylo napsáno několik diplomových prací studentů Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci, jinak byla Javoříčským jeskynním a okolí věnována minimální publikační pozornost. Ložiskové geologické průzkumy vápenců v okolí zde prováděl např. J. Crha (1979), L. Lang (1979), J. Otava (1995) aj. Probíhaly zde rozsáhlé amatérské speleologické průzkumy a výzkumy, prováděné v celé této krasové oblasti od 70. let dvacátého století několika speleologickými skupinami České speleologické společnosti. Doktor V. Panoš zde dělal barvicí pokusy v roce 1962, kterými poprvé prokázal spojitost

vápencových. Také díky tomu objevil rozsáhlou krasovou zvržen mezi Mladčí, Javoříčkem a Litovlí sloužící dnes jako významný zdroj pitné vody pro města Olomouc a Litovel (Morávek 2007). Archeologický a paleontologický výzkum v jeskyních Javoříčského krasu prováděl J. Knies, J. Blekta, J. Skutil a A. Stehlík. Kniesovy nálezy z Průchodnice I jsou nejznámější a autor je řadí do magdalénienu. I další výzkumník - J. Skutil své nálezy z Velké jezevčí díry u Kadeřína a z protějšího Zkamenělého zámku řadí do období magdalénienu. J. Skutil, také předpokládal, že se v jeskyni ve Zkamenělém zámku vyskytoval magdalénienský člověk i když nenalezl jeho přímé pozůstatky (Loučková - Michovská 1964). Probíhá zde výzkum a sčítání netopýrů a to již od roku 1856, kdy bylo předáno 13 ks netopýra ke studiu F. A. Kolenatimu z „vápencové jeskyně u Bouzova“ (Remeš 1927 in Koudelka a Reiter 2001). Systematický výzkum netopýrů začal v letech 1940 -1942 a bezprostředně navázal na objevení rozsáhlejších jeskynních prostor v roce 1938 (Kostroň 1944). J. Gaisler, V. Hanák a Z. Rumler v padesátých až sedmdesátých letech dvacátého století sledovali výskyt netopýrů v tzv. přístupné části jeskyní (Gaisler 1962) V této době zde bylo prováděno i kroužkování netopýrů (Hanák, et al. 1962). Sčítání je prováděno v celém jeskynním systému od roku 1989 (Koudelka 1996). Všechny údaje o netopýrech byly prováděny metodou prostého vizuálního sčítání, při kterém nedošlo k přímému rušení hibernujících netopýrů (Koudelka a Reiter 2001).

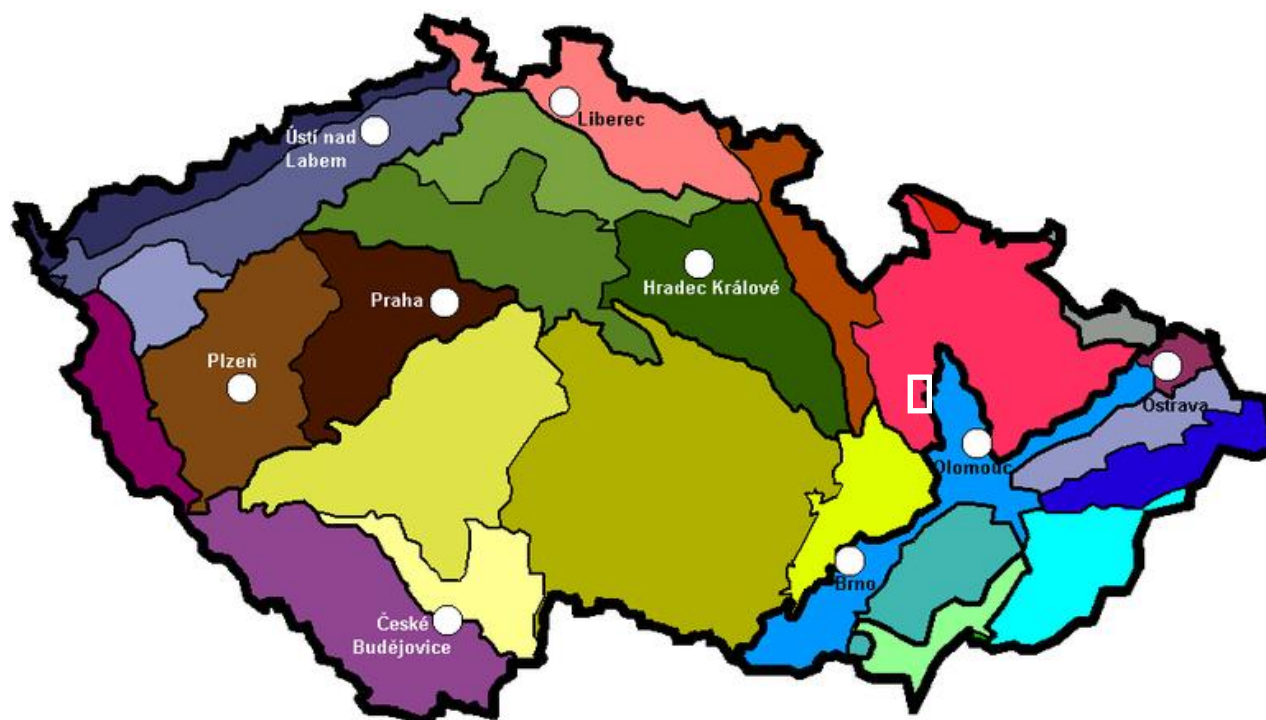
3. Geomorfologie zájmového území

Z hlediska geomorfologického patří území Javoříčského krasu k východní části České Vysočiny, do Jesenické oblasti, která je součástí Krkonošsko-jesenické soustavy (br. 3) (Pučálka, et al. 2001).

Zájmové území v rámci regionálního geomorfologického členění ČR :

Systém	Hercynský
Provincie	Česká vysočina
Subprovincie	Krkonošsko- jesenická
Oblast	Jesenická
Celek	Zábřežská vrchovina
Podcelek	Bouzovská vrchovina
Okrsek	Ludmírovská vrchovina

(Demek 1987).



HERCYNÝ SYSTÉM	HERCYNÁ POHOŘÍ	Česká vysočina	Šumavská subprovincie	Českoleská oblast			
				Šumavská hornatina			
				Středočeská pahorkatina			
			Česko-moravská subprovincie	Jihočeské pánev			
				Českomoravská vrchovina			
			Krušnohorská subprovincie	Erněnská vrchovina			
				Krušnohorská hornatina			
Podkrušnohorská oblast							
Krkonosko-jesenická subprovincie	Karlovarská vrchovina						
	Krkonoská oblast						
	Orlická oblast						
	Jesenická oblast						
Poberounská subprovincie	Krkonosko-jesenické podhůří						
Česká tabule	Brdská oblast						
	Plzeňská pahorkatina						
	Severočeská tabule						
Epihercynské nížiny	Středoevropská nížina	Středopolské nížiny	Slezská nížina				
		Vněkarpatské sníženiny	Západní Vněkarpatské sníženiny				
ALPSKO-HIMALÁJSKÝ SYSTÉM	KARPATY	Západní Karpaty	Vnější Západní Karpaty	Severní Vněkarpatské sníženiny			
				Jihomoravské Karpaty			
			PANONSKÁ PÁNEV	Západopanonská pánev	Videňská pánev	Středomoravské Karpaty	
						Slovensko-moravské Karpaty	
						Západobeskydské podhůří	
						Západní Beskydy	
			Jihomoravská pánev				
			Záhorská nížina				

Obr. 3 - Geomorfologické členění České republik. Bílým čtvercem na mapě je vyznačeno území Javoříčského krasu (Demek 1987).

3.1 Zábřežská vrchovina

Zábřežskou vrchovinu tvoří pruh vrchovin, rozkládající se na jihu od bušínské poruchy, mezi Boskovickou brázdou a Hornomoravským úvalem, až po údolí Romže. Dále ji tvoří Drozdovské, Mírovské a Bouzovské vrchoviny. Ty jsou navzájem odděleny hlubokými průlomovými údolními Moravské Sázavy a Třebůvky (Demek 1965).

Zábřežská vrchovina je členitá a v Jesenické podsoustavě má plochou 736,97 km² a střední výšku 426,5 m n. m. Vrchoviny v severní části jsou tvořeny krystalickými břidlicemi svinovsko - vranovského krystalinika, zábřežské a novoměstské skupiny. Střední část tvoří holoroviny a sedimenty, které se vyskytují převážně podél vodních toků. Vrchovina v západní části je částečně pokryta křídovými a neogenními sedimenty. Bouzovská vrchovina leží na jihu, kde se vyskytují projevy krasovění, např. Javoříčko, Třesín, Mladeč. Celou vrchovinou protékají dva hlavní toky Moravské Sázavy a Třebůvky ústící do Moravy (Demek a Mackovčín 2006).

3.2 Bouzovská vrchovina

Bouzovská vrchovina je jižní částí Zábřežské vrchoviny, je členitá, složená především z devonských a spodnokarbonských usazenin s ostrůvkem kladeckých fylitů a neogenních usazenin. Povrch Bouzovské vrchoviny, který je plochý, se sklání z 600 m n. m. na severozápadě na 300 m n. m. na jihovýchodě. Střední částí se zbytky zarovnaného povrchu je prořezaná vodními toky, tvořícími hluboká údolí (Demek 1987).

Bouzovská vrchovina je výrazně omezena ze všech stran. Na západě a severozápadě je hluboce zaříznuté údolí Třebůvky dosahující výšek až 550 m n. m. Bouzovská vrchovina má členitý reliéf ovlivněn starší i mladou tektonikou a vertikální erozí dolní Třebůvky a jejich pravostranných přítoků. Nápadné jsou částečně rozčleněné sečné povrchy, vytvořené hloubkovou erozí, které často zarovnávají kulmské horniny v údolí Třebůvky a ve vnitřních kotlinách i s jejich neogenním (tortonským) pokryvem (Panoš 1962).

Hrásti jsou zde tvořeny (Velkým Kosířem 442 m n. m.) a (Třesínem 345 m n. m.). Zahálkovy Skalky (610 m) jsou nejvyšším bodem v Ludmírovské vrchovině (Demek, et al. 1987).

3.3 Ludmírovská vrchovina

Ludmírovská vrchovina je severozápadní částí Bouzovské vrchoviny. Přítoky Třebůvky prořezávají Ludmírovskou vrchovinu svými údolními. Ludmírovskou vrchovinu tvoří hlavně spodnokarbonské zvrásněné usazeniny s ostrůvky devonských hornin (především vápenců), a neogenní usazeniny, které se vyskytují pouze místy. Střední část má plochý povrch, okraje rozřezávají hluboká údolí vodních toků. Zkrasovělé devonské vápence zde tvoří vrchoły a krátké hřebeny se skalnatými svahy. Zkrasovění dosahuje velkých hloubek a krasové odvodňování probíhá i pod nekrasovými usazeninami, které směřuje k Mohelnické brázdě a k Hornomoravskému úvalu (Demek 1987). Významné body jsou (Rudka 589 m n. m.), (Bradlo 584 m n. m.), (Špláz 539 m n. m.), (Průchodnice 534 m n. m.), (Boučí 521 m n. m.), (Špraněk 518 m n. m.), (Rampach 418 m n. m.) a (Třesín 345 m n. m.). Krajina je tvořena mozaikou polí a luk. Vyšší polohy jsou porostlé smrkovými lesíky a nížiny jsou porostlé lesy především s duby a habry. V okolí Špraňku rostou bukové lesy s javorem klenem (Demek 1987).

3.4 Javoříčko - mladečský kras

Javoříčko - mladečský kras je typický reliéfem, který je silně ovlivněný geologickou stavbou, kde se vyskytují plošně omezené na povrchu vystupující izolované výchozy vápencových hornin. Vápencové výchozy vystupují v elevační struktuře směru SSV - JJZ až SV - JZ. Nejvyšší je Javoříčská vápencová kra, která leží v nejjižnější části Javoříčko - mladečského krasu. Vápence vytváří převážně krátké hřbety, na kterých vystupují vrcholy, nebo omezeně i vrcholové plošiny (např. Třesín u Mladče). Reliéf je rozdělený hlubokými údolními sítěmi, kde jsou běžné projevy krasového pirátství. Proto jsou zde typická vysoko položená pohřbená údolí, vyplněna sedimenty. Zkrasování vápenců je intenzivní a probíhalo v několika fázích, které byly ovlivněny vývojem údolních sítí (Bosák 2006).

Vápencové kry jsou rozděleny hlubokými údolními sítěmi Javoříčky do špraněcké a střemeničskorachavské skupiny. Špraněckou skupinu na jihozápadě omezuje kaňonovité údolí Špraňku (ve směru SSZ - JJV a SV - JZ) které ji rozděluje na východě na špraněcký hřbet (Špraňk 539 m n. m.) a na kadeřínský hřbet na západě (Boučí 521 m n. m. a Homole 514 m n. m.). V celé oblasti Špraněcké skupiny jsou nejvýznamnějšími krasové jeskyně, systém Javoříčských jeskyní (Bosák 2006).

3.5 Krasové jevy v Javoříčském kras

3.5.1 Kras

Krasem se označuje území, na kterém jsou příznačné reliéfové tvary na povrchu i v podzemí a s typickým režimem podzemních i povrchových vod, který způsobuje hlavně vyšší stupněm rozpustnosti hornin přírodními vodami. Díky rozpouštění tzv. krasových hornin (hlavně dolomitů, vápenců) probíhá vertikální odvodňování a vody z povrchu terénu se propadají do podzemí, kde většinou tvoří rozvětvenou síť podzemních toků (Demek, et al. 1976).

3.5.2 Krasové jevy

V okolí Javoříčka se krasové tvary shrnují pod názvem „Javoříčský kras“. Patří sem vápencové ostrůvky na území, které odvodňuje potok Špraňk mezi obcemi Střemeničko a Ponikví o celkové rozloze 5,93 km² (Loučková - Michovská 1964). Vápencové ostrůvky se nijak nápadně neodlišují od svého okolí, které je nekrasové. Vzniku povrchových krasových jevů napomáhá dostatečná čistota a mocnost vápencového souvrství a velmi četné tektonické rozpukání vápenců. Za nejkvalitnější se považují světlé korálové vápence, které mají maximální obsah uhličitánu vápenatého pohyblivého se v hodnotách 97-98,69 %, s maximem 1 % MgCO₃, při nerozpustném zbytku kolem 0,5-1 %. Takové vápence vytváří východní část Špraňku. V těchto vápencích vzniklo největší množství krasových jevů. Srážkové vody většinou odtékají po prudkých svazích a nestihnou se tedy vsáknout do podloží. Díky tomu jsou povrchové krasové jevy netypické. V podzemí probíhá krasový proces intenzivněji, protože zde probíhá v neomezené a stále stejné míře (Loučková - Michovská 1964).

Javoříčský kras je krasem neúplným, vytvořeným v sedimentárních vápencích mající omezenou rozlohou vápencového území. Převládají zde jeskyně typicky puklinové,

vzniklé korozí vod, které prosakují podél predisponujících puklin. Jeskyně, které leží mělce pod povrchem, mají ve stěnách ostré výstupky, které prozrazují účinky zimního promrzání skal. Rozšiřování těchto jeskyní je výsledkem převládajících mechanických vlivů nad vlivy chemickými. Hluběji ležící jeskyně Javoříčského krasu mají typický charakter korozních dutin s ohlazenými stěnami. Větší jeskyně zde vyhloubily vodní toky, o čemž svědčí časté erozní a eforační tvary či štěrkové nánosy (Loučková - Michovská 1964).

3.5.3 Exokrasové jevy

Exokrasové jevy vznikají ve vrchních vrstvách hornin, které jsou rozpustné a jsou typické svojí specifickou hydrologií. Pokrývají je většinou sedimenty různého původu (Kunský 1950).

Škrapy vznikají díky rozpouštění krasových hornin. Nejčastějšími tvary škrapů jsou žlábkové, puklinové a stružkové. Rozměry jsou od několika cm až do 20 m. Škrapovými balvany nazýváme úlomky hornin se škrapy, vzácnější jsou škrapové stoly (Demek, et al. 1976). Škrapy jsou nazývány izolované skalky. Škrapovými poli označujeme soubory škrapů (Kunský 1950).

V Javoříčském krasu jsou škrapy na vrcholku Špraňku, ty ovšem nejsou zcela vyvinuté. Dále jsou škrapy na severovýchodním výběžku severně od Javoříčka, na temeni vápencového vrchu, kde mají příkré vápencové skalky tvar hřebenáčů a dosahují výšek až 4 m. Jednotlivé škrapové skalky mají rýhování převážně ve směru SV-JZ což odpovídá směru regionální foliace. Na Holém vrchu jsou nejtypičtějším tvarem obecné škrapy a na jeho jižním svahu, nad obcí Střemeničko, je malé škrapové pole (Loučková – Michovská 1964).

*Závrt*y jsou nazývány sníženiny, které jsou na povrchu krasového území a mají trychtýřovitý nebo nepravidelný tvar. Závrt y jsou počátečními místy krasového vodního oběhu, v kterých většinou mizí povrchová voda do podzemí. Nejčastěji jsou vázány na pukliny a zlomy, na kterých vytvářejí závrtové řady. Závrtová pole vznikají nahromaděním závrtů. Říčené závrt y vznikají zřícením stropů podpovrchových dutin (jeskyní) nebo také rozpadem stěn rozšířených puklin (krasových komínů). Úvala je sníženina, která je vytvořena spojením několika závrtů (Demek, et al. 1976).

Vývojově se závrt y dělí na:

- prvotní - zavřené, končící slepě v hloubkách rozleptanými trhlinami. Ty se dělí na mísovitě, nálevkovitě a zvláštní typ bogaz (struga) – jsou to prohlubně často okolo 100 m dlouhé (někdy i více) a maximálně 8 m široké. Zavřené závrt y jsou závrt y se sedimentární výplní, které mohou být vyplněny alochtonními sedimenty, které vznikají mimo závrt a do závrtu jsou zaneseny řekou, ledovcem nebo větrem a autochtonními sedimenty, které pocházející z místních hornin a jsou eluviální, nebo mírně přeplavené.

- druhotné – zející, do hloubky vyústující komínem, nebo i jinak, a související s podzemními dutinami. Dělí se na závrt y, závrtové komíny, studňovité závrt y, říčené závrt y a propasti (Kunský 1950).

Skupina závrťů je na jižním okraji Javoříčského krasu v lesní trati v horní části mělkého žlebu mezi Rudkou a Vychoňovou horou. Podle geologické mapy je v tomto místě pokryvný útvar, který pokrývá hranici mezi vápenci a sousedními diabasy. Propadlý důl je největším z těchto závrťů mající okrouhlý tvar 2,5 m hluboký a v průměru 5 m široký. Na okraji lesa, v těsném sousedství Propadlého dolu, jsou ještě dva menší závrty. Západně od nich jsou okrouhlé deprese, které mají průměr 2- 5 m, hluboké jsou asi 0,5 m a spojené jsou odtokovými rýhami (Loučková - Michovská 1964). V údolí říčky Ponikve leží tři závrty. První z nich je aktivním ponorem Ponikve, který je vlevo od silničního mostu, nad údolím Ponikve u cesty z Hvozdu do Ludmírova. Je tvořen depresí 15 x 7 m velikou a v závěru 2,5 m hlubokou. Vpravo od stejného silničního mostu leží další dva závrty. Větší ponor je vpravo u údolního svahu a je velký 37 x 20m. Na dně tohoto závrty je nejstarší ponor Ponikve. Náplavový závrť je menší a velmi mladý, ležící v údolí říčky Javoříčky, nedaleko soutoku se Špraňkem, vlevo od cesty vedoucí z Javoříčka do Bouzova. Je tvořen prohlubní o velikosti 1,5 x 2 m, hluboký je 1,5 m s příkrými až svislými stěnami. Na vrchu Průchodnice je skalní závrť, který je západně od jihozápadního vchodu do jeskyně Průchodnice III (Loučková - Michovská 1964).

Propasti jsou vytvářeny rozšířením komínů dosujících značných hloubek. Většinou jsou zakončeny svislými nebo horizontálními jeskyněmi. Propasti typu light hole vznikají řícením stropů jeskyní a mají svislé nebo převislé stěny (Demek, et al. 1976).

Mezi propastí typu light hole patří Zátvořice . Dno Zátvořice pokrývá suťový kužel, který se svým vrcholem opírá o jihozápadní skalní stěnu, která suťový kužel pouze o 5 m převyšuje. Největší hloubka Zátvořice je nad patou suťového kuželu 14 m. Mezi říčené závrty patří také ponory Špraňku pod Zkamenělým zámekem a „U smrku“, na jejich dně jsou otevřené skalní pukliny (Loučková - Michovská 1964).

Skalní brány a okna jsou skalní perforace. Vývoj bran a oken je spojen většinou se zvětráváním, oddrolováním, erozí, zvlhčováním a vysoušením (krystalizace solí) a promrzáním. Skalní brány mají větší rozměry než skalní okna a dosahují až k úpatí skály. Skalní okna nedosahující úpatí skály (Bosák 2009).

U úpatí Zátvořice je zachována skalní brána, která vede na dno propasti. V Javoříčském krasu je největší skalní branou. Zátvořickou branou dříve vytékal podzemní tok, po kterém nebyly smazány stopy ani po řícení, ke kterému zde došlo (Loučková - Michovská 1964). Ve strmé skalní stěně na pravém břehu nad údolím Špraňku je Zkamenělý zámek, ve kterém je skalní brána procházející skalou ve výšce 410,75 m n. m., tj. 25 m nad hladinou potoka Špraňek. Široká je 8,5 m a vysoká 8 m. Strop je tvořen mohutným zaklíněným blokem. V nosném pilíři je dvojité skalní okno elipsovitého průřezu 1 x 1,3 m, které bylo vytvořeno vodním tokem. V protější stěně je evorzní výklenek okrouhlého tvaru 1,2 m hluboký. Zkamenělý zámek je považován za zbytek původní slepé závěrové stěny Špraňeckého údolí. Tento názor dokládají evorzní výklenky i skalní okna, která jsou ve stěnách skalní brány a jsou zřejmě částí chodeb dřívějšího ponoru. Samotná skalní brána ovšem vznikla řícením podél puklin a je mladší než skalní okna. Skalní okna vznikla v době, kdy vody Špraňku tekly o 25 m výše než v

současnosti. To odpovídá třetímu (spodnímu) patru jeskynního systému (Loučková - Michovská 1964).

Ponory jsou místa s vodou mizející do podzemí (Demek, et al. 1976).

Ponory v Javoříčském krasu jsou trojího typu. Prvním typem jsou ponory, které jsou na dnech závrťů vznikající pozvolným splavováním povrchových sedimentů do podzemních vodních cest. K tomuto typu patří ponory Ponikve a Březinského potoka. Druhý typ představují otevřené ponory Špraňku, pod Zkamenělým zámekem a U smrku, ležící pod skalními výchozy na břehu potoka. Třetím typem jsou ponory, na které není vázán vznik závrťů, ani zejících puklin. V těchto ponorech se voda ztrácí do podzemí zcela nepozorovatelně. Tyto ponory jsou v korytě Špraňku mezi Vojtěchovem a soutokem s Javoříčkou. Jejich poloha se dá určit jen při nižším vodním stavu, při kterém je úbytek vody v korytě za ponorem patrný (Loučková - Michovská 1964).

Vývěry jsou výchozy, kde podzemní krasové vody vytékají na povrch (Demek, et al. 1976).

V Javoříčském krasu je pět stálých krasových pramenů. Dva jsou v údolí Špraňku a Ponikve a dva prameny jsou jižně od Vojtěchova v údolí Špraňku. Pátý pramenem vyvěrá pod Javoříčkou. V Javoříčském krasu je jediný občasný pramen, vývěr Ponikve (Loučková - Michovská 1964).

3.5.4 Endokrasové jevy

Endokrasové jevy se tvoří v podzemí. Vznikají erozí vápence a chemickým rozpouštěním. Poté je sekundárně vyplňují krasové nebo nekrasové hmoty. Endokrasy se dělí na dva typy:

- primární - jeskyně, které vznikly erozí, korozí nebo smíšenou činností obou pochodů
- sekundární - tvary vznikající až po vytvoření jeskyně (Kunský 1950).

Jeskyně vznikají buď na svazích a pak je nazýváme svahovými nebo jsou to podzemní dutiny, které se tvoří ve vztahu k údolím a probíhají v úrovni říčních tras a ty nazýváme jeskyněmi říčními. Jeskyně související s ponory se nazývají ponorové jeskyně (Demek, et al. 1976).

Krasovými jeskyněmi jsou dutiny s turbulentním prouděním vody, které umožňují rychlý pohyb podzemních vod a zrychlené rozpouštění matečné horniny. Musejí v systému spojovat místa vstupu a místa výstupu podzemních vod a mají průměr alespoň 5 – 15 mm. Z genetického hlediska se dělí:

- vadózní jeskyně vznikající v zóně vertikální cirkulace podzemních vod. Vody se zde pohybují gravitací a kapilárními silami
- freatické jeskyně vznikají při hladině podzemní vody nebo pod ní a celý svůj profil mají vyplněný vodou
- jeskyně hypogenní (hlubinné) jsou zvláštním typem freatické jeskyně. Tvoří je vody pocházející z hloubky zemské kůry, nebo jsou vytvořeny při hluboké cirkulaci povrchových vod (Bosák 2009).

Pseudokrasové jeskyně vznikají v jakékoliv hornině a to i včetně hornin krasových. Na jejich vzniku se rozpouštění nepodílí anebo pouze zanedbatelně.

Dělí se na: - syngenetické pseudokrasové jeskyně vznikající zároveň s tvorbou hornin. Vyvinuty bývají především ve vulkanických horninách (lávách). Jsou to lávové jeskyně a lávové bublinové jeskyně.

- epigenetické pseudokrasové jeskyně vznikají až po vzniku okolní horniny a to její destrukcí. Tvoří se hlavně v pevných horninách (pískovec, rula, žula apod.) především působením gravitačních procesů – řícením, poklesy, rozpady a činnosti proudící vody (výmoly). Jsou to jeskynní výklenky, puklinové jeskyně, rozsedlinové jeskyně, vrstevní jeskyně, suťové jeskyně a kombinované jeskyně (Bosák 2009).

V Javoříčském krasu je velké množství jeskyní (obr. 4), většinou jsou ale malé, svahové a puklinové. Jsou zde také typické vodní jeskyně i jeskyně původní vývěrové nebo ponorové (Loučková - Michovská 1964). Vzhledem k velkému množství malých jeskyní v okolí, uvádím pouze ty, které jsou do dnešních dní zachované a alespoň částečně přístupné:

Javoříčské jeskyně leží ve vápencovém vrchu Špraňku. Jsou to říční jeskyně, které jsou dnes opuštěné vodním tokem. Větší prostory vznikly díky pozdějšímu řícení, ke kterému došlo po sestoupení vodního toku do nižších pater. Javoříčské jeskyně jsou typické svojí velkou vertikální členitostí a komínovými propastmi spojující jednotlivá patra (Jirková 1981).

Jeskyně Za Hájovnou, která je na jižním svahu kopce Paní Hora, má vchod ve výšce 20 m nad úrovní potoka. Tvoří ji dvě horizontálně probíhající větve Vykopané a Narozeninové chodby. Obě větve se vyvíjely samostatně. I v této jeskyni je typická velká vertikální členitost (Musil 2005).

Paničtí díra leží ve východním svahu potoka Špraňku. Do jeskyně ústí 12 m hluboká šikmá propast, která je založena na puklinách tvořících dno i strop propasti. Pracovníci z výzkumné skupiny Kabinetu pro geomorfologii v Brně, dokázali sledováním průvanů, souvislost Paničtí díry s Propast'ovitou jeskyní, kterou se dostali do svrchního patra jeskyně Javoříčko (Loučková - Michovská 1964).

Jeskyně Na Šplázu je ve východní části svahu Špraňku. Těžbou zde byla odkryta propáستka 4 m hluboká. Na jejím dně leží mírně zprohýbaná chodbička. Na částečně zachovalém stropě je miniaturní vodní korýtko, stěny jsou suché a ohlazené. Po 8 m se chodbička zužuje na 20 cm (Loučková - Michovská 1964).

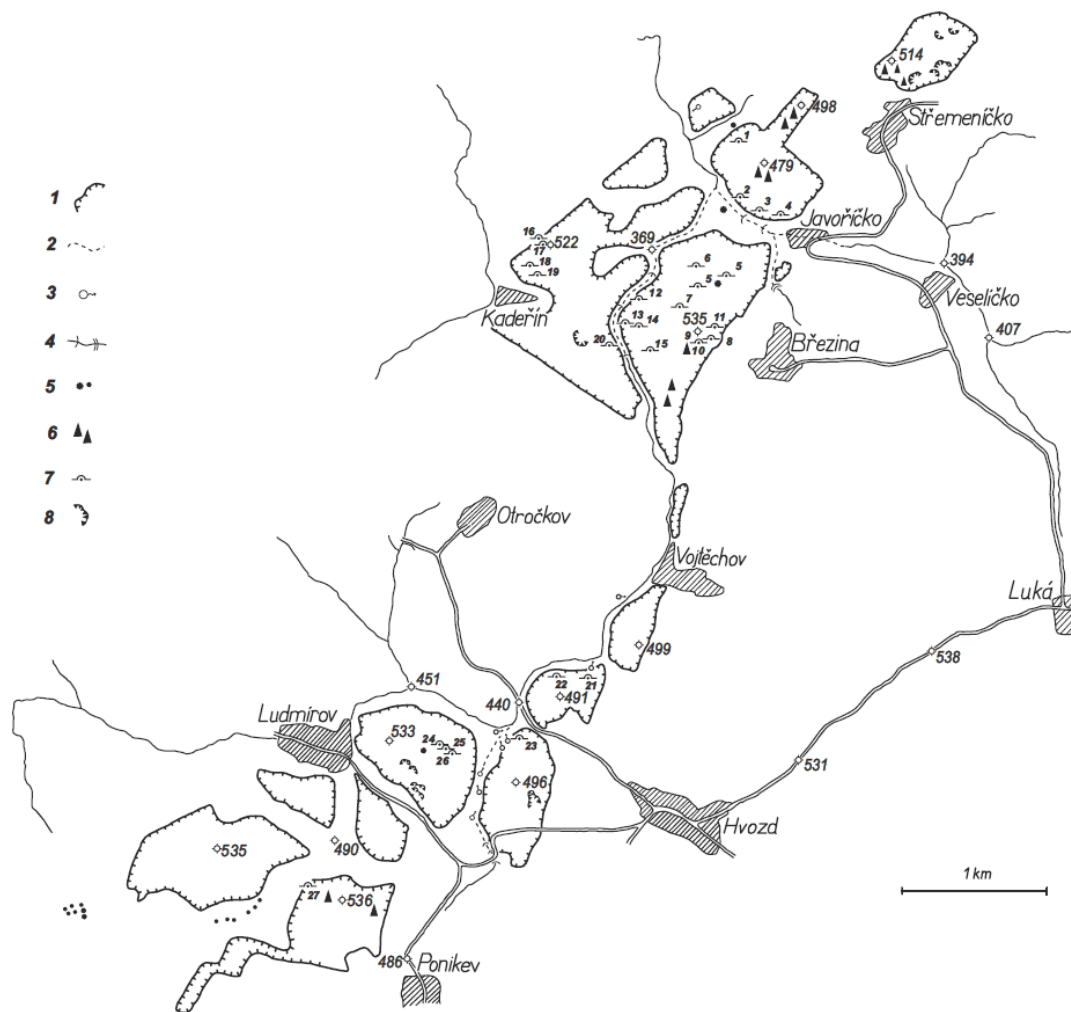
Jeskyně č. 11 leží ve východním svahu Špraňku u cesty z Březiny směrem k turistické chatě „Jeskyňka“. Vchod je vytvořen uměle prokopeným komínem 2,5 m hlubokým. Jeskyně vznikla na dvou na sebe kolmých puklinách (Loučková - Michovská 1964).

Jeskyně ve Zkamenělém zámku leží v západním svahu vrchu Špraňku. Vchod je 18 m nad hladinou Špraňku. Vstupní chodba je spojena s vlastními podzemními prostory Zkamenělého zámku uměle uvolněnou úzkou, esovitě zahnutou chodbičkou (Loučková - Michovská 1964).

Průchodnice leží východně od obce Ludmírova mezi suchým žlebem Ponikve a údolím Ludmírovského potoka. Jsou zde tři typicky puklinové jeskyně. Průchodnice I. je dlouhá 11 m se silně rozpukanými stěnami a ostrými hranami. Průchodnice II. je chodba

končící slepě. Dlouhá je 12,5 m. Průchodnice III. je největší. Má tři vchody a je 23 m dlouhá. Dva vchody ústí do hlavní chodby, třetí chodba je východem z boční chodbičky. V jeskyni není sintrová výzdoba. Stěny jsou rozpučkané a místy jsou na stěnách škrapy cca 2 cm hluboké (Loučková - Michovská 1964).

Burianova jeskyně leží severozápadně od obce Ponikve v severním svahu lesní trati „V dolích“. Je puklinovou jeskyní. Vstupní chodba vznikla na puklině a končí u propasti hluboké 4,5 m. Ze dna propasti pokračuje chodba protisměrná. Sintrovou výzdobu tvoří pouze slabé náteky (Loučková - Michovská 1964).

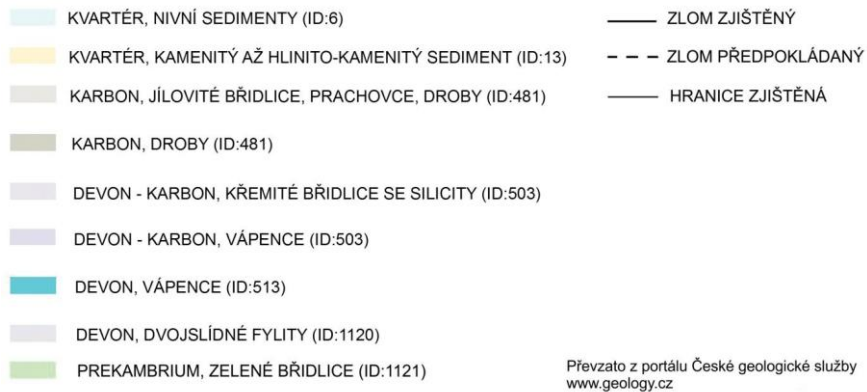
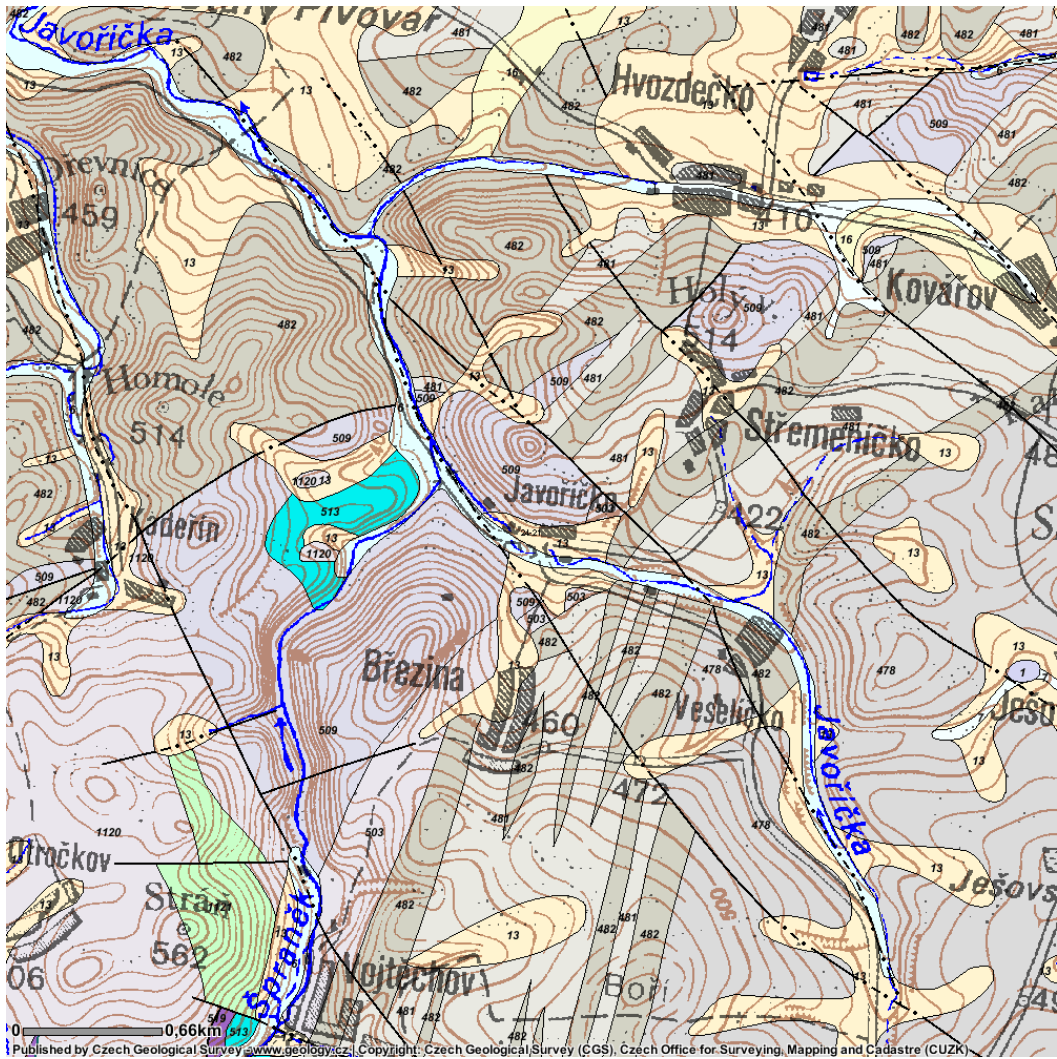


Obr. 4 - Orientační mapa krasových jevů Javoříčského krasu (Loučková – Michovská 1964). Vysvětlivky: 1 - hranice vápenců; 2 - větší část roku suché údolí; 3 - vyvěračky; 4 - ponory; 5 - závrtky; 6 - vápencové skalky a škrapy; 7 - jeskyně; 8 - lomy.

4. Geologická charakteristika území

Konicko-mladečský pruh patří k jednotce Českého masív, do moravskoslezského devonu a spodního karbonu v severní části Dražanské vrchoviny (Mísař, et al. 1983). Na území Dražanské vrchoviny sedimentovaly horniny devonského a spodnokarbonského stáří v geosynklinálních pánvích rhenohercyenské tektonické zóny, která vznikla během variské orogeneze, při které došlo v cirkumekvatoriální zóně ke kompresi a zborcení ker proterozoického podkladu. Kry v severní části Dražanské vrchoviny, mající mobilnější podklad, rychleji klesly. Jejich sedimentární výplň byla mocnější, intenzivněji zvrásněna a metamorfována. Oživením starších zlomů zde docházelo i k vulkanické činnosti. Kry na jihu oblasti, v oblasti Moravského krasu, klesaly kry pomaleji a deformovaly se méně (Dvořák 1987).

Javoříčský kras leží v konicko – mladečském pruhu (obr. 5), kde jsou zastoupeny horniny devonského až spodnokarbonského stáří, náležející k jednotce Českého masívu (Kettner 1965). Jednotkami této oblasti jsou - paleozoikum Moravského krasu, němčicko-vratíkovský pruh, šternbersko – hornobenešovský pruh, konicko – mladečský pruh a drobnější výskyty v Hornomoravském úvalu, na Dražanské vrchovině při východním okraji Boskovické brázdy. V severní části konicko – mladečského pruhu je nižší jednotkou Moravskoslezské paleozoikum, moravskoslezský devon. V Moravskoslezském paleozoiku je sled slabě metamorfovaných až nemetamorfovaných sedimentárních hornin, místy i vulkanických, které jsou stáří silur až spodní karbon. Podklad paleozoika je tvořen brunovistulikum (Chlupáč a Štorch 1992).



Obr. 5 - Geologická mapa Javoříčského krasu a okolí (www2).

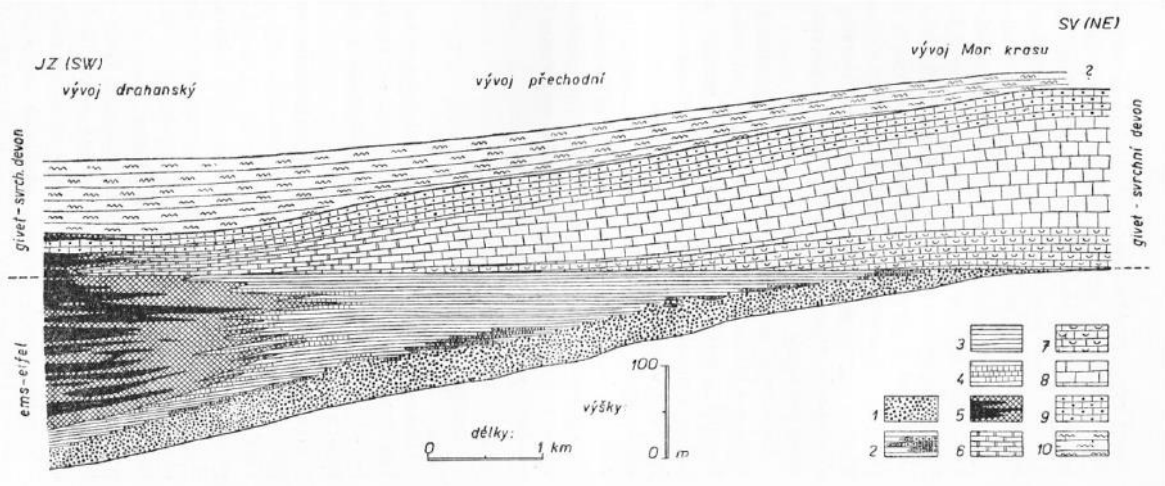
4.1 Stratigrafie a faciální vývoj

V podloží konicko – mladečského pruhu leží jednotka kladeckých fylitů, které jsou seriticko-chloritické, jílovito-písčité slabě epizonálně metamorfované se střídajícími se vrstvami až vrstvičkami tenkých písčitých, tmavě jílovitých vložek. Na kladecké fylity nasedají souvrství světle šedých, jemnozrnných lavicovitých vápenců (Chlupáčem a Svobodou 1963).

4.1.1 Faciální vývoj

Drahanskou vrchovinu můžeme rozdělit na základě paleontologických a orografických podmínek do tří hlavních faciálních vývoju - drahanský vývoj, vývoj Moravského krasu a přechodní (lumírovský) vývoj (Zukalová a Chlupáč 1982).

Drahanský vývoj v Konicko – mladečském pruhu tvoří jižní část území mezi obcemi Jesenec, Dzbel, Kladky a Ponikev. Sedimenty lumírovského vývoje jsou vyvinuty ve střední části v okolí Ludmírova, Ponikve a Vojtěchova. V severní části v okolí Vojtěchova a Javoříčka s pokračováním až k Mladči se vyskytuje vývoj Moravského krasu (obr. 6), ve kterém je vytvořena naprostá většina krasových jevů Javoříčského krasu (Chlupáč a Svoboda 1963).



Obr. 6 - Faciální vývoj přechodu drahanského vývoje devonu do vývoje Moravského krasu v konicko - mladečském pruhu v linii mezi Jesencem – Dzbelem a Javoříčkem, (Chlupáč a Svoboda 1963).

Legenda: 1 - bazální devonská klastika, 2 - lokální polohy písčitých vápenců, 3 - břidličné souvrství drahanského a přechodního vývoje (ems – eifel), 4 - tenké vrstevnaté vápencové polohy vázané na periferii bazaltového komplexu, 5 - bazaltový komplex (bazalty a tufity), 6 - vápence drahanského vývoje (givet – frans), 7 - ekvivalent tzv. „stringocefalových“ a „amfiporových“ (lažáneckých) vápenců (givet), 8 - vápence korálové (vilémovské) (givet – frans), 9 - tmavé svrchnodevonské vápence místy s rohovci, 10 - břidlice s radiolarity.

4.1.2 Drahanský vývoj

Konicko – mladečský devon ve spodní části reprezentuje stínavsko – chabičovské souvrství, ve kterém převládají anchimetamorfované prachovité, jílovité místy i vápnité

břidlice. Nejnižším členem jsou bazální klastické uloženiny jako pískovce, písčité vápence a slepence. Paleontologicky je v těchto klastických uloženinách doložena spodnodevonská mořská fauna s krinoidy, ramenonožci a korály, vyskytující se společně s útržky podložních kladeckých filitů. Výše leží anchimetamorfované břidlice, ve kterých jsou polohy tufů, bazických vulkanitů, vápenců a ložiska železných rud. Stínavské vrstvy odpovídají stupni prag a spodní ems, které často obsahují vyšší podíl prachové příměsi a fauny. Mladší chabičovské vrstvy jsou tvořeny především vápnatými a jílovými břidlicemi, ve kterých jsou přítomni tentakuliti a fauna stupně dále (Chabičov u Šternberka, Křišťanovice u Bruntálu) a eifel (Horní Benešov) (Chlupáč 2002). Místy jsou vyvinuté jesenecké vápence, vázané na blízké vulkanické elevace, které ze středního devonu mohou občas zasahovat až do ranného spodního karbonu (Bábek, et al. 1994). Nejvyšší stratigrafická jednotka drahanského vývoje je tvořena břidlicemi ponikevského souvrství, které jsou šedé nebo nazelenalé, zvětřalé jsou žlutavě a pestře zbarvené jílové a prachové břidlice s množstvím vložek silicitů (radiolaritů). Monotónní sedimentace v sedimentační pánvi vypovídá o vyrovnání poměrů ve vyšším frasně a fameně. Břidlice se usazovaly pod úrovní karbonátové kompenzační hladiny, proto zde nebyly vhodné podmínky pro bentózní faunu. Ze silicitů a břidlic známe hlavně konodonty, jehlice hub a radiolárie. Konodonti dokládají stáří svrchní frasně, fameně a spodní karbon (až po hranici tournai – visé) (Chlupáč 2002).

4.1.3 Ludmírovský vývoj

Typickou oblastí Ludmírovského vývoje je okolí Ludmírova, ve střední části konicko – mladečského pruhu. Bazální klastika (křemenné slepence, které přecházejí do písčitých vápenců) začínají vrstevní sled lumírovského vývoje. V nich se vyskytuje spodnodevonská fauna s goniatity vyšší zlíčov až spodní dalej. Na ně nasedají břidlice souvrství stínavsko – chabičovského mající podobnou povahu jako ve vývoji drahanském, ovšem bez zastoupení produktů vulkanismu a mají menší mocnost. V tomto souvrství byla nalezena, v Ludmírově, bohatá fauna s trilobity, goniatity, hyolity, mlži, plži, ramenonožci aj. Výskyt goniatita *Gyroceratites gracilis* nám datuje souvrství do dále (svrchního emsu). Nad břidlicemi leží vápencový sled, přibližně odpovídající macošskému souvrství vývoje Moravského krasu. Mají společnou litologii i faunu (krinoidová drť a korálo-stromatoporoidovou faunu stáří eifelu až frasně). Vrstevní sled je zakončen břidlicemi s radiolaritami ponikevského souvrství, ve kterých jsou místy i polohy vápenců. Ludmírovský vývoj je faciálním přechodem mezi vývojem typu Moravský kras a drahanským vývojem. Typická je nepřítomnost vulkanických těles (Chlupáč 2002).

4.1.4 Vývoj Moravského krasu

V severní části konicko – mladečského pruhu probíhal vývoj devonu podobně jako v oblasti Moravského krasu, kde se během středního a svrchního devonu (vývoj Moravského krasu) uložily mohutné vrstvy mělkovodních vápenců. Na tomto území je nejrozsáhlejším výskytem devonských vápenců bradlo Špraňku mezi obcemi Vojtěchov, Kadeřín, Březina a Javoříčko (Svoboda a Prantl 1954).

Platformní vývoj Moravského krasu začal později a převládá zde vývoj karbonátové sedimentace. Na území jsou zastoupeny tři hlavní jednotky - bazální klastika, macošské souvrství a líšeňské souvrství (to se v zájmové oblasti nevyskytuje) (Zukalová a Chlupáč 1982). Bazální klastika, která bývají červená (hlavně křemenné slepence, arkózy, slepence a prachovce), leží buď na granitoidech nebo krystalinických horninách brunovistulika či na klastikách spodního kambria. Jsou to uloženiny různého stáří, zřejmě spodního devonu až frasn (Skoček 1980).

Nadloží bazálních klastik je tvořeno macošským souvrstvím, které je souborem mělkovodních uloženin karbonátové platformy s korálovou a stromatoporoidovou faunou. Vrstvy až lavice o různých mocnostech jsou zde tvořeny sledy vápenců josefovských, lažáneckých a vilémovických. Stáří vápenců je givet – frasn (Zukalová 1976). Nejnižší bývají tmavě šedé vápence josefovské, většinou písčité a dolomitové, ve kterých jsou místy shluky silnostěnných brachiopodů. Nad nimi převládají tmavě šedé vápence lažánecké s polohami stromatoporoidů. Nejvýše leží světle šedé vápence vilémovické, ve kterých bývají hojné korály, stromatoporoidy aj. Nejmladším členem jsou němčické vápence, které jsou tmavě šedé, lavicovité, organodetrítické (svrchní frasn). Na vápence nasedají ponikevské břidlice, které jsou černé, jílovité a obsahují vrstvičky radiolaritů (svrchní devon – spodní karbon). Ve vápencích macošského souvrství se vytvořila většina jeskynních systémů (Zukalová 1976).

Na území střední a severní Moravy došlo k přerušení sedimentace na hranici devonu a kulmu. Pouze jižní část území Moravského krasu je výjimkou. Ve spodnokarbonských sedimentech rozlišujeme souvrství protivanovské a rozstáňské. Tvoří je klastické sedimenty, ve kterých se střídají droby, siltovce, siltové a jílové břidlice (Kettner 1965).

Kvartérní pokryv tvoří hlavně deluviální nezpevněné sedimenty, spraše, sprašové hlíny a fluviální sedimenty v okolí toků Javoříčky a Špraňku. Deluviální sedimenty tvoří především hlinité, písčité, šterkovité a kamenité sedimenty (informace z geologického mapového portálu - www.2).

Jeskynní pukliny jsou vyplněny sedimenty, které také nesouvisle pokrývají dna chodeb a nemají viditelnou vrstevnatost. Barvy sedimentů přechází od žlutohnědé, hnědé až po červenohnědou. Převažují jílové a písčité sedimenty. Níže bývají vrstvy šterkovitých sedimentů. V jeskyni Za Hájojnou jsou popisovány dva hlavní typy sedimentů, na základě časové odlišnosti, a to fluviální a terestrické. Terestrické sedimenty tvoří komplexy z interglaciálu holstein, fluviální sedimenty jsou starší z období středního pleistocénu (Musil 2005).

4.2 Tektonika konicko-mladečského devonu

Složitou stavbu konicko – mladečského pruhu způsobila variská a saxonská tektogeneze. Jeho antiklinální struktura směru SV - JZ vznikla vyvrásněním, ke kterému došlo střetem mezi vrásnivými účinky asturské fáze variské orogeneze a mezi územími zvrásněným již dřívější bretonskou fází. Antiklinála vystupuje na SZ mezi bouzovským synklinoriem a synklinoriem Dražanské vrchoviny na V. Tlak působící od SZ způsobil zmenšení sedimentačního prostoru a došlo k celkovému uklonění k JV. Během asturské fáze vznikl kladecko – kadeřínský zlom omezující konicko – mladečský devon na SZ.

Důležité příčné zlomy SZ - JV směru vznikly ve fázi sálské - vojtěchovská porucha, konicko – nectavský zlom aj.

Ještě v druhohorách a třetihorách, hlavně během saxonského vrásnění, došlo k oživení pohybů na starších zlomech a bylo dokončeno rozlámání území na množství ker podél poruch SZ - JV směru (Chlupáč a Svoboda, 1963). Hlubinný nectavsko – konický zlom odděluje na JZ konicko – mladečský devon od němčicko – vratíkovského pruhu a celá struktura směrem k SV stoupá až do oblasti JV od Kladek, a potom ve směru s osou vrásy klesá. JV je omezen stratigrafickou hranicí devon – karbon. Na SZ je devonský pruh omezen kladecko – kadeřinským zlomem, podél něho poklesly spodnokarbonské horniny, uložené západně od něj, a tím došlo i k výzdvihu kladeckých fylitů s jejich nadložím (Chlupáč a Svoboda 1963).

4.3 Hydrologie

Ve stanici Luká se zaznamenávají klimatické poměry území. Klima v této oblasti je obdobného typu jako celý Javoříčský kras. Průměr ročních srážek v letech 1901 – 1950 byl 616 mm (Hadač 1979) v letech 1975 – 1995 pak 598 mm. Průměr ročních teplot za léta 1975 – 1995 kolísal mezi 5,9 a 8,4°C, v průměru tak 7,7°C (Pučálka, et al. 2001).

4.3.1 Vodní toky Javoříčko – mladečského krasu

Javoříčko – mladečským krasem protékají vodní toky, které tvoří dvě soustavy krasových vod. První soustava je tvořena Špraňkem se všemi svými přítoky: Ponikevským potokem, Javoříčkou, Otročkovským a Milkovským potokem. Druhá soustava je tvořena přítoky Moravy: Rachavka a Hrádečka vytvářejí soustavu vod mladečského Třesína a okolí (Kostroň 1949).

Potok Špraňek vyvěrá pod Liškovými skalkami a protéká napříč celým krajem. Vtéká do něho, v Dolích u Vojtěchova, Vojtěchovský potok, od Ponikve Ponikevský potok a z krasového žlebu od Ludmírova bezejmenný potůček a dále od Otročkova a Milkova potoky Otročkovský a Milkovský. Potok Javoříčka se do Špraňku vlévá v oblasti javoříčských vápenců a Hvozdečský potok u Bouzova. Špraňek vtéká pod hradem Bouzovem do Třebůvky (Panoš a Zikmund 1955).

Potok Javoříčka, pramení v oblasti Luké. Javoříčka přímo povrchově odvodňuje jižní část kry Holého vrchu dvěma hluboce zaříznutými údolím, která začínají jihozápadně a jihovýchodně od obce Střemeničko. V jihovýchodní části údolí teče potok Střemenička. Severní a severozápadní část Holého vrchu je odvodňována potokem bez jména, který pramení v západní části obce Hvozdečko. Tento tok se rychle zahlubuje do stržovitého údolí tvaru V, v původně plochem a širokém údolí ústícím při jihozápadním úpatí Paní hory, do Javoříčky. Koryto Javoříčky má výšku od 400 m n. m. (při napojení z jihovýchodního konce Střemenička) až po asi 350 m n. m. (při napojení vodoteče od Hvozdečka). V tomto úseku do Javoříčky zleva vtéká potok Špraňek s hlavním ponorem Špraňku ve výšce asi 362 m n. m. (Bosák 2006).

Při okraji obce Olešnice, severně od Hvozdečka, pramení říčka Rachavka (asi 420 m n. m.) protékající zlomovým údolím, které omezuje ze severu javoříčskou část Javoříčko – mladečského krasu a zahlubující se do hlubokého až kaňonovitého údolí. Pramenná

oblast Rachavky je v mělké sníženině západně od Olešnice. V pravém břehu Rachavy, ve svahu několik metrů nad korytem asi 350 m n. m., je vyvinuta úzká strž s vyvěračkou zahlubující se do vápencového podloží (Bosák 2006).

Od severního okraje Ponikve teče Ponikevský potok, jako velmi úzká stružka, údolím na východě Babí horou a na západě protéká vápencovým výběžkem Rudky. Dále teče na sever do malého údolíčka mezi Babí horou a Hvozdeckou Stráží, kde se ztrácí v zemi asi 20 kroků od mostku na hvozdecko – ludmírovské silnici (Kostroň 1949).

4.3.2 Prameny a vyvěračky

V oblasti Javoříčského krasu je pět stálých krasových pramenů. Dva ze stálých pramenů jsou v místě spojujícího údolí Špraňku a Ponikve (pramen Slámová luž a pramen V Hvozdecké studni). Dva další jsou v údolí Špraňku jižně od Vojtěchova. Je to pramen u Vojtěchovské pily a u samoty Na skalce. Pátý pramen je pod Javoříčkem a nazývá se V korýtkách. Vyvěrá 20 m nad dnem údolí Špraňku v jeho pravém údolním svahu na hranici kulmských hornin a devonských vápenců, svojí vydatností je nejslabší. V Javoříčském krasu je jediným občasným pramenem vývěr Ponikve. Činný je pouze v době jarního tání, kdy voda protéká korytem horní Ponikve k silničnímu mostku a zde se ztrácí v ponoru (Loučková - Michovská 1964).

V oblasti Průchodnice je několik silných a velkých vyvěraček. Vyvěračka Andělíčka je blízko Ludmírova, další je u kaple sv. Libora v Jesenci. Vyvěračkami vytéká voda na povrch a následně se ztrácí v ponorech a mnohých závrtch v okolí Roudného. Území má malý rozsah, ale zkrasovění je zde velmi intenzivní. Název obce Ponikev znamená - místo, kde voda „poniká“ čili vtéká do země (Panoš a Zikmund 1955).

4.3.3 Proudění ponorných toků

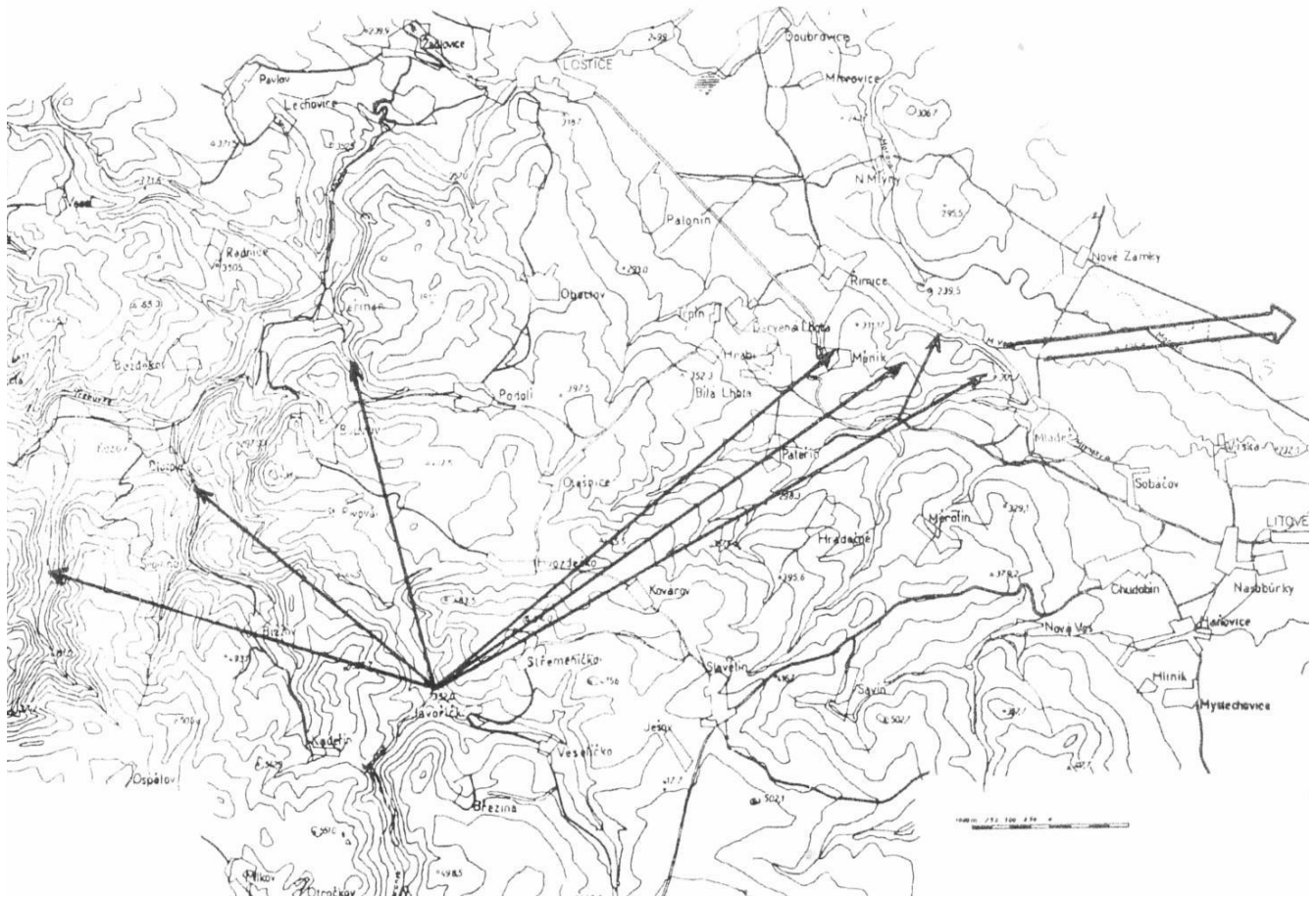
V roce 1959 byly provedeny na ponorných tocích v krasových oblastech devonského jesenecko – mladečského pruhu, v severovýchodní části Dražanské vrchoviny, a ve vápencích pásma Branné, které leží v jihovýchodní části Rychlebského pohoří, kolorační experimenty. Kolorační experimenty se prováděly kombinací několika barviv (eosinu, fluoresceinu, genziánové violeti a uraninu). Odebrané vzorky se vyhodnocovaly bezplatně v chemických laboratořích n. p. Farmakon v Olomouci, kvůli velkému množství vzorků se dělalo vyhodnocení pouze poměrovým způsobem, nikoliv kvantitativně (Panoš 1960).

Ke konci dlouhého deštivého období, kdy nastaly příznivé klimatické podmínky, byly obarveny nejdříve ponorné vody potoků Rachavky a Hrádečky v oblasti vápencového bradla Třesín mezi Měrotínem a Mladčí. Zjistilo se, že se obarvené vody objevují v pramenech tzv. Podskalského potoka na úpatí Třesína v údolí řeky Moravy a také ve spodním patře Mladečských jeskyní (Panoš 1960).

Obarvení potoků Špraňku a Javoříčky však přineslo zajímavější výsledky. Pokusy bylo dokázáno, že vody z potoků se roztékají v podobě širokého vějíře, rozevřeného od SV k Z a vyvěrají při zlomovém okraji Dražanské vrchoviny v povodí řeky Moravy a také vtékají do nekrasových potoků ústících do Třebůvky mezi Vranovou Lhotou a Lošticemi. Jejich největší část teče velice rychle v podzemí k SV. Dále teče ve směru kde

povrch tvoří výhradně kulmské horniny, a tam vyvěrají jako ponorné vody Hrádečky a Rachavky v krasových pramenech Podskalského potoka pod Třesínem a také v bezejmenném prameni, který vtéká do obecního rybníka v Měníku. Tyto ponorné vody se dále pohybují velice rychle i do tzv. Strže, tůň v údolí potoka Špraňku mezi Javoříčkem a Bouzovem, dále do potoka Břenušky (který pramení u Olešnice), Blázovského potoka (pramenné přítoky od Kadeřína) a také do potoka Věžnice (pramenné přítoky od Milkova a Kadeřína) a na Z od Javoříčky (Panoš 1960).

Koloračními experimenty byly dokázány souvislosti vápencových bradel jesenecko – mladečského devonského pruhu mezi Vojtěchovem a Mladčí (obr. 7) a tak byly objeveny dosud neznámé výskytů mocných vápencových zón pod slabým pokryvem nekrasových kulmských hornin. Tyto vápence, které jsou průmyslově velmi cenné, se souvisle rozkládají mezi Mladčí, Měním, Bílou Lhotou, Pateřínem, Hvozdečkem, Olešnicí, Kadeřínem, Javoříčkem, Blázovem a Milkovem (Panoš 1960).



Obr. 7 - Schéma pohybu podzemních krasových vod v severní části Dražanské vrchoviny. Výchozí bod je Javoříčko. Šipky vyznačují, kde se objevily vývěry vod při koloračních zkouškách (Panoš 1962).

4.4 Vrtná prozkoumanost zájmového území

Níže uvedené informace byly zaslány Českou geologickou službou na vyžádání.

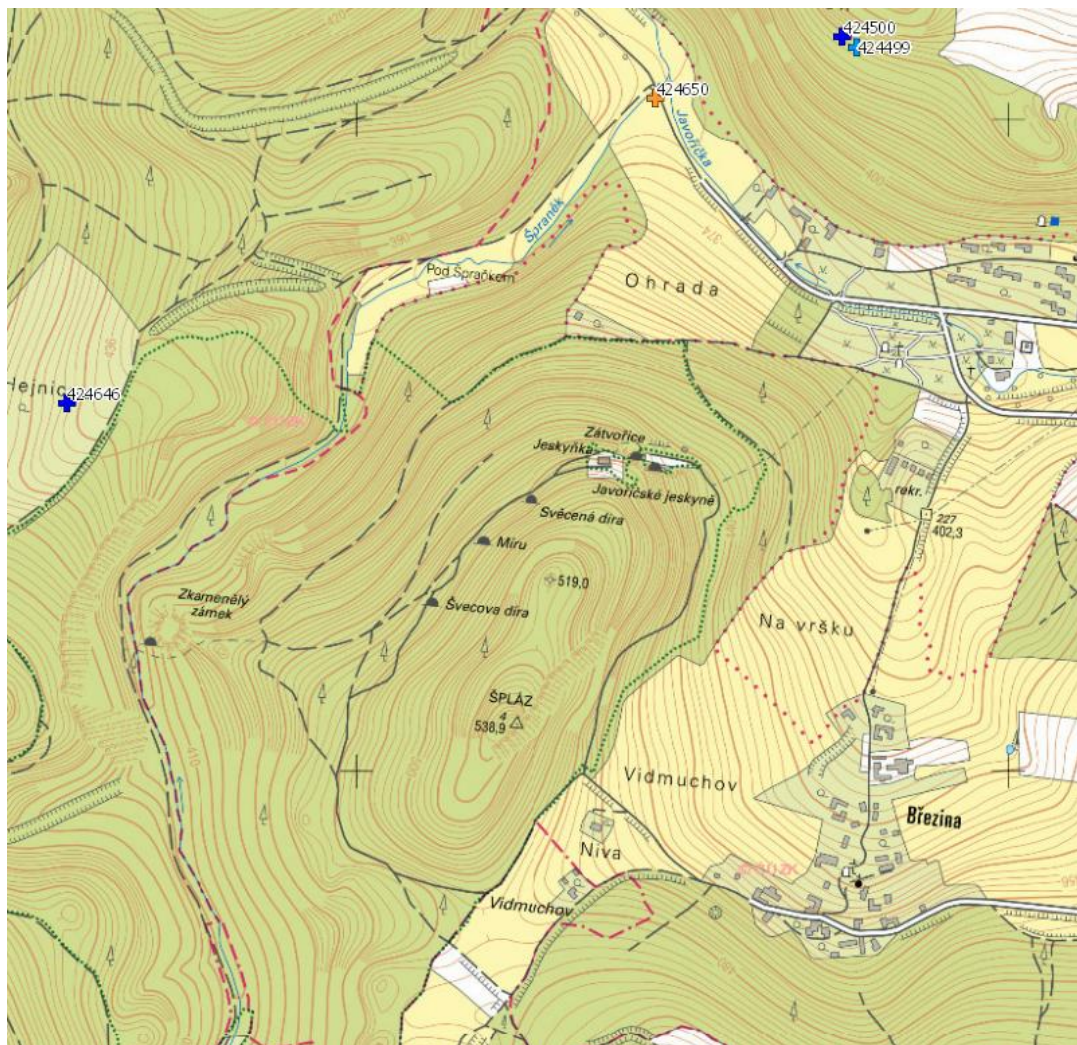
V zájmovém území nebyly podle dostupných vrtných záznamů České geologické služby, žádné vrty prováděny. V širším okolí jsou vrty:

HV1005, č. 42 4650 hydrologický; hluboký 7,9 m; z roku 1983 – ve vrtu - hlíny, pod nimi vápencové kameny, štěrk a v závěru vápence

VRT 5, č. 42 4499 ložiskový na nerudy; hluboký 33 m; z roku 1956 – ve vrtu – hlíny, suť a střídající se polohy vápenců a jílu

VRT 6, č. 42 4500 ložiskový na nerudy; hluboký 84 m; z roku 1956 – ve vrtu – hlíny a střídající se jílu s vápenci. Pouze ve 46,1 – 46,4 m byly zjištěny travertiny

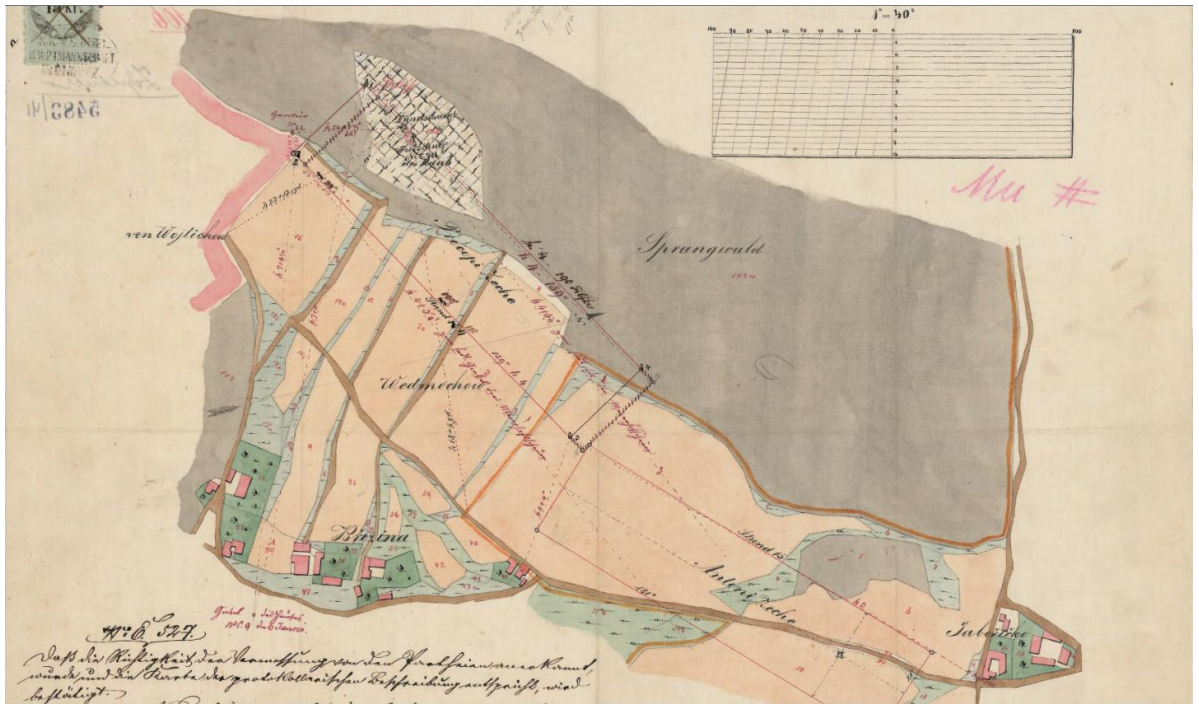
K-1, č. 42 4646 ložiskový na nerudy; hluboký 70 m; z roku 1972 – ve vrtu – hlíny a střídající se vápence s jíly.



Obr. 8 - Mapa vrtů v okolí Javoříčka (www3).

Z vrtných průzkumů a množství lomů v okolí vyplývá, že vápence se vyskytují i v širším okolí a to nejčastěji s vložkami jiných hornin jako jsou jíly nebo písky.

Podle dostupných starých záznamů České geologické služby bylo na zájmovém území prováděno dobývání železné rudy. V záznamech je uvedeno, že v 19. století byla na okraji lesa SZ od Březiny (asi 0,5 km po vozové cestě) pod Špraňkem (kóta 535) „Vítkovickým horním a hutním těžářstvem“ důlní míra na manganovou rudu a v blízkosti Javoříčka (na místě zatím neznámém) důlní míra „Antonín“ na železnou rudu (obr. 9).



Obr. 9 - Mapa z roku 1863, měřítko 1:2880 – Mapa vyměření důlních měr dolů Antonín a Prokop v Březině. (Fond Moravského zemského archivu v Brně).

Z dalšího dokumentu České geologické služby – Ložiska železných rud na střední Moravě z roku 1950, který vypracoval Dr. Vladimír Čech, se dovídáme, že v roce 1939 bylo započato s otevřením ložiska u Březiny kutacími příkopy, ale nedošlo k dokončení díla. Starou prací asi z roku 1836 je zašlá štola. Rudou zde je pyrolusit, který tvoří tmel dislokační brekcie na hranici vápenců a břidlic slabě regionálně metamorfovaného devonu. Žilovinou jsou úlomky křemitého fylitu až do velikosti 5 cm. Kvalita rudy je dobrá, tmel převládá – pravděpodobně jde o malé rudní těleso, mocné několik dm.

Výskyt manganových rud v bezprostředním okolí se v Javoříčských jeskyních projevuje hojnými výskyty manganových povlaků, téměř černé barvy.

5. Geofyzika a její průzkumné metody

Aplikovaná geofyzika, tj. geofyzika řešící otázky a problémy, které souvisejí s lidskou činností a jejich potřebami jako je řešení inženýrskogeologické, geoekologické, hydrogeologické problematiky, vyhledávání ložisek nerostných surovin atd. Studium fyzikálních polí zemského tělesa, sledováním jejich zákonitostí a vývojem se zabývá geofyzika spolu se svými průzkumnými metodami (Duras, et al. 2005).

Fyzikálními poli zemského tělesa se zabývá užitá geofyzika. Za pomoci geofyzikálních metod se sleduje fyzikální pole včetně příslušných fyzikálních parametrů, které blíže charakterizují fyzikální stav horninového masivu (Jančovič, et al. 2014).

Geofyzikální metody se dělí podle sledovaného fyzikálního parametru a charakteru pole na:

Geoelektrické – Sledují různá elektrická umělá a přirozená pole, popisují prostředí na základě elektrických a elektromagnetických vlastností.

Geotermické – Zkoumání teplotního pole Země.

Gravimetrické – Měří tíhové pole a interpretují rozložení hustot geologického prostředí z tíhových anomálií.

Magnetometrické – Zkoumají geomagnetické pole Země, měří velikost totálního vektoru a jeho časové a prostorové variace.

Měření ve vrtech (karotáž) – Zkoumá fyzikální vlastnosti podél vrtného profilu a v jeho blízkém okolí.

Radiometrické – Měří přirozenou radioaktivitu (spektrometrie a úhrnné aktivity).

Seismické – Zkoumají šíření uměle vyvolaných elastických vln, které jsou generovány pomocí kladiva, padostroje, explozí atd.

(Jančovič, et al. 2014).

5.1 Geoelektrické metody

Nejmladšími z geofyzikálních disciplín jsou geoelektrické metody. Jejich první užití v geologii sahá již do devatenáctého století, kdy bylo použito metody spontánní polarizace při vyhledávání sulfidického ložiska. K rozvoji geoelektrických metod došlo však až začátkem dvacátého století. Ve Francii bratři Schlumbergerové dosáhli úspěchů v ropné a rudné prospekci díky metodě ekvipotenciálních linií a telurické metodě. Sjednocení interpretací geoelektrických měřících odporových metod a jejich jednotného zpracování na velkých plochách dosáhl v Americe F. Wenner vytvořením idey zdánlivého měrného odporu. Metody elektromagnetické, vhodné pro prospekci rudních ložisek, vytvořili geofyzikové Lundberg a Sundberg ze Švédska. V Čechách se jako první věnoval teorii geoelektriky R. Běhounek. Ovšem až koncem padesátých let devatenáctého století se započalo se širší aplikací a rozsáhlejším výzkumem geoelektrických metod (Mareš, et al. 1990).

Geoelektrickými metodami se studuje rozložení geoelektrických polí – umělých a přirozených, elektrických, elektromagnetických a elektrochemických. Dělí se podle druhu studovaného pole na:

– metody elektromagnetické (např. metoda velmi dlouhých vln, radiolokační metody)

- metody elektrochemické (metoda vyzvané a spontánní polarizace)
- metody stejnosměrné (např. stejnosměrné potenciálové metody, odporové metody)

Geoelektrické metody se dále dělí na:

- profilovací metody (sledují změny v horizontálním směru)
- sondovací metody (sledují změny v rozložení hodnot měřených veličin ve vertikálním směru) (Duras, et al. 2005).

5.2 Elektrické vlastnosti hornin

Základní elektrické parametry jsou elektrická permitivita ϵ , měrný odpor (rezistivita) ρ a polarizace η . Elektrické permitivity ϵ se využívají pouze při měření vysokofrekvenčními elektromagnetickými metodami. Měrný odpor (rezistivita) je ρ důležitá u většiny geoelektrických metod, hlavně u nízkofrekvenčních elektromagnetických a odporových metod. Polarizace η vyjadřuje horninovou schopnost hromadění nábojů na rozhraní pevné a kapalné fáze (Mareš, et al. 1990).

Měrný odpor (rezistivitu) u jakékoliv látky určíme jako odpor, který je kladen elektrickému proudu krychli o hraně 1 m v kolmém směru na stěnu krychle. Jednotka a rozměr elektrického měrného odporu ρ vyjádříme vztahem mezi odporem vodiče R jeho příčným řezem S a jeho délkou l :

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

Jednotku $\Omega \cdot m$ (ohmmetr) získáme, pokud pro R zvolíme jednotu Ω , pro S m^2 a pro l m. Někdy se při řešení teoretických úloh, místo měrného odporu ρ vhodněji volí měrná vodivost (konduktivita) σ .

$$\sigma = \frac{l}{\rho}$$

Horninový měrný elektrický odpor ovlivňují přirozené hydrogeologické a geologické faktory jako pórovitost a stupeň nasycení vodou, mineralogické složení, textura a struktura horniny, tlak a teplota, mineralizace vody. Až v rozmezí desítek řádů se mění měrný odpor minerálů (tab. 3) ve srovnání s jinými parametry jako např. objemovou hustotou, kde jsou změny pouze v jednom řádu. Díky tomu je možno předpokládat v geologicky složitém prostředí veliké změny geoelektrických polí. Znamená to, že hlavní horninové minerály (křemen, živce a slída) jsou díky svému vysokému měrnému odporu izolátory a nevedou tedy elektrický proud. Měrný elektrický odpor u většiny hornin závisí na porózitě, na mineralizaci vody v pórech a na stupni nasycení vodou (Mareš, et al. 1990).

Voda v pórech hornin je vždy mineralizovaná. Odpor vody je velmi závislý na její mineralizaci, např. při zvýšení koncentrace NaCl z $0,001 \text{ g l}^{-1}$ na 1 g l^{-1} měrný odpor vody klesne z $10\,000 \Omega \cdot m$ na $10 \Omega \cdot m$. Odpor u sedimentárních hornin (tab. 1) také závisí na struktuře pórů. Vysoký měrný odpor mají pórovité, dobře vytríděné horniny, ovšem

horniny s jílovitým tmele, špatně vytríděné, mají měrný odpor snížený. U krystalických hornin (tab. 2) odpor klesá např. u tektonických poruch. Můžeme tedy geoelektrickými metodami sledovat i tektonické linie. U hornin jako jsou sulfidické rudy, pyritizované a grafitizované měrný odpor ovlivňuje jejich textura a struktura. Také teplota a tlak ovlivňují měrný odpor. Vzájemně vzrůstající teplotou odpor hornin klesá. Závislost tlaku na odporu hornin je složitá. Schopnost prostředí zeslabovat či zesilovat elektrické pole, důsledkem polarizace, nazýváme jako permitivita ϵ , která je zavedena v geoelektrické praxi jako veličina relativní bezrozměrná (Mareš, et al. 1990).

5.3 Fyzikální vlastnosti odporových metod

V odporových metodách je využíváno Ohmova zákona vyjadřující vztah mezi elektrickým odporem, napětím a proudem.

R - odpor (Ω)

U - napětí (rozdíl potenciálů) (V)

I - proud (A)

$$R = \frac{U}{I}$$

Na tvaru a materiálu také závisí velikost odporu. Krátký tlustý drát má nižší odpor než drát ze stejného materiálu, který je dlouhý a tenký. Při zdvojnásobení průměru drátu se odpor zmenší na polovinu, při zdvojnásobení délky drátu dojde ke zdvojnásobení odporu. Tyto souvislosti dokazují závislost odporu na tvaru materiálu. Olovený drát má vyšší odpor než drát měděný při stejných rozměrech. To ukazuje závislost odporu na materiálu (Mussett a Aftab Khan 2000).

Tab. 1 - Hodnoty měrných odporů (Mussett a Aftab Khan 2000).

Horniny	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
<i>Sedimenty</i>	
křída	50-150
jíl	1-100
šterk	100-5000
vápenec	50-10 ⁷
slín	1-100
kvarcit	10-10 ⁸
jílovitá břidlice	10-1000
písek	500-5000
pískovec	1-10 ⁸

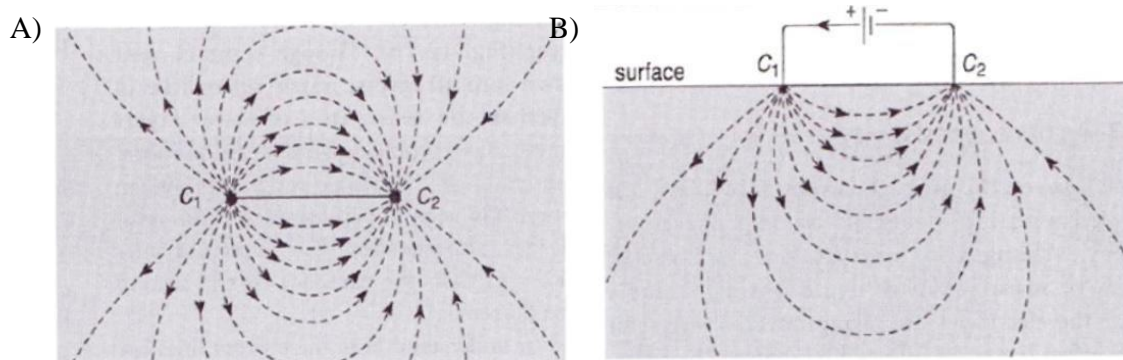
Tab. 2 - Hodnoty měrných odporů (Mussett a Aftab Khan 2000).

<i>Vyvřelé a metamorfované horniny</i>	
Horniny	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
bazalt	$10 \cdot 10^7$
gabro	$1000 \cdot 10^6$
granit	$100 \cdot 10^6$
mramor	$100 \cdot 10^8$
krystalické břidlice	$10 \cdot 10^4$
břidlice (fylitická)	$100 \cdot 10^7$

Tab. 3 - Hodnoty měrných odporů (Mussett a Aftab Khan 2000).

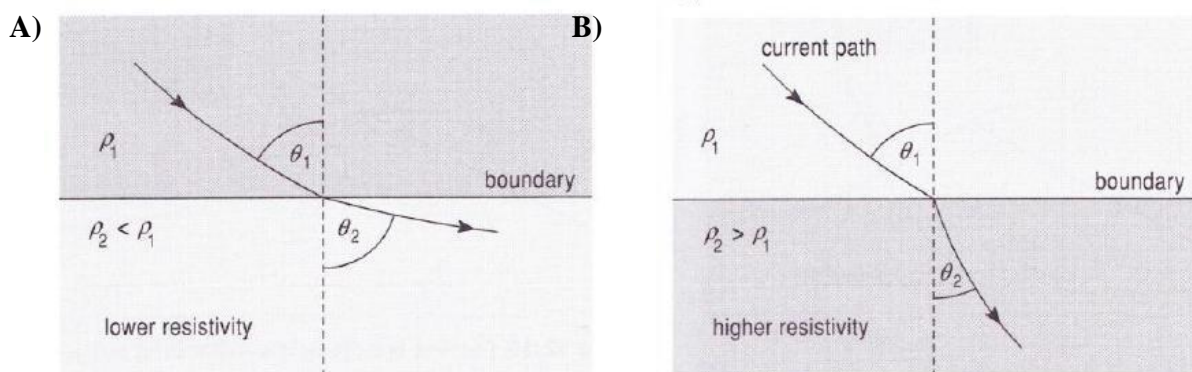
Minerály	Měrný odpor ($\Omega \cdot m$)
<i>Minerály, rudy a látky ovlivňující měrný odpor hornin</i>	
stříbro	$1,6 \times 10^{-8}$
grafit	$10^{-4} - 10^{-3}$
galenit	$10^{-3} - 10^{-2}$
magnetit	$1 \cdot 10^5$
sfalerit	$10^3 - 10^6$
pyrit	1x 100
chalkopyrit	$10^{-5} - 0,3$
křemen	$10^{10} - 10^{14}$
halit	$10 - 10^{13}$
<i>Voda a koncentrace solí ve vodě</i>	
čistá voda	1×10^6
přírodní voda	$1 \cdot 10^{-3}$
mořská voda	0,2
20% solanka	5×10^{-2}
granit s 0% vody	10^{10}
granit s 0,19% vody	10^6
granit s 0,31% vody	4×10^3

Průchod elektriny horninami: Elektrický obvod napájí zdroj stejnosměrného napětí, ke kterému jsou kabelem připojeny elektrody zajišťující kontakt se zemí. Měrný odpor hornin je měřen mezi elektrodami (obr. 10). Toto uspořádání by mohlo vyvolat zdání, že proud prochází těsně pod povrchem nejkratší cestou mezi elektrodami. Dráhy proudu se rozprostírají do prostoru horizontálně i vertikálně. Tyto dráhy připomínají magnetické dráhy bipolárního magnetu. Největší koncentrace těchto drah je soustředěna do nejkratší spojnice mezi elektrodami (Mussett a Aftab Khan 2000).



Obr. 10 - Průchod elektrického proudu horninou mezi elektrodami (Mussett a Aftab Khan 2000). C1 a C – A) horizontální zobrazení; B) vertikální zobrazení.

Refrakce dráhy proudu: V homogenní vrstvě tvoří dráhy proudu hladké křivky. K lomu (refrakci) drah proudu dochází na kontaktu s vrstvou s rozdílným měrným odporem. K refrakci směrem ke kolmici dochází při kontaktu s vrstvou s větším měrným odporem (obr. 11A). Při kontaktu s vrstvou s menším měrným odpor dochází k refrakci od kolmice (obr. 11B). Je to podobný děj jako průchod světla ze vzduchu do vody (Mussett a Aftab Khan 2000).



Obr. 11 - Refrakce elektrického proudu (Mussett a Aftab Khan 2000). A) refrakce el. proudu přecházející z prostředí s nižším měrným odporem do prostředí s vyšším měrným odporem; B) refrakce el. proudu přecházející z prostředí s vyšším měrným odporem do prostředí s nižším měrným odporem.

5.4 Stejnoseměrné odporové metody

Nejčastěji využívanou metodou jsou metody odporové, a to jak ve variantě profilovací, tak i sondovací. Odporové profilování bývá používáno při sledování změn měrných odporů hornin v horizontálním směru, i když vhodnou kombinací uspořádání a rozestupu elektrod je možné sledovat průběh odporových nehomogenit i do hloubky. Pro detailní průběh měřené veličiny (měrného odporu) ve vertikálním směru, se využívá odporového sondování (Duras, et al. 2005).

Mezi stejnosměrné odporové metody patří, vertikální elektrické sondování (VES), odporové profilování a elektrická odporová tomografie (ERT) která pracuje na principu automatizovaného multi-elektrodového měření (Karous 1999).

Odporovým profilováním získáváme informaci o horizontální změně zdánlivého měrného odporu (Karous 1999). Podle druhu a metodiky terénních prací lze zvolit při měření několik možností uspořádání měřících a proudových elektrod. (Mareš, et al. 1990). Při odporovém profilování jsou sledovány změny měrných odporů ve směru horizontálním. Hloubkový dosah měření závisí na uspořádání (rozteči) elektrod, kdy jsou elektrody uspořádány v pravidelných vzdálenostech podél profilu (Karous 1999).

Vertikální elektrické sondování (VES) je využíváno při průzkumu podložních vrstev, kdy má každá vrstva jiný měrný odpor, ale jednotné petrografické složení (Mussett a Aftab Khan 2000). Měření je založeno na postupně se zvětšující délce v uspořádání měřících elektrod (Karous 1999). Vertikálním elektrickým sondováním VES formou sondážních křivek můžeme vyjádřit změnu měrných odporů ve směru vertikálním, což znamená, že z hlediska horizontální roviny poskytuje bodovou informaci. VES měřením v profilech získáme prostorové odporové řezy. Výsledný řez je interpolací hodnot měrných odporů mezi jednotlivými vertikálními sondami (Karous 1999). U metody VES je hloubkový dosah lineárně závislý na vzdálenosti proudových elektrod vydělený dvěma (Mareš, et al. 1990). Metody VES i odporové profilování většinou využívají čtyř-elektrodového uspořádání - potenční M, N (P1, P1) a dvě proudové A, B (C1, C2) ale metodika měření těchto dvou metod se liší konfigurací elektrod (Karous 1999).

Multi-elektrodové odporové profilování se také nazývá multielektrodovým uspořádáním (MEU). Tato metoda využívá kombinací VES a odporového profilování a je používána při průzkumu vertikálního řezu nad měřeným profilem. Výsledek tvoří odporové údaje v mnoha hloubkových dosazích. Elektrody při měření pracují střídavě jako měřící a zdrojové jednotky (Loke 1999). Metoda může být využita ve 2D i ve 3D zobrazení. 2D zobrazení je nejvhodnější při průzkumu horizontálních i vertikálních nehomogenit majících rozdílný měrný odpor. Zvolením určitého uspořádání elektrod lze mapovat různé druhy geologických struktur (dutiny, vertikální struktury a horizontální vrstvy) a umožňuje tak vytvářet geologické řezy, svahové deformace, průzkum zlomů atd. Plošné zobrazení těles je vytvářeno metodou 3D zobrazení, která se používá při podrobném prostorovém měření těles (Loke 1999).

5.4.1 Uspořádání elektrod

Metodiku terénních odporových profilovacích měření a následné zpracování i interpretaci ovlivňuje uspořádání elektrod. Pomocí elektrod se elektrické pole vytváří a

také měří. Elektrody vytvářející elektrické pole se nazývají proudové (označované A, B, atd.). Elektrodami měřicími nazýváme elektrody, které měří elektrický potenciál nebo napětí vyvolaného pole (označované M, N, atd.). Podle počtu elektrod v různých variantách vzájemných pozic měřících a proudových elektrod dělíme uspořádání na dvouelektrodová, tříelektrodová a čtyřelektrodová. Nejvíce používané jsou čtyřelektrodové systémy ve variante uspořádání Wennerova a Schlumbergerova (Duras, et al. 2005).

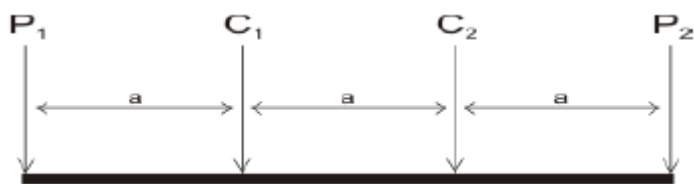
Uspořádání elektrod je celá řada typů lišící se počtem elektrod, způsobem jejich zapojení a vzdálenostmi mezi proudovými a potenciálními elektrodami (Karous 1999). Nejpoužívanějšími uspořádáními elektrod jsou hlavně tři aplikované metody – dipól – dipól, Wenner a Wenner-Schlumberger (Schlumbergerova metoda) (Griffiths a Barker 1993).

Metoda dipól – dipól má elektrody uspořádané do párů, které tvoří proudové elektrody C2-C1 a potenciálové elektrody P1-P2 (obr. 12), kdy tyto páry elektrod sledují změny měrného odporu mezi sebou v každém dipólovém páru (Loke 1999). Metoda umožňuje hloubkový dosah v řádech desítek metrů a má nejvyšší rozlišení. Nejvhodnější je při detekci vertikálních struktur (Griffiths a Barker 1993). Má využití především pro zachycení struktur, jako jsou puklinové a jeskynní systémy a zlomy, vhodná je i pro detekci skalního podloží hluboko založeného relativně neporušeného, nebo případně i smykových ploch. Omezené využití má tato metoda ovšem v oblastech s extrémním přípoверхovým měrným odporem (Tábořík a Pánek 2010).



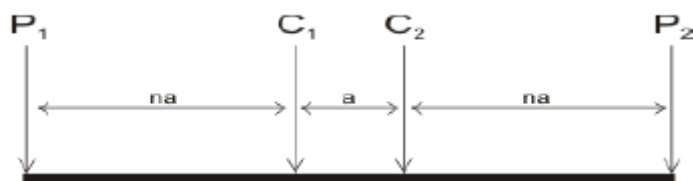
Obr. 12 - Uspořádání elektrod dipól - dipól (Loke 1999). C1 a C2 – proudové elektrody, P1 a P2 – potenciálové elektrody, na – faktor určující poměr rozestupu mezi proudovou a potenciálovou elektrodou, a – rozestup proudových elektrod.

Metoda Wenner - Wennerovo uspořádání má sousední elektrody se stejným rozestupem (obr. 13) (Mareš, et al. 1990). Ve vertikálním směru má dobrou rozlišovací schopnost a znázorňuje nejlépe horizontální struktury. Tato metoda má nejmenší citlivost ke zvýšenému přípoверхovému odporu, ale celkové rozlišení je poměrně malé a hloubkový dosah není velký. Metoda se hodí pro průzkum lokalit s extrémní přípoверхovou rezistivitou (extrémně suché sedimenty – písky, sutě atd.) a také pro průzkum horizontálně usměrněných struktur, např. lakustrinních, fluviálních nebo proluviálních sedimentů (Tábořík a Pánek 2010).



Obr. 13 - Wennerovo uspořádání elektrod (Loke 1999). C_1 a C_2 - centrální elektrody, P_1 a P_2 - potenciálové elektrody, a - rozestup proudových elektrod.

Metoda Wenner – Schlumbergerova metoda je kompromisem mezi metodami Wennerovou a metodou dipól - dipól. Rozestup mezi proudovými a potenciálovými elektrodami je rozdílný (obr. 14) (Loke 1999). Metoda má vyšší citlivost na extrémní přípovrchový měrný odpor. Má většinou lepší výsledky než Wennerova metoda z hlediska rozlišení hloubkového dosahu (Tábořík a Pánek 2010). Metoda je vhodná při měření horizontálních a vertikálních struktur (žíly, pukliny a vrstevní kontakty) (Loke 1999).



Obr. 14 - Wenner – Schlumbergerovo uspořádání elektrod (Loke 1999). C_1 a C_2 – proudové elektrody, P_1 a P_2 – potenciálové elektrody, na – faktor, který určuje poměr rozestupu mezi proudovou a potenciálovou elektrodou, a – rozestup proudových elektrod.

5.4.2 Automatický geoelektrický systém ARES

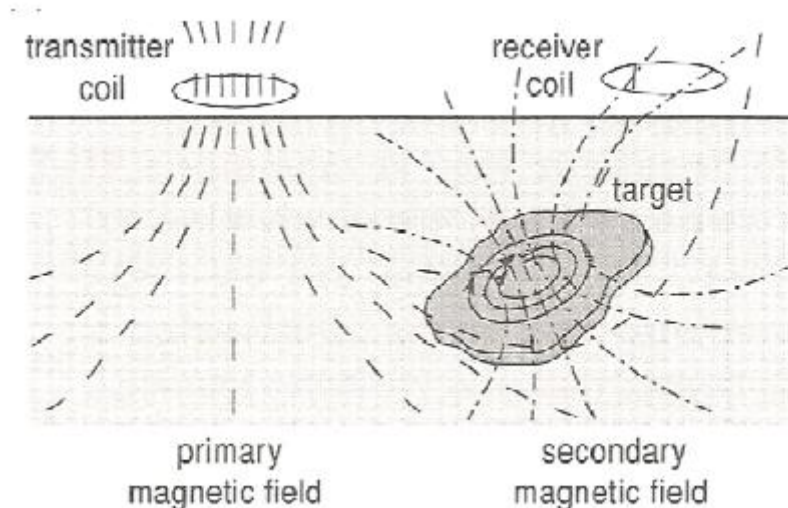
ARES od firmy Gf Instruments s. r. o. Brno je efektivní prostředek, který lze použít při geotechnickém průzkumu, geologickém průzkumu, detekci dutin, průzkumu na podzemní vodu, kontrole hrází, měření na vodní hladině, ekologickém monitorování, archeologii, měření ve vrtu a mezi vrty (www4).

ARES je aparatura pro měření a zobrazení měrného odporu a IP. Obsluha v terénu je snadná (bez PC), napájení z generátoru nebo 12 V akumulátoru. Je kompatibilní s rozšířenými druhy interpretačního software. Měřící metody jsou 2D/3D multielektrodová odporová a IP tomografie, RP – odporové a IP profilování, SP – spontánní polarizace, VES – vertikální elektrické sondování (měrný odpor a IP). Podporované uspořádání elektrod je pól - pól, dipól - dipól, ekvatoriální dipól - dipól, pól - dipól, reverzní pól - dipól, Wenner alpha / beta / gama, Wenner - Schlumberger, prozařování mezi vrty a mezi vrtem a povrchem, (www4).

5.5 Elektromagnetické metody

Geoelektrický průzkum elektromagnetickými metodami je moderní způsob měření. Ovšem jednodušší varianty tohoto měření byly použity již ve dvacátých letech dvacátého století. Maxwell vytvořil základy teorie elektromagnetického pole sestavením rovnic pole. V prostředí je rozložení elektromagnetického pole závislé na mnoha parametrech, především na fyzikálních vlastnostech hornin. Při popisu elektromagnetického pole matematicky je důležitý faktor časová závislost. Moderní interpretaci elektromagnetických měření byl dán teoretickým rozbohem elektromagnetických polí ve složitých prostředích a rozsáhlým modelovým měřením (Mareš, et al. 1990).

Elektromagnetické metody (obr. 15.) se využívají hlavně jako odporové metody, které zkoumají v podloží změny elektrického odporu. Jejich nejdůležitějším fyzikálním principem je elektromagnetická indukce. Elektromagnetický systém je tvořen cívkou, sloužící jako vysílač, napájející systém elektrickým proudem, který vytváří primární magnetické pole procházející nad zemí, pod zemí a měrným tělesem. Při průchodu magnetického pole elektrickým vodičem (rudní těleso, dráty v podzemí atd.) začne vodičem proudit střídavý proud a dojde tak k produkci vlastního magnetického pole střídavého (sekundárního), které lze na povrchu detekovat. Tím lze detekovat například rudní tělesa. Cíl zjistíme procházením vysílací a přijímající cívky po povrchu nad vyhledávaným tělesem. Pokud jsou cívky v blízkosti cílového tělesa, které indukuje proud, začne přijímač vydávat signál. Elektromagnetické metody využívají více měrnou vodivost (konduktivitu) než měrný odpor (rezistivitu). Převrácenou hodnotu měrného odporu ρ je měrná vodivost σ , jednotkou je siemens/metr S/m (Mussett a Aftab Khan 2000).



Obr. 15 - Princip metody elektromagnetického měření (Mussett a Aftab Khan 2000).

5.6 Elektromagnetické profilování

Elektromagnetické metody jsou ty, kterými se vyhledávají strmé a lokální odporové nehomogenity. Využitelné jsou při téměř všech geofyzikálních pracích (hydrogeologických, inženýrskogeologických aj.), nejčastěji je jich ovšem využíváno při

geologickém mapování a při rudní prospekci. Elektromagnetické profilovací metody dělíme na přechodové a harmonické, podle místa měření na letecké, podzemní a pozemní, podle zdroje pak na metody pasivní a aktivní. Aktivní harmonické metody tvoří největší skupinu podzemních metod a dělí se na dvě skupiny – metody malých dipólových zdrojnic (dipólové elektromagnetické profilování DEMP) a metody velkých nepohyblivých zdrojů (metody kabelu a smyčky) (Mareš, et al. 1990).

Přechodové metody používají principu vybuzení změny elektromagnetického pole uměle, které trvá určitou přechodovou dobu po které se ustálí na původní hodnotu. Harmonické metody mají všechny veličiny elektromagnetického pole proměnné s časem jako harmonické goniometrické funkce sinus a cosinus. Dělí se podle frekvence na vysokofrekvenční (vlnové) (100 kHz – 100 MHz) a nízkofrekvenční (pod 1Hz – desítky kHz) (Mareš, et al. 1990). Další metody jsou pasivní a aktivní. Pasivní metody pracují s přirozeným elektromagnetickým polem např. elektromagnetickým polem Země. Pasivními metodami jsou magnetotelurické metody. Při metodách aktivních jsou magnetická pole vytvořena člověkem uměle (radiostanice) (Mareš, et al. 1990).

5.6.1 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Profilová verze elektromagnetického průzkumu kdy je zdrojem magnetický dipól vytvořený malou cívkou se střídavým polem se nazývá dipólové elektromagnetické profilování (DEMP), nebo dipólové induktivní profilování (DIP). Tyto metody měření jsou nejrozšířenějšími elektromagnetickými metodami. Měřicím prvkem je cívka, v níž je indukované napětí úměrné složce magnetického pole, které je rovnoběžné s osou cívky. Měří se nejčastěji:

- imaginární a reálná část (nebo fáze a amplituda) u vektoru magnetického pole se měří některé směrové složky (metoda slingram)
- úhel sklonu velké poloosy elipsy polarizace
- parametry elipsy polarizace

5.6.2 Vícerozsahové elektromagnetické měřiče vodivosti CMD

Elektromagnetické měřiče vodivosti CMD od firmy Gf Instruments s. r. o. Brno jsou bezkontaktní geofyzikální přístroje k vyhodnocování inphase (susceptibility) hornin a půdy a vyhodnocování měrné vodivosti. Sondy jedno nebo vícerozsahové umožňují jedno nebo vícevrstvé mapování v klasickém či GPS modu včetně mobilních aplikací. Jsou určené pro měření hloubek v rozmezí 0.5 – 9 m. Mají vysokou teplotní stabilitu a přesnou kalibraci systémy CMD, což umožňuje elektromagnetickou inverzi s řezy (gradientní struktury nebo vrstevnaté) odpovídajícími DC tomografií. Tato snadná metoda měření je výhodná za náročných podmínek jako např. suchá nebo zmrzlá půda. Použití je možné pro geologický průzkum, surovinový průzkum, geotechniku, ekologické monitorování, zemědělství a lesnictví, ochranu podzemních vod, archeologii, detekci inženýrských sítí a kovových předmětů (www5).

6. Metodika

6.1. Použité přístroje pro měření

Multikabelové odporové profilování

Přístroj použitý k měření v terénu je ARES model 5.3, vyrobený českou společností GF Instruments, s.r.o. Tento přístroj byl zvolen kvůli jeho schopnosti měřit nedestruktivně a do hloubek až 60 m pod povrchem.

Příslušenství řídicí jednotky, které bylo při měření použito (obr. 16)

- T-kus (pro připojení sekcí multielektrodového kabelu a kabelů pro proudové a napěťové elektrody)
- kabel pro externí 12 V akumulátor
- kabely pro RS232 a USB
- AC/DC adaptér (pro všechny země)
- PC software ARES (pro MS Windows)
- 12 V baterie včetně nabíječky
- multielektrodové kabely – aktivní a pasivní včetně nepolarizovaných elektrod (obr. 17)



Obr. 16 - Řídicí jednotka ARES v 5.3 (Gf instruments).



Obr. 17 - multielektrodový kabel s 8 elektrodami (Gf instruments).

GPS Ashtech ProMark500 se záznamníkem MobileMapper 10

GPS Ashtech ProMark500 - GNSS přijímač od společnosti Ashtech. Přístroj je tvořen anténou ProMark500 a polního kontroloru Magellan. Magellanův RTK systém nabízí kompaktní GNSS řešení. Přístroj je bezkabelový a lehký.

MobileMapper 10 – je nejmodernější outdoorový GPS PDA přístroj pro sběr geodetických dat do grafických informačních systémů. Jedná se o vodotěsné a odolné PDA s otevřeným operačním systémem. Tento přístroj dává možnost sběru dat v libovolných softwarech, které se dají do přístroje nainstalovat.

Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Jako doplňkové měření, bylo použito dipólového elektromagnetického profilování přístrojem CMD (obr. 19).

Přístroj CMD (od firmy GF Instruments s.r.o.) se sondou CMD - 4 s hloubkovým dosahem 6 - 3 m. Skládá se z:

řídící jednotka

- AC/DC adaptér pro 100-240 V AC, 50-60 Hz
- kabel pro 12 V automobilovou zásuvku
- vnitřní držák pro 6 ks článků AA
- nosný popruh
- kabel pro přenos dat do PC a na Flashdisk
- CD se softwarem

sondy

- efektivní (high/low) hloubkový dosah - 6.0 / 3.0 m
- vzdálenost středů dipólů - 3.77 m

Řídící jednotka (obr. 18) se obsluhuje klávesnicí s grafickým displejem. Má velkou datovou paměť. Také má manuální a kontinuální měřicí režim s GPS. Výsledkem tohoto bezkontaktního mapování elektrickou vodivostí hornin je mapa anomálií vodivosti, ze které lze interpretovat složení hornin (zrnitost sedimentů, pohřbené objekty, apod.)



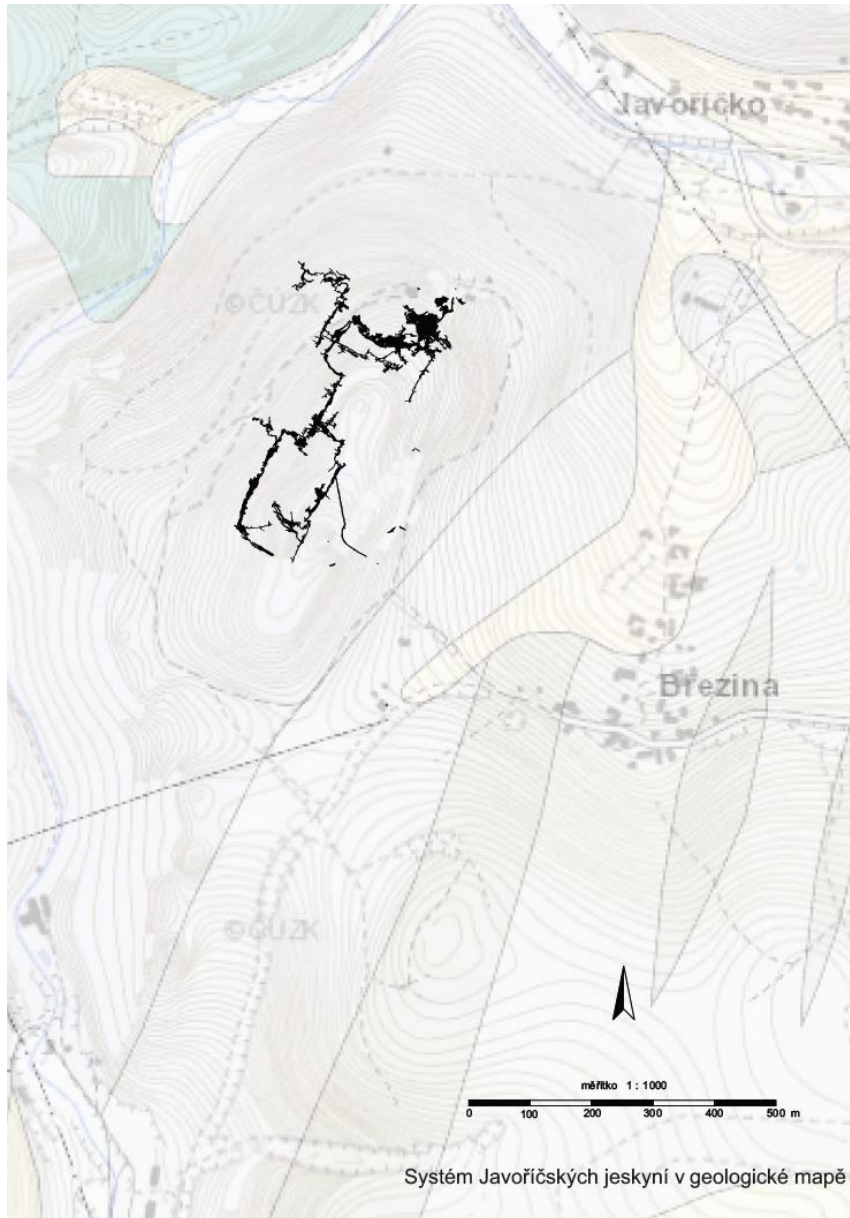
*Obr. 18 - Řídící jednotka CMD
(Gf instruments)*



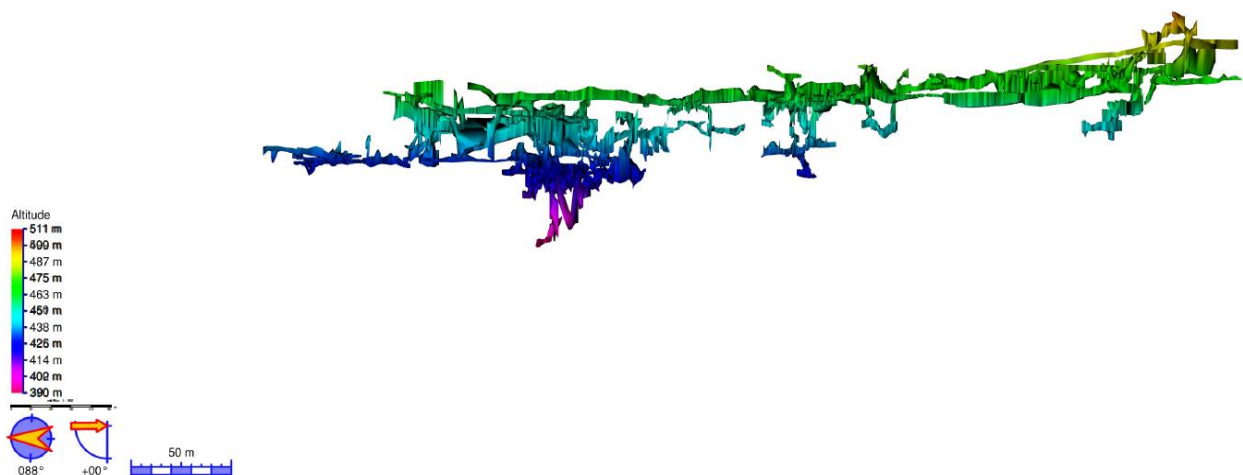
Obr. 19 - Měření s CMD- 4 (Jana Mlynářová).

6.2 Měření v terénu

Na základě 3D modelu jeskyní, vytvořeného speleologickou skupinou Estavela a mapy, ve které je vytvořena mapa jeskyní, jsem vyznačila místa, která jsou nejvhodnější pro měření a to taková, kde je měřený profil veden jak nad místy jeskynních prostor (kdy si můžeme ověřit přesnost měření), tak nad místy, kde další jeskynní prostory můžeme předpokládat.



Obr. 20 – Geologická mapa s mapou Javoričských jeskyní, upraveno (www2).



Obr. 21 - 3D model jeskyní v programu Loch. Pohled na model Javoříčských jeskyní od západu (Estavela 2013, nepublikováno).

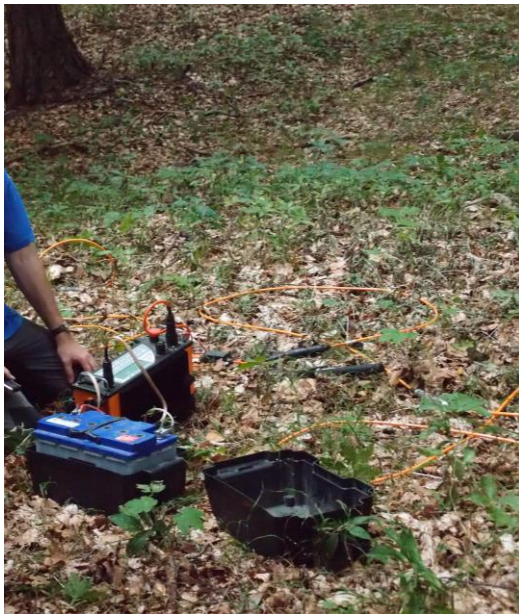


Obr. 22 - Výběr místa pro měření (Jana Mlynářová). Obr. 23 - GPS zaměření profilu (Jana Mlynářová).



Obr. 24 - Natažení multi-elektrodového kabelu podél pásma s připravenými nerezovými elektrodami (Jana Mlynářová).

V trénu jsme vytyčili a přesně zaměřili průběh profilu za pomoci GPS, geologického kompasu a měřicího pásma. Podél nataženého pásma jsme rozmístili a vpravili do země nerezové elektrody. Potom jsme rozvinuli multi-elektrodotý kabel. Nakonec jsme připojili kabel k řídicí jednotce automatického geoelektrického systému ARES (GF Instruments, s. r. o.) a zadali vstupní data pro dané měření – rozstup elektrod 2 nebo 3 m, použitý typ uspořádání Wenner - Schlumberger, délkou impulsu 0,5 s a zprůměrováním dat (stacking) ze 4 měření v každém bodě, maximální hloubkový dosah inverzního modelu je cca 40 m pod povrchem. Měřeno bylo celkem devět 2D profilů o délkách 176 až 240 m. Po spuštění je oznámena možná chyba na určitém úseku měření, kterou ještě můžeme opravit kontrolou dané elektrody. Po nápravě problému proběhne samotné měření.



Obr. 25 – Připojení kabelu k měřicí jednotce geoelektrického systému ARES (Jana Mlynářová).

6.3 Softwarové zpracování

Elektrická odporová tomografie (ERT)

Po měření všech profilů byla naměřená data stažena z řídicí jednotky automatického geoelektrického systému ARES do PC. Pro zpracování dat bylo použito programu ARES v 5.3. Data se zpracovala v programu RES2DINV (Geotomo Software). Počítačový program RES2DINV slouží k inverzi naměřených odporových dat ve vrstvách a tvoří se v něm model měrného odporu (zde ve 2D), na základě předdefinovaných matematických metod. V této práci se použilo inverze metodou nejmenších čtverců (least-square inversion). Inverzní program, který model 2D využívá, je složen z mnoha bloků a datových bodů. Velikost a distribuce bloků se automaticky generuje programem, využívající datové body jako orientační předlohu. Modelující podprogram je dalším, který je při zpracovávání dat využíván. Tento program vypočítává měrný odpor. Při znázorňování modelu inverzních sekcí měrného odporu je využíváno v průměru 5 iterací inverze pro vykreslení 2D inverzního profilu.

Dále bylo použito programu Surfer, který spojením základních a konturových map vytvořil kopii profilu. Naměřená data byla doplněna topografickými daty z měření GPS každého jednotlivého profilu v programu Surfer 7.0. Programu Garmin software pro správu dat GPS garmin bylo použito pro načtení GPS souřadnic k jednotlivým profilům. Poslední úpravy byly provedeny v grafickém programu CorelDRAW.

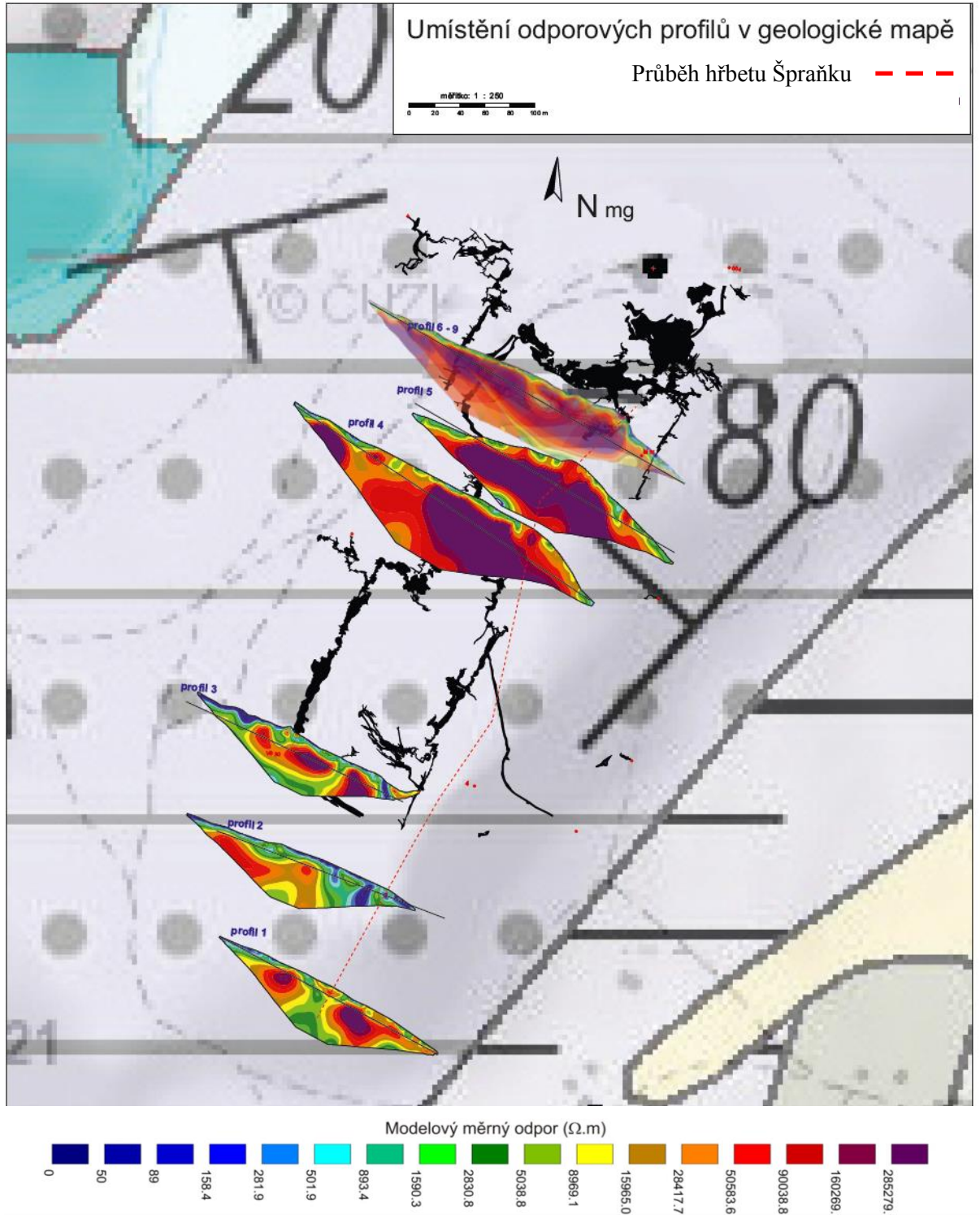
Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Měření metodou DEMP bylo provedeno vícerozsahovým elektromagnetickým měřičem vodivosti (konduktometr) CMD-4. Měřič tvoří 4 m dlouhá tyč, na které je upevněna řídicí jednotka. Měřič má na jednom konci měřicí cívku a na druhém konci vysílací cívku. Měření je bezkontaktní a probíhá za chůze každých 0,5 sekund, kdy je měřič zavěšen na těle osoby která měření provádí, ve výšce pasu. Každé jednotlivé měření obsahuje zaznamenanou GPS polohu. Hodnoty měření jsou ve zdánlivé vodivosti (mS/m), rozlišovací schopnost přístroje 0,1 mS/m s přesností +/- 4 %. Hloubkový dosah 6 m (nastavení „high“). Data z měření byla stažena do PC a zpracována v programu Qgis 2.10.1. Po interpretaci dat je výsledkem mapa vodivostních anomálií, která byla aplikována na podkladovou mapu z Mapy.cz. Pro doplnění byla na mapu přidána mapa jeskyní z archivu ZO ČSS 7-09 Estavela.

7. Výsledky

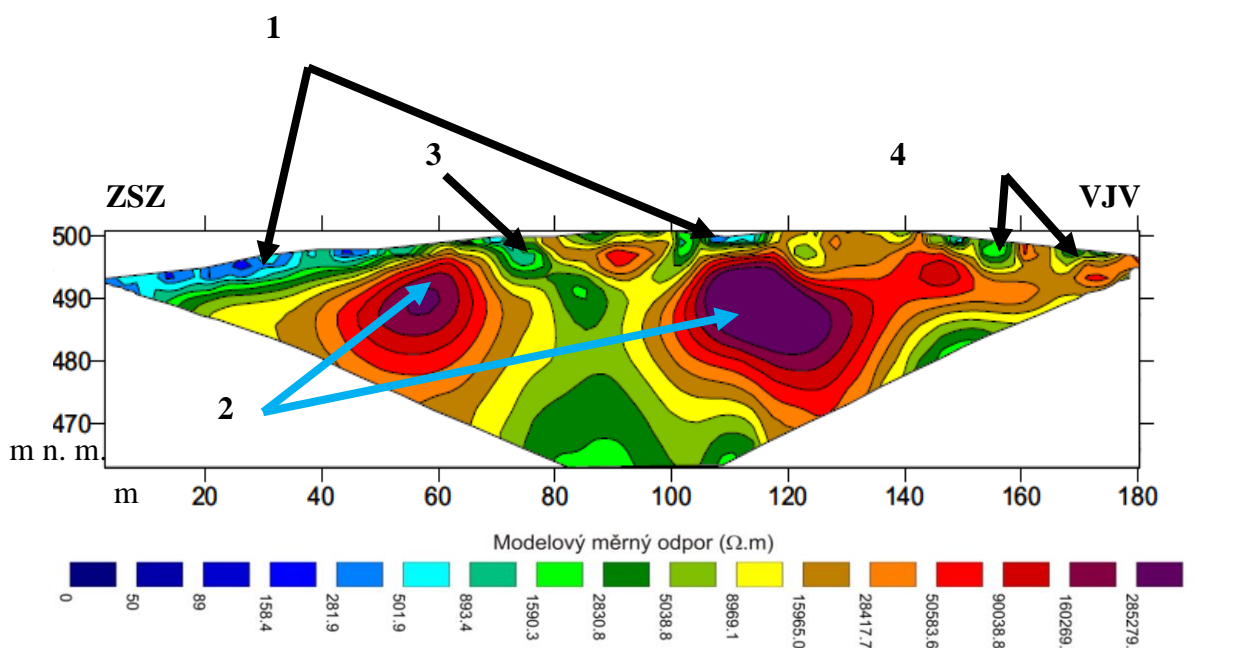
7.1 Měření metodou elektrické odporové tomografie (ERT)

Pro měření byla vybrána místa, kde předpokládáme další průběh jeskynního systému. Na lokalitě bylo provedeno 9 profilových měření (obr. 30).



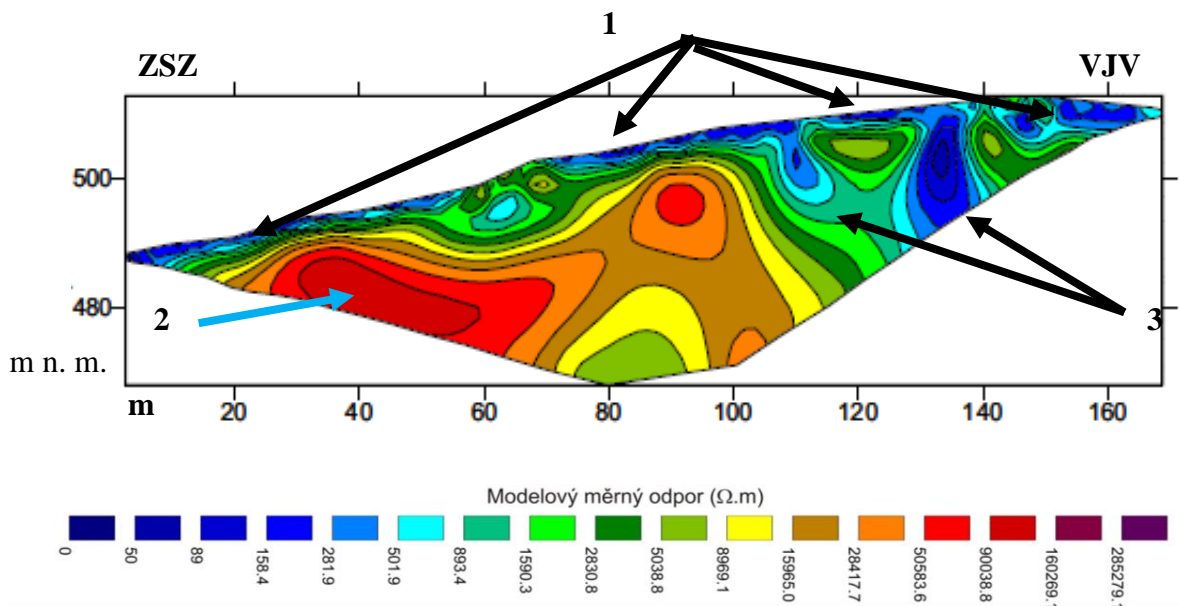
Obr. 26 – Geologická mapa (www2) masivu Špraňku v měřítku 1:250 a okolí. V mapě je vložena mapa Javoříčských jeskyní a profily ERT upraveno.

Profil č. 1 (obr. 27) byl měřen 23. 7. 2014, v době měření profilu bylo teplo okolo 30°C. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 192 m s rozstupem elektrod 2 m (96 elektrod). Domény 1 - kvartérní pokryv, zvětraliny (50 - 500 Ω . m). Domény 2 - masivní vápence (50000 - 285 000 Ω . m). Doména 3 - zkrasovělá vápencová tektonická porucha (500 - 2800 Ω . m). Domény č. 4 - povrchové krasové struktury (závrty) (500 - 2800 Ω . m). Tento profil je měřen na okraji masivu Špraňku.



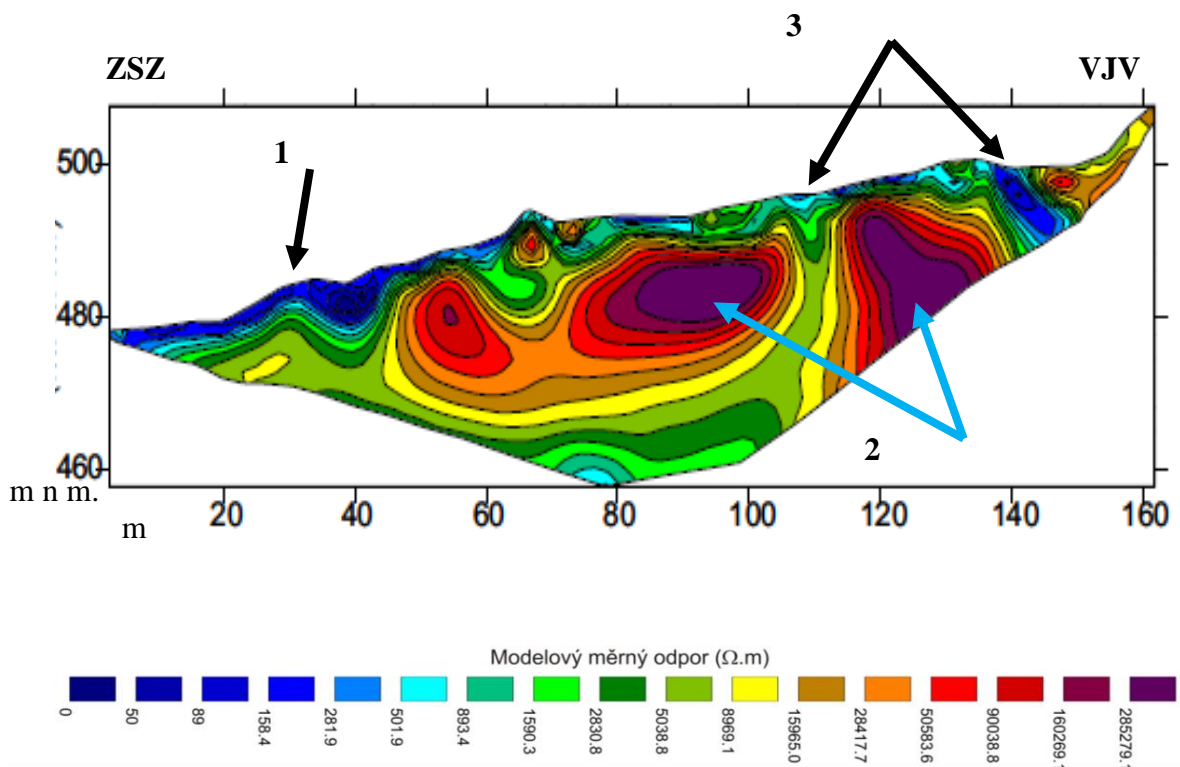
Obr. 27 – ERT profil č. 1 s označením domén.

Profil č. 2 (obr. 28) byl měřen 22. 7. 2014 a při teplotě kolem 30°C po dlouhodobém suchém období. V době měření pršelo. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 176 m s rozstupem elektrod 2 m (88 elektrod). Domény 1 - svahoviny a zvětraliny, kvartérní pokryv (cca 50 - 500 Ω . m). Doména 2 - masivní vápence (50000 - 150000 Ω . m). Domény 3 - zkrasovělé vápencové tektonické poruchy (cca 50 - 1500 Ω . m).



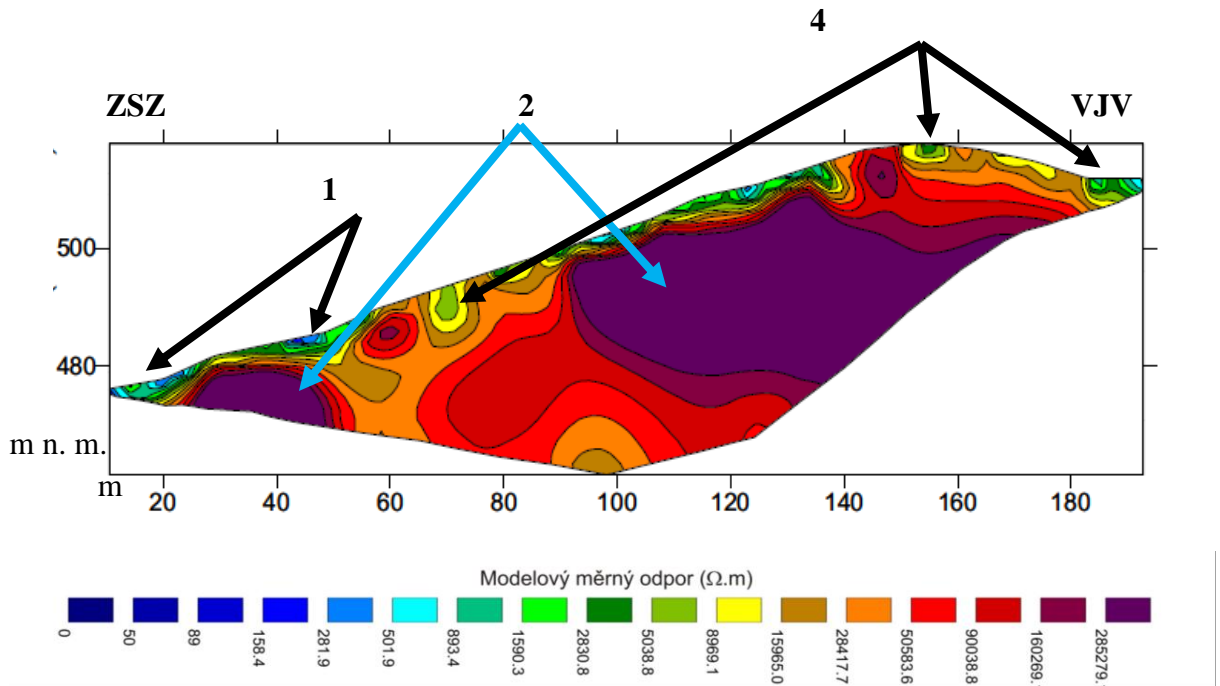
Obr. 28 – ERT profil č. 2 s označením domén.

Profil č. 3 (obr. 29) byl měřen 21. 7. 2014 v den měření přšlo, ovšem po dlouhém období sucha. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 176 m s rozestupem elektrod 2 m (88 elektrod). Doména 1 - svahoviny a zvětraliny (resistivita cca 50 - 150 $\Omega \cdot m$). Domény 2 - masivní vápence (50000 - 290000 $\Omega \cdot m$). Domény č. 3 - zkrasovělé vápencové tektonické poruchy (50 - 9000 $\Omega \cdot m$). .



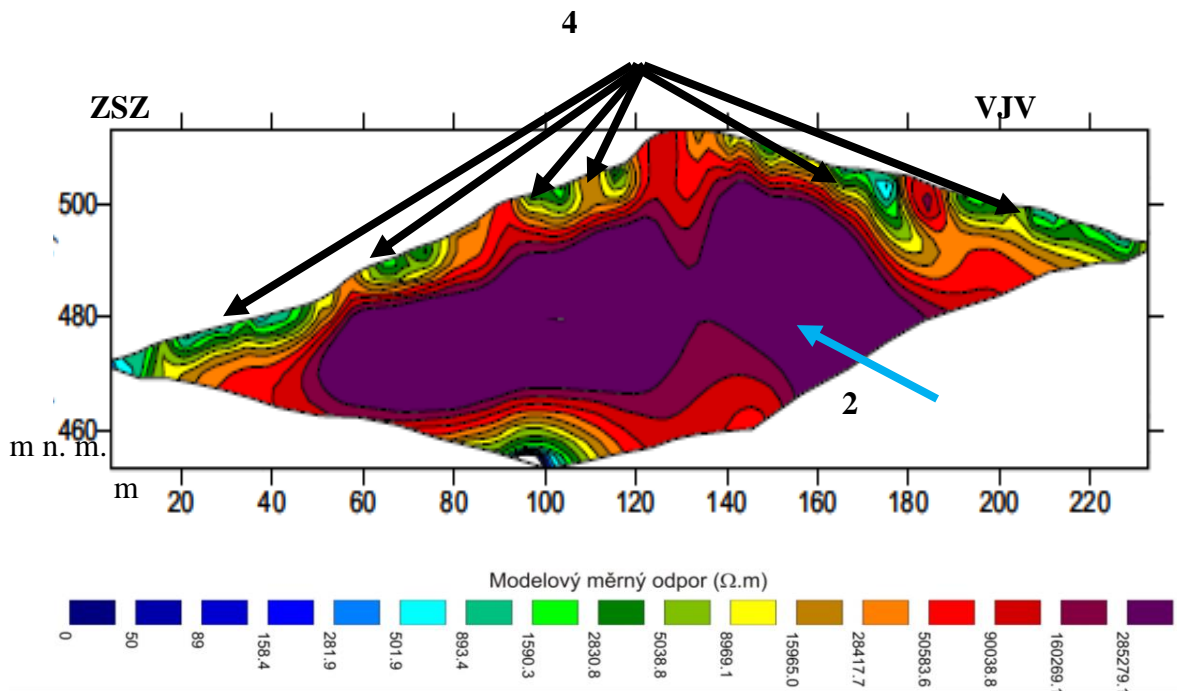
Obr. 29 – ERT profil č. 3 s označením domén.

Profil č. 4 (obr. 30) byl měřen 24. 7. 2014. V den měření pršelo. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 192 m s rozstupem elektrod 2 m (96 elektrod). Domény č.1 - svahoviny a zvětraliny (resistivita cca 50 - 500 $\Omega \cdot m$). Domény 2 - masivní vápence (160000 - 290000 $\Omega \cdot m$). Domény 4 - povrchové krasové struktury (900 - 9000 $\Omega \cdot m$).



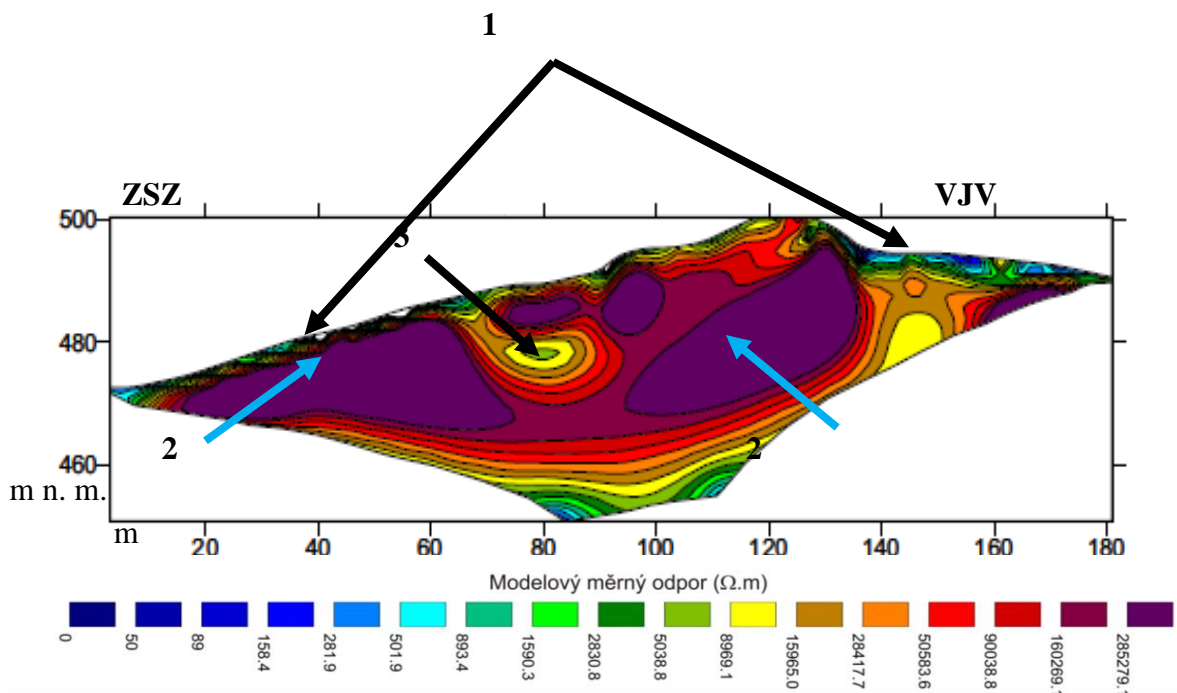
Obr. 30 – ERT profil č. 4 s označením domén.

Profil č. 5 (obr. 31) byl měřen 6. 7. 2015 v den měření bylo slunečno a teplo okolo 25°C, po dlouhém období dešťů. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 240 m s rozstupem elektrod 3 m (96 elektrod). Doména 2 - masivní vápence (90000 - 290000 $\Omega \cdot m$). Domény 4 - povrchové krasové struktury vyplněné sedimenty (500 - 9000 $\Omega \cdot m$).



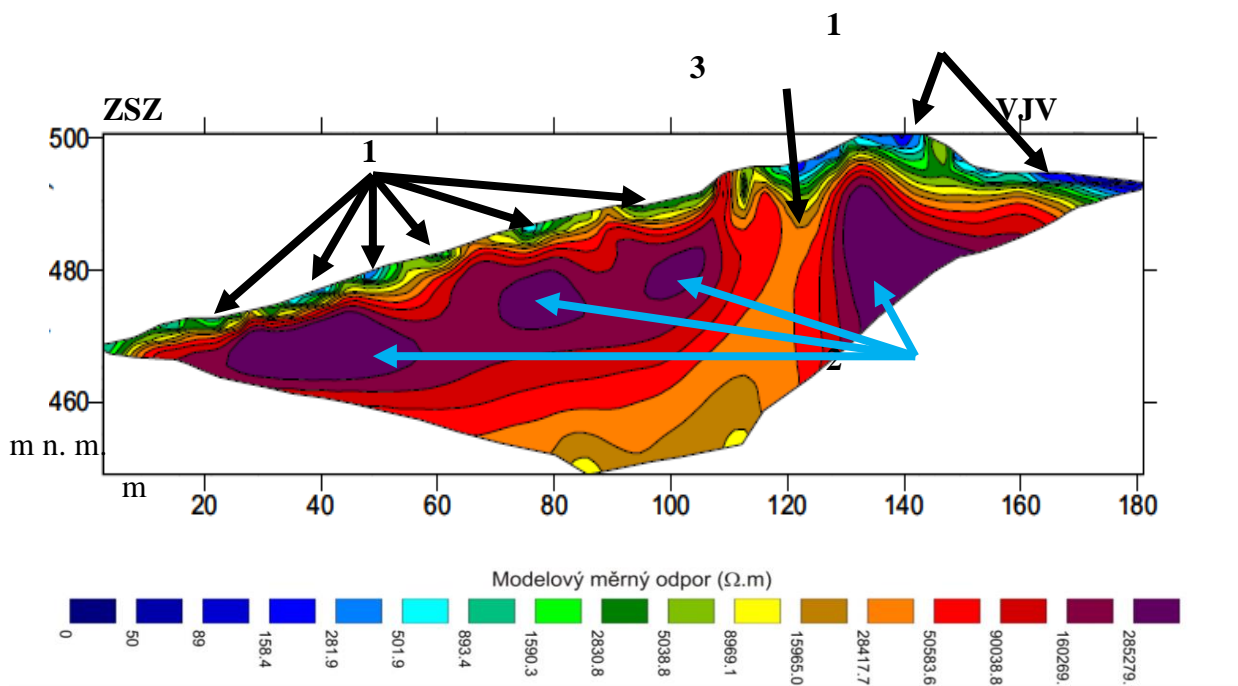
Obr. 31 – ERT profil č. 5 s označením domén.

Profil č. 6 (obr. 32) byl měřen 7. 7. 2015 v den měření bylo teplo a slunečno po dlouhém období dešťů. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, o délce 192 m s rozstupem elektrod 2 m (96 elektrod). Domény 1 - svahoviny a zvětraliny (resistivita cca 50 - 150 $\Omega \cdot m$). Domény 2 - masivní vápence (50000 - 290000 $\Omega \cdot m$). Doména 3 - zkrasovělá vápencová tektonická porucha (150 - 16000 $\Omega \cdot m$).



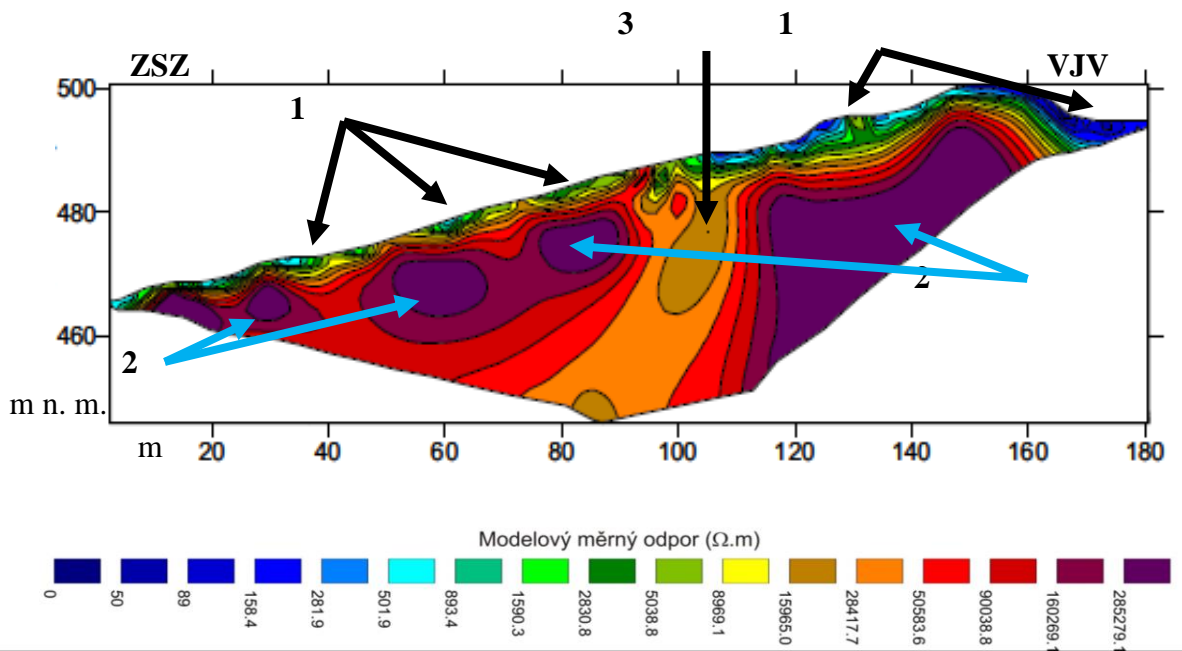
Obr. 32 – ERT profil č. 6 s označením domén.

Profil č. 7 (obr. 33) byl měřen 8. 7. 2015 po dlouhém období dešťů. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 192 m s rozestupem elektrod 2 m (96 elektrod). Domény 1 - svahoviny a zvětraliny (resistivita cca 50 - 300 Ω . m). Domény 2 - masivní vápence (90000 - 290000 Ω . m). Doména 3 - zkrasovělá vápencová tektonická porucha (150 - 28000 Ω . m).



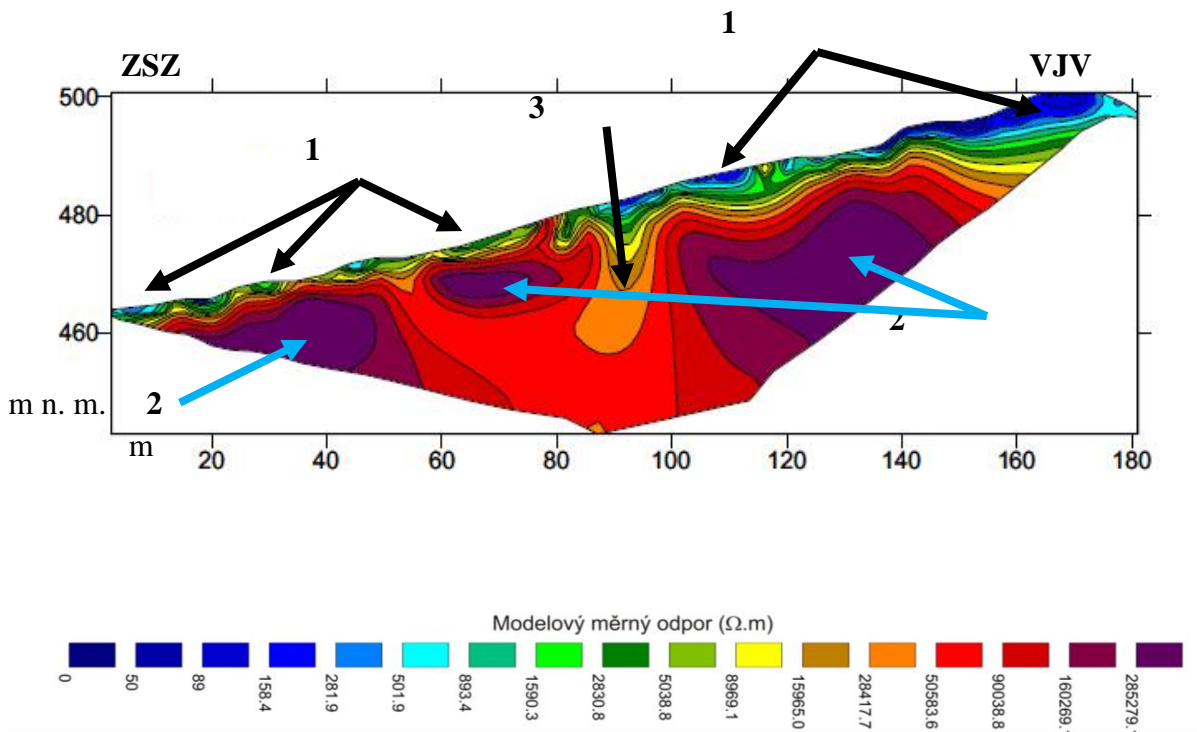
Obr. 33 – ERT profil č. 7 s označením domén.

Profil č. 8 (obr. 34) byl měřen 9. 7. 2015 po dlouhém období dešťů. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 192 m s rozestupem elektrod 2 m (96 elektrod). Domény 1 - svahoviny a zvětraliny (resistivita cca 50 - 300 Ω . m). Domény 2 - masivní vápence (90000 – 290000 Ω . m). Doména 3 - zkrasovělá vápencová tektonická porucha (9000 - 28000 Ω . m).



Obr. 34 – ERT profil č. 8 s označením domén.

Profil č. 9 (obr. 35) byl měřen 10. 7. 2015. Profil je měřen ve směru ZSZ – VJV, má délku 192 m s rozstupem elektrod 2 m (96 elektrod). Domény 1 - svahoviny a zvětraliny (resistivita cca 50 - 300 $\Omega \cdot m$). Domény 2 - masivní vápence (90000 - 290000 $\Omega \cdot m$). Doména 3 - zkrasovělá vápencová tektonická porucha (9000 - 28000 $\Omega \cdot m$).

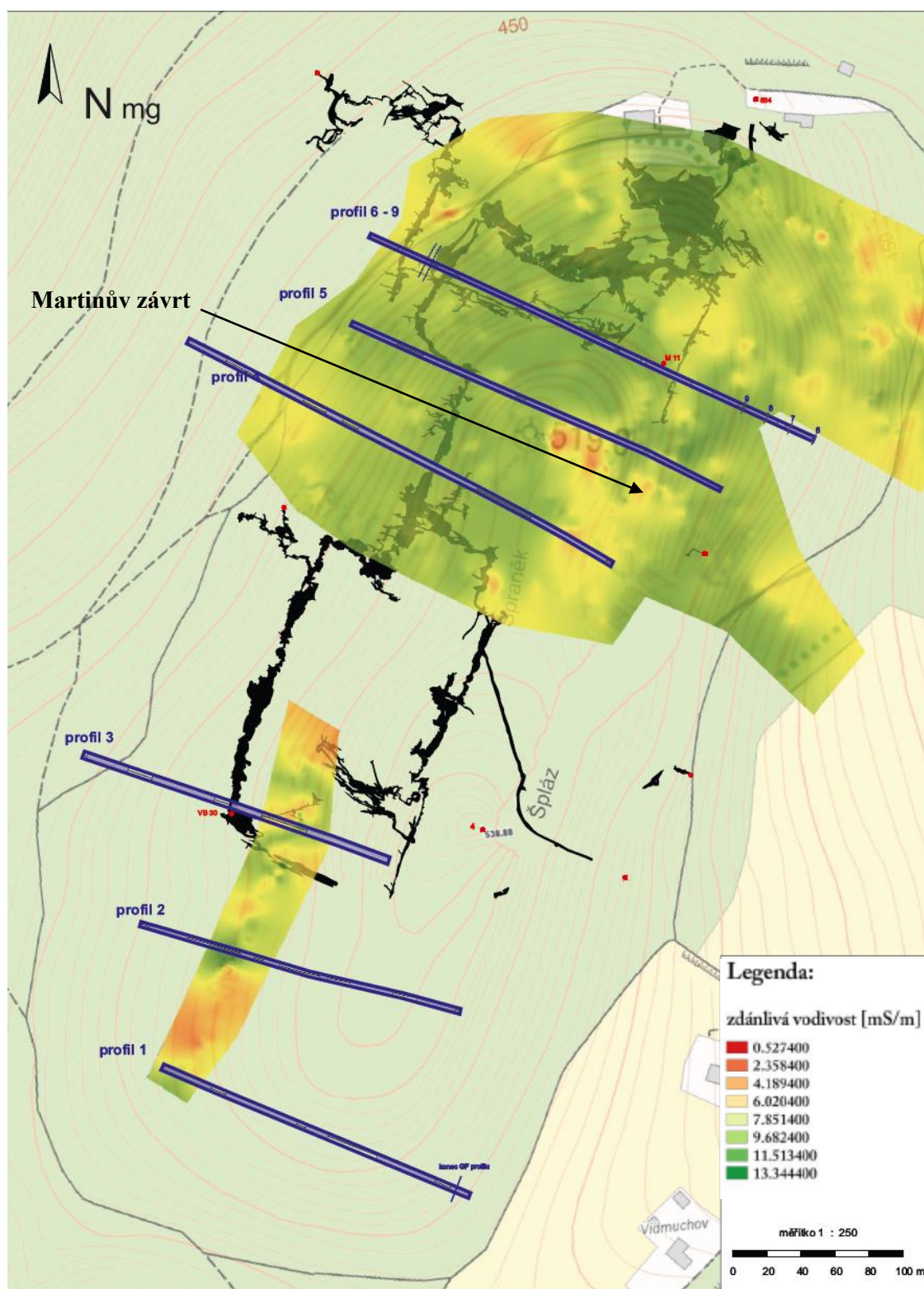


Obr. 35 – ERT profil č. 9 s označením domén.

7.2 Dipólové elektromagnetické profilování (DEMP)

Jako doplňující bylo nad rámec zadání diplomové práce provedeno dipólové elektromagnetické profilování (DEMP) přístrojem CMD (GF Instruments s.r.o.) se sondou CMD - 4 s hloubkovým dosahem 6 / 3 m. V severovýchodní části Špraňku bylo provedeno 14 měření a jedno měření proběhlo v jihozápadní části nad závěrem Olomouckého dómu. Měření neproběhlo nad celými jeskyněmi z důvodu náročného terénu (strmé skalní stěny) a hustého zalesnění. Měření bylo provedeno ve dnech 27. - 29. 3. 2015 při teplotách okolo 5°C. Naměřená data se průběžně ukládala do vnitřní paměti řídicí jednotky, do vhodně pojmenovaných souborů, propojené s měřicím systémem.

Hodnoty zdánlivé vodivosti se pohybují v rozmezí 2,3584 mS/m – 13,3444 mS/m. Nízké hodnoty odpovídají oblastem se špatnou vodivostí, které znamenají výskyt neporušených hornin blízko pod povrchem. Vysoké naměřené hodnoty odpovídají zónám s dobrou vodivostí, pravděpodobně jsou tvořeny svahovými sedimenty a horninami tektonicky nebo erozně porušenými. Na většině území se projevují nízké hodnoty. U profilu č. 5 je dobře patrný Martinův závrť (obr. 36) vykazující vysoké hodnoty (2,3584 mS/m). Směrem na jih od tohoto závrtu je parné množství menších povrchových krasových struktur. Tato část masivu má mírnější sklon a dochází zde k intenzivnějšímu narušování povrchovou vodou. Jinak se zde neobjevují významnější struktury, které by měly význam pro další průzkum.

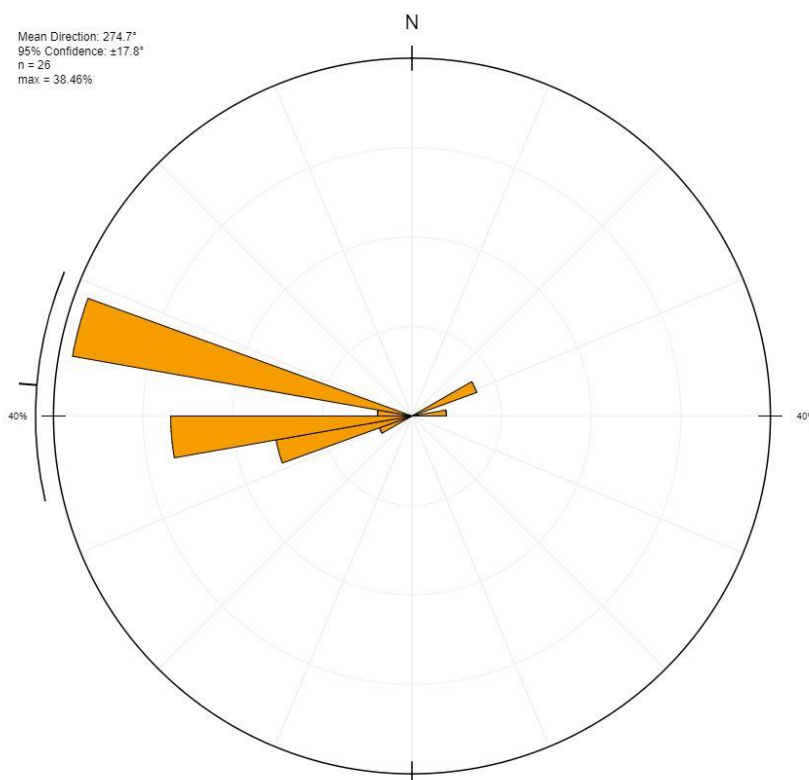


Obr. 36 – Mapa s výslednou projekcí dat z měření dipólové elektromagnetické profilování (DEMP). Podkladová mapa převzata z portálu Mapy.cz (www1).

8. Diskuze

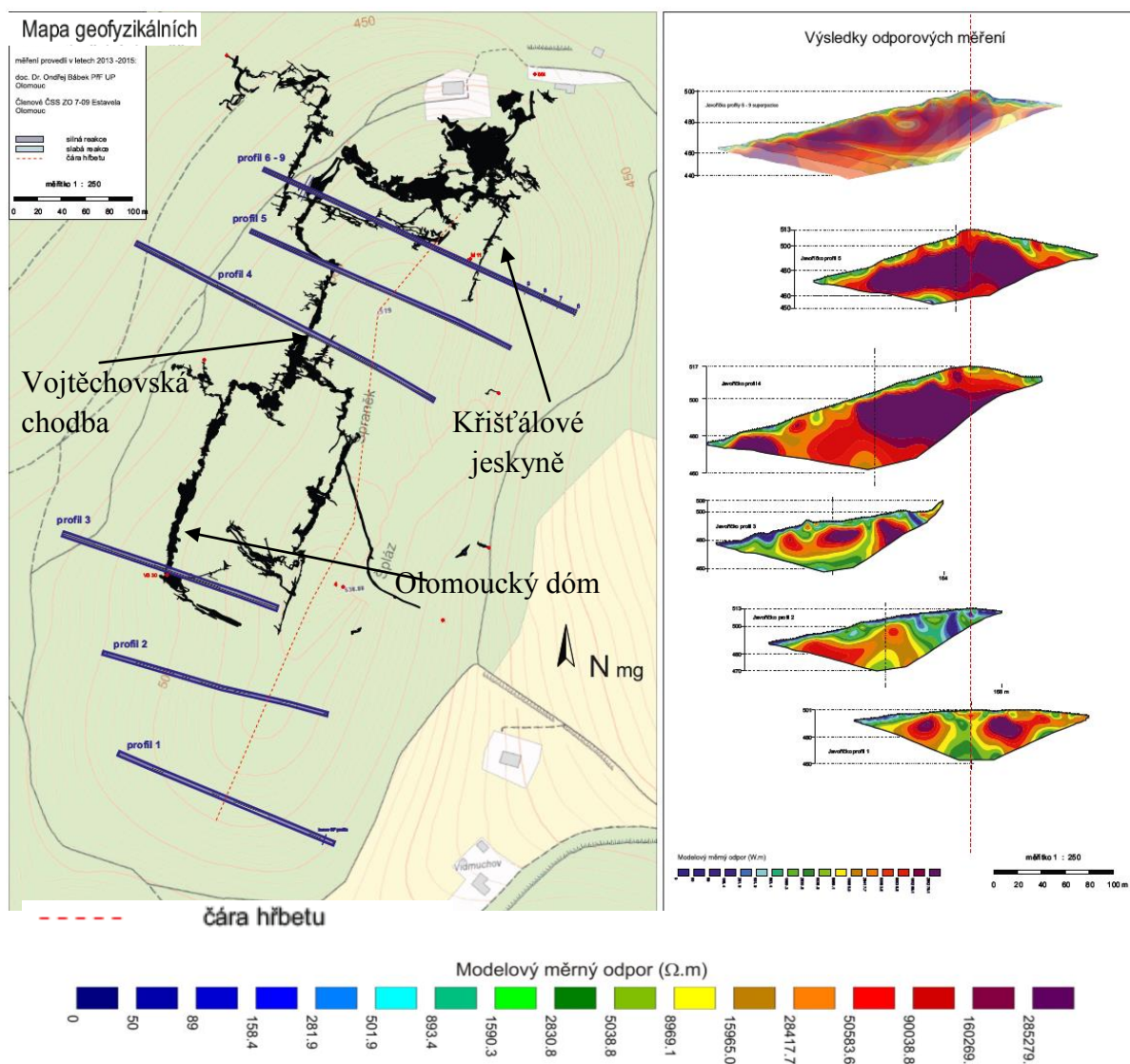
Javoříčské jeskyně byly vybrány pro měření z důvodu dlouhodobého speleologického výzkumu prováděného speleologickou skupinou Estavela ZO 7-09 již od roku 1983. V posledních letech se zabývá hlavně výzkumem v Olomouckém dómu, a Kříšťálové jeskyni. Olomoucký dóm je největším dóme v Javoříčských jeskyních. Je vysoký 10 m, široký 15 m a přes 130 m dlouhý ve směru SSV - JJZ, zakončený je závalem.

Javoříčské jeskyně jsou založeny na tektonických poruchách puklin a foliací, kde jsou hlavní směry foliací SSV – JJZ a puklinový systém ZSZ – VJV směru. Významné jsou především puklinové systémy ZSZ – VJV, na kterých je založena většina hlavních a nejdelších chodeb a směry foliací SSV – JJZ, na kterých jsou založeny většinou kratší spojovací chodby. Pro potvrzení průběhu puklinového systému jsem provedla několik měření (obr. 37) na povrchu, abych si ověřila správnost měření, která zde byla prováděna při průzkumech např. doktorkou J. Loučkovou – Michovskou, J. Kadlíkovou, G. Přecechtělovou aj. Růžicový diagram potvrdil správnost výše zmíněného tvrzení o směrech foliací a puklin. Na diagramu je vidět hlavní směr puklin ve směru ZSZ – VJV na kterém jsou jeskyně vytvořeny a na základě toho bylo zvoleno měření kolmo na hlavní jeskynní systémy.



Obr. 37 - Růžicový diagram – hlavní směry foliací jsou ve směru ZSZ – VJV naměřené na masivu Špraňku.

Poté bylo provedeno měření metodou elektrické odporové tomografie (ERT) (obr. 38).



Obr. 38 – Mapa s vyznačenými profily vlevo a mapou jeskyní (archiv Estavela 2017, nepublikováno), vpravo naměřené profily v pořadí v jakém jsou znázorněny na mapě. Podkladová mapa z portálu Mapy.cz (www1).

Profil č. 1 je veden v místech, kde nejsou žádné jeskynní prostory známe a jedná se o okraj masivu Špraňku. Je zde také na povrchu velké množství závrtů, nebo průzkumných jam, které zde byly vytvořeny při ložiskovém průzkumu území, neboť jsou vedle „závrtů“ kupy vykopané suti. A tyto závrtů jsou zřejmě patrné i na tomto profilu. Také je zde vidět porucha, snad komín, vyplněný suti. Vápence tu vykazují nižší měrný odpor. Profil nevykazuje žádné prázdné krasové prostory.

Profil č. 2 je veden v místě, kde by mohlo být případné pokračování Olomouckého dómu. Pravá polovina profilu je vedena těsně pod vytěženou částí bývalého lomu, kde jsou na povrchu zřetelně viditelné pozůstatky odtěžené části jeskynních prostor (stěny jsou pokryté zvětřalými speleotémami a mezi suti jsou hojné zvětřalé části stalaktitů a stalagmitů). Na této pravé straně profilu je zachycen zřejmě komín (nižší měrný odpor 50

– 900 Ω .m odpovídající krasovým strukturám a sedimentům), který by mohl být spojnicí mezi odtěženým patrem a možným pokračováním do nižších pater jeskynního systému. Profil v těchto místech má dosah pouze přibližně 20 m hloubky a není tedy jasné, jak hluboko tento komín zasahuje a zda může ústít do nějaké dutiny nebo jeskynních prostor. V nejnižší části profilu je snížený měrný odpor 900 – 8000 Ω .m, což by odpovídalo prostorám vyplněným jíly, písky a šterky, které bývají v některých zdejších jeskynních prostorách jako výplně. Také by umístění odpovídalo možnému pokračování Olomouckého dómu.

Profil č 3 je veden kolmo na závěr Olomouckého dómu, který je zakončen závalem. Na profilu v jeho pravé části je patrná porucha, která může detekovat komín. Odpovídalo by to situaci, protože v těchto místech jsme objevily během bádání za závalem Olomouckého dómu prostory, který jsou kolmé na samotný dóm a ústí z nich směrem k povrchu komín, vyplněný hlínami, který je pouhých 5 m pod povrchem. Také je zde v nejnižší části profilu snížený odpor hornin (500 – 2800 Ω .m), který by odpovídal stropu Olomouckého dómu, který je v těchto místech v hloubce cca 40 m pod povrchem.

Profil č. 4. Tento profil je veden kolmo na Vojtěchovskou chodbu a na možné pokračování Křišťálové jeskyně. V nejnižší části měřeného profilu je patrný nižší měrný odpor (500 – 2800 Ω .m) a také v levé části profilu je patrná porucha se sníženým odporem. Zřejmě se jedná o zlom, nebo by případně mohl být zastižen strop Vojtěchovské chodby, který je v tomto místě v hloubce cca 40 m pod povrchem, což odpovídá i naměřené hloubce profilu pod povrchem.

Profil č. 5 je měřen kolmo na Špraněckou chodbu, která se v místě měření profilu lomí téměř v pravém úhlu ze směru SSV – JJZ na směr SZ - JV. Ve spodní části profilu v hloubce cca 40 m pod povrchem je patrný snížený měrný odpor hornin (150 – 29000 Ω .m), který by mohla odpovídat stropu Špraněcké chodby, který vede v těchto místech v hloubce cca 40 m. Na povrchu je patrné mnoho povrchových tektonických struktur, zřejmě závrťů, které jsou v tomto místě hojné.

Profily č. 6, 7, 8 a 9 jsou vedeny kolmo na Hlinité jeskyně, Panenskou jeskyni, Křišťálovou jeskyni a paralelně s Objevnou cestou. V tomto místě bylo provedeno měření čtyř překrývajících se profilů, které byly vždy posunuty o 16 m a to směrem od VJV k ZSZ. Mělo tak být docíleno co nejpřesnějších výsledků.

Na profilu č. 6 je ve spodní části profilu, cca 30 m pod povrchem, je patrný nižší měrný odpor (150 – 29000 Ω .m), který by mohl být stropem Křišťálové jeskyně, který je cca 30 m pod povrchem, což by odpovídalo i hloubce. Je zde také zachycen v levé části profilu závrť, lokalizací přesně odpovídající Martinovu závrťu. V pravé části profilu je viditelný komín, bohužel v tomto místě je hloubka naměřeného profilu pouze cca 20 m pod povrch, ale není vyloučeno, že navazuje na možný strop křišťálové jeskyně. V tomto místě by bylo vhodné provést další měření, které by bylo posunuto cca 50 m směrem k VJV, aby objasnil souvislost tohoto komínu s jeskynními prostory. Protože z Křišťálové jeskyně vede několik komínů, které jsou vyplněny hlínou a sutí.

Profil č. 7 je také veden ve stejném místě jako profil č. 6, ale je pouze o 16 metrů posunut směrem k ZSZ. I na tomto profilu se podařilo, v pravé části profilu, zachytit Martinův závrť, ovšem tady se jeví spíše jako komín, nebo zlom, který má souvislost se

spodní částí profilu, kde jsou opět naměřeny nižší odpory (9000 – 16000 Ω .m). Jsou zde také další dva zlomy směrem vlevo od tohoto závrtu.

Profil č 8 je veden ve stejném místě jako dva předešlé profily, pouze o dalších 16 m posunut směrem k ZSZ proti profilu č. 7. Tento profil také zobrazuje komín, nebo zlom, ovšem v tomto přídatě, oproti předešlému profilu, se jeví jako komín nebo zlom, který na předešlém profilu nebyl takto výrazný a naopak Martinův závrt se zde projevuje jako nevýrazný závrt. Jsou zde patrné také další dva zlomy vpravo od komína.

Na profilu č. 9 je tentokrát výrazným další ze zlomů, který na předešlých dvou profilech nebyl tak výrazný a opět Martinův závrt a komín z předešlého profilu se zde zobrazují jako velmi mělké závrtky. Profily 6 – 9 byly vedeny záměrně přes Martinův závrt, abychom si ověřili správnost měření a v místech, kde jsou Křišťálové jeskyně vedeny v hloubce cca 40 m, aby je bylo možno zachytit.

Tato metoda nám zaznamenala podzemní prostory, zřejmě stropy jeskyní a profil č. 2 neznámé prostory, ovšem pro další měření by bylo vhodné zvolit metodu z hlubším dosahem, protože byly naměřeny pouze stropy jeskynních systémů. Jeskyně jsou zde převážně v hloubkách 30 – 80 m pod povrchem, je tedy malá pravděpodobnost, že by se případné neznámé prostory vyskytovaly blíže k povrchu.

Metoda dipólového elektromagnetického profilování (DEMP). Na většině z měřených úseků masivu Špraňku vykazuje měření nízké hodnoty, které znamenají výskyt neporušených hornin blízko pod povrchem. Místa s vysokými naměřenými hodnotami odpovídají zónám s dobrou vodivostí, které jsou zde zjištěny pouze na pár místech. Opět se zde zobrazil Martinův závrt (obr. 36) u profilu č. 5, ovšem u ostatních povrchových krasových struktur nelze určit, zda se jedná o uměle vytvořený útvar, nebo přírodní, což je podstatné při vyhledávání komínů nebo zlomů, které by mohly být vyústěním jeskynních prostor. V oblasti je množství uměle vytvořených jam, které zde byly vytvořeny při průzkumu oblasti jak ložiskovém, tak speleologickém. Také může jít o vývrat stromu, neboť se jedná o zalesněnou oblast. Ovšem nelze tuto metodu zcela zavrhnout jako pomocnou v případě dalších měření metodou s hlubším dosahem měření, která by odhalilo, o jaký typ struktury se jedná. Také bylo velmi obtížné měření provádět, neboť území je velmi hustě zalesněno a také se zde vyskytují velmi příkré svahy a skalní stěny, kde je měření téměř nemožné, proto bylo měření použito pouze zkušebně na místech, kde bylo měření v závislosti na terénu, možné.

9. Závěr

Práce byla založena na průzkumu mělkých podpovrchových krasových jevů metodou elektrické odporové tomografie (ERT) přístrojem ARES na masivu Špraňek, ve kterém je jeskynní systém Javoříčské jeskyně. Měření byly na profilech 3 - 7 s největší pravděpodobností zastíženy stropy známých jeskynních prostor. Také byl jednoznačně zachycen Martinův závrt na profilech 6 a 7 a také byl zachycen při měření dipólovým elektromagnetickým profilováním. Pouze profil č. 2 zachytil nám neznámé možné prostory vyplněné sedimenty, které by odpovídaly směru i hloubce předpokládaných

neznámých prostor. Pro upřesnění a možnost zachycení hlubších prostor by bylo třeba zvolit jinou metodu měření s větším dosahem do hlouby, protože prostory, které jsou nám známé, leží v hloubkách od 5 do 100 pod povrchem a tato metoda tak zachycuje maximálně stropy horních pater, protože většina chodeb 1. patra je v hloubkách cca 30 – 50 m pod povrchem. Metoda dipólového elektromagnetického profilování (DEMP) zde sice naměřila některé povrchové struktury, ale na povrchu je množství závrťů i uměle vytvořených průzkumných jam včetně vývrátů stromů a nelze tedy přesně odlišit přírodní komín nebo závrť od uměle vytvořené prohlubně.

Literatura:

- Bábek, O., Kalvoda, J., Krejčí, Z.** (1994): New stratigraphical results in the Paleozoic of the Dražanská vrchovina Upland (Moravia, Czech Republic). – ICGS, 39, 197 – 204. Praha.
- Bosák, P.** (2009): Kras, pseudokras a jeskyně. – In: Hromas, J. a kol.: Jeskyně, pp 13-22. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha.
- Bosák, P.** (2006): Kras střeňičsko-rachavské skupiny ker konicko-mladečského devonu (Javoříčský kras): vyhodnocení vrtných prací. – In: Melichar, R., Jašková, V. (eds.): Přírodovědné studie Muzea Prostějovska. 9, pp. 7 -37. Muzeum Prostějovska, Prostějov.
- Demek, J., Mackovčín, P., et al.** (2006): Hory a nížiny. – Zeměpisný lexikon ČR 2. vydání. – AOPK ČR, Brno.
- Demek, J., et al.** (1987): Hory a nížiny. - Zeměpisný lexikon ČSR. – AOPK ČR, Brno.
- Demek, J., Quitt, E., Raušer, J.** (1976): Úvod do obecné fyzické geografie. – Academia, Praha.
- Demek, J., et al.** (1965): Geomorfologie českých zemí. – ČSAV, Praha.
- Duras, R., Hradecký, J., Pánek, T., Dušek, R.** (2005): Využití geofyzikálních metod při analýze georeliéfu horských oblastí. – Geografický časopis, 57, 3, 267- 284. Bratislava.
- Dvořák, J.** (1987): Vznik mořských pánví v evropských variscidách. – Věst. ÚÚG, 62, 3, 183-186, Praha.
- Gaisler, J.** (1962): Postnatale Entwicklung der Kleinen Hufeisennase (Rhinolophus hipposideros Bechst) unter natürlichen Bedingungen. – In: Kratochvíl J., Pelikán J. (eds.): Symposium The riologicum. Brno 1960, pp. 118-125. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Griffiths D. H., Barker R. D.** (1993): Twodimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.
- Hadač, J.** (1979): Těžební studie vápencové suroviny Hvozdečko. Báňsko-technická zpráva. – MS, Interprojekt, n. p., 1-104. Praha.
- Hanák, V., Gaisler, J., Figala, J.,** (1962): Results of bat - banding in Czechoslovakia, 1948-1960. – Acta Univ. Carolinae, Biol., 9-87 Praha.
- Chlupáč, I. et al.** (2002): Geologická minulost České republiky. – Academia, Praha.
- Chlupáč, I., Štorch, P.** (1992): Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky. – Časopis České geologické společnosti, 37, 4, 257-275. Praha.

- Chlupáč, I., Svoboda, J.** (1963): Geologické poměry konicko-mladečského devonu na Dražanské vrchovině. – Sborník ÚÚG, Odd. geol. 28 (1961), pp. 347-386. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Jančovič, L., Dostál, P., Frýbová, P.** (2014): Geofyzikální metody měření v geotechnice. – MS, příručka, Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb FaSt VUT Brno.
- Jirková, Z.** (1981): Zpráva o zabezpečovacích pracích v Javoříčských jeskyních. – Zprávy Krajského vlastivědného muzea v Olomouci, 211, 6-10. Olomouc.
- Karous, M.** (1999): Možnosti použití geofyzikálních metod. – Planeta 99, 1/99, Ministerstvo životního prostředí, 5, 7-9, Praha.
- Kettner, R.** (1965): Tektonika konicko – mladečského devonu na dražanské vrchovině. Věst. ÚÚG, 40. Praha.
- Kostroň, K.** (1949): Příspěvek k řešení otázek soustavy ponorných vod severomoravského krasu. – Československý kras, 2, 145-156. Brno.
- Kostroň, K.** (1944): Výsledky chiropterologického průzkumu Severomoravského krasu. – Sborník Klubu Přírodověd, 15-30. Brno.
- Koudelka, M.** (1996): Sezónní dynamika netopýřího společenstva (Chiroptera) v Javoříčských jeskyních v letech 1989 až 1991. – Vlastivědné Muzeum v Olomouci, 273, 1–18 Olomouc.
- Koudelka, M., Reiter, A.** (2001): Netopýři zimující v Javoříčských jeskyních. – Vespertilio, 5, 155-162. Praha.
- Kučera, B.** (1975): Javoříčské jeskyně. – Ochrana přírody, 3, 3. Praha.
- Kunský, J.** (1950): Kras a jeskyně. – Přírodovědecké nakladatelství, Praha.
- Loke, M. H.** (1999): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, A practical guide to 2-D and 3-D surveys. - Penang, Malaysia.
- Loučková – Michovská, J.** (1964): Povrchové krasové jevy a drobné jeskyně v okolí Javoříčka. – Československý kras, 15, 69-85. Brno.
- Loučková – Michovská, J.** (1962): Jeskyně Javoříčko. – Československý kras, 14, 43-91. Brno.
- Mareš, S., Gruntorád, J., Hrách, S., Karous, M., Marek, F., Matolin, M., Skopec, J., Bližkovský, M., Müller, K.** (1990): Úvod do užití geofyziky. – STNL, Praha.
- Mísař, Z., et al.** (1983): Geologie ČSSR I.: Český masív. – SPN, Praha.

- Mussett, A. E., Aftab Khan, M.** (2000): Looking into the Earth. An Introduction to Geological Geophysics. – Cambridge Univ. Press.
- Musil, R.** (2005): Jeskyně „Za Hájovnou“, výjimečná lokalita Javoříčského krasu. – In: Melichar, R., Jašková, V. (eds.): Přírodovědné studie muzea Prostějovska, svazek 8, pp. 9-42. Muzeum Prostějovska, Prostějov.
- Morávek, R.** (2007): K současnému stavu a prozkoumanosti Javoříčského a Mladečského krasu. – Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci, 289-291, 25-41. Olomouc.
- Panoš, V.** (1962): Krasová hydrografie malých vápencových oblastí na severní Moravě a ve Slezsku. – Československý kras, 13, 67-87. Brno.
- Panoš, V.** (1960): Výsledky barvení některých ponorných toků Dražanské vrchoviny a Rychlebského pohorí. – Zprávy Krajského vlastivědného střediska v Olomouci, 82, 17 – 18. Olomouc.
- Panoš, V., Zikmund, V.** (1955): Javoříčko, moravské Lidice. – Státní tělovýchovné nakladatelství. Praha.
- Pelíšek, J.** (1960): K charakteristice pleistocenních sedimentů v Javoříčských jeskyních. – Zprávy Krajského vlastivědného střediska v Olomouci, 86, 100-101. Olomouc.
- Přichystal, A., Náplava, M.** (1995): Záhada Býčí skály aneb jeskyně plná otazníků. – Amaprint Kerndl s. r. o. Třebíč.
- Pučálka, R., et al.** (2001): Krajinné charakteristiky Javoříčského a Mladečského krasu. – In: Jirka, Z., et al. (2001): Speleoterapie - principy a zkušenosti. – Univerzita Palackého, Olomouc.
- Skoček, V.** (1980): Nové poznatky o litologii devonských bazálních klastik na Moravě Věst. ÚÚG, 55, 27-37. Praha.
- Skutil, J., Skutil, J.** (1951): Jak dlouho jsou známy Javoříčské jeskyně. – Československý kras, 4, 257 – 259. Brno.
- Svoboda, J., Prantl, F.** (1954): Stratigraficko-tektonický výzkum devonských bradel na Dražanské vysočině. – Zprávy o geologických výzkumech v r. 1953, 194-198. Praha.
- Tábořík P., Pánek T.,** (2010): Elektrická odporová tomografie ve výzkumu horského reliéfu - případové studie z flyšových Karpat. In: Geografie pro život ve 21. století: Sborník příspěvků z XXII. sjezdu České geografické společnosti, 74-81 s.
- Zukalová, V., Chlupáč, I.** (1982): Stratigrafická klasifikace nemetamorfovaného devonu moravskoslezské oblasti. – Čas. Mineral. Geol., 9, 3. Praha.

Zukalová, V. (1976): Upper Devonian stromatoporoids, foraminifers and algae in the borehole Nepasice (eastern Bohemia). – Věst. ÚÚG, 51, 281 – 284. Praha

Mapa:

Mapa Březina (1863): Moravský zemský archiv Brno, signatura - MZA/0058 Fond, bez autora.

Internetové zdroje:

www 1. Mapy cz. (2015): Turistická mapa. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.0482459&y=49.6482565&z=12>, (cit. 20. 7. 2015).

www 2. Česká geologická služba. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/?center=-570100,-1110200&scale=15000>, (cit 18. 9. 2015).

www 3. Česká geologická služba: Vrtná prozkoumanost. Dostupné z https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/ (cit. 20. 7. 2015).

www 4. GF Instruments, s. r. o. Automatický geoelektrický systém ARES II. GF Instruments, s. r. o. Dostupné z: http://www.gfinstruments.cz/version_cz/index.php?menu=gi&smenu=ires&cont=ares_&ear=ov, (cit. 8. 7. 2015).

www 5. GF Instruments, s. r. o. Vícerozsahové elektromagnetické měřiče vodivosti CMD. Dostupné z: http://www.gfinstruments.cz/version_cz/index.php?menu=gi&smenu=iem&cont=cmd_&ear=ov, (cit. 11. 12. 2017).