

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH  
BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Agroekologie  
Katedra: Katedra krajinného managementu  
Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hydrochemické charakteristiky skapové vody v  
Chýnovské jeskyni

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.  
Autor: Bc. Vojtěch Lutz

České Budějovice, 2015

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 24. 4. 2015

.....

Bc. Vojtěch Lutz

## **Poděkování:**

Děkuji zejména doc. RNDr. Liboru Pecharovi, CSc., vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky a za trpělivost a ochotu při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Františku Krejčovi i všem dalším pracovníkům Chýnovské jeskyně za pomoc při vypracovávání diplomové práce a umožnění odběrů skopové vody.

Také bych chtěl poděkovat Ing. Lubomíru Bodlákovi, Ph.D. a Ing. Martině Kobesové za pomoc při práci v laboratoři.

V neposlední řadě patří mé poděkování Ing. Haně Čákové, za poskytnutá data o hospodaření Zemědělského družstva Dolní Hořice.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá zhodnocením hydrochemických charakteristik podzemní (skapové) vody v Chýnovské jeskyni a následným statistickým zpracováním zjištěných výsledků. Byla sledována tři odběrová místa, nepravidelně rozmístěna po systému jeskyně. Jako dominantní anionty se ve skapových vodách projeví hydrogenuhličitan. Dominantním kationtem byl vápník. Vodu lze tedy klasifikovat jako hydrogenuhličatano – vápenatou. Tato skutečnost odpovídá předpokladům pro lokalitu Chýnovské jeskyně. Dále byly zjištěny zvýšené koncentrace dusičnanů a síranů u odběrového místa Štola – tato skutečnost má dlouhodobý charakter a ovlivňuje kvalitu podzemního toku Chýnovské jeskyně, který je přímo napojen na Rutický pramen (zdroj pitné vody pro město Chýnov). I když je nad celým územím vyhlášeno ochranné pásmo vodního zdroje Rutice má zvýšené množství dusičnanů a síranů pravděpodobně antropogenní charakter a pochází z aplikovaných hnojiv a mineralizačních procesů v orné půdě v bezprostředním okolí NPP Chýnovská jeskyně.

Klíčová slova: Chýnovská jeskyně, chemismus podzemních vod, vodivost, dusičnany.

## **Abstract**

This thesis deals with the evaluation of hydrochemical characteristics of groundwater (dripping water) in The Chýnov Cave and the subsequent statistical processing of the results. There were followed three sampling points, which were irregularly distributed in the cave system. Bicarbonates occurred as the dominant anions in the dripping water. The dominant cation was calcium. Water can therefore be classified as bicarbonate - calcium. This corresponds with the expectations for The Chýnov cave location. There were also detected enhanced concentrations of nitrates and sulphates at sampling site Štola - this has long-term character and influences the quality of the underground stream of The Chýnov cave, which is directly connected to spring "Rutický" (source of drinking water for the town of Chýnov). Although a protective zone is declared over the whole territory of Rutice water resources, there is increased amount of nitrates and sulphates which probably has anthropogenic character and it comes from applied fertilizer and mineralization processes in arable land in the close surrounding of the National Natural Monument: The Chýnov cave.

**Keywords:** Chýnov cave, groundwater chemistry, conductivity, nitrates.

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Literární rešerše.....	10
2.1	Vznik podzemních prostor .....	10
2.2	Kras a pseudokras.....	10
2.2.1	Kras .....	10
2.2.2	Geologická struktura krasu .....	11
2.2.3	Pseudokras .....	12
2.3	Rozšíření jeskyní v České republice.....	12
2.4	Podzemní voda .....	13
2.4.1	Možnosti znečištění podzemní vody .....	14
2.5	Chýnovský kras .....	19
2.6	Chýnovská jeskyně.....	20
2.6.1	Historie.....	21
2.6.2	Výzkum.....	22
2.6.3	Vznik a vývoj Chýnovské jeskyně.....	22
2.6.4	Geologická stavba oblasti .....	24
2.6.5	Půdní poměry .....	26
2.6.6	Hydrologie oblasti.....	26
2.6.7	Podzemní tok Chýnovské jeskyně .....	27
2.6.8	Mikroklima.....	29
2.6.9	Mineralogie .....	29
2.6.10	Jeskynní tvary a výplně.....	30
2.6.11	Paleontologické nálezy.....	31
2.6.12	Fauna.....	32
2.7	Legislativa .....	33
2.7.1	Ochrana vodních zdrojů .....	33
2.7.2	Zvláště chráněná území.....	35
2.7.3	Národní přírodní památka Chýnovská jeskyně .....	35
3	Metodika .....	37
3.1	Odběrová místa.....	37
3.1.1	Metodika odběrů skapové vody a laboratorní rozborů .....	37
3.2	Metodika popisu a zmapování oblasti .....	38
4	Výsledky .....	40
4.1	Zhodnocení fyzikálně – chemických parametrů.....	40
4.2	Zhodnocení obsahu aniontů.....	40

4.3	Zhodnocení obsahu kationtů .....	41
4.4	Korelace vodivosti.....	41
4.5	Statistické vyhodnocení.....	44
4.6	Obsah Ca/Mg skapových vod.....	45
4.7	Popis oblasti OPVZ Rutice a údaje o hospodaření.....	45
4.7.1	Osevní postup a hnojiva na PB 2902, 2001/10 .....	47
5	Diskuse.....	49
5.1	Charakter podzemních vod.....	49
5.2	Srovnání odběrů s lety 2006, 2008.....	49
5.3	Možný vliv zemědělství na skapovou vodu .....	50
5.4	Klasifikace z pohledu mineralizace.....	51
5.5	Závislost poměru Ca/Mg na rychlosti skapu .....	52
6	Závěr .....	53
7	Literatura.....	54

## 1 Úvod

Hydrochemických údajů o Chýnovské jeskyni je velmi málo, což se dá říct celkově o podzemní vodě, která není podrobována analýzám tak často jako ostatní druhy vod. Podzemní tok protékající Chýnovskou jeskyní zůstává stále neprobádanou neznámou. Jak uvádí Krejča (2006), přítokové oblasti i původ lze předpokládat jak ve vodách z okolních nekrasových hornin, tak ve srážkách pronikajících do podzemí díky dobré propustnosti. Tato práce navazuje na mou bakalářskou práci a část diskuse je věnována srovnání výsledků získaných z předchozích let.

Cílem této diplomové práce bylo získat data o hydrochemii podzemní (skapové) vody v Chýnovské jeskyni a jejich následné zpracování a interpretace z hlediska posouzení antropogenních dopadů. Změny chemismu podzemních vod v jeskyních mohou dokazovat antropogenní vlivy v povodích – např. plošné znečištění ze zemědělství.



## 2 Literární rešerše

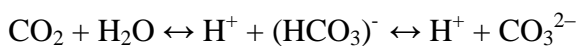
### 2.1 Vznik podzemních prostor

Procesy vedoucí ke vzniku prostor pod povrchem země lze rozdělit do dvou základních skupin - chemické a fyzikální (=mechanické). Chemickými procesy se rozumí ty, které mění podstatu chemické látky primární horniny. Obecně se tyto procesy nazývají rozpouštění nebo oxidace. V případě porušení, se hornina rozpustí působením rozpouštědla, jako je voda nebo slabá přirozeně se vyskytující kyselina. Tím vznikají podzemní dutiny různé velikosti a uspořádání.

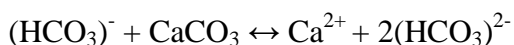
Nejčastější chemický proces vedoucí k vytváření podzemních prostor je krasovění. Kras je charakteristický typ krajiny, která je typická přítomností podpovrchových jevů (utváření dómů, sintrové výzdoby, krápníků). Podmínkou pro to, je reakce dešťové vody a uhličitanu. Voda putuje hluboko do puklin, kde rozpouští skálu, tím dochází k formování komínů, chodeb a jeskyní (Holec a kol., 2011).

Krasovění (rozpouštění):

1. Vodou



2. Slabou kyselinou uhličitou



### 2.2 Kras a pseudokras

#### 2.2.1 Kras

Krasové oblasti jsou z hlediska geomorfologie i hydrologie zcela výjimečné, jedinečné. Jsou charakteristické složitým podzemním odvodňovacím systémem a specifickými povrchovými i podzemními tvary, které vznikají při rozpouštěcích procesech (Waele et al., 2015).

Kras vzniká tam, kde jsou horniny z různých příčin v přírodní vodě rozpustnější, než je obvyklé na jiných místech. Krasové jevy pak vznikají v horninách tvořených zcela nebo z větší části minerály rozpustnými ve vodě. Rozpuštění není jediný proces tvorby krasu, nemusí být ani převládajícím

pochodem, ale při tvorbě krasových jevů hraje větší roli než při vzniku jiných tvarů zemského povrchu. Základní podmínkou vzniku krasu je voda. Je však známo, že voda i její energie mohou pocházet i z jiných zdrojů, např. endogenních. Je také důležité, aby horniny podléhající krasovění byly dostatečně pevné k zachování krasových tvarů a aby obsahovaly malé množství nerozpustného zbytku nečistot. Jen tehdy, je – li splněna tato podmínka, zůstávají dutiny vznikající krasověním otevřené (Bosák, 1988).

Krasovými horninami jsou podle definice ty, které se vyznačují vysokou rozpustností v přírodních podmínkách. K nim patří zejména uhličitany, sírany, chloridy, bromidy. Všechny tyto horniny se relativně snadno rozpouštějí v přírodních povrchových a podpovrchových podmínkách všech klimatických pásem. Minerály tvořící hlavní součásti těchto hornin se při rozpouštění dostávají do roztoků, z nichž se mohou při změně fyzikálně - chemických parametrů opět vysrážet (kristalizovat), a to jak uvnitř krasové horniny (výplně puklin, pórů, dutin), tak v jejím blízkém okolí (travertiny, sádrovcové a solné krusty). Mineralogický charakter hlavních horninotvorných minerálů a minerálů vysrážených z takových roztoků je tedy shodný. Tato vlastnost je základní charakteristikou tzv. pravých krasových hornin. K nim překvapivě patří i horniny vyvřelé s velkým podílem kalcitu (karbonatity) i horniny tvořené téměř zcela křemenem jako hlavním horninotvorným minerálem, tj. křemenné pískovce a křemence (kvarcity). Krasové horniny jsou většinou tvořeny jedním převažujícím horninotvorným minerálem nebo minerály stejné skupiny (uhličitany, sírany apod.) (Hromas a kol., 2009).

### **2.2.2 Geologická struktura krasu**

Z geomorfologického hlediska je kras souborem tvarů reliéfu, které jsou výsledkem interakcí mezi rozpustnými nebo zčásti rozpustnými horninami a krasovými procesy. Hlavními složkami tohoto procesu je rozpuštění hornin agresivními vodními roztoky (hlavně srážkovou nebo tekoucí vodou) a modelování hornin fluviální, glaciální a periglaciální erozí. Krasová modelace probíhá v podstatě třemi způsoby: zarovnávaním strukturně podmíněných forem, vertikálním rozřezáváním a perforováním hornin při podzemním odvodňování (Příbyl, 1992).

### **2.2.3 Pseudokras**

Pseudokrasem pak označujeme soubor podzemních a povrchových tvarů morfologicky podobný jevům krasovým, ale vzniklý jinými procesy než rozpouštěním a korozí podmíněnými poklesy a propady. Nicméně, i u pseudokrasu je podzemní část jeho nedílnou a mnohdy významnou součástí. Pseudokras v poréznych horninách, zejména různých typech pískovců, může mít vyvinuto i podzemní odvodňování. Jeho podstata je však jiná než u typického krasu, je založena na průlomové propustnosti, a nikoli na propustnosti krasové a krasově-puklinové.

Geologické procesy utvářející kras a pseudokras jsou v jádru shodné. Jde jak o mechanickou činnost proudících vod a větru, vyplavování částic z podzemí, řízení a rozpad horninového masivu, tak i o procesy chemické činnosti proudících vod. V některých pseudokrasových oblastech je hlavním mechanismem vzniku slabá koroze nebo promrznutí, které naruší vazby mezi zrny horniny, a posléze mechanické vyplavování rozvolněných zrn. Kras a pseudokras se odlišují zastoupením chemické činnosti proudící vody, kdy krasové jevy jsou z větší části tvořeny chemickým rozpouštěním a pseudokrasové jevy pak procesy převážně mechanickými (Hromas a kol., 2009).

### **2.3 Rozšíření jeskyní v České republice**

Na území České republiky je v současné době evidováno téměř 4000 jeskyní. Více než čtvrtina se nachází v nejlépe vyvinuté krasové oblasti u nás, v Moravském krasu. Severně od Brna, na ploše 78 km<sup>2</sup>, se nalézají nejen pět veřejnosti zpřístupněných jeskyní a světoznámá propast Macocha, ale také dva nejdelší jeskynní systémy v republice. Krajinu Moravského krasu zdobí pestrá škála povrchových krasových jevů. Závrtý, škrapy, ponory, vyvěračky, skalní mosty, krasové žleby, estavelly, slepá a poloslepá údolí, která mají přímou návaznost na krasové jevy podzemní, propasti a jeskyně. Přírodní podmínky zde však neumožnily tvorbu povrchových a podzemních krasových jevů v takovém rozsahu, jako je tomu v krasu Moravském.

Vápence Českého a Moravského krasu se vytvořily v období siluru až svrchního devonu, tedy přibližně před 350-430 miliony let postupným usazováním schránek mořských živočichů. Jakmile moře ustoupilo, začaly tyto horniny podléhat korozní a erozní činnosti povrchových a atmosférických vod.

Krasové procesy, jejichž základem je chemické rozpouštění horniny, takto fungují dodnes. Na modelaci jeskynních prostor se zároveň podílí eroze podzemních toků. Mohutné propasti a dómy pak vznikají za přispění mechanického borcení stropů a stěn.

Další oblasti devonských vápenců jsou nepravidelně roztroušeny v různých částech našeho území. Některé z nich byly v průběhu horotvorných procesů přeměněny na vápence krystalické – mramory. Všechna tato území byla také více či méně poznamenána krasověním. Velké množství ostrůvků devonských vápenců a mramorů se nachází např. na severní Moravě.

Na východě republiky se ojediněle vyskytují mladší jurské (druhohorní) vápence karpatské soustavy. Mezi nejvýznamnější patří Pavlovské vrchy, Stránská skála v Brně a Štramberský kras. I tyto oblasti jsou charakteristické výskytem krasových jevů.

Specifickou, ale významnou skupinou podzemních přírodních útvarů jsou tzv. pseudokrasové jevy. Tvoří přibližně třetinu našich evidovaných jeskyní. Na jejich vzniku se podílejí výlučně procesy mechanické, jako např. rozevírání skalních masivů, tektonické pochody, řícení, zvětrávání apod. Výsledkem jsou skalní rozsedliny, pukliny, suťové jeskyně či tzv. Bari. Pseudokrasové útvary vznikají hojně v pískovcových skalách, spraších, ale i v dalších typech hornin, jako jsou žnělce, břidlice, ruly apod. Velmi zajímavé jsou také přirozené dutiny odkryté v dolech a fluorit pod Děčínským Sněžníkem. Pestré geologické složení na území České republiky dalo rozmanitý ráz krajině i tajemnému podzemí (Zajiček, 2010).

## **2.4 Podzemní voda**

Podzemní vodou se rozumí voda přirozeně se vyskytující v horninovém prostředí, pokud není vázána kapilárními silami. Jde o vodu v zemských dutinách a zavodněných zemských vrstvách. Pod názvem podpovrchová voda se rozumí voda v zemské kůře ve všech skupenstvích. Podle celkového chemického složení se dělí podzemní vody na prosté vody a minerální vody. Prostá voda je voda s nízkým obsahem rozpuštěných látek, která svým obsahem celkové mineralizace nepřekračuje 1000 mg/l. Všechny podzemní vody překračující tuto hranici se již řadí mezi minerální (Pitter, 1999).

Při formování chemizmu se uplatňují tyto vlivy - Přímé rozpouštění obvykle nestačí k vytvoření větších koncentrací rozpuštěných látek. Proto mu pomáhá

chemické působení oxidu uhličitého nebo minerálních kyselin. Dále výrazně působí na chemismus podzemních vod vliv srážkových a povrchových vod, kde velkou roli hraje hloubka podzemní vody. Zvláště u některých mělkých podzemních vod ve svrchních zavodněných vrstvách se mohou významně podílet i infiltrující srážkové a povrchové vody. Jako poslední významný faktor lze uvést modifikující přeměny. Primárně vzniklé komponenty podléhají druhotným modifikujícím přeměnám výměnou iontů, chemickou a biochemickou oxidací a redukcí (Pitter, 1999).

#### **2.4.1 Možnosti znečištění podzemní vody**

Voda se v přírodě vyskytuje ve třech základních formách, a to jako voda ovzdušná, povrchová anebo podzemní. Vzhledem k důležitosti a vztahu k lidskému zdraví je podzemní voda nejdůležitější a také nejohroženější formou. Z hospodářského hlediska je to životně důležitý přírodní zdroj. Znečišťování vod může být způsobeno různými příčinami, které jsou buď povahy přírodní, vyvolávané vlivy klimatickými, geomorfologickými, půdními aj., nebo antropogenní, související s lidskou činností. Z přírodních příčin způsobuje znečišťování povrchových i podzemních vod zejména eroze smyvem, odnosem a vyluhováním půdy. Antropogenní příčiny jsou vyvolávány zejména zemědělstvím a průmyslem, tyto znečišťují vody hlavně vypouštěním různých tekutých odpadů (Jůva et al., 1977; Foster, 2002). Dostál et al., 2003 uvádí, že se do vody nesmí nekontrolovatelně dostat minerální hnojiva, ale ani organické látky, obsažené např. v kejďě, močůvce, hnojůvce a silážních šťávách. Tudíž je třeba zabránit smyvu hnojiva povrchovým odtokem a to podle zákona č. 274/1998, o skladování a způsobu používání hnojiv.

##### **2.4.1.1 Znečištění ze zemědělství**

Intenzivní zemědělství a s ním spojené rychle se střídající cykly zahrnující frekventovanou orbu a vysoké dávky dodávaných hnojiv mohou mít za následek kontaminaci povrchových i podzemních vod. Konkrétně splavováním nezanedbatelného množství hnojiv srážkami a erozí půdy. Proto je třeba podzemní i povrchovou vodu ohroženou zemědělskou činností chránit a to zejména při aplikaci hnojiv a pesticidů (Scheidleder *et al.*, 1999).

#### **A) Hnojiva**

Pojem hnojiva je vymezen v zákonu o hnojivech č. 156/1998 Sb. ve znění zákona č. 308/2000 Sb. Za hnojiva jsou považovány látky obsahující živiny pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti

a pro příznivé ovlivnění výnosu či kvality produkce (Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky, 2015).

Hnojiva rozdělujeme podle tří základních hledisek:

1. Podle účinnosti a to na hnojiva přímá a pomocné látky. **Hnojiva přímá** jsou látky, které obsahují jednu nebo více rostlinných živin, zpravidla ve větším množství a to buď v minerální, nebo organické formě. Patří mezi ně hnojiva minerální a statková. **Pomocné látky** neobsahují rostlinné živiny ve větším množství, rostlinám tedy nedodávají živiny, ale umožňují zlepšit výživu úpravou životního prostředí nebo ovlivňují metabolismus rostlin tak, že rostliny dovedou využít větší množství živin na tvorbu výnosu (Hluška, 2004).
2. Podle zákona o hnojivech rozlišujeme pojmy „hnojiva“ a „statková hnojiva“. **Hnojiva** se dále dělí na minerální hnojiva (dusíkatá, fosforečná, draselná a vícesložková), hnojiva se stopovými živinami, vápenatá a hořečnatá hnojiva, organická hnojiva a organominerální hnojiva. Typickým organickým hnojivem je kompost. **Statkovými hnojivy** jsou vedlejší produkty chovu hospodářských zvířat a také zbytky rostlinného původu, vznikající zejména v zemědělské prvovýrobě, nejsou – li dále upravovány (Dostál et al., 2003).
3. Hnojiva tuhá a kapalná, což jsou minerální hnojiva jednosložková nebo vícesložková (Hluška, 2004).

### **Hlavní prvky působící znečištění ze zemědělství.**

Podle Baiera, 1969 je z hlavních živin nejvíce vyplavován dusík. Jak uvádí Dostál et al., 2003 dusičnany jsou hlavními zdroji plošného znečištění vod ze zemědělství. Do vod vyplavené dusičnany nemusí pocházet přímo z minerálních hnojiv, ale často vznikají v půdě postupnou přeměnou dusíkatých organických látek. Zdrojem tvorby dusičnanů v půdě mohou být zvláště v podzimním období posklizňové zbytky a statková hnojiva.

- Dusík: Dusík, jako hlavní živina pro rostliny je často aplikován ve velkých množstvích do zemědělské půdy s cílem zachovat optimální výnosy. Část dusíkatých látek rostliny využívají ke svému růstu, avšak nevyužitá část zůstává v půdě (Haygarth *et al.*, 2002). Nehledě na význam dusíku jako živiny a přes naprostou závislost všech organismů na dostatku dusíkatých látek pro

metabolismus je s dusíkem a jeho sloučeninami spojena řada negativních jevů. Kromě eutrofizace povrchových vod, je to znečištění spodních vod vyplavováním nitrátů aj. dusíkatých látek z půd, sedimentů, odpadních vod. Tato skutečnost má přímé i nepřímé důsledky na zdraví lidí (Šimek, 2003). Jak uvádí Stevenson (1986), nitráty ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ve vodě mohou způsobovat tzv. methenoglobinemii, stav kdy červené krvinky ztrácejí schopnost přenášet kyslík. Důsledkem toho není tělo dostatečně zásobeno kyslíkem a to může způsobit dušení.

- Fosfor: Fosfor je důležitá a nezbytná živina, je obsažen v řadě biomolekul. Jeho obsah v půdě je relativně malý. Nejrozšířenější minerální sloučeninou fosforu v půdě je fosforečnan vápenatý (apatit), z organických sloučenin jsou časté inositol – fosfáty, fosfolipidy a nukleové kyseliny. Ke znečištění dochází stále častěji v souvislosti s průmyslovou a zemědělskou výrobou, s produkcí odpadů všeho druhu a s úniky nejrůznějších látek do vodních ekosystémů. K infikaci vodních ekosystémů dochází zejména splachem částic a rozpuštěných látek včetně živin z hnojiv a také prostřednictvím tuhých a tekutých odpadů. Zvýšený přísun živin do vodních ekosystémů je často důsledkem přeměny dříve zalesněné krajiny v zemědělskou (kulturní) krajinu (Šimek, 2003).

## **B) Pesticidy**

Kontaminace vod pesticidy v konvenčním zemědělství může pocházet z vyplavování půdním profilem, z povrchového odtoku, z eroze nebo přímo z aplikace pesticidů v blízkosti zdrojů podzemních vod. Výjimečně dochází k únikům pesticidů při nesprávném skladování a dopravě.

Nezávisle na systému hospodaření se dá předpokládat, že nejlepší prevencí environmentálních rizik spojených se syntetickými pesticidy je jejich omezené používání nebo odmítnutí. V tomto pohledu poskytuje ekologické zemědělství zpravidla kompletní ochranu přírodních zdrojů jako protiklad jiných zemědělských systémů, neboť používání syntetických pesticidů je v něm zakázáno (Šarapatka et al., 2006).

## **C) Likvidace živočišných odpadů**

Při intenzivním chovu hospodářských zvířat vzniká velké množství odpadů, jmenovitě tuhých a tekutých výkalů zvířat. V malovýrobě jsou veškeré odpady vyváženy na pole, kde fungují jako hnojivo. Ve velkovýrobě, kde dochází

k hromadění odpadů na omezeném prostoru, je nutno zavést způsoby jejich neškodné likvidace, vyhovující z hlediska hospodářského, hygienického a také vodohospodářského, neboť nesprávná manipulace s těmito odpady obzvláště ohrožuje kvalitu povrchových i podzemních vod (Zachar a kol., 1987; Schroder *et al.*, 2004).

#### **2.4.1.2 Průmysl**

Jedním z hlavních zdrojů znečišťování vod je průmysl, který produkuje obrovská množství průmyslových odpadních vod. Znečištění těchto vod je závislé na výrobních odvětvích a použitých technologiích, v nichž voda působí ve funkci chladicího, mycího, pracího nebo jiného média. Průmyslové odpadní vody vznikají ve všech průmyslových odvětvích; nejvýznamnějším jsou odpadní vody z průmyslu chemického, hutního, kovodělného, textilního, papírenského a potravinářského.

Velkým množstvím různých solí, kyselin a částečně i zásad se vyznačují odpadní vody anorganického průmyslu. Tyto vody vnášejí do řek obrovská množství anorganických solí a voda jimi znečištěná není použitelná ani pro zemědělství, ani pro průmysl. Anorganické kyseliny obsažené v těchto vodách často způsobují velké kalamity na vodních tocích a hynutí všeho živého ve vodě.

K největším zdrojům znečištění patří výroba buničiny, papíru, chemických vláken a textilní průmysl. Odpadní vody z těchto výrobní jsou celosvětovým problémem a zatěžují vody sloučeninami ligninu, cukry, kyselinou octovou a mravenčí, vosky, tuky, vlákny, kaolínem a barvivy.

Velkým obsahem organických nečistot se vyznačují také vody z potravinářského průmyslu. Stálou hrozbou pro povrchové i podzemní vody jsou samozřejmě odpadní vody ropného průmyslu a také radioaktivní vody vznikající při zpracování uranové rudy.

Průmyslové odpadní vody značně ohrožují jakost a čistotu povrchových i podzemních vod, a proto se musí čistit (Tlapák *et al.*, 1992).

#### **2.4.1.3 Kyselá dešť**

Termín „kyselý déšť“ byl použit před několika lety jenom v žargonu pracovníků speciálních odvětví ekologie a chemie atmosféry. Během několika posledních let se stávají hrozivými a běžnými v mnoha zemích a oblastech. Přitom je termín kyselý déšť známý téměř 130 let. Kyselá dešť byla prokázána v mnoha



zemích Evropy např. Skandinávie, Británie. Ale jde o problém týkající se všech zemí EU a tudíž i ČR.

Spalování fosilních paliv tvoří hlavní zdroj emisí oxidu siřičitého a oxidu dusíku, tyto látky unikají do ovzduší a okyselují životní prostředí. NO<sub>2</sub> spolu s SO<sub>x</sub> se významně podílí na tvorbě kyselých dešťů, které mají vliv na rostlinstvo, stavby a na okyselení vodních zdrojů, jak povrchové, tak podzemní vody. Kyselé deště vznikají postupným přechodem oxidu dusíku na kyselinu dusitou (Yamashita *et al.*, 2007).

Oxidy síry a dusíku mohou zůstat v ovzduší několik dní. Z ovzduší jsou buď vymyty deště, nebo se usazují na vegetaci a vlhkých podkladech. Během vzdušného transportu oxidy reagují se vzdušnou vlhkostí a vznikají kyseliny sírová a dusičná (Lellák a kol., 1992; Hruška et al., 2006).

Jak uvádí Hruška a kol. (2009), přirozeným zdrojem SO<sub>2</sub> na Zemi je sopečná činnost a oxidace sulfanu vznikajícího při mikrobiálním rozkladu odumřelé biomasy v půdách a sedimentech. Ve 20. stol. se hlavním zdrojem SO<sub>2</sub> stalo především spalování fosilních paliv, jichž je síra přirozenou součástí. Při spalování se značná část této síry oxiduje a ve formě SO<sub>2</sub> uniká do atmosféry. Dalším zdrojem emisí SO<sub>2</sub> jsou průmyslové výroby zpracovávající síru a siřné rudy. Zatímco pražení těchto rud a spalování dřeva bylo hlavním emisním zdrojem SO<sub>2</sub> na území dnešní ČR v 19. stol., od počátku 20. stol. jednoznačně dominuje spalování uhlí, zejména uhlí hnědé. Emise SO<sub>2</sub> setrvávají v atmosféře až několik dnů a jeho průměrná transportní vzdálenost se pohybuje ve stovkách km za den, mohou relativně izolovaná emisní ohniska v okolí průmyslových světových center ovlivňovat kvalitu srážek i ve zdánlivě velmi odlehlých oblastech.

Oxidy dusíku se do atmosféry dostávají přirozeně jako produkt mikrobiálních pochodů v půdách. Na území současné Evropy však přirozené emise oxidů N představují pouze cca 3 % úrovně antropogenních emisí, které dosahují přibližně 7 milionů tun dusíku vázaného v oxických formách za rok. Hlavními antropogenními zdroji NO<sub>x</sub> jsou sice podobně jako u SO<sub>2</sub> spalovací procesy, avšak amonné ionty jsou důležitou živinou pro rostliny a zároveň „palivem“ pro řadu bakterií, které využívají oxidaci NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na dusičnany, jako zdroj energie (nitrifikace). Tento proces, je velmi důležitý v zemědělství, kde abychom dosáhli požadovaných výnosů, dodáváme do půdy dusíkatá hnojiva uměle. Okyselení půd je tedy možno způsobit i nadměrným hnojením dusíkatými hnojivy. V prostém součtu to znamená, že

biologická spotřeba  $\text{NH}_4^+$  je zdrojem 1–2 iontů  $\text{H}^+$  na každý spotřebovaný atom N a přispívá tak k acidifikaci prostředí více, než kdyby na zemský povrch padal dusík pouze ve formě kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ), nesoucí pouze 1  $\text{H}^+$  na 1 atom N. Díky schopnostem půd zadržovat  $\text{NH}_4^+$  adsorpcí je téměř veškerý  $\text{NH}_4^+$  ze srážek rychle zadržen a postupně využit biomasou za uvolnění  $\text{H}^+$ . Proto i hnojení polí minerálními amonnými hnojivy významně přispívá k okyselování půd, potažmo podzemních vod (Hruška a kol., 2009; Gibert *et al.*, 1997).

### **Samočištění**

Přírodní vodní systémy mohou do jisté míry zvládat zvýšený přísun organických látek, zapojovat je do trofických řetězců a látkových koloběhů v rámci autoregulačního systému samočištění.

Na procesu samočištění se uplatňují fyzikální, chemické a biologické děje. Jejich účinnost závisí na koncentraci rozpuštěného kyslíku a jeho přísunu, na množství a druhu organických a dalších látek, na teplotě vody a na charakteru dna.

Z fyzikálních pochodů je důležité řadění, promíchávání, vyluhování, sedimentace a mechanická destrukce, případně následný odnos pevných látek (Lellák a kol., 1992).

## **2.5 Chýnovský kras**

Je rozlohou nevelké krasové území vázané na souvrství krystalických vápenců chýnovsko-ledečského pruhu tzv. pestré skupiny hornin geologické oblasti moldanubika. Leží na jihozápadním okraji Českomoravské vrchoviny v Pacovské pahorkatině poblíž města Chýnova. Vápence jsou zde společně s amfibolity uloženy v okolních dvojslídých pararulách a celé pásmo je rozděleno do několika menších bloků. Tak lze mimo Chýnovskou jeskyni pozorovat krasové jevy též v okolí obce Věžná, v údolí Josafat, a zejména u Velmovic (Krejča, 2006).

Četné výchozy vápenců tvoří pás zhruba SZ směru, dlouhý 17 km a široký 3–4 km, od Velmovic na Z až po Vysokou Lhotu na V. Je souhlasný s průběhem hlavních horninových struktur v této oblasti.

Ve vazbě na lokální erozní báze, rozsah vápenců, jejich tektonické porušení a zdroje vod z nekrasového okolí podlehly izolované vápencové ostrůvky zkrasování v různé intenzitě a rozsahu. Větší vápencová tělesa drenují lokálně podzemní vody, někde lze předpokládat i podzemní hydrologické komunikace mezi masivy, které se jinak na povrchu projevují izolovaně.

Nejvýrazněji je vyvinut kras v masivu krystalických vápenců, budujících Pacovu horu (589 m. n. m.) 2,5 km sv. od Chýnova. V něm se také nachází největší jeskyně oblasti – Chýnovská, která je součástí aktivního krasového hydrologického systému mezi údolím Chýnovského a Velmovického potoka.

Výrazně zkrasovělé s odkrytými jeskyněmi je také těleso krystalických vápenců u Velmovic, 1 km s. od Chýnova a jeskyně je popsána i z Josafatského údolí 6 km v. od Chýnova, kde vychází několik menších vápencových čoček a lavic. I když lze předpokládat jeskyně i v dalších vápencových ostrovech, například v Kladrubské hoře, nebyly v nich dosud odkryty. Evidovány jsou 4 jeskyně (Hromas a kol., 2009).

## **2.6 Chýnovská jeskyně**

Největší jeskynní systém v krystalických vápencích moldanubika a patrně nejstarší veřejnosti zpřístupněná jeskyně v Čechách (Hromas a kol., 2009).

Na Jižním svahu Pacovy hory asi 3 km severovýchodně od Chýnova byl v roce 1863 při těžbě vápence v jednom z mnoha selských lomů objeven vchod do jeskyně. Přestože leží na katastrálním území Dolních Hořic a v minulosti se často používaly i názvy jiné, do podvědomí veřejnosti vešla pod názvem Chýnovská jeskyně. Činností podzemních vod se zde v hrubozrnných krystalických vápencích vytváří složitý krasový systém, který je v současné době prozkoumán a zdokumentován v délce 1400 m. Velikost a tvar podzemních prostor jsou ve značné míře ovlivněny přítomností nekrasových hornin, zejména erlánů a amfibolitů. Množství příměsí v mramorech způsobuje neobyčejně pestré zbarvení stěn a jejich členitost jen umocňuje celkový dojem z prohlídky jeskyně. Ta byla již 5 let po svém objevu (tj. v roce 1868) zpřístupněna veřejnosti a stala se tak vůbec první turisticky provozovanou jeskyní na našem území. V současné době si cca 300 m dlouhou trasu prohlédne až 40 000 návštěvníků ročně. Systémem jeskyně protéká podzemní tok, jehož voda je významným zdrojem pro město Chýnov. Byla využívána již dávno před objevením jeskyně a z místa, kde vytéká na povrch, byla stokou přiváděna do města již v 16. století. Velký podíl na tomto díle měl známý jihočeský rybníkář Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan. V polovině 20. století byla jeskyně vyhlášena přírodní rezervací a v roce 1992 převedena do kategorie národní přírodní

památku. V mnoha ohledech svým významem daleko překračuje hranice regionu (Krejča, 2006).

Nejvyšší úroveň jeskynního systému tvoří Vstupní chodba (vchod do jeskyně), Nepravý východ a Příkrá chodba. Níže se nachází Lepivá chodba, Spojovací chodba a větve Souběžné chodby. Třetí úroveň představuje Chodba Slavíkovců a Malovecká. Nejnižší úrovně jsou chodby Twistu, Kaskád, Homolova jezírka, a zejména Spodního patra, které je trvale zatopené vodou. Tato nejnižší úroveň je nejrozsáhlejší částí systému a je protékána, nebo zcela zatopena vodou, která vystupuje až z 45m hlubokého sifonu na východě jeskyně. Její soustředěný tok se opět ztrácí v odtokovém sifonu na západním konci systému (Hromas a kol., 2009).

Součástí lokality je už výše zmíněný lom na jižním svahu Pacovy hory, kde, jak uvádí Chábera (1982), je dosud na několika místech dobře patrné střídání mohutných ukloněných vrstev jemnozrnného až celistvého bílého dolomitického vápence s temně zelenými až hnědými vrstvami amfibolitu. Vápenec, který se zde lámal původně na pálení vápna, je již prakticky vyčerpán, zbytky vápence s erlánem, křemencem a amfibolitem se dnes těží na silniční drť. Spodní etáž lomu tvoří ochranné pásmo nad podzemním jezerem, které je zdrojem kvalitní pitné vody pro chýnovský vodovod.

### **2.6.1 Historie**

Za objevitele jeskyně je považován dozorce nad vápnem ve schwarzenberských službách Jan Strnad, který v roce 1863 společně s několika skalníky jako první prošel hlavní chodby systému. Již několik dnů po objevu jeskyni odborně prohlédli kustodi pražského Musea království Českého – paleontolog Antonín Frič, geolog Jan Krejčí a ing. Wett. Zaměřili významné části a o svém výzkumu později otiskli obsáhlou zprávu v časopise Živa.

Avšak teprve po 75. roku byly obnoveny další výzkumné aktivity, když se průzkumných prací v jeskyni ujal Vladimír Homola a v letech 1939 – 1949 objevil celou řadu dalších prostor. Mimo jiné se zabýval otázkami vzniku, morfologie a hydrogeologie Chýnovského krasu. Na jeho práci navázali dalšími objevy amatérští speleologové. V roce 1962 byl stopovacími zkouškami prokázán vývěr podzemního toku jeskyně a objeveno několik dalších chodeb. V roce 1982 byl zahájen průzkum přítokové části jeskyně, který přinesl překvapující výsledky. Podařilo se objevit

trvale zatopené partie jeskyně, přičemž potápěči dosáhli hloubky 45 m pod hladinou podzemního toku a systém zatopených chodeb byl prozkoumán až do vzdálenosti 135 m. Zatím posledním objevem bylo proniknutí do nejnižší odvodňovací úrovně v roce 1993 (Albrecht a kol.).

### **2.6.2 Výzkum**

Jak už bylo zmíněno výše, za objevitele jeskyně je považován Jan Strnad. Avšak první výzkum provedli paleontolog Antonín Frič, geolog Jan Krejčí a ing. Wett. Svým výzkumem tak vlastně položili základy speleologie v Čechách. Paradoxem je, že v průběhu dalších 75 let se nenašel nikdo, kdo by na jejich práci v Chýnovské jeskyni navázal. Veškeré aktivity se soustředily na zpřístupňovací práce a provozování jeskyně jako turistické atrakce. Tohoto úkolu se ujal majitel lomu pan Josef Rothbauer, který velmi citlivým způsobem začal upravovat prostory jeskyně tak, aby se i laická veřejnost mohla seznámit s tímto přírodním fenoménem.

Teprve v roce 1939 zahájil své výzkumy v jeskyni student Vladimír Homola. S vydatnou pomocí Václava Rothbauera (vnuka Josefa Rothbauera) pronikl do dalších částí systému. Krom toho věnoval značné úsilí poznání hydrologie krasu, geologii a morfologii podzemních prostor. V roce 1952 bylo v jeskyni instalováno první elektrické osvětlení. O deset let později se Františku Skřivánkovi podařilo prokázat, že voda z Chýnovské jeskyně vytéká na povrch v tzv. Rutické vyvěrače. Celková rekonstrukce turistické trasy včetně nové elektroinstalace byla provedena v období 1985–86. Od roku 1982 byl členy České speleologické společnosti ZO 1–10 Speleo-aquanaut Praha prováděn potápěčský průzkum trvale zatopených částí jeskyně. Vyčerpáním některých zatopených prostor v roce 1993 se podařilo doplnit znalosti o průběhu podzemního toku a nemalý přínos měly tyto akce i v oblasti mineralogie a geomorfologie krasu. V současnosti jsou prováděny práce za účelem proniknutí do předpokládaných prostor v západní části systému a v roce 2004 byla zahájena další etapa potápěčského průzkumu (Krejča, 2006).

### **2.6.3 Vznik a vývoj Chýnovské jeskyně**

Jeskyně vznikla v souvrství hrubozrnných krystalických vápenců, uložených v muskoviticko – biotitických pararulách. Souvrství je místy prostoupeno vložkami amfibolitů, pod úhlem 40 – 50 stupňů upadá k severu. Lavice vápenců mají odlišné složení, vlastnosti i barvu.

Celý jeskynní systém výrazně kopíruje tektonickou stavbu masivu i jeho litologické odlišnosti, výrazné ve dvou základních směrech. Severojižní chodby kopírují sklon vrstev a jejich křížení s příčnými poruchami; jsou proto strmé a spojují úrovně horizontálních prostor, které vedou od západu k východu. Váží se na směr vrstev a směrné tektonické poruchy a jsou zpravidla prostornější.

Kromě tektonické stavby ovlivnily směr, tvar i charakter chodeb vložky nekrasových hornin, zejména amfibolitů. Přestože je jeskyně řazena mezi krasové, tyto zvláštnosti z ní vytváří zcela ojedinělý fenomén. Postrádá klasické sintrové a krápníkové útvary a naopak oplývá škálou erozních, evozních i korozních tvarů umocněných barevností hornin.

Pestré minerální příměsi vápenců nejen daly jeskynním stěnám různé barevnosti, ale ovlivnily i nepravidelnou odolnost horniny vůči krasovým procesům. Tak vznikla morfologicky proměnlivá žebra, hrany či žlaby, místy je zvýrazněná foliace vrstev. Ještě radikálněji se uplatňují nekrasové horniny, převážně amfibolity, prostupující vápencovým tělesem. Některým prostorám diktovaly průběh i tvar. Hluboké výklenky ve stěnách jeskyně, procházející až několika barevnými vrstvami, včetně amfibolitů, vytvářejí obrovitá oka, jaká nemají v jiných jeskynních období. Stropy prostupují četné stropní kopule (Hromas a kol., 2009).

Velký podíl na vzniku krasových dutin v jeskyni má bezpochyby vodní tok protékající jeskyní, jak uvádí Šilar (1996): „Krasovými dutinami rozumíme dutiny, které vznikají v horninách jejich fyzikálním a chemickým rozpuštěním. Jsou nejrůznějšího tvaru, rozsahu a průtočného profilu. Jsou hydrogeologicky velmi významné lokálně i regionálně. V krasových oblastech, tj. oblastech tvořených rozpustnými horninami, je na ně vázán režim podzemních vod. Pod pojmem krasových dutin se rozumějí obvykle jeskyně, tj. dutiny tvaru rozšířených puklin, zejících rozsedlin, kanálů, chodeb, komínů, propastí, dómů a jiných tvarů, které se postupně vytvářejí z puklin, prostupujících rozpustné horniny. Selektivním účinkem koroze se pukliny zákonitě přetvářejí a rozšiřují do tvaru a rozměrů jeskyň. Jejich tvar a velikost jsou v jednotlivých případech velmi odlišné. Někdy se vyskytují tyto dutiny samostatně, jindy vytvářejí složité soustavy.“

Přestože se Chýnovská jeskyně řadí mezi jeskyně krasové, tedy vytvořené vodou v krasových rozpustných horninách, není zcela typickým představitelem této skupiny. Rozdíl je dán přítomností nekrasových hornin uvnitř vápencového

komplexu. Tyto horniny omezují jeho rozpustnost, a tím i vznik, vývoj a tvary podzemních prostor. Jsou důležitým faktorem. Podmiňujícím průběh krasovění v chýnovské oblasti.

Složitost a členitost chodeb Chýnovské jeskyně vedla v minulosti k představě, že hlavní podíl na jejím vzniku měla eroze – mechanické působení podzemního toku. Objevy z 80. a 90. let dvacátého století potvrdily naopak teorii, že nejdůležitějším faktorem vzniku jeskyně je koroze – tedy chemické rozpouštění vápenců, probíhající v prostorách trvale zatopených vodou. Vložky nekrasových hornin, značná rekrytalizace vápenců a vysoký obsah nerozpustných minerálů, které omezují účinky koroze. Velmi dobrá až výborná propustnost vápenců společně se značnou agresivitou podzemní vody krasový proces naopak výrazně podporují. Dalším jevem, který podporuje korozi, je tzv. koroze směšová. Probíhá tam, kde se voda podzemního toku, po ztrátě své rozpouštěcí schopnosti v důsledku nasycení uhličitany v trvale zatopených prostorách, mísí s vodou prosakující z povrchu. Dva nasycené roztoky o různé koncentraci rozpuštěných látek tak vytváří nový nenasyčený roztok, opět chemicky aktivní. Tento jev se pravděpodobně podílí i na vzniku mnoha primárních tvarů ve stěnách a stropěch jeskyně (žlaby, oka, hrnce), které připomínají často spíše jevy erozní.

Při pohledu na mapu jeskyně je patrná zákonitost průběhu jeskynních chodeb. Výrazně kopírují geologickou a tektonickou stavbu masivu. Vznikly v místech umožňujících snadný průnik vody, tedy na tektonických zlomech či puklinách a na kontaktech vápenců s nekrasovými horninami. Větší prostory pak podmínilo řícení stropů, které zejména v místech zlomů a puklinových zón zasáhlo až do nadložních hornin. Celý jeskynní systém je nakloněn pod úhlem 40 – 50 stupňů k severu, tedy shodně s uložením vápenců a jejich vrstevnatostí.

Tento vývoj začal již v mladších třetihorách a pokračuje i dnes, protože jeskyní stále protéká aktivní tok (Vývoj jeskyní. Správa jeskyní České republiky, 2011).

#### **2.6.4 Geologická stavba oblasti**

Chýnovská jeskyně patří, jak uvádí Chábera (1998), do Táborské pahorkatiny, která celá spadá do jednotky Českého masivu.

V jeho rámci jsou na Táborsku zastoupeny dvě základní skupiny hornin: pravděpodobně starší skupina nazývaná *jednotvárná* a mladší, pro niž se používá

označení *pestrá*. Hrubozrnné krystalické vápence, ve kterých je vytvořena Chýnovská jeskyně, náleží k horninám pestré skupiny. Ta se od jednotvárné skupiny liší právě přítomností vložek odchylných hornin, jako jsou mramory, amfibolity nebo erlany ve svorových pararulách. Základ pro pararuly jednotvárné série vznikl pravděpodobně již v období středních starohor, tedy před více než miliardou let. Od tohoto období probíhala v některých oblastech aktivní sopečná činnost. Kromě podmořských výlevů lávy vyvrhovaly činné sopky velké množství popela a úlomků hornin. S tímto materiálem se v mělkém moři mladších starohor usazovaly zbytky jednoduchých organismů, z nichž vznikly původní, sedimentární vápence. V průběhu následujících geologických období došlo vlivem horotvorných procesů k přeměně (metamorfóze) těchto vápenců na vápence krystalické a produkty sopečné činnosti se přeměnily na dnešní amfibolity. Opakované tektonické cykly způsobily i rozlámání a zvrásnění hornin. Největší podíl na současném stavu mělo variské vrásnění, které probíhalo zhruba před 380 - 250 miliony let v období prvohor.

Od Velmovic přes Pacovu a Kladrubskou horu k Lejčkovu se v délce 4 - 5 km táhne 100 - 150 m mocný, tektonicky porušený horizont krystalických vápenců a amfibolitů uložený v okolních pararulách. Krasový systém Chýnovské jeskyně je vytvořen v 10 – 12 m mocné poloze hrubozrnného mramoru (lidově nazývaného "řed'ák").

Důležitým předpokladem pro vznik a vývoj jeskyně bylo vytvoření sítě tektonických poruch. Voda z nekrasového prostředí proniká těmito poruchami do vápencového masívu a chemickým rozpouštěním (korozí) je rozšiřuje. Podobně se voda chová i na kontaktech vápence s nekrasovými horninami. Postupně se přidávají též vlivy mechanické (eroze), kdy horninu rozrušuje tekoucí voda podzemního toku. Ta s sebou navíc unáší množství plavenin, které tento proces ještě podporují. Vzniku větších prostor napomáhá současně i řízení jeskynních stropů a stěn. To v případě Chýnovské jeskyně často zasahuje i do nadložních nekrasových hornin. Velká členitost chodeb a množství výrazných primárních tvarů v minulosti vedla k názoru, že hlavní podíl na vzniku jeskyně má eroze. Výzkumy z posledních let naopak potvrzují, že nejdůležitějším procesem je chemické rozpouštění vápenců. Většina chodeb v jeskyni vzniká korozí v trvale zatopených prostorách. Hluboko zaříznutá erozní koryta se vytvářejí v případě, kdy dojde ke snížení úrovně odvodňování systému a mohou se projevit účinky tekoucí vody. I ta si však stále zachovává svoji



rozpuštěcí schopnost. Na tvorbě systému se tedy podílejí oba procesy současně a jejich vzájemný poměr je závislý na mnoha faktorech. (Krejča, 2006; René, 2006).

### **2.6.5 Půdní poměry**

Z pedologického hlediska podle Kozáka, 2009 patří Chýnovsko do oblasti hnědých půd kyselých, tedy distrických kambizemí.

Kambizemě jsou nejrozšířenějším půdním typem v jižních Čechách. Tyto půdy se vytvořily především na zvětralinách vyvřelých a metamorfovaných hornin skalního podkladu. – převážně žul, rul, svorů a granulitů. Tyto zvětralinové pláště zahrnují souvislou řadu stádií od slabě zvětralé horniny vlivem působení fyzikálních činitelů až po dokonale zvětralé zeminy, u kterých proběhla intenzivní přeměna minerálů. Terénně se kambizemě uplatňují nejčastěji ve svažitéch polohách, na terénních vyvýšeninách, hřbetech apod (Chábera, 1985).

Půda je základním přírodním zdrojem. Vzniká zvětráváním hornin a činností živých organismů. Hlavním půdotvorným procesem při tvorbě hnědých půd je vnitropůdní zvětrávání, spojené s hnědnutím, tvorbou a přeměnami jílových minerálů. V jednotlivých výškových pásmech mají uvedené dílčí pochody poněkud odlišný charakter a intenzitu, která je dána specifikou projevu půdotvorných činitelů jako celku. Obecně je možno říci, že s přibývajícím nadmořskou výškou se zintenzivňuje uvolňování sloučenin železa a hliníku z krystalické mřížky minerálů a též se zvyšuje spoluúčast nízkomolekulárních organických kyselin na těchto pochodech. Při snižující se biologické činnosti postupně vzrůstá i akumulace organické hmoty v povrchové vrstvě půdy. Uvedené pochody jsou zpravidla narušovány trvalými účinky vodní eroze, odnosem povrchové vrstvy zvětralin.

Také agrochemické vlastnosti hnědých půd jsou silně závislé na přírodních poměrech a intenzitě kultivace. Půdní reakce kolísá v širokém rozmezí od slabě kyselých, u hnědých půd nižších poloh, přes kyselou u vrchovin (Chábera, 1985; Moldan, 2001).

### **2.6.6 Hydrologie oblasti**

#### **2.6.6.1 Chemismus**

Podzemní vody v Jihočeském kraji se liší jak celkovou mineralizací, tak i obsahem převládajících iontů minerálních látek i dalších složek, podle toho zda jde o území budované kvartetními uloženinami. V krystalických horninách maldanubdika, středočeského plutonu i vltavsko – dunajské elevace se vyskytují podzemní vody

kalcium – bikarbonátového typu, kalcium – sulfáto – bikarbonátového typu, popřípadě i kalcium – sulfátového typu, s mineralizací do 500 mg/l.

Puklinové podzemní vody ve svrchnokřídových sedimentech obou jihočeských pánví se vyznačují značnou proměnlivostí obsahu hlavních iontů ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NCO}^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) i některých vedlejších a stopových složek. Jde o podzemní vody poměrně málo mineralizované, takže malá změna jedné složky může znamenat i změnu chemického typu vody. Celková mineralizace těchto podzemních vod, zejména v nejsevernější části Třeboňské pánve a místy i v severovýchodní části Českobudějovické pánve, dosahuje pouhých 50 – 100 mg/l. Převládajícím typem jsou v křídových horninách kalcium – magnesium – bikarbonátové nebo kalcium – magnesium – sulfátové vody. Příznačná je pro ně poměrně značná převaha obsahu alkalických zemin ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) nad alkáliemi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). V těchto podzemních vodách byly zjištěny vyšší obsahy železa, často dosahující koncentrace několika mg/l (Chábera, 1985).

#### **2.6.6.2 Prameny**

Prameny představují, vedle skrytých výronů podzemních vod do vodních toků či nádrží, způsob přirozeného odvodňování podzemních vod. Jde v podstatě o přirozené soustředěné výtoky podzemních vod ze zavodněných vrstev hornin na zemský povrch. Jejich vznik je podmíněn příznivými geologickými, tektonickými, hydrogeologickými podmínkami, popřípadě reliéfem. Nejčastěji se vyskytují prameny na výchozech nepropustných vrstev, které jsou v podloží zavodněných hornin, nebo na tektonických poruchách a zlomech, jakož i při úpatí svahových sutí.

Na území Jihočeského kraje je několik tisíc pramenů. V základních vodohospodářských mapách je zakresleno cca. 2500 pramenů různé velikosti. V tomto počtu nejsou zahrnuty všechny prameny, ale pouze část pramenů a to těch silnějších (Chábera, 1985).

#### **2.6.7 Podzemní tok Chýnovské jeskyně**

Základním hydrologickým znakem krasu je nedostatek povrchových vod a podzemní odvodňování krasového masívu. Krasové horniny se vyznačují značnou porózitou a propustností a rychlým průsakem povrchových vod do podzemí. Vznikají tak podzemní vodní toky a nádrže, které s povrchem komunikují infiltrací a v místech průsečíku piezometrické hladiny s povrchem. Krasová hydrografie se vyznačuje častým nesouhlasem orografických a hydrogeologických povodí. Navíc

poloha rozvodnic mezi těmito systémy je úzce vázána na srážky a mění se při jejich kolísání. Podzemní aktivní toky běžně podtékají na povrchu se vyskytující vodní toky nebo se v podzemí v různých úrovních křížují (Bosák, 1988).

I přes dlouhodobý výzkum zůstávají poměry podzemního toku Chýnovské jeskyně a jeho vztah k povrchové hydrologii oblasti stále ještě otevřenou otázkou. Dodnes nejsou známy cesty podzemních vod v oblasti východně od jeskyně, tedy přítok a jeho zdroje (O jeskyních: Ochrana a výzkum, 2011).

Podzemní tok vzniká až v podzemních rezervoárech, v nichž se kumulují rozptýlené prameny. Po průtoku nejnižšími položenými prostorami jeskyně mizí neprostupnými sifony v oblasti Twistu do dosud nepoznaných částí (Hromas a kol., 2009).

Chýnovský kras má netypickou hydrografii – na rozdíl od jiných krasových lokalit zde nejsou známy žádné ponory, které by umožnily využití stopovacích zkoušek. Tyto metody průzkumu je možno v případě Chýnovské jeskyně aplikovat pouze v odtokové větvi. Tak bylo v roce 1962 prokázáno spojení podzemního toku jeskyně s vývěrem v údolí Rutice, který se nachází 1,5 km západně od systému. František Skřivánek tehdy k indikaci použil fluorescein, kterým obarvil vodu v Purkyňově jezírku.

Komplexním výzkumem hydrologického režimu Chýnovského krasu se v 60. letech 20. století zabýval Václav Mach, který provedl několik dalších stopovacích zkoušek, podrobně sledoval chemismus vod a zjišťoval i vliv těžby v lomu Pacova hora na jejich kvalitu. Zjistil, že za vydatných dešťů může být voda podzemního toku jeskyně kontaminována vodou Chýnovského potoka. Naproti tomu voda Chotčinského potoka, jehož koryto leží pouhých 5 m nad hladinou podzemního toku, se do krasového systému vůbec nedostává. Voda obarvená v Chýnovské jeskyni byla zjištěna i ve vrtech v lomu na Pacově hoře. V Rutické vyvěračce se objevila již po 28 hodinách, avšak ještě 11 dnů po aplikaci byly prováděny pozitivní odběry. Výsledky této práce potvrdily předpoklad, že hydrografie lokality je velmi komplikovaná a kvalitu vody může ovlivnit celá řada faktorů. Proto bylo v roce 1992 nad vápencovým pruhem vyhlášeno pásmo hygienické ochrany vodního zdroje.

Díky potápěčskému průzkumu bylo dosud objeveno cca 200 m trvale zatopených prostor. Maximální dosažená hloubka pod hladinou podzemního toku je 45 m. Voda se pak objevuje v největším jezeře Chýnovské jeskyně, které dostalo

název podle svého objevitele Vladimíra Homoly. Plocha jezera je téměř 60 m<sup>2</sup> a vodní tok v této části jeskyně je 14 m široký. Odtud voda odtéká hlubokým erozním korytem do jezírka Čertova a pokračuje přes Kaskády (objevené vyčerpáním v roce 1993) do tzv. Vodních síněk a Purkyňova jezírka na turistické trase. Normální průtok podzemního toku se pohybuje kolem 8 l/s. Teplota vody je 8,7 °C. Během posledních deseti let, kdy jsou měření prováděna, nebyla zjištěna odchylka větší než 0,2 °C (Krejča, 2006; Vojtěchovská, 2010).

### **2.6.8 Mikroklima**

Oproti vodě teplota vzduchu v Chýnovské jeskyni značně kolísá. Při podrobném sledování teplot v posledních letech byly naměřeny hodnoty lišící se až o 17°C. Tyto velké rozdíly jsou následkem vybudování druhého vstupu do jeskyně v 60. letech 20. století. Před objevením neměla jeskyně žádnou výraznou komunikaci s povrchem a výměna vzduchu probíhala velmi omezeně. Odkrytím vchodu v roce 1863 se proudění vzduchu v jeskyni zintenzivnilo, i když zůstal stále zachován statický režim. Protože jeskyně má dnes dva vchody o různé nadmořské výšce, jedná se o systém dynamický se statickými částmi. Směr proudění vzduchu se mění podle teplot na povrchu v závislosti na ročních obdobích. V zimě je studený vzduch do jeskyně nasáván spodním (vtažným) vchodem a ohřátý vystupuje horním otvorem. V letních měsících je proudění opačné.

Při dlouhodobě nízkých teplotách na povrchu dochází v některých částech jeskyně k tvorbě ledových útvarů, které dosahují velikosti až několika metrů. V takových prostorách byly naměřeny teploty nižší než -5°C. Ve stejné době dosahují teploty v nejvyšších částech jeskyně až 12°C (Krejča, 2006).

### **2.6.9 Mineralogie**

V současné době je z lokality Pacova hora (včetně Chýnovské jeskyně) popsáno 56 minerálů a skupin. Právě množství popsaných minerálů a neobyčejně pestré zastoupení minerálních asociací dělá z území Pacovy hory významnou českou lokalitu. Ve sbírkách národního muzea je krystal záhnědy vysoký 37 cm nalezený v okolí Chýnova v 50. letech 20. století. Z lomu je popsána odrůda pergasitu, což je jeden z minerálů s nejvyšším obsahem hliníku ze skupiny amfibolů (Mineralogie. In: Chýnovská jeskyně, 2006). K mineralogicky nejzajímavějším nálezům v jeskyním systému patří kromě epigenetických palygorskитových žilek

zejména silně sloupcovité porfyroblasty diopsidu s termolitem, exotického fialového tremolitu, mikroklínu (časopis Bulletin, 2004).

#### **2.6.10 Jeskynní tvary a výplně**

Jeskynní výplně reprezentují druhotné krasové jevy, které zahrnují veškeré výplně úlomkovitého, organického nebo chemického typu, led a vzduch vyskytující se v podzemních dutinách a jeskynních vchodech (Bosák, 1988).

Geologická situace lokality neumožňuje vznik velkých jeskynních prostor – dómů. Nepočítáme-li příkře ukloněnou spodní část Schwarzenberské chodby, pak je nejhlubší propastí v Chýnovské jeskyni 11 m hluboká Pisolitová propast v chodbě Souběžné.

Jeskyně však nabízí nepřehledné množství drobných krasových tvarů, které mají za následek neobyčejnou členitost podzemních prostor. Nejvýraznější jsou obří hrnce, které v Chýnovské jeskyni dosahují velikosti až několika metrů. Jsou to prohlubně ve stropěch nebo stěnách jeskyně vznikající v tomto případě tzv. směšovou korozi. Tento proces se uplatňuje v místech, kde se v trvale zatopených prostorách voda podzemního toku mísí s vodou prosakující z povrchu. Podobně vznikají i tzv. oka, útvary typické právě pro Chýnovský kras. Na rozdíl od obřích hrnců mají oka plochá „dna“ tvořená nekrasovými horninami (amfibolitem nebo erlanem), na kterých se koroze zastaví. Unikátními útvary Chýnovské jeskyně jsou prohlubně zvané hrnky vytvořené ve stropěch některých prostor. Jedna z nich dostala podle těchto útvarů připomínajících díry po dělových koulích název Žižkova střelba. Nejlépe vyvinuty jsou však v kopuli Kaple sv. Vojtěcha, kde se navíc vytváří v několika úrovních nad sebou. V minulosti se vznik těchto útvarů připisoval výhradně evorzi, což je v podstatě vířivý pohyb tekoucí vody, spíše se však opět jedná o směšovou korozi a svou roli zřejmě sehrává i chemicky agresivní CO<sub>2</sub>. V trvale zatopených prostorách byly zjištěny podobné útvary vznikající díky lépe rozpustným drobným čočkám vápence.

Kromě vzduchu, vody a ledu se v podzemí vyskytují také jeskynní hlíny a sutě. Vznikají v důsledku krasového procesu přímo v jeskyni nebo jsou transportovány podzemním tokem a ukládány v jeskynních prostorách. V případě Chýnovské jeskyně se jedná zejména o nerozpustné příměsi z krystalických vápenců a produkty zvětrávání nekrasových hornin. Značnou část těchto uloženin tvoří

materiál vzniklý řícením. Pouze malé procento zahrnují částice splavené z povrchu do podzemí dešťovou vodou nebo přinášené větrem.

Vysrážením uhličitanu vápenatého rozpuštěného ve vodě se vytváří sintr. „Klasické“ krápníky tvoří jen malou část sintrových výplní (tedy sekundárních jeskynních tvarů) vyskytujících se v Chýnovské jeskyni a jejich velikost nepřesahuje 15 cm. Většinou se jedná o drobná brčka a sintrové záclonky. Velké krápníky jsou známy pouze z dutin odtěžených v lomu na Pacově hoře. Většina z nich byla v minulosti zničena a pouze několik ukázek zůstalo zachováno až do současnosti. Největší z dochovaných krápníků je 157 cm vysoký stalaktit (tj. krápník rostoucí dolů), který je vystaven v přírodovědné expozici Blatského muzea v Soběslavi. Dva větší stalagmity (tj. krápníky narůstající vzhůru) je možno vidět na turistické trase Chýnovské jeskyně, i ty však pocházejí z dutin v lomu.

Častěji než krápníky jsou v jeskyni zastoupeny sintrové povlaky (na stěnách), sintrové kůry (na hlině na dně jeskyně) a bradavičnaté útvary tvořící se na stěnách a stropěch jeskyně (tzv. nepravé pisolity). Pravé jeskynní perly (pisoidy), vznikající srážením sintru kolem zrněk písku či úlomků vápence v miskovitých útvarech (tzv. egutačních jamkách), jsou zde naopak vzácností (Krejča, 2006).

#### **2.6.11 Paleontologické nálezy**

Jak uvádí Musil (2006), největší počet nálezů u horizontálních chodeb se vyskytuje v jejich vchodech případně v jejich blízkosti, tyká se to všech zvířat žijících v blízkém okolí. Bývá tam i velké množství ptačích kostí a kostí drobných savců pocházejících z vývržků sov. Můžeme zde najít i paleolitické vrstvy s pozůstatky kostí lovených zvířat. Jeskynní vchody představují tedy nedůležitější místa nejen z hlediska množství osteologických nálezů, ale i z toho důvodu, že se tam nachází v superpozici větší počet vrstev sedimentů z různých klimatických období.

V Chýnovské jeskyni na rozdíl od většiny jeskyní v České republice dosud nebyly doloženy žádné paleontologické nálezy. Je tedy velmi pravděpodobné, že v minulosti, nebyl vchod ani žádné jiné části jeskyně dostupné větším druhům živočichů. (Krejča, 2006)

Osteologické nálezy se nevyskytují nikdy ve fluvialních štěrkopiscích, tedy v sedimentech ukládaných proudící vodou. Pokud se v nich někdy nacházejí, jedná se vždy o druhotné naleziště, které časově nesouhlasí s jejich původním uložením. To

se týká nejen štěrkopísků, ale většinou i sedimentů jemných, pokud byly naplavovány tekoucí vodou z ponorů. Pouze poblíž širokých ponorových vtoků, z doby, kdy byly částečně ucpané, mohou existovat výjimky. V sedimentech takových jeskyni nebyly příznivé podmínky pro existenci jakýchkoliv zvířat. (Musil, 1979).

### 2.6.12 Fauna

Dnes Chýnovskou jeskyni obývají hlavně netopýři a bezobratlí živočichové. Chýnovská jeskyně je velice významným zimovištěm několika druhů netopýřů. Dosud zde byly zjištěny tyto druhy netopýřů: netopýř řasnatý (*Myotis nattereri*), netopýř velký (*Myotis myotis*), netopýř ušatý (*Plecotus auritus*), netopýř vodní (*Myotis daubentoni*), netopýř večerní (*Eptesicus serotinus*), netopýř černý (*Barbastella barbastellus*), netopýř vousatý (*Myotis mystacinus*), netopýř velkoduchý (*Myotis bechsteini*), netopýř Brandtův (*Myotis brandti*).

Netopýř řasnatý obývá celou Evropu. Nikde však nepatří k druhům vysloveně hojným. U nás je běžný v podhůří Šumavy a v jihočeských pánvích. Zbarvení je na hřbetě hnědavé a vespod špinavě bílé. Název je odvozen od zvláštní úpravy ocasní blány, jejíž okraj je opatřen hustým lemem tvořícím jakýsi kartáč. Letní kolonie, které mívají zpravidla kolem 20 ks, se dají nalézt na půdách budov, ve štěrbinách i v dutinách stromů. Většina populace zřejmě zimuje mimo podzemní prostory. Právě proto je neobvyklým jevem nezvykle vysoké zastoupení tohoto druhu v zimujícím společenstvu netopýřů v Chýnovské jeskyni. Tato jeskyně je největším přirozeným zimovištěm netopýra řasnatého v ČR a pravděpodobně i v Evropě.

Detailní výzkum bezobratlých živočichů v prostorách Chýnovské jeskyně nebyl dosud prováděn. Teprve v poslední době byly určeny některé druhy, které jeskyni obývají. Většinou se nacházejí v těsné blízkosti vchodů. V roce 1989 byl do jeskyně introdukovan (uměle vysazen) pavouk křížák temnostní. Jeskyně jsou pro tento druh přirozeným prostředím. Běžně se zde vyskytuje můra sklepní, která patří mezi druhy motýlů nezřídka přezimujících v jeskyních. V jeskyni byly zjištěny čtyři druhy chrostíků. V horkých dnech zalézají do úkrytů, takže se v jeskyních objevují poměrně často. Spíše náhodný je výskyt střevlíků, kteří nejsou vázáni na podzemní prostory. Naopak plž – slimák popelavý je jedním z nejběžnějších druhů podzemí. Často se obyvatelem jeskyně stávají i další plži – skelnatka drnová a vrásenka okrouhlá. Z koryšů se v Chýnovské jeskyni nalézají beruška zední a stínka, která

jediná byla objevena v hlubších prostorách systému (Fauna, Chýnovská jeskyně, 2006).

## **2.7 Legislativa**

Všechny přírodní podzemní prostory podléhají ochraně podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Jejich poškození včetně poškozování uzávěru vstupů je trestné. Nezákonný je rovněž nedovolený vstup do jeskyní, které nejsou veřejnosti zpřístupněny nebo nejsou volně přístupné. Řada jeskyní se také nachází v chráněných oblastech a rezervacích mimo značené cesty. Vážní zájemci o veřejnosti nepřístupné podzemí mají možnost oslovit členy speleologické skupiny, která se danou oblastí s jeskyněmi zabývá (Zajiček, 2010).

Podzemní voda je chráněna vodním zákonem č. 254/2001 sb. jehož součástí, jak uvádí Venclík (2014), je po vstupu ČR do EU, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/118/ES o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu podzemních vod. Směrnice o podzemních vodách zavádí postupy při určování norem jakosti podzemních vod a opatření k omezení a zamezení vstupu znečišťujících látek do podzemních vod (Pizzol et al., 2015).

### **2.7.1 Ochrana vodních zdrojů**

Vodním zdrojem jsou povrchové nebo podzemní vody, které jsou využívány nebo které mohou být využívány pro uspokojení potřeb člověka, zejména pro pitné účely. Pro účely poplatků za odběry podzemních vod vodní zákon vymezuje pojem vodní zdroj podzemní vody speciálně k výše uvedenému obecnému ustanovení. Rozumí se jím podzemní voda nacházející se ve stejném dílčím povodí, které je specifikováno číslem hydrologického pořadí, a ve stejném hydrogeologickém rajonu (§ 88 odst. 3) (Strnad, 2013).

Ochranná pásma vodních zdrojů stanoví vodoprávní úřad, v jehož územním obvodu leží vodní zdroj a k jehož ochraně má být ochranné pásmo stanoveno (§ 115 odst. 18) (Horáček, 2011).

Ochrana vodního zdroje je založena na principu dvoupásmové ochrany, kdy každé pásmo má poněkud jiný rozsah. Ochranná pásma vodních zdrojů se dělí na ochranná pásma I. stupně, která slouží k ochraně vodního zdroje v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení, a ochranná pásma II. stupně, která slouží k ochraně vodního zdroje v územích stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení jeho vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti.



„Bezprostřední okolí“ jímacího zařízení nebo odběrného zařízení je definováno limity uvedenými vodním zákonem (§ 30 odst. 3). Rozsah ochranného pásma I. stupně může být však také menší, a to v případě, že tak vodoprávní úřad v odůvodněných případech stanoví (§ 30 odst. 4 vodního zákona).

Pozn.: Pramen Rutice byl podle zákona č. 254/2001 sb. klasifikován jako vodní zdroj, tudíž je nad celou oblastí Chýnovské jeskyně i nad přilehlými pozemky vyhlášeno pásmo ochrany vodního zdroje – viz obr. č. 1 (Krejča, 2006).

Ochranné pásmo II. stupně se vymezuje vně ochranného pásma I. stupně. Na rozdíl od ochranného pásma I. stupně však může být tvořeno nejen jedním souvislým územím, ale také několika od sebe oddělenými územími, což je zohledněno též v kompetenci vodoprávního úřadu, který, je – li to účelné, může ochranné pásmo II. stupně stanovovat postupně po jednotlivých územích.

Vodní zákon zakotvuje výslovný zákaz vstupu a vjezdu do ochranného pásma I. stupně. Tento zákaz neplatí pro osoby, které mají právo odebírat vodu z vodního zdroje, a u vodárenských nádrží pro osoby, které tato vodní díla vlastní. Vodoprávní úřad může stanovit na žádost rozhodnutí i další výjimky ze zákazu vstupu a vjezdu, např. pro vlastníky nemovitostí v ochranných pásmech, rybářskou stráž apod. Jak uvádí Tlapák et al. (1992), pásma I. stupně pro podzemní vody se navrhují ve vzdálenosti 10 až 50 m od jímacího zařízení. Území ochranného pásma I. stupně se dokonale hygienicky asanuje, přeloží se všechny komunikace určené jiným účelům než vodárenským. Území se vyrovná, povrch se zpravidla zatravní. V tomto pásmu se nesmějí provádět zemní práce, používat toxické látky, pást zvířata nebo znečišťovat povrch území ani je jiným způsobem ovlivňovat. Hranice pásma se vyznačí výstražnými tabulemi a plotem se zamezí vstup osobám a zvířatům.

V ochranném pásmu I. a II. stupně je dále zakázáno provádět činnosti poškozující nebo ohrožující vydatnost, jakost nebo zdravotní nezávadnost vodního zdroje, jejichž rozsah je vymezen v opatření obecné povahy o stanovení nebo změně ochranného pásma. Bude se jednat zejména o omezení ve vztahu k bodovým a plošným zdrojům znečištění (zemědělské hospodaření, využívání přípravků na ochranu rostlin apod.), opatření směřující k zabránění vstupu závadných látek do vodního prostředí a protierozní opatření (Strnad, 2013).

Pásmo hygienické ochrany II. stupně se obvykle dělí na vnější a vnitřní; hranice se určí v závislosti na době zdržování vody v horninovém prostředí. Ve vnitřním pásmu je zakázána činnost, která by mohla vést ke znečištění zdrojů

podzemní vody. Území se zajistí proti zasakování znečištěných vod, deprese a jámy se vyrovnají. Ve vnitřním pásmu II: stupně ochrany se nesmějí těžít zemní hmoty a provádět důlní činnost; pozemní komunikace s výjimkou účelových se přeloží. Nesmějí se zde skladovat odpady a převádět odpadní vody. Zemědělské využívání se určí v závislosti na místních podmínkách, především na agrotechnickém posudku. Přihnojovat je možné komposty a vybranými průmyslovými hnojivy s výjimkou dusíkatého vápna, močoviny a čpavku. Možnost závlah vodou vhodné jakosti se posoudí individuálně (Tlapák et al., 1992).

### **2.7.2 Zvláště chráněná území**

Podle zákona č. 114/92 Sb., o ochraně přírody a krajiny se území přírodovědecky či esteticky velmi významná nebo jedinečná lze vyhlásit za zvláště chráněná; přitom se stanoví podmínky jejich ochrany (Poradce, 2004).

Kategorie zvláště chráněných území jsou

- a) národní parky,
- b) chráněné krajinné oblasti,
- c) národní přírodní rezervace,
- d) 2přírodní rezervace,
- e) národní přírodní památky,
- f) přírodní památky.

Pokorný a kol. (2009) uvádí, že území Chýnovské jeskyně na základě ustanovení § 90 odst. 8 zákona ČNR č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů, bylo prohlášeno za národní přírodní památku.

### **2.7.3 Národní přírodní památka Chýnovská jeskyně**

Národní přírodní památka je přírodní útvar menší rozlohy, zejména geologický či geomorfologický útvar, naleziště nerostů nebo vzácných či ohrožených druhů ve fragmentech ekosystémů, s národním nebo mezinárodním ekologickým, vědeckým či estetickým významem, a to i takový, který vedle přírody formoval svou činností člověk, může orgán ochrany přírody vyhlásit za národní přírodní památku; stanoví také její bližší ochranné podmínky.

Změny či poškozování národních přírodních památek či jejich hospodářské využívání, pokud by tím hrozilo jejich poškození, je zakázáno.

Lesy, lesní půdní fond, vodní toky, vodní plochy a nezastavěné pozemky na území národních přírodních památek, které jsou ke dni nabytí účinnosti tohoto

zákona ve státním vlastnictví, nelze zcizit. Tím nejsou dotčena práva fyzických a právnických osob podle předpisů o majetkové restituci (Poradce, 2004).

Jak uvádí Pokorný a kol. (2009), byla Chýnovská jeskyně v roce 1949 vyhlášena jako přírodní rezervace. Za státní přírodní rezervaci byla jeskyně prohlášena v roce 1988 výnosem Ministerstva kultury České socialistické republiky. Na základě ustanovení § 90 odst. 8 zákona ČNR č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“), bylo území prohlášeno za národní přírodní památku. Zřízení zvláště chráněného území mělo zásadní vliv na zachování krasového útvaru, zejména s ohledem na postupující práce v lomu na Pacově hoře. Přesto však došlo k odtěžení celé řady krasových prostor nalezených při těžbě, které byly součástí dnes známého systému. Nejvýznamnější z nich (120 m chodeb) byla tzv. Nová Chýnovská jeskyně objevená po odstřelu v roce 1960. Zvláště chráněné území bylo v roce 1949 vyhlášeno pouze na pozemku 666/2 v k.ú. Dolní Hořice. Tento pozemek zahrnuje pouze vstup do jeskynního systému. Na základě speleologického průzkumu prováděného v druhé polovině 20. stol. je známo, že samotný rozsáhlý jeskynní systém se vyskytuje ještě pod dalšími pozemky parcelní číslo - 666/1, 663/7, 828/2 a 674/2. Hospodaření na pozemcích, zejména zemědělských, může významně ovlivnit jeskynní systém a předměty ochrany, dotčeného území, z uvedených důvodů bylo nutné nové vyhlášení zvláště chráněného území, které by zahrnulo všechny pozemky, pod kterými se nachází jeskynní systém. Současně je navrženo ochranné pásmo, které tvoří lesní pozemky, které sice nezasahují nad jeskynní systém, ale hospodaření na nich by rovněž mohlo mít dopad na jeskynní prostory.

## **3 Metodika**

### **3.1 Odběrová místa**

Uváděná jména odběrových míst i částí jeskyně jsou převzata od pracovníků Správy Chýnovské jeskyně. Odběrová místa byla nepravidelně rozmístěna po systému jeskyně a to tak, že jedno odběrové místo (Žižkova střelba) bylo v přístupné části, avšak mnohem hlouběji než odběrová místa Štola a Blátivá chodba, která byla umístěna mnohem blíže k povrchu, kousek od vstupu do uměle proražené odvětrávací šachty jeskyně.

Štola - Odběrové místo se nachází přímo v uměle proražené štole, která slouží jako únikový východ, větrání jeskyně a vedení elektroinstalace provozu celé jeskyně. Strop v tomto odběrovém místě tvoří nejen vápenec, amfibolity a erlány, ale také betonové výztuže. Na povrchu se nachází z části pole a z části pozemky patřící Správě Chýnovské jeskyně, kde se nachází hlavní vstup do jeskyně pro turistickou trasu, příjezdová komunikace a stánek se suvenýry. Vzdálenost k povrchu je cca. 26 metrů. Při odběrech byl na tomto místě skap nejintenzivnější.

Blátivá chodba – Blátivá chodba navazuje na uměle proraženou štolu, je silně ovlivněna řícením stropů. Což má za následek, že je z velké části vyplněna sedimenty a sutí. Strop nad tímto odběrovým místem tvoří převážně vápenec, amfibolity a erlány. Povrch nad tímto odběrovým místem, jehož mocnost k povrchu je 31 metrů, tvoří z větší části louka, ale také částečně pole. Intenzita skapu byla v tomto místě velmi nízká, nejnižší ze všech tří odběrových míst.

Žižkova střelba – Toto odběrové místo se nachází v nitru jeskyně pár metrů od chodníku turistické trasy, nejnižší ze všech odběrových míst. Jeho vzdálenost k povrchu činí 41 metrů. Strop v místě skapu tvoří neporušený vápencový masiv. Povrch nad tímto odběrovým místem je tvořen loukou.

#### **3.1.1 Metodika odběrů skapové vody a laboratorní rozborů**

V Chýnovské jeskyni bylo odebráno celkem 12 vzorků skapové vody na třech odběrových místech, ve čtyřech termínech rozvrhnutých rovnoměrně v celém jednom ročním cyklu, a to: 25. 7. 2013, 30. 10. 2013, 23. 1. 2014 a 18. 3. 2014.

Vzorky byly odebírány do vyčištěných nádob, které byly ukotveny přímo pod nejvhodnější místo skapu v dané lokalitě. Voda do nich tedy volně nakapala, poté

byly vzorky převezeny do laboratoře JČU, kde jsem je pod dohledem a za asistence Ing. Lubomíra Bodláka, Ph.D. a Ing. Martiny Kobesové přefiltroval, tím byly vzorky připraveny k exportu do laboratoře ENKI o.p.s. v Třeboni.

Zároveň zde byly změřeny parametry, které nám laboratoř JČU dovolila svým vybavením. Pomocí přístroje WTW Multi Lab P5, P4 720 potenciometricky pH, vodivost, alkalita a spočtena koncentrace  $\text{HCO}_3^-$ . Koncentrace aniontů: dusičnanů, fosforečnanů, síranů, chloridů a amoniakálního dusíku byly stanoveny s využitím spektrofotometrických metod na průtokovém injekčním analyzátoru FIA5000 (Tecator).

Následně byly odeslány do laboratoře ENKI o.p.s. v Třeboni. Zde pak byly měřeny hodnoty kationtů: sodíku, draslíku, vápníku, hořčíku.

**Potenciometrické stanovení pH a vodivost** vzorku byly stanoveny pomocí přístroje WTW Multi Lab P5, P4 720.

#### **Stanovení aniontů**

Anioly byly stanoveny metodou průtokové injekční analýzy. K jejich stanovení byl použit přístroj FIASStar 5000.

#### **Stanovení kationtů**

Koncentrace kationtů byla stanovena v laboratoři Enki o.p.s. v Třeboni.

Naměřená data byla zpracována v programu Statistica 10, kde byla použita metoda vícerozměrové analýzy rozptylu (Anova). Rozdíly mezi jednotlivými typy skapových vod byly testovány pomocí Tukeyho testu. K zjištění vzájemné závislosti byly použity grafy korelace mezi jednotlivými parametry. Průměry, směrodatné odchylky a minimální + maximální hodnoty byly spočteny v programu Microsoft Excel.

### **3.2 Metodika popisu a zmapování oblasti**

Land use data oblasti byly výstupem z aplikace MapoMat. Výstupem byly mapy s vyznačenými oblastmi pásma ochrany vodního zdroje Rutice I. i II. stupně, lesů, louk a pastvin, zemědělsky obhospodařovaných polí a NPP Chýnovská jeskyně. Výměra jednotlivých typů krajiny byla rovněž výstupem z programu MapoMat.

Mapomat je uživatelsky konfigurovaný webový prohlížeč mapových služeb Agentury ochrany přírody a krajiny ČR. Aplikace využívá datových zdrojů

publikovaných AOPK ČR a dalších institucí. Zpřístupňuje a kombinuje dostupné mapové služby (IMS, WMS, AGS). Z mapových služeb odebírá vyžádané mapové výřezy a atributová data. Kromě základních funkcí aplikace funguje jako jednoduchý vektorový editor liniových, bodových a polygonových zákresů nad mapovou službou. Tyto zákresy lze průběžně editovat a exportovat formátu SHP. MapoMat slouží jako výchozí softwarové řešení k dalším, specializovaným mapovým úlohám, které jsou založené na bázi GIS. Výstupem jsou data ve formátu PDF nebo JPG (Portál Informačního systému ochrany přírody, 2012).

K získání informací o stavu a umístění půdních bloků byl využit Veřejný registr půdy – LPIS.

Data získaná o hospodaření na orné půdě v pásmu ochrany vodního zdroje Rutice, poskytlo Zemědělské družstvo Dolní Hořice, konkrétně agronomka Ing. Hana Čápková. Obsahují název a výměru půdního bloku, pěstovanou plodinu, název a množství aplikovaného hnojiva.

## 4 Výsledky

### 4.1 Zhodnocení fyzikálně – chemických parametrů

Odběrová místa se lišila intenzitou skapu, polohou i charakterem nadloží. A právě tento faktor se promítl i do výsledných koncentrací jednotlivých parametrů. Tabulky 1, 2 a 3 obsahují průměrné hodnoty, směrodatnou odchylku a hodnoty minima, maxima ze čtyř odběrů z roků 2013 a 2014.

Průměrné hodnoty vodivosti byly u odběrových míst Blátivá chodba a Žižkova střelba podobné, ale u odběrového místa Štola byla průměrná vodivost zhruba o třetinu vyšší (Tabulka č. 1). Rozdíl ukazuje, že toto místo bude mít odlišný chemismus skapové vody. pH se pohybovalo u všech odběrů a odběrových míst od 7 do 8, stejně tak u alkality nebyly zaznamenány výraznější odchylky. Její koncentrace se pohybovala od 2 - 5 mmol/l. Obsah HCO<sub>3</sub> byl u všech odběrových míst podobný a to okolo 200 mg/l.

**Tabulka č. 1:** Průměrné hodnoty parametrů [mg/l], jejich variabilita ( $\pm$  S.D.) a rozsah (min - max) u jednotlivých odběrových míst.

Odběrové místo		Vodivost [uS.cm-1]	pH	Alkalita [mmol/l]	HCO <sub>3</sub> [mg/l]
Ch - Blátivá chodba	AVG $\pm$ STD (MIN - MAX)	469 $\pm$ 42 (399 - 508)	7,3 $\pm$ 0,4 (6,6 - 7,8)	3,47 $\pm$ 0,93 (2,12 - 4,38)	211,7 $\pm$ 56,6 (129,3 - 267,2)
Ch - Štola	AVG $\pm$ STD (MIN - MAX)	659 $\pm$ 42 (602 - 718)	7,1 $\pm$ 0,2 (7,0 - 7,4)	3,91 $\pm$ 0,57 (3,26 - 4,54)	238,7 $\pm$ 34,7 (198,9 - 276,9)
Ch - Žižkova střelba	AVG $\pm$ STD (MIN - MAX)	327 $\pm$ 17 (284 - 338)	7,3 $\pm$ 0,5 (6,6 - 8,0)	2,75 $\pm$ 0,82 (1,98 - 4,14)	167,8 $\pm$ 50,3 (120,8 - 252,5)

### 4.2 Zhodnocení obsahu aniontů

Průměrné hodnoty aniontů se výrazněji projeví zejména u odběrového místa Štola, kde jako u jediného překročily hodnoty dusičnanů 1 mg/l a to výrazně: 7,52 mg/l. Dále u tohoto odběrového místa vykazují nejvyšší hodnoty chloridy a sírany, jejich hodnota byla stejně jako u dusičnanů několikanásobně vyšší než u ostatních odběrových míst. U chloridů dosáhla průměrná hodnota 13,3 mg/l – několikanásobně vyšší hodnota v porovnání s Blátivou chodbou a Žižkovou střelbou, u síranů 41,9 mg/l – 2x vyšší hodnota v porovnání s Blátivou chodbou a 4x vyšší hodnota než u Žižkovy střelby. Hodnoty fosforečnanů byly u všech odběrových míst velmi nízké, ani u jednoho odběru nepřekročily 0,15 mg/l. (Tabulka č. 2).

**Tabulka č. 2:** Průměrné hodnoty aniontů [mg/l], jejich variabilita ( $\pm$  S.D.) a rozsah (min - max) u jednotlivých odběrových míst.

Odběrové místo		NO <sub>3</sub> -N [mg/l]	PO <sub>4</sub> -P [mg/l]	Cl [mg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]
Ch - Blativá chodba	AVG $\pm$ STD	0,13 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,03	2,0 $\pm$ 0,2	19,5 $\pm$ 5,3
	(MIN - MAX)	(0,11 - 0,15)	(0,00 - 0,08)	(1,7 - 2,2)	(15,7 - 28,3)
Ch - Štola	AVG $\pm$ STD	7,52 $\pm$ 1,13	0,10 $\pm$ 0,09	13,3 $\pm$ 0,3	41,9 $\pm$ 4,8
	(MIN - MAX)	(5,61 - 8,39)	(0,00 - 0,04)	(13,1 - 13,8)	(37,0 - 49,9)
Ch - Žižkova střelba	AVG $\pm$ STD	0,24 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,06	1,5 $\pm$ 0,2	10,6 $\pm$ 1,9
	(MIN - MAX)	(0,22 - 0,31)	(0,01 - 0,15)	(1,3 - 1,8)	(7,4 - 12,3)

### 4.3 Zhodnocení obsahu kationtů

Jak je patrné z tabulky č. 3, u kationtů se hodnoty výrazněji lišily u vápníku a to u všech tří odběrových míst. Kdy ve Štole byl obsah vápníku nevyšší: 131,2 mg/l, což je hodnota zhruba dvojnásobná oproti odběrovým místům Blativá chodba a Žižkova střelba. Průměrné hodnoty hořčíku byly nejvyšší u odběrového místa Blativá chodba, kde překročil hodnotu 23 mg/l, což je zhruba dvojnásobná hodnota, než na ostatních dvou odběrových místech. Hodnoty sodíku i draslíku byly na všech odběrových místech velmi podobné, a pohybovaly se u sodíku okolo 6 mg/l, u draslíku okolo 1,5 mg/l.

**Tabulka č. 3:** Průměrné hodnoty kationtů [mg/l], jejich variabilita ( $\pm$  S.D.) a rozsah (min - max) u jednotlivých odběrových míst.

Odběrové místo		NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]
Ch - Blativá chodba	AVG $\pm$ STD	0 $\pm$ 0	69,6 $\pm$ 9,4	23,7 $\pm$ 1,4	6,4 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,4
	(MIN - MAX)	0	(62,3 - 85,8)	(22,4 - 26,0)	(6,3 - 6,7)	(1,5 - 2,5)
Ch - Štola	AVG $\pm$ STD	0,01 $\pm$ 0,02	131,2 $\pm$ 13,0	9,3 $\pm$ 0,4	5,9 $\pm$ 1,1	0,9 $\pm$ 0,2
	(MIN - MAX)	(0,00 - 0,04)	(115,3 - 150,3)	(8,9 - 9,7)	(5,2 - 7,8)	(0,6 - 1,3)
Ch - Žižkova střelba	AVG $\pm$ STD	0,01 $\pm$ 0,01	54,8 $\pm$ 6,5	9,5 $\pm$ 0,4	5,8 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,04
	(MIN - MAX)	(0,00 - 0,03)	(47,8 - 65,3)	(9,0 - 9,9)	(5,6 - 6,0)	(1,5 - 1,6)

### 4.4 Korelace vodivosti

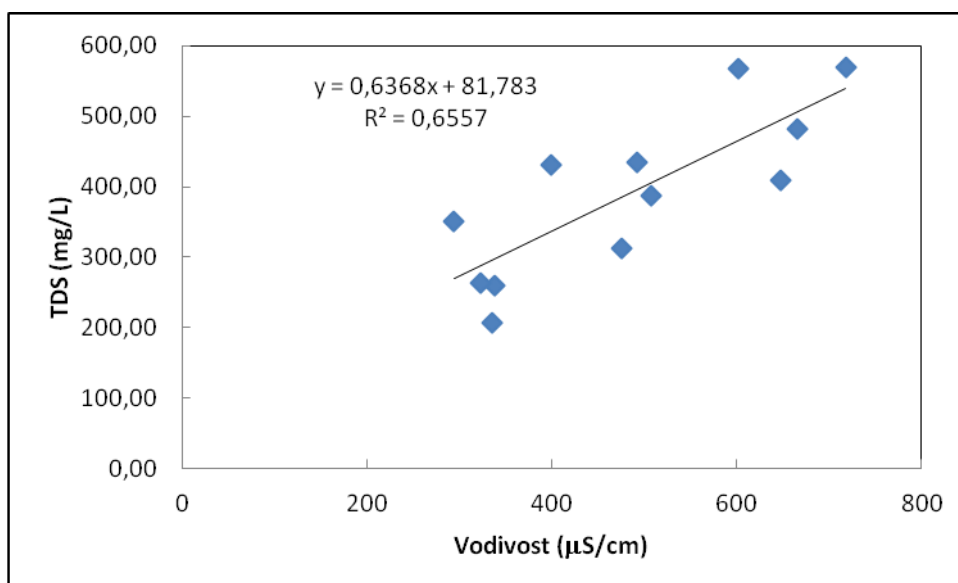
Vodivost vyjadřuje sumárně koncentraci disociovaných rozpuštěných látek. Vztah vodivosti k celkovému obsahu rozpuštěných látek i k jednotlivým iontům poskytuje informaci o typu chemismu a významu jednotlivých iontů.

Graf č. 1 zobrazuje vzájemnou závislost vodivosti a celkové mineralizace (TDS). Determinační koeficient 0,66 sice ukazuje na poměrně zřetelnou ale ne moc



těsnou závislost. Sklon křivky je na dolní hranici rozmezí, které je pro tuto závislost běžně udáváno (Pitter 1999).

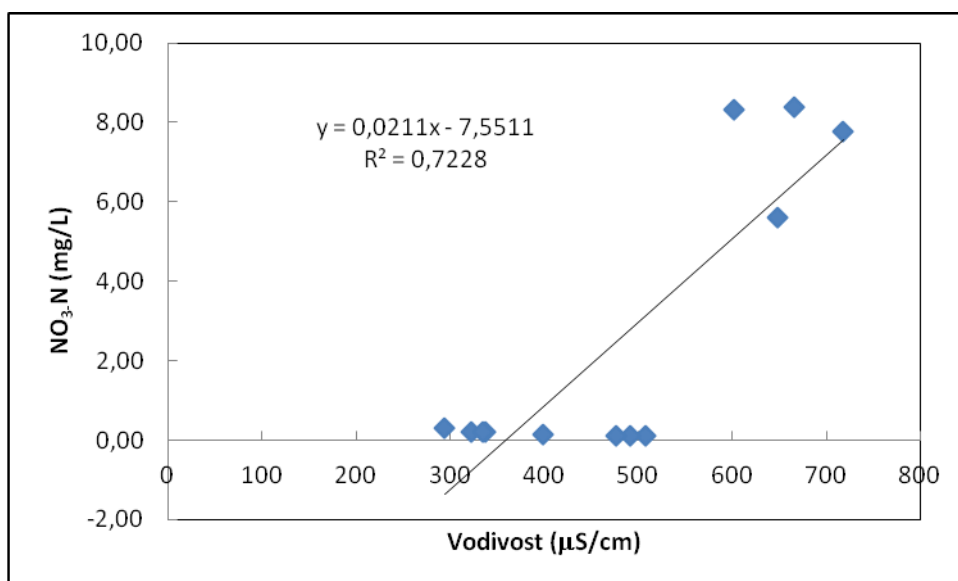
**Graf č. 1:** Korelace naměřených hodnot vodivosti a TDS



Grafy č. 2, 3, 4 a 5 zobrazují vzájemnou závislost vodivosti a vybraných parametrů na všech třech odběrových místech. Vybrané parametry jsou takové, jejichž korelace vykazují nejtěsnější vztah. A to jsou:  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SO}_4$ , Ca, Cl a  $\text{Mg}^{2+}$ .

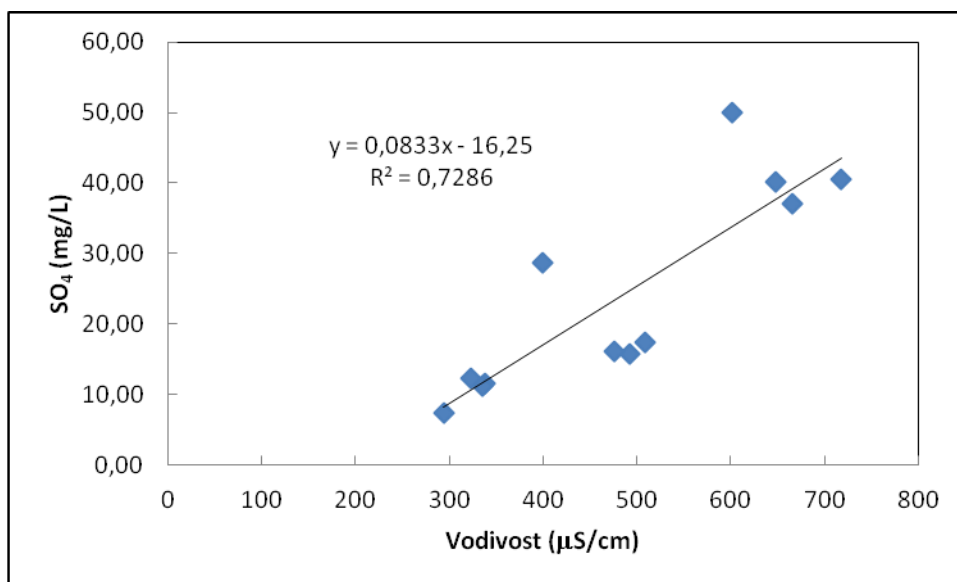
Vzájemnou závislost mezi vodivostí a  $\text{NO}_3\text{-N}$  u všech tří odběrových míst skapové podzemní vody ukazuje graf č. 2. Závislost vykazuje vyšší míru těsnosti než u celkové mineralizace,  $R^2 = 0,72$ . Z toho vyplývá, že se na chemizmu vody dusičnany podílejí významně a to zvláště u odběrového místa Štola, kde hodnoty u všech 4 odběrů několikanásobně převýšily odběry u ostatních odběrových míst.

**Graf č. 2 :** Korelace naměřených hodnot vodivosti a  $\text{NO}_3\text{-N}$



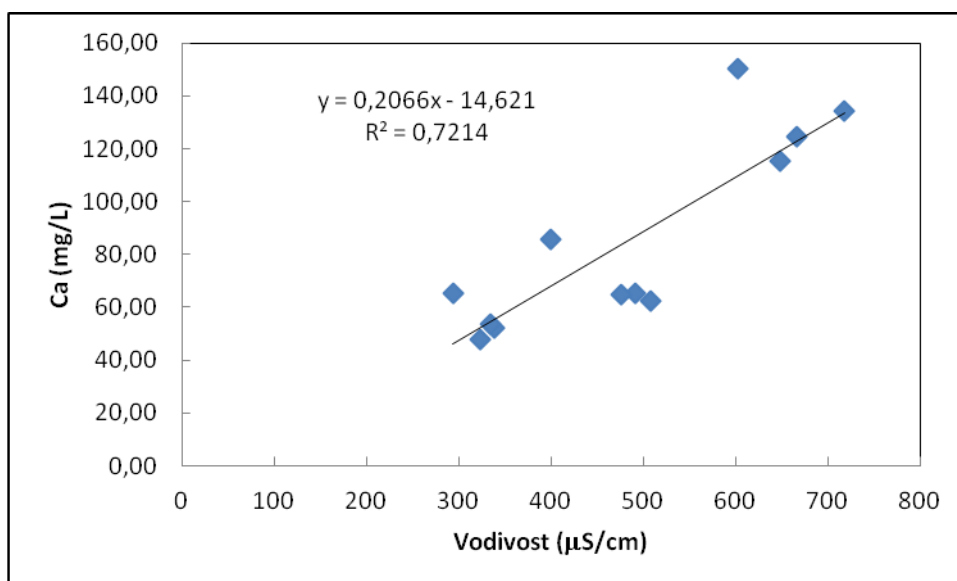
Vzájemnou závislost mezi vodivostí a  $\text{SO}_4$  u všech tří odběrových míst skapové podzemní vody ukazuje graf č. 3.  $R^2 = 0,72$ . Z toho vyplývá, že se na chemizmu vody i sírany podílejí významně a to znovu u odběrového místa Štola, kde hodnoty u všech 4 odběrů opět převýšily odběry u ostatních odběrových míst.

**Graf č. 3:** Korelace naměřených hodnot vodivosti a  $\text{SO}_4$



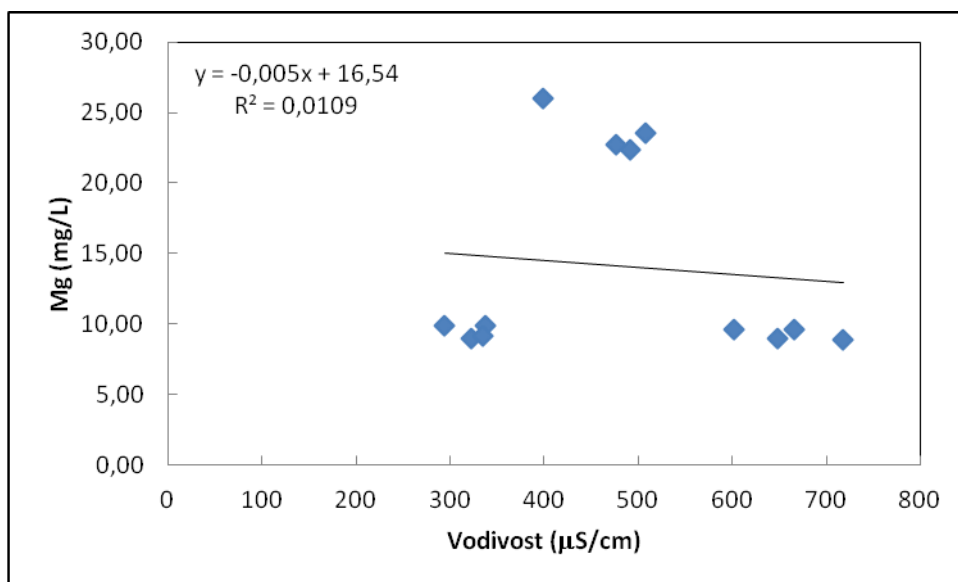
Vzájemnou závislost mezi vodivostí a Ca u všech tří odběrových míst skapové podzemní vody ukazuje graf č. 4. Závislost vyšla stejně jako u síranů 0,72, což potvrzuje výraznou úlohu v hydrochemismu skapové vody. Hodnoty u všech čtyř odběrů byly znovu nejvyšší u odběrového místa Štola.

**Graf č. 4:** Korelace naměřených hodnot vodivosti a Ca



V grafu č. 5 jsou vyneseny proti sobě koncentrace Mg a vodivosti. Spočtená korelace není statisticky významná. ( $R^2 = 0,01$ ). Z toho vyplývá, že pro chemismus skapové vody u těchto vybraných lokalit je hořčík nevýznamný. Hodnoty jsou nejvyšší u odběrového místa Blátivá chodba.

**Graf č. 5:** Korelace naměřených hodnot vodivosti a Mg.



#### 4.5 Statistické vyhodnocení

Statisticky významná odlišnost byla prokázána u následujících chemicko - fyzikálních parametrů: vodivost, dusičnanový dusík, chloridy, sírany, vápník, hořčík a draslík, což znázorňují tabulky v přílohách 1-7. Tato odlišnost byla prokázána pomocí Tukeyho post-hoc testu na hladině pravděpodobnosti  $p \leq 0,05$ .

Statisticky významná odlišnost vodivosti byla prokázána mezi odběrovými místy Štola a Blátivá chodba, Štola a Žižkova střelba, Žižkova střelba a Blátivá chodba (Příloha č. 1).

Statisticky významná odlišnost dusičnanového dusíku byla prokázána mezi odběrovými místy Štola a Blátivá chodba, Štola a Žižkova střelba (Příloha č. 2).

Statisticky významná odlišnost chloridů byla prokázána mezi odběrovými místy Štola a Blátivá chodba, Štola a Žižkova střelba (Příloha č. 3).

Statisticky významná odlišnost síranů byla prokázána mezi odběrovými místy Štola a Blátivá chodba, Štola a Žižkova střelba (Příloha č. 4).

Statisticky významná odlišnost vápníku byla prokázána mezi odběrovými místy Štola a Blátivá chodba, Štola a Žižkova střelba (Příloha č. 5).

Statisticky významná odlišnost hořčíku byla prokázána mezi odběrovými místy Blátivá chodba a Štola, Blátivá chodba a Žižkova střelba (Příloha č. 6).

Statisticky významná odlišnost draslíku byla prokázána mezi odběrovými místy Štola a Blátivá chodba, Štola a Žižkova střelba (Příloha č. 7).

#### **4.6 Obsah Ca/Mg skapových vod**

S nasyceností skapových vod souvisí i poměr Ca/Mg v podzemních vodách. Výpočet poměru Ca/Mg skapových vod byl proveden z vypočítaných průměrů, jak uvádím v tabulce č. 4. Nejnižší hodnota byla zjištěna u odběrového místa Blátivá chodba a to 2,94 naopak nevyšší byl poměr u odběrového místa Štola 14,11, poměr u Žižkovy střelby vycházel 5,77.

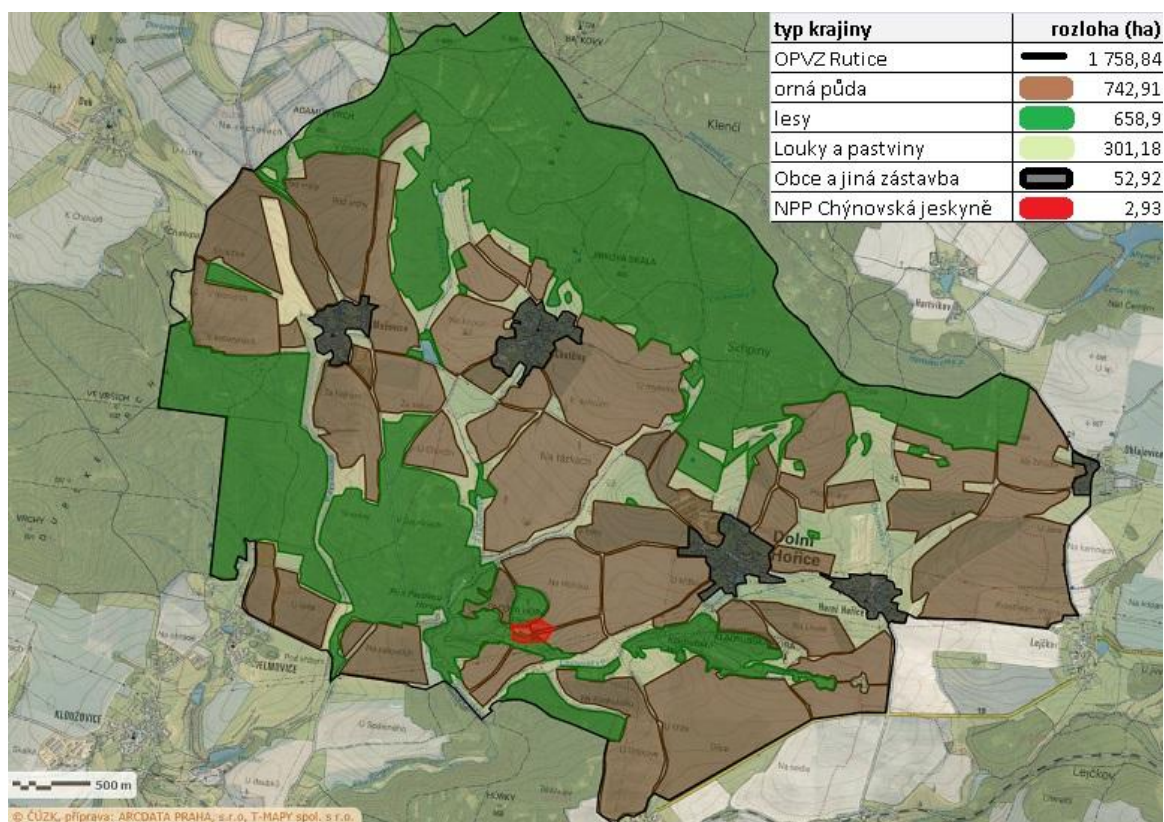
**Tabulka č. 4:** Poměry Ca/Mg u odběrových míst míst.

Odběrové místo	Poměr Ca/Mg
Ch - Blátivá chodba	2,94
Ch - Štola	14,11
Ch - Žižkova střelba	5,77

#### **4.7 Popis oblasti OPVZ Rutice a údaje o hospodaření**

Jak znázorňuje mapa č. 1 z celkové rozlohy 1758,84 ha ochranného pásma vodního zdroje Rutice tvoří 742,91 ha orná půda; 658,90 ha lesy, 301,18 ha zabírají louky a pastviny; obce a jiná zástavba 52,92 ha a 2,93 ha tvoří NPP Chýnovská jeskyně.

**Mapa č. 1:** Rozloha jednotlivých typů krajiny v oblasti pásma ochrany vodního zdroje Rutice.



(AOPK ČR, 2015)

V blízkosti jeskyně se nevyskytují žádná problémová území (silážní jámy, hnojiště, skládky aj.), která by mohla výraznějším způsobem ovlivňovat kvalitu podzemní vody. Pouze intenzivně obhospodařovaná orná půda ZD Dolní Hořice, která tvoří necelou polovinu území (mapa č. 1). Na těchto polích se hnojí statkovými i minerálními hnojivy a používají se prostředky ochrany rostlin.

**Používaná statková hnojiva:** kejda skotu, sláma řepková, močovina, hnůj skotu, močůvka skotu, hnojůvka, digestát vyrobený anaerobně.

**Používaná minerální hnojiva:**

Dusíkatá hnojiva – DAM 390, LAV 27, SÍRAN AMONNÝ, LOVODAM 30, LAD 27, UREA Jonava standard, YaraBela SULFAN.

Kombinovaná hnojiva – DAP NP 18 – 46, NPK, Maximus extra, Ekolist PK1.

Vápenatá hnojiva – Ekolist Ca.

Hořečnatá hnojiva – Hořká sůl.

Lignohumáty – Lignohumát MAX, VITALIC, Ligno AKTIVÁTOR.

Stimulátory růstu – TRISOL aktivátor, TRISOL IMPULS.

#### 4.7.1 Osevní postup a hnojiva na PB 2902, 2001/10

Vybrané půdní bloky, přímo sousedí a z části překrývají NPP Chýnovská jeskyně, pod kterou se samotná jeskyně nachází. Jejich svažítost je situována směrem k Chýnovské jeskyni.

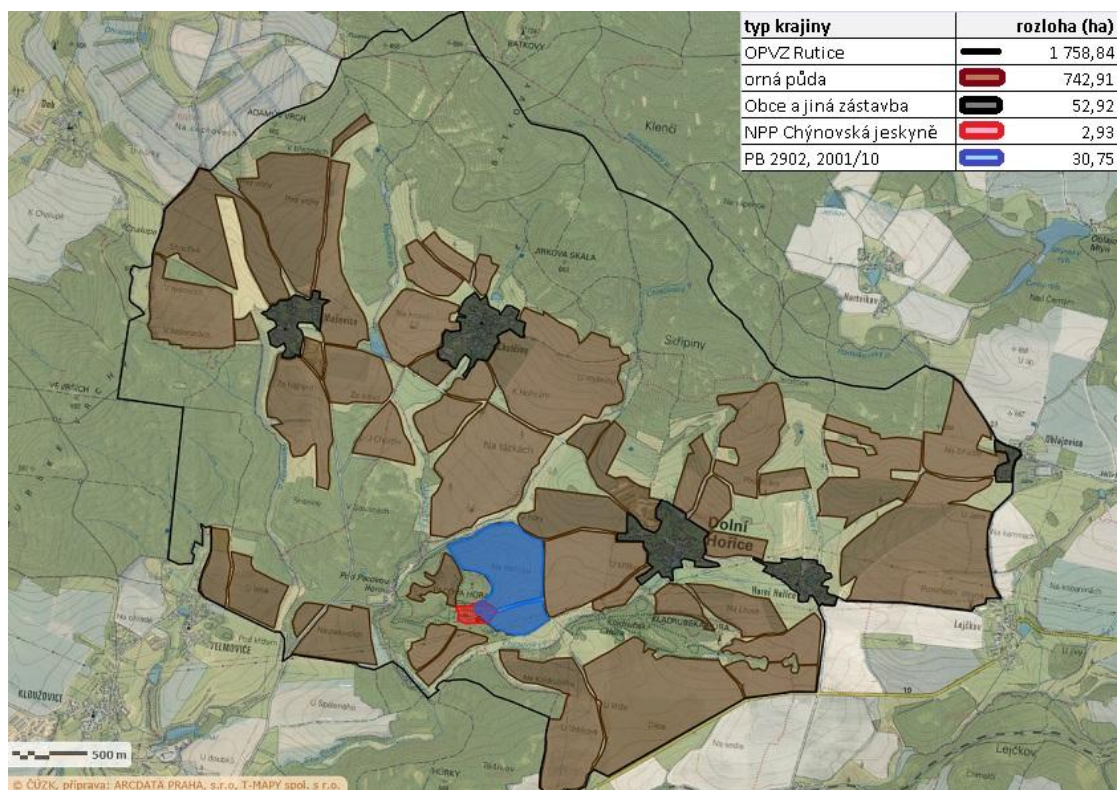
Osevní postup (tabulka č. 5) a aplikovaná hnojiva na půdních blocích 2902 a 2001/10 (mapa č. 2, 3) v období od 1. 9. 2009 do 17. 4. 2015. Celková rozloha 30,75 ha.

**Tabulka č. 5:** Osevní postup a aplikovaná hnojiva na půdních blocích 2902 a 2001/10.

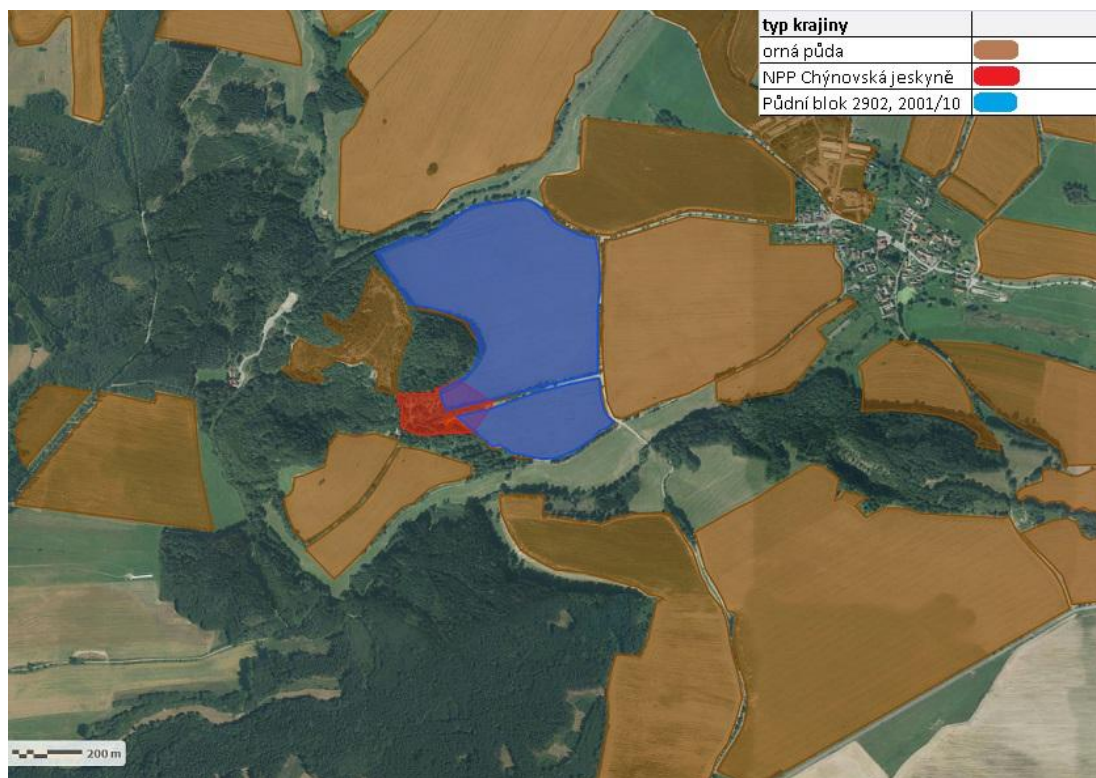
Datum výsevu	Plodina	Aplikovaná hnojiva : datum aplikace – množství
22. 8. 2008	Řepka ozimá	
24. 9. 2009	Pšenice ozimá	<b>DAM390:</b> 24. 9. 2009 – 1,2 t; 8. 6. 2010 – 4,70 t; 20. 6. 2010 – 3,76 t. <b>LAV 27:</b> 29. 3. 2010 – 3,61 t.
19. 9. 2010	Hořčice – meziplodina	<b>kejda skotu:</b> 2. 11. 2010 – 602,25 t
3. 4. 2011	Triticale jarní Δ Ječmene	<b>DAM 390:</b> 20. 4. 2011 – 3,75 t; 16. 5. 2011 – 3,75 t.
2012	Jetel červený	
10. 8. 2012	Řepka ozimá	<b>NPK:</b> 3. 9. 2012 – 2,4 t. <b>Močovina:</b> 1. 9. 2012 – 1,40 t. <b>Ekolist PK-1:</b> 13. 10. 2012 – 120,35 l. <b>LOVODAM 30:</b> 22. 4. 2013 – 6,26 t. <b>Maximus extra:</b> 2. 11. 2012 – 91,10 kg; 5. 5. 2013 – 72,21 kg. <b>LAD 27:</b> 10. 4. 2013 – 6,02 t. <b>Ekolist Ca:</b> 5. 11. 2012 – 48,14 l; 20. 5. 2013 – 49,51 l. <b>YaraBela Sulfan:</b> 2. 5. 2013 – 2,83t. <b>Lignohumát MAX:</b> 7. 5. 2013 – 9,63 l. <b>VITALIC:</b> 10. 5. 2013 – 10,03 l. ( <b>Digestát:</b> 28. 8. 2013 – 601,75 t. <b>sláma Řepková:</b> 5. 8. 2013)
30. 9. 2013	Pšenice ozimá	<b>LOVODAM 30:</b> 22. 4. 2014 – 4,69 t. <b>LAD 27:</b> 6. 3. 2014 – 4,81 t. <b>Hořká sůl:</b> 2. 6. 2014 – 39,76 kg. <b>Lignohumát MAX:</b> 31. 10. 2013 – 12,04 l; 28. 4. 2014 – 9,63l. <b>Ligno AKTIVÁTOR:</b> 6. 6. 2014 – 9,63 l.
19. 3. 2015	Triticale jarní	

(archiv ZD Dolní Hořice)

**Mapa č. 2:** Půdní bloky vně OPVZ Rutice se zvýrazněnými PB 2902 a 2001/10 a NPP Chýnovská jeskyně.



**Mapa č. 3:** Detail půdních bloků 2902 a 2001/10 a NPP Chýnovská jeskyně vně OPVZ Rutice.



(AOPK ČR, 2015)

## 5 Diskuse

### 5.1 Charakter podzemních vod

Chemické složení podzemních vod, jak uvádí Pitter (1999), je důsledkem vzájemného působení srážek a povrchových vod, podzemní atmosféry a horninového prostředí. Závisí především na složení hornin obklopujících protékající vodu z povrchu, která je ovlivňována složením srážek a povrchových vod – což je druhý faktor ovlivňující chemizmus podzemní vody.

Rozdíl povrchové a podzemní vody se základním kvalitativním složením příliš neliší. Rozdíly jsou v poměrném zastoupení jednotlivých složek. Chemická rozmanitost je v porovnání s podzemní vodou u té povrchové většinou nižší. Povrchové vody jsou mnohem více ohroženy antropogenní činností, druhotně pak mohou ovlivňovat právě i podzemní skapovou vodu. (Pitter, 1999) Tak tomu může být právě u odběrového místa Štola, kde je vzdálenost k povrchu nejnižší, a kde byly hodnoty dusičnanů, chloridů i síranů výrazně vyšší než u ostatních odběrových míst.

### 5.2 Srovnání odběrů s lety 2006, 2008

V tabulce č. 7 jsou uvedeny parametry, které jsou dostupné a v té době analyzované. Data jsou převzata z mé bakalářské práce z roku 2012. Na první pohled lze vyčíst, že se hodnoty poměrně výrazně liší.

Nejvýraznější rozdíl lze pozorovat u dusičnanů. Ty v roce 2006/07 přesáhly hodnotu 120 mg/l. Což by mohla mít na svědomí chyba v analýze, avšak podíváme – li se obecně na obsahy dusičnanů ve všech odběrech - lze pozorovat jeden společný faktor. U odběrového místa Štola, je stále hodnota dusičnanů nejvyšší. Lze tedy usuzovat, že tu určitý vliv opravdu hraje antropogenní faktor a to zemědělství v povodí, odkud se dostává voda z povrchu.

Další poměrně zajímavý vývoj lze pozorovat u vápníku, jehož obsahy výrazně vzrostly na všech odběrových místech. Tento fakt může být způsoben lepším rozpouštěním vápenců v nadloží, z důvodu vyššího průtoku.

Dále je patrné, že se obsahy sodíku ustálily na všech odběrových místech okolo 6 mg/l. S ohledem na vyrovnanost u všech lokalit, které se vyskytují různě hluboko a různě daleko od sebe, řekl bych, že se sodík v těchto koncentracích ve skapové vodě přirozeně vyskytuje a nejedná se o kontaminaci z povrchu.

Hodnoty ostatních parametrů se výrazněji nezměnily.



**Tabulka č. 7:** Srovnání hodnot u vybraných parametrů z odběrů v letech 2006 – 2008.

Odběrové místo	NO <sub>3</sub> -N [mg/l]	Cl [mg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	Ca [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]
Ch - Blátivá chodba 2006/07	8	8,1	33,6	0,06	25	3,3	2,8
Ch - Blátivá chodba 2007/08	5,6	9	14,8	0,06	34	0	0,8
Ch - Blátivá chodba 2013/14	<b>0,13</b>	<b>2</b>	<b>19,5</b>	<b>0</b>	<b>69,6</b>	<b>6,4</b>	<b>1,8</b>
Ch - Štola 2006/07	127,7	16,1	67,8	0,04	48	2,3	1,4
Ch - Štola 2007/08	14,1	12,1	19,5	0,17	43,4	0	0,3
Ch - Štola 2013/14	<b>7,52</b>	<b>13,3</b>	<b>41,9</b>	<b>0,01</b>	<b>131,2</b>	<b>5,9</b>	<b>0,9</b>
Ch - Žižkova střelba 2006/07	14,8	7	16	0,03	17,8	2,8	3,1
Ch - Žižkova střelba 2007/08	5,6	6,5	12,6	0,09	19,6	0	0,6
Ch - Žižkova střelba 2013/14	<b>0,24</b>	<b>1,5</b>	<b>10,6</b>	<b>0,01</b>	<b>54,8</b>	<b>5,8</b>	<b>1,5</b>

(Lutz, 2012)

### 5.3 Možný vliv zemědělství na skapovou vodu

Výsledky z minulých let upozorňovaly na možné pronikání antropogenních kontaminantů do povodí skapové vody a následně do systému jeskyně. Zvláště u dusičnanů se projevily výrazné výkyvy (až 127 mg/l – Štola – 2006/07). Jak vyplývá z provedených rozborů, tak se i nadále u odběrového místa Štola v porovnání s ostatními odběrovými místy projevuje až několikanásobně vyšší obsah dusičnanů. Toto množství ani zdaleka nepřevyšuje normu pro pitnou vodu, přesto ovlivňuje podzemní tok v Chýnovské jeskyni přímo propojený s Rutickým pramenem – zdrojem pitné vody pro město Chýnov.

Na mapě č. 1 jsou zakreslená intenzivně obhospodařovaná pole spadající do území ochranného pásma vodního zdroje Rutice a národní přírodní památka Chýnovská jeskyně. Podle poskytnutých dat, ZD Dolní Hořice používá organická (např. hnůj a močůvka skotu, sláma), i minerální hnojiva (např. DAM 390, LAVODAM 30, Maximus extra, LAD 27, Hořká sůl, LAV 27). Dostál (2003) uvádí, že minerální i statková hnojiva mohou být na zemědělské půdě používána jen tehdy, když nehrozí přímé vyplavení nebo povrchový smyv dusíku do vod. Období nevhodná k používání minerálních i statkových hnojiv uvádí tabulka č. 6 - při srovnání s osevním postupem (tabulka č. 5) na půdních blocích 2902 a 2001/10, je patrné, že nebyl tento termín dodržen o 1 den. Konkrétně 2. 11. 2012 bylo

vícesložkové kompozitní hnojivo s vysokým obsahem dusíku Maximus extra aplikováno na řepku ozimou. Ostatní hnojiva termín vhodný k aplikaci splňují.

**Tabulka č. 6:** Období nevhodná k používání minerálních i statkových hnojiv.

Pozemek s pěstovanou plodinou nebo připravený pro založení porostu	hnůj, kompost	kejda, močůvka, hnojůvka (tekutá statková hnojiva)	minerální dusíkatá hnojiva
Jednoleté plodiny na orné půdě	1.6 - 31.7. *)	15. 11. - 31. 1.	1. 11. - 31. 1.
Travní (jetelotravní) porosty na orné půdě, louky a pastviny	aplikace není časově omezena	15. 11. - 31. 1.	1. 10. - 28. 2.

(Dostál, 2003)

Ochranné pásmo vodního zdroje Rutice, zahrnuje všechny pozemky nad Chýnovskou jeskyní, včetně přilehlých polí (mapa č. 1) a podle zákona č. 254/2001 Sb. je zde zakázáno provádět činnosti poškozující nebo ohrožující vydatnost, jakost nebo zdravotní nezávadnost vodního zdroje. Zákon však konkrétně nedefinuje problematiku hnojení, pokud není v rozhodnutí o vyhlášení OPVZ výslovně uvedeno jinak, žádná zvláštní omezení hnojení zde neplatí. Zemědělské družstvo Dolní Hořice, obhospodařující přilehlé pole, tedy může hnojit bez konkrétních omezení. Jak uvádí zákon č. 274/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv - při používání hnojiv a statkových hnojiv na zemědělské půdě je nutné zabránit jejich přímému vniku do povrchových vod, či následnému smyvu hnojiva a statkového hnojiva povrchovým odtokem. Další předpis definující ochranu podzemních vod je směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů, avšak plnění zásad této směrnice je na principu dobrovolnosti.

#### 5.4 Klasifikace z pohledu mineralizace

Podzemní skapovou vodu z Chýnovské jeskyně lze klasifikovat z pohledu celkové mineralizace. Jak uvádí Pitter (1999), podzemní vody, lze rozdělit na prosté a minerální. Rozhodujícím faktorem je celková mineralizace, která po překročení 1000 mg/l mění vodu prostou podzemní na vodu minerální. Vzorke skapové vody ani při jednom odběru nepřekročily 1000 mg/l lze ji tedy klasifikovat jako prostou podzemní vodu. Což je patrné na grafu č. 1 korelace vodivosti a TDS, kde nejvyšší hodnoty vykazují znovu odběry v místě Štola a to okolo 500 mg/l.

Pitter (1999), uvádí, že dominujícím aniontem u podzemních vod bývají především hydrogenuhličitan, dále to mohou být sírany anebo i chloridy. Draslík, amoniakální dusík a dusičnany (na rozdíl od vod srážkových) nejsou převládající složkou. Dominujícím kationtem však bývá vápník, dále to může být sodík nebo i hořčík. Což mohu u mých odebraných vzorků potvrdit. Z aniontů se nejvýrazněji projeví hydrogenuhličitan (tabulka č.1) ale také chloridy a sírany (tabulka č.2). U odběrového místa Štola je také patrný několikanásobně vyšší obsah dusičnanů oproti ostatním odběrovým místům. (tabulka č.2). Dominantním parametrem u kationtů byl u všech odběrových míst vápník, kdy ve Štole byl obsah vápníku zhruba dvojnásobný oproti ostatním dvěma odběrovým místům. Dalším parametrem lišícím se od průměru byl hořčík, ten u odběrového místa Blátivá chodba překročil hodnotu 23 mg/l, což je jednoznačně nejvíc v porovnání s ostatními odběrovými místy. (tabulka č. 3). Skapovou podzemní vodu z Chýnovské jeskyně (na vybraných lokalitách) lze tedy z pohledu poměrného zastoupení aniontů a kationtů klasifikovat jako vodu  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$  u odběrových míst Štola a Žižkova střelba a u odběrového místa Blátivá chodba jako vodu  $\text{HCO}_3 - \text{Ca} - \text{Mg}$ .

### **5.5 Závislost poměru Ca/Mg na rychlosti skapu**

Údajů o chemizmu skapových vodách je u nás málo, některými hydrochemickými charakteristikami se však zabývá doc. Ing. Jiří Faimon, Dr. v Brně na Masarykově univerzitě.

Vágner (2008) ve své bakalářské práci uvádí, že poměr Ca/Mg může sloužit jako indikátor srážení kalcitu při sestupu vody vápencem. Vychází přitom z jevu, kdy se vápník i hořčík uvolňují při rozpouštění vápenců, na rozdíl od vápníku hořčík nevstupuje do kalcitu. Vzájemná závislost poměrů Ca/Mg na průtoku v Císařské jeskyni, je znázorněna v Příloze 8. Hodnoty poměru u mých vzorků znázorňuje tabulka 4. Nejvyšší hodnota vyšla u odběrového místa Štola 14,11, kde byl nejintenzivnější skap, nejnižší u odběrového místa Blátivá chodba 2,94, kde byl také skap nejnižší. Mohu tedy potvrdit toto tvrzení. Vzájemný poměr vápníku a hořčíku v podzemní skapové vodě také závisí na rychlosti sestupu vody masivem jeskyně.

## 6 Závěr

Po vypracování hydrochemických analýz je patrné, že do systému jeskyně, v jednom místě proniká zvýšené množství dusičnanů. Jde o odběrové místo – Štola, které je nejbližší k povrchu (26 metrů). V tomto odběrovém místě sice při měření z roku 2014 hodnoty splňují normu pro pitnou vodu, přesto jsou ve srovnání s ostatními odběrovými místy stále několikanásobně vyšší.

Podle poskytnutých dat ZD Dolní Hořice lze konstatovat, že jsou na polích v těsné blízkosti NPP Chýnovská jeskyně, v pásmu ochrany vodního zdroje Rutice, používána statková i minerální hnojiva. Při jejich aplikaci jsou plněny všechny zákonné podmínky, pouze v jednom případě byl překročen termín vhodný k aplikaci minerálních dusíkatých hnojiv, navíc pouze o jeden den. Nicméně je velmi pravděpodobné, že zvýšené množství dusičnanů v odebraných vzorcích, z odběrového místa č. 2 – Štola, pochází z aplikovaných hnojiv a mineralizačních procesů v orné půdě v bezprostředním okolí NPP Chýnovská jeskyně.

Aby bylo možné potvrdit přímý vliv zemědělství na podzemní tok Chýnovské jeskyně, bylo by zapotřebí, nashromáždění mnohem většího množství výsledků o podzemním toku, které by monitorovaly celý systém jeskyně nepřetržitě po dobu několika let. Dále průzkum půdy a vzorků půdního roztoku z orné půdy v blízkosti NPP Chýnovská jeskyně.

Šarapatka, 2006 uvádí, že míra vyplavování dusíku v ekologických zemědělských systémech je ve srovnání s konvenčním zemědělským systémem ve většině případů prokazatelně nižší. Tedy, jako jedno z možných řešení ochrany podzemního toku v Chýnovské jeskyni, lze navrhnout změnu obhospodařování orné půdy v těsné blízkosti Chýnovské jeskyně z konvenčního na ekologický způsob.

U ostatních hodnot se výraznějším způsobem změnilo pouze obsahy vápníku. Jejich hodnoty se výrazně zvýšily, lze tedy předpokládat zvyšování tvorby sintrových útvarů v budoucnosti.

Dále byl zjištěn určitý vztah mezi rychlostí skapu a poměrem Ca/Mg. Nejvyšší hodnota vyšla u odběrového místa Štola, kde byl nejintenzivnější skap, nejnižší naopak u odběrového místa Blátivá chodba, kde byl také skap nejnižší.

Skapovou vodu, lze také klasifikovat z pohledu mineralizace a to u odběrových míst Štola a Žižkova střelba jako hydrogenuhličitano – vápenatou a u odběrového místa Blátivá chodba hydrogenuhličitano – vápenato – hořečnatou.

## 7 Literatura

1. ALBRECHT, Josef. *Českokbudějovicko*. Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2003, s. 443. ISBN 80-86064-65-4.
2. BAIER, Jan. *Abeceda výživy a hnojení rostlin*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1969, 409 s.
3. BOSÁK, Pavel. *Jeskyňářství v teorii a praxi*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1988, s. 13.
4. BOSÁK, Pavel. *Jeskyňářství v teorii a praxi*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1988, s. 27.
5. *Bulletin*. Praha: Mineralogicko - petrologické oddělení Národního muzea, 2004.
6. DOSTÁL, Jiří. *Zásady správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR v Ústavu zemědělských a potravinářských informací, 2003, 44 s. ISBN 80-7084-268-7.
7. ĎURĐOVÁ, Libuše. *Faktory růstu koncentrace síranů v podzemních vodách a možnosti jejich omezení*. Olomouc: Katedra geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, 2005.
8. *Fauna. Chýnovská jeskyně* [online]. 2006 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/jeskynechynov/>
9. FOSTER, Stephen S. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. Washington, D.C: World Bank, c2002, vii, 103 p. ISBN 0821349511.
10. GIBERT, Janine, Jacques MATHIEU a Frédéric FOURNIER . *Groundwater/surface water ecotones: biological and hydrological interactions and management options*. New York: Cambridge University Press, 1997, xiii, 246 p. ISBN 0521572541.
11. HAYGARTH, P a S JARVIS. *Agriculture, hydrology, and water quality*. New York: CABI, c2002, xii, 502 p.
12. Hlušek J. *Hnojiva*. z: *Multimediální učební texty z výživy rostlin* [online]. Brno:MZLU Brno, 2004 [cit. 2015-04-02]. staženo z [www:http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/a\\_index\\_hnojiva.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/a_index_hnojiva.htm)

13. HOLEC a POKORNÝ. *Subterranean Habitats*. Ústí nad Labem, 2011. Monografie. Fakulta životního prostředí, Universita Jan Evangelista Purkyně v Ústí nad Labem.
14. HORÁČEK, Zdeněk. Vodní zákon č. 254/2001 Sb.: po novele zákonem č. 150/2010 Sb., účinné od 1.8.2010 s komentářem. Praha: Sonda, 2011, 423 s. ISBN 978-80-86846-39-2.
15. HROMAS, Jaroslav. *Jeskyně*. Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2009. Chráněná území ČR. ISBN 978-808-7051-177.
16. HRUŠKA, Jakub a Jiří KROPÁČEK. Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy. Časopis ŽIVA. 2009, č. 2.
17. HRUŠKA, Jakub, Vladimír MAJER a Daniela FOTTOVÁ. The influence of acid rain on surface waters in the Giant Mountains. Opera Corcontica. 2006, č. 43.
18. CHÁBERA, Stanislav. Fyzický zeměpis jižních Čech: přehled geologie, geomorfologie, horopisu a vodopisu. Vyd. 1. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1998, 139 s. ISBN 80-7040-218-0.
19. CHÁBERA, Stanislav. *Jihočeská vlastivěda: Geologické zajímavosti Jižních Čech*. B. Praha: Vysoká škola Zemědělská v Praze, 1982, s. 56.
20. CHÁBERA, Stanislav. Neživá příroda. Vyd. 1. České Budějovice: Jihočeské nakl., 1985, 269 p., [48] p. of plates.
21. JŮVA, Karel, Václav TLAPÁK a Antonín HRABAL. Ochrana půdy, vegetace, vod a ovzduší. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1977, 180 s. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.
22. KOZÁK, Josef a Jan NĚMEČEK. Atlas půd České republiky. 2., upr. vyd. Praha: ČZU Praha, 2009, 150 s. ISBN 978-80-213-2008-6.
23. KREJČA, František. SPRÁVA CHÝNOVSKÉ JESKYNĚ. Chráněná území Táborska: NPP Chýnovská jeskyně. 1. vyd. Blatské muzeum v Soběslavi, 2006.
24. KREJČA, František a Jiří POKORNÝ. MŽP ČR. Plán péče NPP Chýnovská jeskyně. Praha, 2009.

25. LELLÁK, Jan a František KUBÍČEK. *Hydrobiologie*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 1992, 256 s. ISBN 8070665300.
26. LUTZ, Vojtěch. *Abiotické a biotické faktory v Chýnovské jeskyni*. České Budějovice, 2012. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce doc. RNDr. Boháč Jaroslav, DrSc.
27. MapoMat (mapový portál AOPK). Dostupný z: <http://mapy.nature.cz>
28. Mineralogie. In: Chýnovská jeskyně [online]. 2006 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/jeskynechynov//>
29. MUSIL, Rudolf. Nálezy obratlovců v Moravském krasu a jejich význam pro jeho poznání. *Speleofórum*. 2006, č. 25, s. 82-83.
30. MOLDAN, Bedřich. *Ekologická dimenze udržitelného rozvoje*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2001, 102 s. ISBN 80-246-0246-6.
31. Ochrana a výzkum. *Správa jeskyní České republiky* [online]. 2011 [cit.2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.caves.cz/cz/jeskyne/chynovska-jeskyne/o-jeskynich/vyvoj-jeskyni//>
32. Portál Informačního systému ochrany přírody. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR [online]. 2012 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://portal.nature.cz/publik\\_syst/ctihtmlpage.php?what=5610](http://portal.nature.cz/publik_syst/ctihtmlpage.php?what=5610)
33. PITTER, Pavel, HANÁK a KLÍMA. *Hydrochemie*. 3. přepr. vyd. Praha: VŠCHT, 1999, s. 85-222. ISBN 80-7080-340-1.
34. PIZZOL, Lisa, Alex ZABEO, Andrea CRITTO, Elisa GIUBILATO a Antonio MARCOMINI. Risk-based prioritization methodology for the classification of groundwater pollution sources. *Science of the Total Environment*. 2015.
35. Předpis 156/1998 Sb.: Praha, Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky, 13. září 2000. POSLANECKÁ SNĚMOVNA PARLAMENTU ČESKÉ REPUBLIKY [online]. 2015 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.psp.cz>
36. PŘIBYL, Jan. *Základy karsologie a speleologie*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1992, s. 11. ISBN 8020000844.
37. RENÉ, Miloš. Amphibolites of the Moldanubian varied group in the Chýnov area. *Zprávy o geologických výzkumech*. 2006.

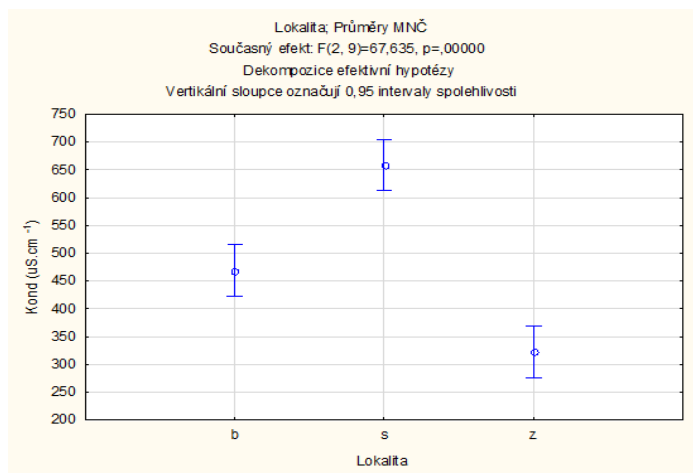
38. ŠARAPATKA, Bořivoj a Jiří URBAN. Ekologické zemědělství v praxi. Šumperk: PRO-BIO, 2006, 502 s. ISBN 80-87080-00-9.
39. ŠILAR, Jan. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996, s. 104-105. ISBN 80-7078-361-3.
40. ŠIMEK, Miloslav. *Základy nauky o půdě*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, 2003, 151 s. ISBN 8070406305.
41. SCHRÖDER, J.J., D. SCHOLEFIELD a F. CABRAL. The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation. *Environmental Science & Policy*. 2004, č. 7.
42. SCHEINDLEDER, A. a J. GRATH. *Groundwater quality and quantity in Europa*. Copenhagen: European Environment Agency, 1999. ISBN 92-9167-146-0.
43. STEVENSON, Frank J. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: John Wiley & Sons, c1986, xviii, 380 s. ISBN 0-471-82218-3.
44. STRNAD, Zdeněk. *Vodní právo*. 1. vyd. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2013, 226 s. ISBN 978-80-87437-45-2.
45. TLAPÁK, Václav, Jan ŠÁLEK a Vladimír LEGÁT. *Voda v zemědělské krajině*. 1. vyd. Praha: Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992, 318 s. ISBN 8020902325.
46. VAGNER, Ondřej. *Císařská jeskyně: Vztah dynamiky a složení skapových vod*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Faimon, Dr.
47. VENCLÍK, Zdeněk. *Otázky chemické toxicity v bývalé úpravně uranových rud MAPE Mydlovary*. České Budějovice, 2014. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
48. VOJTĚCHOVSKÁ, Anna, Jiří BRUTHANS a František KREJČA. Comparison of Conduit Volumes Obtained from Direct Measurements and Artificial Tracer Tests. *Journal of Cave and Karst Studies*



- [online]. 2010, vol. 72, issue 3, s. 156-160 [cit. 2015-04-18]. DOI: 10.4311/jcks2009es0095.
49. Vývoj jeskyní. Správa jeskyní České republiky [online]. 2011 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: <http://www.caves.cz/cz/jeskyne/chynovska-jeskyne/o-jeskynich/vyvoj-jeskyni/>
50. WAELE, Jo De, Francisco GUTIERREZ, Philippe AUDRA, Derek FORD, Paul WILLIAMS a L.D. HOSE. Karst geomorphology: from hydrological functioning to palaeoenvironmental reconstructions. *Geomorphology*. 2015, vol. 229, s. 29-37. DOI: 10.1016/b978-0-12-374739-6.00117-2.
51. YAMASHITA, Ken, Fumiko ITO, Keigo KAMEDA, Tracey HOLLOWAY a Matthew P. JOHNSTON. Cost-effectiveness Analysis of Reducing the Emission of Nitrogen Oxides in Asia. *Water, Air, .* 2007, vol. 7, 1-3, s. 357-369. DOI: 10.1007/s11267-006-9097-3.
52. ZAJÍČEK, Petr. *Jeskyně České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2010, s. 10-14. ISBN 978-80-200-1840-3
53. ZACHAR, Dušan a Karel JŮVA. *Využití a ochrana vod ČSSR z hlediska zemědělství a lesního hospodářství*. Vyd. 1. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 1987, 567 s.
54. *Zákony 2004*. Český Těšín: Poradce, 2004.

# Přílohy

**Příloha č. 1: Hodnoty vodivosti u všech tří odběrových míst.**

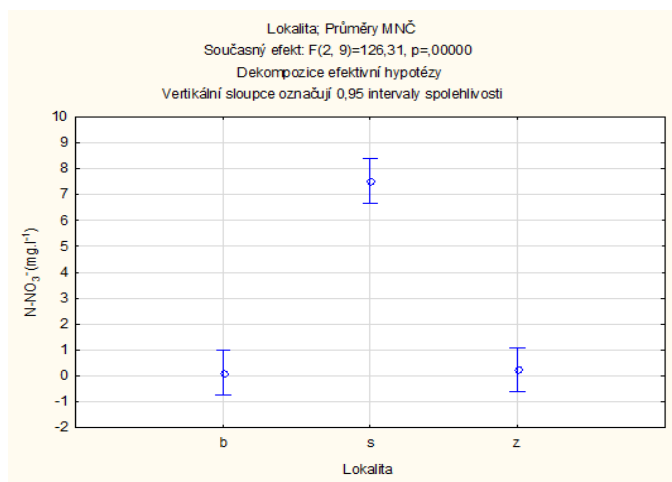


Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Kond (Spreadsheet3Chynov) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SC	Stupně volnosti	PC	F	p
Abs. člen	2802367	1	2802367	1669,539	0,000000
Lokalita	227054	2	113527	67,635	0,000004
Chyba	15107	9	1679		

Tukeyův HSD test; proměnná Kond (Spreadsheet3Chynov) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PC = 1678,5, sv = 9,0000					
Č. buňky	Lokalita	Kond Průměr	1	2	3
3	z	322,5000	****		
1	b	468,7500		****	
2	s	658,5000			****

Tukeyův HSD test; proměnná Kond (Spreadsheet3Chynov) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PC = 1678,5, sv = 9,0000					
Č. buňky	Lokalita	{1}	{2}	{3}	
1	b	468,75	658,50	322,50	
2	s	0,000447	0,000447	0,001929	
3	z	0,001929	0,000183	0,000183	

**Příloha č. 2: Hodnoty dusičnanového dusíku u všech tří odběrových míst.**

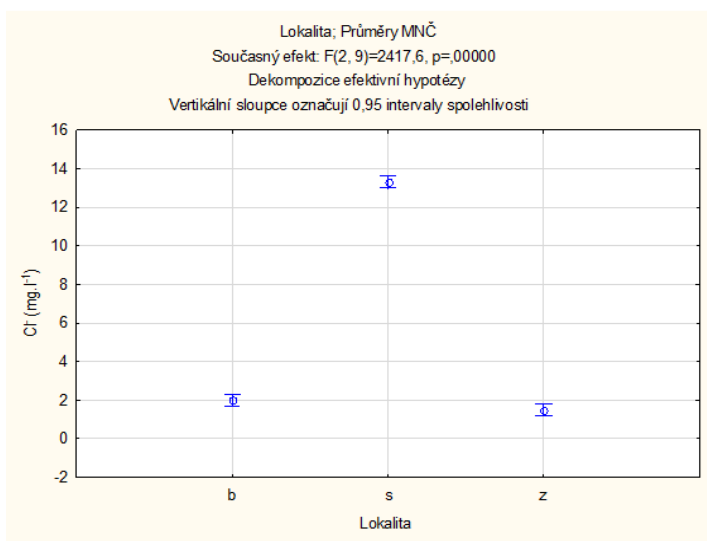


Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro NO3-N (Spreadsheet3Chynov) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SC	Stupně volnosti	PC	F	p
Abs. člen	83,0396	1	83,03962	146,0809	0,000001
Lokalita	143,5978	2	71,79890	126,3066	0,000000
Chyba	5,1160	9	0,56845		

Tukeyův HSD test; proměnná NO3-N (Spreadsheet3Chynov) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PC = ,56845, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	NO3-N Průměr	1	2
1	b	0,126250	****	
3	z	0,243250	****	
2	s	7,522250		****

Tukeyův HSD test; proměnná NO3-N (Spreadsheet3Chynov) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PC = ,56845, sv = 9,0000					
Č. buňky	Lokalita	{1}	{2}	{3}	
1	b	,12625	7,5222	24325	
2	s	0,000183	0,000183	0,973959	
3	z	0,973959	0,000183		

### Příloha č. 3: Hodnoty chloridů u všech tří odběrových míst.

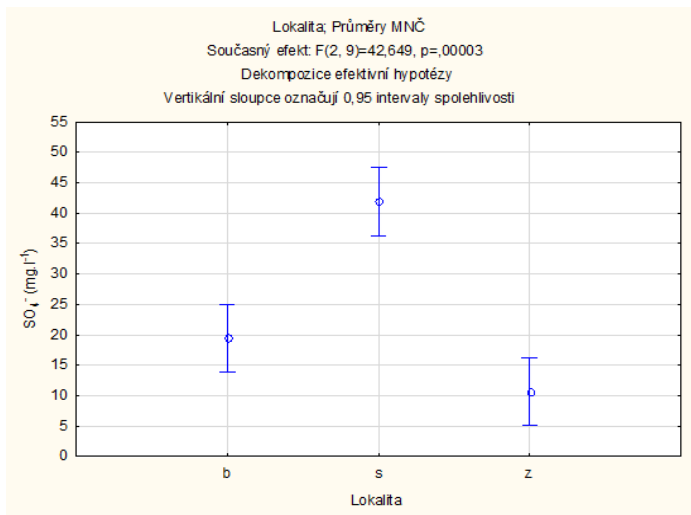


Jednorozměrné testy významnosti pro Cl (Spreadsheet3Chynov)					
Sigma-omezená parametrizace					
Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PC	F	p
Abs. člen	376,8354	1	376,8354	5118,153	0,000000
Lokalita	355,9974	2	177,9987	2417,567	0,000000
Chyba	0,6626	9	0,0736		

Tukeyův HSD test; proměnná Cl (Spreadsheet3Chynov)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PC = ,07363, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	Cl Průměr	1	2
3	z	1,50050	****	
1	b	2,01000	****	
2	s	13,30100	****	

Tukeyův HSD test; proměnná Cl (Spreadsheet3Chynov)				
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy				
Chyba: meziskup. PC = ,07363, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	{1}	{2}	{3}
1	b	2,0100	13,301	1,5005
2	s	0,000183	0,000183	0,061979
3	z	0,061979	0,000183	

### Příloha č. 4: Hodnoty síranů u všech tří odběrových míst.

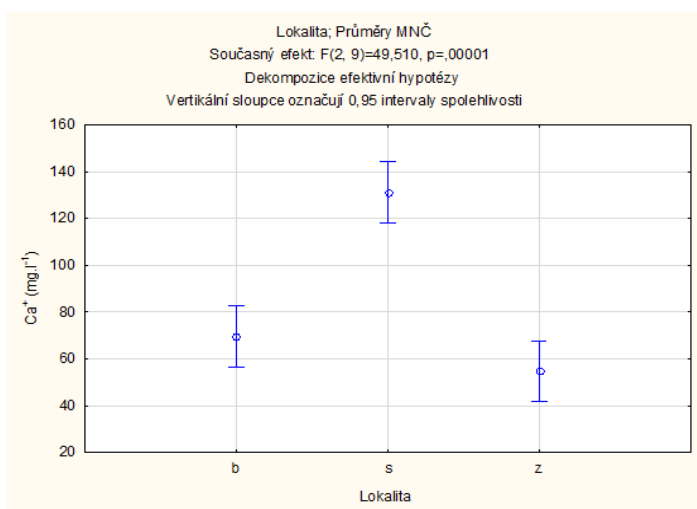


Jednorozměrné testy významnosti pro SO4 (Spreadsheet3Chynov)					
Sigma-omezená parametrizace					
Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PC	F	p
Abs. člen	6915,504	1	6915,504	282,7246	0,000000
Lokalita	2086,415	2	1043,208	42,6492	0,000026
Chyba	220,142	9	24,460		

Tukeyův HSD test; proměnná SO4 (Spreadsheet3Chynov)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PC = 24,460, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	SO4 Průměr	1	2
3	z	10,62150	****	
1	b	19,45375	****	
2	s	41,94300	****	

Tukeyův HSD test; proměnná SO4 (Spreadsheet3Chynov)				
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy				
Chyba: meziskup. PC = 24,460, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	{1}	{2}	{3}
1	b	19,454	41,943	10,622
2	s	0,000484	0,000484	0,075817
3	z	0,075817	0,000195	

## Příloha č. 5: Hodnoty vápníku u všech tří odběrových míst.

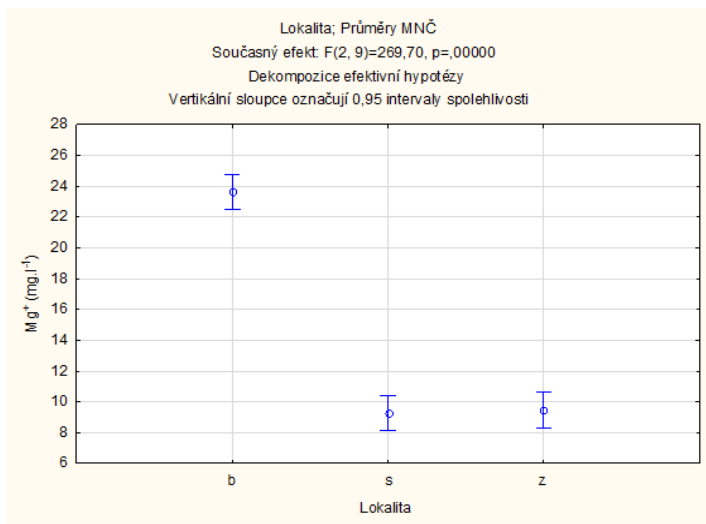


Jednorozměrné testy významnosti pro Ca (Spreadsheet3Chynov)					
Sigma-omezená parametrizace					
Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	87118,87	1	87118,87	656,9920	0,000000
Lokalita	13130,33	2	6565,16	49,5100	0,000014
Chyba	1193,42	9	132,60		

Tukeyův HSD test; proměnná Ca (Spreadsheet3Chynov)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 132,60, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	Ca Průměr	1	2
3	z	54,7990	****	
1	b	69,6202	****	
2	s	131,1960		****

Tukeyův HSD test; proměnná Ca (Spreadsheet3Chynov)				
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy				
Chyba: meziskup. PČ = 132,60, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	{1}	{2}	{3}
1	b	69,620	0,000257	0,217654
2	s	0,000257		0,000190
3	z	0,217654	0,000190	

## Příloha č. 6: Hodnoty hořčíku u všech tří odběrových míst.

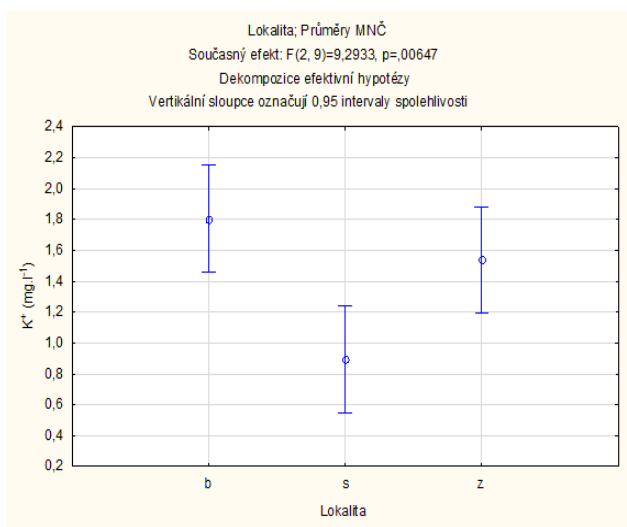


Jednorozměrné testy významnosti pro Mg (Spreadsheet3Chynov)					
Sigma-omezená parametrizace					
Dekompozice efektivní hypotézy					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	2396,081	1	2396,081	2377,878	0,000000
Lokalita	543,531	2	271,765	269,701	0,000000
Chyba	9,069	9	1,008		

Tukeyův HSD test; proměnná Mg (Spreadsheet3Chynov)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 1,0077, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	Mg Průměr	1	2
2	s	9,2770	****	
3	z	9,4670	****	
1	b	23,6477		****

Tukeyův HSD test; proměnná Mg (Spreadsheet3Chynov)				
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy				
Chyba: meziskup. PČ = 1,0077, sv = 9,0000				
Č. buňky	Lokalita	{1}	{2}	{3}
1	b	23,648	0,000183	0,000183
2	s	0,000183		0,961541
3	z	0,000183	0,961541	

## Příloha 7: Hodnoty draslíku u všech tří odběrových míst.



Tukeyův HSD test; proměnná K (Spreadsheet3Chynov)  
 Homogenní skupiny, alfa = ,05000  
 Chyba: meziskup. PČ = ,09394, sv = 9,0000

Č. buňky	Lokalita	K Průměr	1	2
2	s	0,895750	****	
3	z	1,537500	****	
1	b	1,804750	****	

Jednorozměrné testy významnosti pro K (Spreadsheet3Chynov)  
 Sigma-omezená parametrizace  
 Dekompozice efektivní hypotézy

Efekt	SC	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	23,94753	1	23,94753	254,9180	0,000000
Lokalita	1,74606	2	0,87303	9,2933	0,006471
Chyba	0,84546	9	0,09394		

Tukeyův HSD test; proměnná K (Spreadsheet3Chynov)  
 Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy  
 Chyba: meziskup. PČ = ,09394, sv = 9,0000

Č. buňky	Lokalita	(1)	(2)	(3)
1	b	1,8047	,89575	1,5375
2	s	0,006043	0,006043	0,464783
3	z	0,464783	0,038531	0,038531

## Příloha č. 8: Vzájemná závislost poměrů Ca/Mg na průtoku v Císařské jeskyni (Vágner,1998)

