

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Vědy o Zemi

Studijní obor: Vědy o Zemi



Karolína Fízková

Charakteristika a složení vybraných minerálních vod severočeské oblasti

Characteristics and composition of selected mineral waters of the North  
Bohemian region

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí: Prof. RNDr. Martin Mihaljevič, CSc.

Praha, 2020

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 11. 8. 2020

Podpis

## **Poděkování**

Především bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce prof. RNDr. Martinu Mihaljeviči, CSc. za pomoc a odbornou konzultaci k práci. Dále bych ráda poděkovala paní Marii Fayadové a paní Lence Vondrovicové za pomoc a konzultaci při přípravě vzorků a laboratorním měření.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá popisem vlastností, chemického složení a možných způsobů vzniku minerálních vod v severočeské oblasti. První část práce je věnována obecné charakteristice všech typů minerálních vod, popisu chemických reakcí přispívajících k jejich mineralizaci, stručně jsou zmíněny také metody jímání minerálních vod a ochrana minerálních pramenů. Druhá část práce se věnuje popisu přírodních podmínek oblasti, popisu metod použitých při samotné analýze a interpretaci získaných výsledků. V závěru práce je využito získaných výsledků k interpretaci odlišného složení, vlastností i původu studovaných vod.

**Klíčová slova:** minerální vody, chemické složení, izotopické složení, původ vody

## **Abstract**

This bachelor thesis focuses on the description of properties, chemical composition and possible processes of mineral water formation in the North Bohemian region. The first part of the thesis is devoted to the general characteristics of all types of mineral waters, the description of chemical reactions contributing to their mineralisation as well as the methods of mineral water collection and the protection of mineral springs. The second part of the thesis deals with the description of the natural conditions of the studied area, the description of the methods used in the analysis itself and the interpretation of the obtained results. In conclusion, the obtained results are used to interpret the different composition, properties and origin of the studied waters.

**Key words:** mineral waters, chemical composition, isotopic composition, water origin

## OBSAH

1. Úvod .....	8
2. Klasifikace a chemické složení minerálních vod .....	9
2.1. Definice minerální vody .....	9
2.2. Vznik chemického složení minerálních vod .....	10
2.2.1. Prosté rozpouštění a srážení .....	11
2.2.2. Hydrolyza .....	11
2.2.3. Oxidační a redukční procesy .....	11
2.2.4. Adsorpce a iontová výměna .....	11
2.2.5. Přínos plynů .....	12
2.3. Typy minerálních vod a jejich výskyt .....	13
2.3.1. Uhličitě vody .....	13
2.3.2. Sírné vody .....	14
2.3.3. Síranové vody .....	14
2.3.4. Chloridové a jodidové vody .....	15
2.3.5. Železnaté vody .....	15
2.3.6. Radioaktivní vody .....	15
2.3.7. Termální vody .....	16
3. Jímání a ochrana minerálních vod .....	17
3.1. Metody jímání minerálních vod .....	17
3.2. Změny vydatnosti, fyzikálních a chemických parametrů minerálních pramenů .....	18
3.3. Ochrana minerálních pramenů .....	19
4. Přírodní poměry vybrané oblasti .....	22
4.1. Geomorfologické poměry .....	22
4.2. Klimatické poměry a hydrografie .....	23
4.3. Geologická stavba .....	25
5. Metody studia složení .....	28
5.1. Odběr, přeprava a uchování vzorků .....	28
5.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti .....	29
5.2.1. Teplota .....	29
5.2.2. Elektrická konduktivita .....	29
5.2.3. Oxidačně-redukční potenciál (Eh) .....	29
5.2.4. Hodnota pH .....	30
5.2.5. Alkalinita .....	30

5.3. Instrumentální metody studia složení vod .....	30
5.3.1. Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) .....	30
5.3.2. Vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC) .....	31
5.3.3. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP MS) .....	31
6. Výsledky analýzy a charakteristika vybraných minerálních vod .....	33
6.1. Výsledky laboratorního měření .....	33
6.1.1. Minerální pramen Luna (Louny) .....	36
6.1.2. Minerální pramen Vilsnice (Děčín) .....	37
6.1.3. Minerální pramen Praga (Břvany) .....	38
6.1.4. Vyhodnocení izotopického složení .....	39
7. Diskuse .....	40
8. Závěr .....	42
9. Použitá literatura a zdroje .....	43

# 1. ÚVOD

Voda je nejdůležitější sloučenina na naší planetě. V každodenním životě jsme s ní prakticky neustále v kontaktu. A právě tato skutečnost možná může za to, že si její nezastupitelný význam často málo uvědomujeme. Nepopíratelným faktem však zůstává, že bez vody, jejích specifických fyzikálních a chemických vlastností a možnosti existovat na Zemi ve všech svých skupenstvích najednou by se na naší planetě jen těžko vyvinul život ve formě, v jaké ho dnes známe a kterého jsme sami součástí.

Lidé sami Zemi nazývají modrou planetou, protože je na první pohled patrné, že plocha vody je větší než plocha pevnin. Z celkové plochy Země 510 milionů km<sup>2</sup> tvoří oceány a moře 361 milionů km<sup>2</sup>, tedy přibližně 70,8 %. Z celkového objemu je největší vodní zásoba ve světovém oceánu, a to asi 97 %. Pouze zbylá tři procenta tvoří voda sladká. Nejvyšší podíl na zásobě sladké vody má voda vázaná v ledocích. Třetí největší zásobárnou vody na Zemi a druhou největší pro vodu sladkovodní je pro mnohé překvapivě voda podpovrchová.

Podpovrchová voda má mnohem větší význam, než jí mnozí lidé přikládají. Svě by ovšem mohli říci obyvatelé oblastí ve středu USA, Kalifornii, Austrálii a dalších místech na světě, kde je kvůli nedostatku povrchových vodních zdrojů podpovrchová voda často jediným využitelným vodním zdrojem.

I zde se však objevují problémy. Tato voda bývá často ve větších hloubkách, její čerpání je technologicky náročné a vyžaduje skvělou znalost geologických a hydrogeologických poměrů. Navíc čerpání podzemní vody vede k poklesům terénu a kolektory jsou odčerpávány rychleji, než se stíhají doplnit.

Podzemní voda může mít také celou řadu vlastností, které znemožňují její běžné užívání. Řeč je o minerálních vodách, které se vyznačují specifickým minerálním složením, vyšším obsahem plynů, vysokou teplotou nebo radioaktivitou. Přestože tyto vodní zdroje nejsou vhodné k pití nebo hygieně, nezůstaly dlouho bez povšimnutí a začaly být využívány pro svoje léčebné účely v řadě lázeňských měst. Byla by však chyba spojovat minerální vody pouze s lázeňstvím. Mnohé minerální prameny jsou svými vlastnostmi a složením natolik specifické, že mohou být skvělým prostředkem výzkumu horninového podloží, hydrogeologických podmínek a tektonických pochodů v dané oblasti v minulosti i současnosti.

Záměrem této práce je ukázat, že na genezi a následných fyzikálně-chemických vlastnostech minerálních vod se podílí celá řada faktorů, které jsou pro každý pramen velice specifické. Minerální vody je proto potřeba chránit stejně jako všechny ostatní vodní zásoby na Zemi, protože nejsou jen léčebným prostředkem nebo turistickým lákadlem, ale především důležitou složkou krajiny a velmi cenným zdrojem informací o přírodních poměrech kolem nás.



## 2. KLASIFIKACE A CHEMICKÉ SLOŽENÍ MINERÁLNÍCH VOD

### 2.1. Definice minerální vody

Podle dříve platné normy ČSN 86 8000 O minerálních vodách se podzemní vody v naší republice dříve rozdělovaly na prosté a minerální. Minerální vodou mohla být podzemní voda prohlášena, pokud splnila alespoň jedno z následujících kritérií:

- celková mineralizace je minimálně 1 g rozpuštěných pevných látek v 1 litru
- voda obsahuje minimálně 1 g volného rozpuštěného oxidu uhličitého v 1 litru (obsah  $\text{CO}_2$  je minimálně 1 g/l)
- voda obsahuje minimálně 1 mg volného rozpuštěného sulfanu v 1 litru (obsah  $\text{H}_2\text{S}$  je minimálně 1 mg/l)
- voda obsahuje minimálně 10 mg volného rozpuštěného železa v 1 litru (obsah  $\text{Fe}^{2+}$  je minimálně 10 mg/l)
- voda obsahuje zvýšené množství pro zdraví významného chemického prvku (jod, fluor, síra, kyselina křemičitá aj.)
- voda má teplotu vývěru vyšší než 20 °C
- voda vykazuje radioaktivitu v hodnotě alespoň 1 500 Bq/l způsobenou  $^{222}\text{Rn}$

Vzhledem k nutnosti sjednocení právních předpisů s dalšími zeměmi Evropské unie platí v našich zemích novější předpisy. Konkrétně se jedná o tzv. lázeňský zákon č. 164/2001 Sb. a vyhlášku O zdrojích a lázních č. 423/2001 Sb. Na základě těchto nových ustanovení lze za minerální vodu považovat jakoukoli podzemní vodu původní čistoty a vlastností, což je prakticky každá podzemní voda. Přesto lze podle nové vyhlášky minerální vody dále klasifikovat:

#### a) podle celkové mineralizace:

- velmi slabě mineralizované (obsah rozpuštěných pevných látek do 50 mg/l)
- slabě mineralizované (obsah rozpuštěných pevných látek 50 mg/l až 500 mg/l)
- středně mineralizované (obsah rozpuštěných pevných látek 500 mg/l až 1 500 mg/l)
- silně mineralizované (obsah rozpuštěných pevných látek 1 500 mg/l až 5 g/l)
- velmi silně mineralizované (obsah rozpuštěných pevných látek nad 5 g/l)

#### b) podle obsahu rozpuštěných plynů a obsahu významných složek:

- uhličitě (obsah oxidu uhličitého nad 1 g/l)
- sirné (obsah titrovatelné síry nad 2 mg/l)
- jodidové (obsah jodidů nad 5 mg/l)
- ostatní (sleduje se například obsah kyseliny křemičité nebo fluoridů)

**c) podle aktuální reakce vyjádřené hodnotou pH:**

- silné kyselé (hodnoty pH pod 3,5)
- silně alkalické (hodnoty pH nad 8,5)

**d) podle radioaktivity:**

- radonové (radioaktivita dosahuje alespoň 1,5 kBq/l a je způsobena  $^{222}\text{Rn}$ )

**e) podle přirozené teploty u vývěru:**

- studené (teplota do 20 °C)
- termální, které lze dále rozdělit na:
  - vlažné (do 35 °C)
  - teplé (do 42 °C)
  - horké (nad 42 °C)

**f) podle osmotického tlaku:**

- hypotonické (osmotický tlak je menší než 710 kPa)
- isotonické (osmotický tlak je v rozmezí 710 – 760 kPa)
- hypertonické (osmotický tlak je vyšší než 760 kPa)

**g) podle hlavních složek:**

tj. udává se tzv. typ vody podle složek, které mají součet součinů látkové koncentrace a nábojového čísla vyšší než 20 %, složky charakterizující daný typ vody jsou řazeny sestupně podle zastoupení, nejprve se vyjadřují anionty a poté kationty (např. uhličitanohořečnatá voda)

**h) podle využitelnosti k léčbě:**

tj. stanovuje se odborný posudek využitelnosti dané vody v léčbě

**i) podle stability:**

tj. voda je považována za stabilní, pokud její teplota, celková mineralizace a obsah rozpuštěného  $\text{CO}_2$  kolísá pouze v rámci přirozených výkyvů, přičemž se nemění typ vody, zásadně se nemění ani chemické složení nebo radioaktivita

## 2.2. Vznik chemického složení minerálních vod

Původ složení minerálních vod bývá zpravidla velmi různorodý. Mezi hlavní faktory ovlivňující chemismus těchto vod patří vlastnosti hornin, se kterými voda přichází do kontaktu, sycení plyny, biogeochemické procesy a geologický vývoj dané oblasti.

Jednotliví činitelé působí často současně a dlouhodobě (Janoška, 2011).

Mezi nejdůležitější chemické procesy, kterými vznikají minerální vody, patří prosté rozpouštění a srážení, hydrolýza, oxidační a redukční procesy, adsorpce a iontová výměna a přínos plynů (Pačes, 1983).

### **2.2.1. Prosté rozpouštění a srážení**

Jedná se o často velice rychlý proces přechodu molekul a iontů z jedné fáze do druhé, přičemž dochází k jejich hydrataci, dehydrataci, asociaci a disociaci. Tento proces je významný zejména pro obohacování vod plyny (Pačes 1983). U pevných minerálních látek je rozpouštění možné obvykle až po předchozích hydrolytických nebo redoxních reakcích. Přímé rozpouštění je typické pouze pro soli silných kyselin a zásad (př. NaCl) (Pačes, 2011).

### **2.2.2. Hydrolýza**

Jeden z nejdůležitějších geochemických procesů v přírodních vodách, jehož podstatou je výměna iontu  $H^+$  vzniklého při disociaci vody (Pačes, 1983). Typickým příkladem hydrolýzy je zvětrávání alumosilikátů (např. živců). Hydrolýza nezpůsobuje pouze disociaci látek a rozpouštění, naopak při vysokých koncentracích dané látky v roztoku může docházet ke srážení a ion  $H_3O^+$  vzniká. Právě díky spotřebě nebo uvolňování hydrogeniového iontu tyto reakce určují pH vody.

### **2.2.3. Oxidační a redukční procesy**

Jsou pro obohacení vody minerálními látkami druhým nejdůležitějším procesem, jehož podstatou je výměna elektronů. Oxidační i redukční reakce musí vždy probíhat současně a počty přenesených elektronů jsou stejné, přičemž se uvolňují z oxidované látky a jsou přijímány látkou redukovanou. Při tomto procesu ustanovuje se potenciálový rozdíl, který můžeme měřit. Výsledný rozdíl ve voltech vztažený k vodíkové elektrodě se nazývá oxidačně redukční potenciál Eh (Pačes, 1983) a je další důležitou charakteristikou vod. Redoxní reakce způsobují jak rozpouštění (např. pyrit), tak srážení (např. minerály uranu ve vodách s vysokým podílem organické složky).

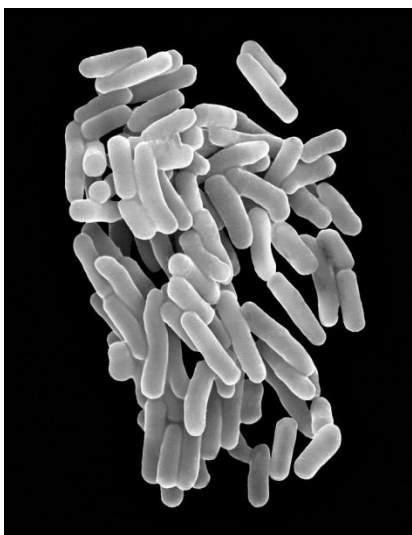
### **2.2.4. Adsorpce a iontová výměna**

Tyto procesy spadají do skupiny celé řady fyzikálně-chemických reakcí probíhajících na rozhraní vody a minerálních částic. Obecně jsou tyto procesy intenzivnější, pokud jsou minerální částice menší a jejich reakční povrch větší. Typicky tedy k adsorpci dochází u jílových minerálů, oxidů a hydroxidů železa a manganu a organické hmoty (Pačes, 1983). Různé ionty mají různou schopnost poutat se k povrchu minerálu. Ionty s větší vazebnou schopností vytěsňují ty s menší vazebnou schopností a nastává iontová výměna. Zastupováním iontů v minerálech se mění složení roztoku a může dojít i k výrazným změnám koncentrací iontů v rámci jedné studované oblasti (Pačes, 1972; Pačes, 1982).

### 2.2.5. Přínos plynů

U minerálních vod bývá nejdůležitější plynnou složkou oxid uhličitý nebo sirovodík. Oxid uhličitý bývá nejčastěji juvenilního původu a do vody přechází na kontaktu se zlomem nebo jinou tektonickou poruchou (Janoška, 2011). Méně časté je obohacení vody míšením s kdysi mořskou vodou, v tomto případě je pak voda bohatá navíc na chloridy. Přítomnost CO<sub>2</sub> je důležitá pro další složení vody, neboť kyselina uhličitá způsobuje vyšší agresivitu roztoku, což často vede k sekundárnímu obohacení vody dalšími ionty.

U sirovodíku je situace složitější. Tak zvané sirmé vody potřebují velmi specifické podmínky, zejména přítomnost síranů v podzemní vodě, přítomnost organických látek (nejlépe metan nebo ropné látky) a v neposlední řadě přítomnost desulfurikačních bakterií (Pačes, 1982; Janoška, 2011). Proces přínosu sirovodíku do vody je tedy velmi citlivý a i nepatrně reaguje na sebemenší změny. Některé bakterie jsou schopné při oxidaci sulfanu současně oxidovat další složky vody. Příkladem může být bakterie *Thiobacillus ferrooxidans* (obr. 1), která současně se sulfonem oxiduje i železo. Tento proces se následně projeví rezavými povlaky hydroxidů železa kolem vývěru sirmé vody (obr. 2).



*Obr. 1 a 2: Vlevo: bakterie *Thiobacillus ferrooxidans*, vpravo: rezavý povlak hydroxidů železa vzniklý jednak oxidací s kyslíkem, jednak oxidační činností chemotrofních bakterií, zdroj: vlevo - Dennis Kunkel, [www.sciencephoto.com](http://www.sciencephoto.com), vpravo - Svatopluk Frolík, [www.prirodovedci.cz](http://www.prirodovedci.cz)*

K dalším změnám složení minerálních vod dochází během pohybů vody a také pohybem rozpuštěných látek. Tyto procesy se řídí zejména fyzikálními mechanismy difúze, pohybem v důsledku koncentračního spádu a dalšími reakcemi vznikajícími při mísení rozdílných typů vod.

## 2.3. Typy minerálních vod a jejich výskyt

Obecně lze rozdělit minerální vody na dvě hlavní skupiny (Janoška, 2011):

### – **Minerální vody pevninského původu**

Tyto vody vznikly z vod původně ze zemského povrchu, které vsákly do podzemí. Mají velice variabilní složení. Nejběžnější anionty bývají hydrogenuhličitany, chloridy a sírany, mezi kationty převažují sodík, draslík, vápník a hořčík. Plynnou složku zastupují nejčastěji oxid uhličitý a sirovodík.

### – **Minerální vody mořského původu**

Původ těchto minerálních vod je z vod moří a slaných jezer, které byly při sedimentaci uzavřeny mezi vrstvami horniny. Bývají nápadné svou vysokou mineralizací a převahou chloridu sodného. Dále bývají ve vyšší míře zastoupeny jodidy, amoniak, kyselina boritá, případně organické složky.

Ani jeden z těchto typů vod není přísně vyhraněný a existuje celá řada přechodů. U minerálních vod je také běžné, že v průběhu času vykazují změny ve složení, mineralizaci a vydatnosti pramene. Tyto změny mohou být ovlivněny atmosférickými srážkami, změnami tlaku a teploty, seizmickými pohyby a v neposlední řadě také zásahem člověka (Janoška, 2011). Obecně platí, že na změnu kteréhokoli parametru reagují více vody mělké, zatímco hluboko uložené zdroje jsou stabilnější (Hynie, 1964). V mnohých odborných zdrojích jsou minerální vody nejčastěji děleny do následujících kategorií.

### 2.3.1. Uhličitě vody

Tyto vody známé také jako kyselky jsou naše nejpočetnější a pravděpodobně i nejnámější minerální vody (Kačura, 1980; Janoška, 2011). Jejich výskyt je vázán na hluboké tektonické poruchy zasahující běžně do hloubek 25 – 30 km, kde dochází ke kontaktu vody s juvenilním (magmatickým) oxidem uhličitým. Konkrétně v podkrušnohorské oblasti je za hlavní přívod juvenilního CO<sub>2</sub> považován litoměřický zlom (Jetel, 1971; Kačura, 1980). Oxid uhličitý se ve vodě rozpouští, čímž zvyšuje její agresivitu a usnadňuje rozpouštění okolní horniny. Další minerální složení pak závisí na typu hornin. Kyselé horniny (žuly, ruly, svory) obohacují vodu zejména o sodík a draslík. Hořčík se typicky uvolňuje z bazických hornin (bazalty, amfibolity, hadce). Pokud se kyselka dostane do kontaktu s karbonáty, vznikají minerální vody s převahou vápníku (Janoška, 2011).

Na našem území jsou tyto vody poměrně hojné a jejich výskyt lze rozdělit do tří hlavních oblastí. Kyselky v západních Čechách zde mají pro svůj vznik nejvhodnější podmínky. Křížení četných geologických struktur (zlomy podkrušnohorský, lužický, litoměřický a mariánskolázeňský) umožňuje výstup juvelnilního oxidu uhličitého. Vysoká variabilita horninového podloží navíc přispívá k velmi pestrému chemickému složení. Další významnou lokalitou výskytu kyselky je Polabí, dále pak jesenická oblast na severní Moravě a vody jihovýchodní Moravy. Poslední zmiňovaná oblast je unikátní díky vzniku za přítomnosti andezitového vulkanismu a za přispění fosilních chloridových vod mořského původu (Janoška, 2011).

### **2.3.2. Sirné vody**

Tyto minerální vody zaujmou jak svým typickým zápachem po sulfanu, tak i častými bakteriálními povlaky v okolí svého pramene (Pačes, 1982; Janoška, 2011). Sirné bakterie jsou pro vznik těchto vod naprosto klíčové. Rozkládají totiž ve vodě rozpuštěné sírany a za přítomnosti organické hmoty (nejčastěji metan nebo ropné látky) z nich odjímají kyslík a redukuje je na sulfan. K jejich vzniku je nutné splnění několika podmínek. Podloží musí obsahovat organickou hmotu vzniklou při sedimentaci v moři (příkladem jsou horniny flyšového pásma Západních Karpat obsahující ropu a zemní plyn) nebo rozkladem rostlinných zbytků v rašeliništích a zdroj síranů (nejčastěji vznikají rozkladem pyritu). Nutné splnění všech těchto faktorů zvyšuje citlivost celého procesu. To je také hlavním důvodem, proč se sirné vody vyskytují ve formě malých izolovaných pramenů (Hynie, 1949; Janoška, 2011). Nejčetnější jsou právě v oblasti Západních Karpat, kde horninové podloží představuje ideální podmínky pro jejich vznik.

### **2.3.3. Síranové vody**

Tento typ vod vzniká loužením podloží s obsahem sádrovce, anhydritu nebo pyritu, čímž se do vody uvolňuje značné množství síranů (Kačura, 1980; Janoška, 2011). Síranové vody vznikají ze srážkové vody průsakem do podloží a nehluboko pod povrchem, jsou proto více ovlivněny specifickým složením hornin, atmosférickými procesy a morfologií terénu. K vývoji těchto vod typicky přispívá vyšší výpar, nízké srážky a rovinný terén, proto je u tohoto typu vod častá vysoká mineralizace, která je daná také vysokou rozpustností síranů (Kačura, 1980). Díky výše popsaným poměrně specifickým podmínkám je výskyt těchto vod spíše vzácný.

Nejčastěji bývají vázány na jílové sedimenty v České křídové pánvi a ve flyšovém pásmu Západních Karpat. Poznávacím znakem bývá kromě hořké chuti také to, že nevyvěrají samy na povrch (Janoška, 2011).

#### **2.3.4. Chloridové a jodidové vody**

Jak už název napovídá, jsou tyto minerální vody bohaté zejména na chloridové a jodidové ionty, dále zde najdeme sodíkové kationty nebo bromidové anionty. Z chemismu lze proto usuzovat, že se jedná o vody mořského původu, které byly uvězněny mezi vrstvami nepropustných hornin během jejich sedimentace (Janoška, 2011). Jejich stáří lze tedy odhadovat na miliony let a dnes je nalzáme ve velkých hloubkách (Kačura, 1980). Během doby uplynulé od jejich vzniku docházelo ke změně jejich složení metamorfními reakcemi, míšením s prostou podzemní vodou nebo interakcí s různým okolním horninovým prostředím (Pačes, 1982). V Čechách jsou tyto vody vázány na sedimenty permokarbonu (Kačura, 1980), na Moravě na různé typy hornin rozdílného stáří od sedimentů prvohorního a druhohorního stáří, přes paleogenní sedimenty flyšového pásma Západních Karpat až po neogenní sedimenty karpatské předhlubně.

#### **2.3.5. Železnaté vody**

Tyto vody jsou typické zvýšenou koncentrací dvojmocného železa, které na vzduchu oxiduje a vytváří u vývěru typické rezavé povlaky hydroxidů. Železo se přirozeně dostává do vody v nepárném množství, jeho vyššímu rozpouštění napomáhá přítomnost CO<sub>2</sub> nebo kyseliny sírové (ta nejčastěji vzniká oxidací sulfidických rud). Výskyt železnatých vod je tedy typický pro západní Čechy, kde je vázán na výskyt kyselek, a na oblasti písčitojílovitých sedimentů bohatých na pyrit (flyšová oblast Západních Karpat, Česká křídová pánev). Tyto vody mohou vznikat i jako vedlejší produkt antropogenní činnosti, a to působením kyselých důlních vod (Pačes, 1982; Janoška, 2011).

#### **2.3.6. Radioaktivní vody**

Výskyt těchto vod je typický pro Český masiv, kde se vyskytují zejména v okolí žulových a rulových masivů. Nejčastěji se jedná o prosté vody vykazující radioaktivitu, nejčastěji způsobenou izotopem Rn 222, který se do vod dostává nejspíše při kontaktu s radonem bohatých žul (Janoška, 2011). Radioaktivita může souviset i s uranovým zrudněním.

V tomto případě je radioaktivita podzemní vody výsledkem uvolnění uranových minerálů při kontaktu podzemní uhličito-sodné vody s pH do 7,5 obsahující rozpuštěné radioaktivní složky s kyselou vodou sírano-vápenatého typu. Uvolněné uranové minerály poté obohacují vody radioaktivními složkami (Kačura, 1980).

### **2.3.7. Termální vody**

Termální vodou je nazývána každá podzemní voda, jejíž teplota převyšuje 20 °C, může se přitom jednat o jakýkoli typ minerální vody nebo vodu prostou (Janoška, 2011). Vysoká teplota však podporuje reakce vody s horninou, proto jsou termální vody často obohacené rozpuštěným oxidem křemičitým (Pačes, 1982). Nejdůležitějším faktorem pro jejich vznik jsou hluboké zlomové struktury, které umožňují jak oběh vody ve velkých hloubkách, tak její rychlý výstup, při němž se vody nestihne ochladit (Janoška, 2011). V tomto případě jde o teplo zbytkového původu. Druhou možností ohřátí vody pod povrchem je teplo uvolněné při radioaktivním rozpadu uranu a radia v horninách (Pačes, 1982). Návaznost na hluboké zlomy způsobuje, že typickými lokalitami těchto vod jsou postvulkanické lokality, u nás typicky v západních Čechách. Velice častým jevem je i obohacení vody juvenilním oxidem uhličitým a vznik termální kyselky.



## 3. JÍMÁNÍ A OCHRANA MINERÁLNÍCH VOD

### 3.1. Metody jímání minerálních vod

Téměř žádný minerální pramen nevyvěrá přímo na povrch nebo nevyvěrá v podobě použitelné pro lázeňské účely nebo konzumaci. Vývěr pramene je tedy potřeba nejdříve technicky pro jímání upravit (Hynie, 1964; Janoška, 2011). Tyto metody se liší tím, zda jsou na povrchu nebo jímají pramen pod zemí. Dále je nutné zohlednit typ odebírané vody, horninové podloží, hloubku a vydatnost pramene (a to i včetně změn v průběhu roku) nebo možná rizika kontaminace. Správné jímání je velmi důležité, neboť přispívá ke stabilizaci minerální vody.

Každé jímací zařízení se skládá z odkryvných prací (terénní výkop nebo vrt), vlastního jímacího tělesa, které vodu zachytává, a z potrubí, které ji vyvádí na určené místo. (Janoška, 2011) Specifickým a velmi důležitým prvkem jímání minerálních vod je jejich izolace od okolních prostých vod a zachování přirozených vlastností minerální vody. Vysoké nároky jsou kladeny i na materiál celého zařízení, který musí odolávat agresivnímu složení vod a plynů, popřípadě vyšším teplotám.

Mezi nejstarší, ale mnohde stále funkční způsoby jímání minerálních vod řadíme jímání ve vydlabaných kmenech stromů, jímání pramenů v dřevěném nebo kamenném pažení (obr. 3) a jímání otvory v kamenných deskách (Janoška, 2011).



*Obr. 3: Jímání v kamenném pažení v Kyselckém Hamru na Chebsku dochované z roku 1648, zdroj: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)*

Specifické jsou způsoby jímání kyselek, využívající nejčastěji soustav zvonů nebo trychtýřů tak, aby bylo zabráněno úniku plynů (Janoška, 2011). U kyselek může být problémem také agresivní působení vody na výstroj studní.

Dnes je hlubší jímání minerální vody až na výjimky realizováno tzv. jímacími vrtly. Vhodné uspořádání vrtů nenarušuje režim okolních zdrojů minerální či prosté vody, velkou výhodou je taky možnost poměrně snadné regulace odběru, stabilizace a měření fyzikálních či fyzikálně-chemických parametrů vody a plynu. Taky možnosti sanitace vody jsou v případě vrtů největší. Nevýhodou jímacích vrtů je oproti jiným jímacím metodám rychlejší proces stárnutí. Vrtly neslouží výhradně k jímání minerální vody, často jsou využívány i k monitorování změn tlaku kapalných či plynných fází v horninovém prostředí, k indikaci případného znečištění vod a sledování vývoje kontaminace, k regulaci tlakových poměrů ve zřidelní struktuře nebo k měření a kontrole různých fyzikálně-chemických parametrů vody.

Většiny minerálních vod je jejich výstup spojen také s výstupem různých plynných látek. Proplynění minerální vody a výrony suchých plynů jsou projevy odplynování horninového prostředí, kde tyto vody vznikají nebo se zde při svém výstupu hromadí (Hynie, 1964). Tyto plyny jsou částečně původem z atmosféry, odkud jsou strhávány při infiltraci vody, částečně jsou původem z litosféry, (tzv. juvenilní plyny), odkud jsou uvolněny při magmatických procesech (Hynie, 1964). V případě minerálních vod na našem území je doprovodným plynem nejčastěji CO<sub>2</sub>, který je převážně postvulkanického původu, spíše vzácně vystupuje jako produkt metamorfózy hornin. V daleko menší míře se objevují sulfonové exhalace, u některých pramenů na Moravě se uvolňuje též metan (Janoška, 2011). Jímání plynů je celkově obtížné a dnešní praxe spočívá především v jímání vrtly. Jímat můžeme buď samotné spontánní plyny, nebo daleko častěji pak jímáme mechanické směsi plynu s kapalnou fází. Po odběru směsi z vrtu poté dochází k mechanické separaci plynné a kapalně fáze.

### **3.2. Změny vydatnosti, fyzikálních a chemických parametrů minerálních pramenů**

Žádný zdroj minerální vody nemá stálou vydatnost, teplotu ani složení. Zatímco změn ve vydatnosti a teplotě si můžeme všimnout poměrně snadno, změny ve složení běžnými smysly zpravidla nezjistíme a víme o nich jen díky pravidelným laboratorním zkouškám. Ke změnám dochází z několika příčin, které lze rozdělit na příčiny (zásahy) přirozené a umělé (Hynie, 1964).

Mezi přírodní činitele ovlivňující různé změny pramenů patří zejména:

- Vliv atmosférických srážek
- Vliv barometrického tlaku
- Vliv sintrování minerálních vod
- Vliv změn propustnosti podloží a oběhových cest
- Vliv tektonických pohybů a zemětřesení

Umělé zásahy zpravidla dělíme na:

- Vnitřní – spojeny s užíváním minerální vody, zasahují do hloubkového režimu formování vody nebo přímo do pramene a nemusí se vždy jednat pouze o změny negativní

- Vnější – zásahy prováděné mimo vlastní pramen a často i mimo lázeňský prostor, jejich účinky jsou prakticky vždy negativní, zpravidla se jedná o zásahy do povodí a do režimu podzemních vod (např. těžbou, výstavbou, razantní změnou krajinného pokryvu)

V praxi často dochází ke kombinaci několika příčin. Vzhledem k tomu, že se účinky změn projevují s určitým opožděním a celá problematika vzniku a vývoje minerálních vod je značně složitá a komplexní, nebývá odhalení příčin změn úplně jednoduchá a jejich náprava bývá značně složitá a někdy dokonce i nemožná.

Obecně můžeme říct, že čím rozsáhlejší a hlubší daná zřídelní struktura je, tím je méně náchylná na změny, je v čase stálejší nebo její změny v čase vykazují jistou periodicitu. Zde by bylo dobré znovu připomenout, že ani ten nejstabilnější systém není v průběhu času beze změn, které mohou být i značně náhodné. Zjednodušeně ovšem můžeme říct, že vody s hlubokým oběhem, vyšší teplotou a vyšší vydatností jsou mnohem odolnější vůči přirozeným (klimatickým nebo tektonickým) výkyvům i vůči umělým zásahům (Hynie, 1964; Janoška, 2011). Naopak snadno ovlivnitelné jakoukoliv změnou jsou vody mělkého oběhu, vody studené a s malou nebo nestálou vydatností. Úplně nejcitlivější jsou vody v krasových oblastech (Hynie, 1964). Citlivost vody vůči zásahům také zvyšuje obsah CO<sub>2</sub>, na druhou stranu bývají nepříznivé účinky změn u kyslíků snadněji napravitelné než u bezplynných vřidel (jako příčina tohoto jevu se uvádí velký hydraulický spád zajištěný pravidelným přísunem juvenilního CO<sub>2</sub>) (Hynie, 1964).

### 3.3. Ochrana minerálních pramenů

Citlivost minerálních zdrojů na přírodní i umělé zásahy a jedinečné podmínky jejich vzniku nás přivádí k vytvoření specifické legislativy na jejich ochranu. V dnešní době existují zákony na ochranu minerálních vod ve všech evropských zemích (Hynie, 1964). Důvodem je na jedné straně je čím dál větší nepříznivý vliv průmyslu, hospodářství a zemědělství (těžba, výstavba, doprava, použití hnojiv atd.), na druhé straně významná funkce minerálních vod jako léčivých zdrojů, které plní důležitou funkci v lázeňství, kultuře a cestovním ruchu.

Úplně první zákon na ochranu minerálních zřidel byl vydán ve Francii roku 1856 (Hynie, 1963; Hynie, 1964). U nás právní ochrany požívaly nejdříve lázně Teplice, které měly jako jedny z prvních už roku 1875 stanoveny čtyři ochranná pásma (Kačura, 1980). Vydání náležitých opatření se ještě více urychlilo katastrofickým průvalem důlních vod v duchcovské pánvi roku 1879 (Hynie, 1964). Ochrana se pak dále rozšiřovala na další prameny po celém našem území a postupně byla ochrana minerálních vod přímo ukotvena zákonem v české legislativě.

Ve všech právních předpisech je nejdůležitější snaha o preventivní opatření, která mají zajistit minerálním zřidlům ochranu a zabránit změnám jejich chemických a fyzikálních vlastností vlivem stále vyšší míry industrializace.

Obecně můžeme znečištění vod rozdělit do tří hlavních skupin (Pačes, 1982):

- Bodové znečištění (např. vypouštění špatně vyčištěných vod z čističek odpadních vod, továrních odpadů nebo průsaky skládek)
- Plošné znečištění (nejčastěji případ hnojení dusíkatými hnojivy nebo emise oxidů síry do ovzduší a jejich následný přechod v podobě sulfátů do vod a ovzduší)
- Nepřímé ovlivnění (zásah různých vlivů do krajiny jako celku – výstavba budov, kácení lesů, odvodnění a jiné)

Ochrana vod se nejčastěji děje na dvou úrovních. Globální ochrana vod je součástí ochrany celého životního prostředí, druhou úrovní je ochrana konkrétních zdrojů (Pačes, 1982). Zde může často dojít ke střetu několika zájmů, což je příklad právě i severočeského regionu, kde se nachází velké množství minerálních pramenů, v jejichž blízkosti je celá řada uhelných těžebních objektů. Při rozšiřování těžby byly některé prameny nenávratně poškozeny nebo ztraceny. Došlo k zániku lázní v Čachovicích, Horním Litvínově, Zaječicích u Jirkova a plnirny v Bylanech (Kačura, 1980). Těžba ovšem není jediný problém při ochraně vod. Velké škody přináší i nadměrné hnojení (tento problém není ani tak způsoben hnojením v dnešní době jako spíše důsledky kolektivního socialistického hospodářství (Kopáček et al. 2017)), znečištění ze zástavby a dopravy a odčerpávání velkého množství minerálních vod.

Ochrana vod je závislá na přirozených i umělých vlastnostech hydrogeologické struktury celé oblasti. Mezi nejdůležitější přirozené vlastnosti patří stupeň nepropustnosti stropu nádrže podzemní vody, směr rychlost a délka proudění vody, typ a hloubka její hladiny, geochemické a biochemické vlastnosti půdy případně hydraulická anizotropie kolektoru. Z umělých vlastností mají největší význam množství a rychlost jímání vody z kolektoru a druh a množství potenciálního znečištění. (Pačes, 1982). Vlastní ochrana zdroje minerální vody spočívá ve stanovení ochranného území, které se člení do čtyř (někdy jen do tří) pásem ochrany (Hynie, 1964; Pačes, 1982):

- První pásmo – území bezprostředně obklopující zdroj, může zde nejsnáze dojít k poškození, proto jsou zde zakázány jakékoli hlubší zemní práce, které by mohly jakkoli narušit režim minerálních i prostých podzemních vod (výjimkou jsou jen práce sloužící přímo k údržbě minerálního zdroje)
- Druhé pásmo – území, kde je prokázána hydraulická spojitost mezi zdrojem zvodní a povrchem, navíc není doba průsaku vody dostatečná pro samočisticí procesy, toto území je nejčastěji vyměřeno podél zlomů nebo jiných tektonických poruch, hloubka územních zásahů je omezena, povolena je stavební činnost s nepodstatnými zásahy do oběhu podzemních vod, těžba povolena jen výjimečně ve velmi malém rozsahu

- Třetí pásmo – zahrnuje širší zřídelní oblast (nejméně v rozsahu zřídelní struktury), kde dochází ke komplexnímu formování minerální vody, zásahy jsou omezeny do té míry, aby se zamezilo ovlivnění hydraulických, geochemických a biochemických podmínek vzniku minerální vody
- Čtvrté pásmo – je ochranou infiltračního povodí zřídla, pro zásahy platí stejné podmínky jako u pásma třetího

## 4. ŘÍRODNÍ POMĚRY VYBRANÉ OBLASTI

Jak již bylo zmíněno v úvodu, přírodní podmínky regionu a jeho geologická stavba a vývoj mají zásadní vliv na genezi a chemismus minerálních vod.

### 4.1. Geomorfologické poměry

Geomorfologie a tektonický vývoj území je určující zejména pro fázi výstupu minerálních vod (k výstupu dochází zejména v oblastech křížení lokální deprese a tektonického zlomu), ale ovlivňuje i pohyb vody na povrchu a v podzemí. Severočeský region je typický značně členitým reliéfem, ve kterém nacházíme výrazné horské jednotky, oblasti vrchovin, pahorkatin i pánví. Geomorfologicky se region nachází na styku krušnohorské a krkonošsko-jesenické (dříve sudetské) soustavy (Kačura, 1980).

Na severozápadě tvoří hranici kraje Krušné hory s nejvyšším vrcholem Klínovcem (1244 m n. m.) mající v této oblasti charakter paroviny. Na jihovýchodě dochází k výraznému tektonickému rozhraní s Mosteckou pánví. Ta je na jihozápadě omezena okrajem Doupovských hor, na jihovýchodě Českým středohořím s nejvyšším vrcholem Milešovkou (837 m n. m.). Dále na východě navazuje na Krušné hory Děčínská vrchovina. Ta je tvořena zejména pískovci, jejichž typické zvětrávání dalo vzniknout pískovcovým skalním městům (Děčínské stěny).

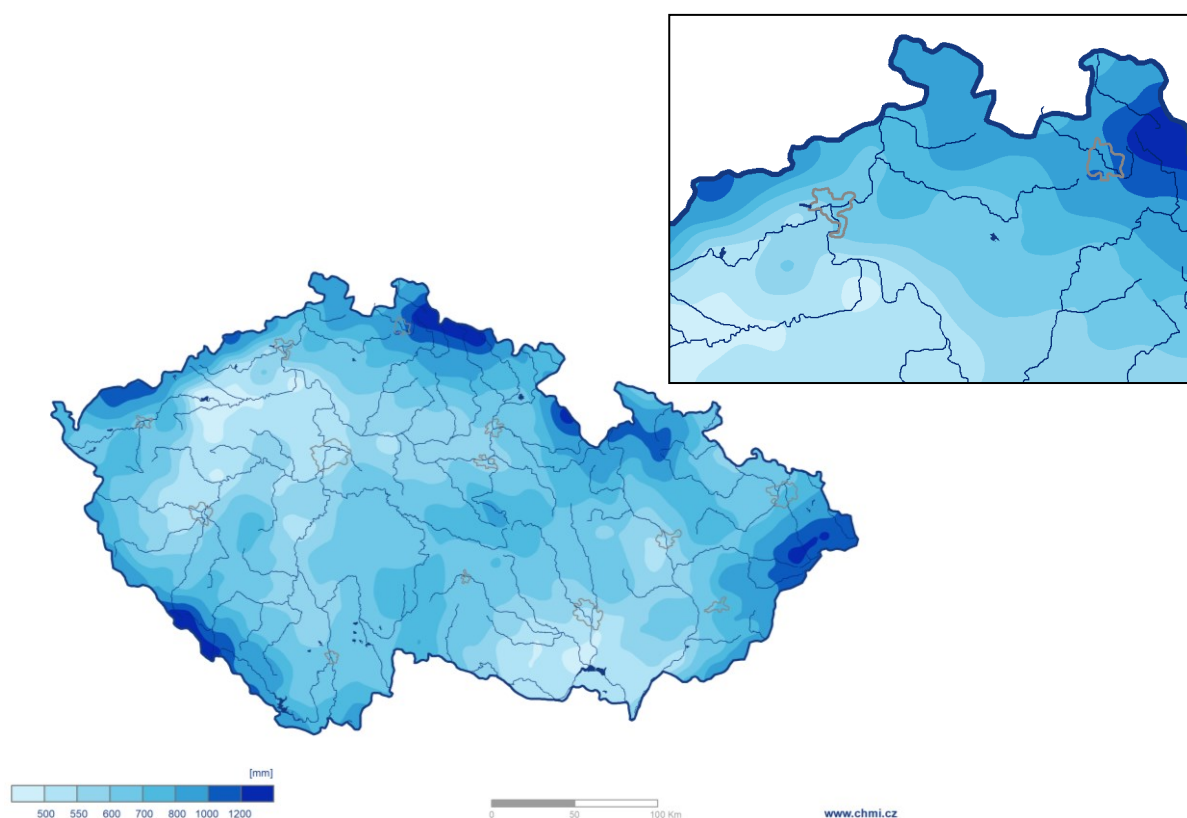
Všechny tyto jednotky patří do krušnohorské soustavy. Ta na dále na východě sousedí se soustavou krkonošsko-jesenickou. V centru druhé jmenované soustavy se nacházejí Jizerské hory (nejvyšší bod je vrchol Smrk, 1124 m n. m.), severně od nich najdeme Frýdlatskou pahorkatinu a severozápadně Šluknovskou pahorkatinu. Jižně od Šluknovského výběžku najdeme Lužické hory, na které dále směrem k jihovýchodu navazuje Ještědský hřbet (Ještěd, 1012 m n. m.), který je poměrně ostře vymezen na severu Žitavskou pánví a na jihu Českou tabulí.

Česká tabule je z většiny tvořena Ralskou pahorkatinou, která na východě přechází do Jičínské pahorkatiny a na jihozápadě hraničí s Dolnooharskou tabulí, Jesenickou pahorkatinou a pohořím Džbán.

## 4.2. Klimatické poměry a hydrografie

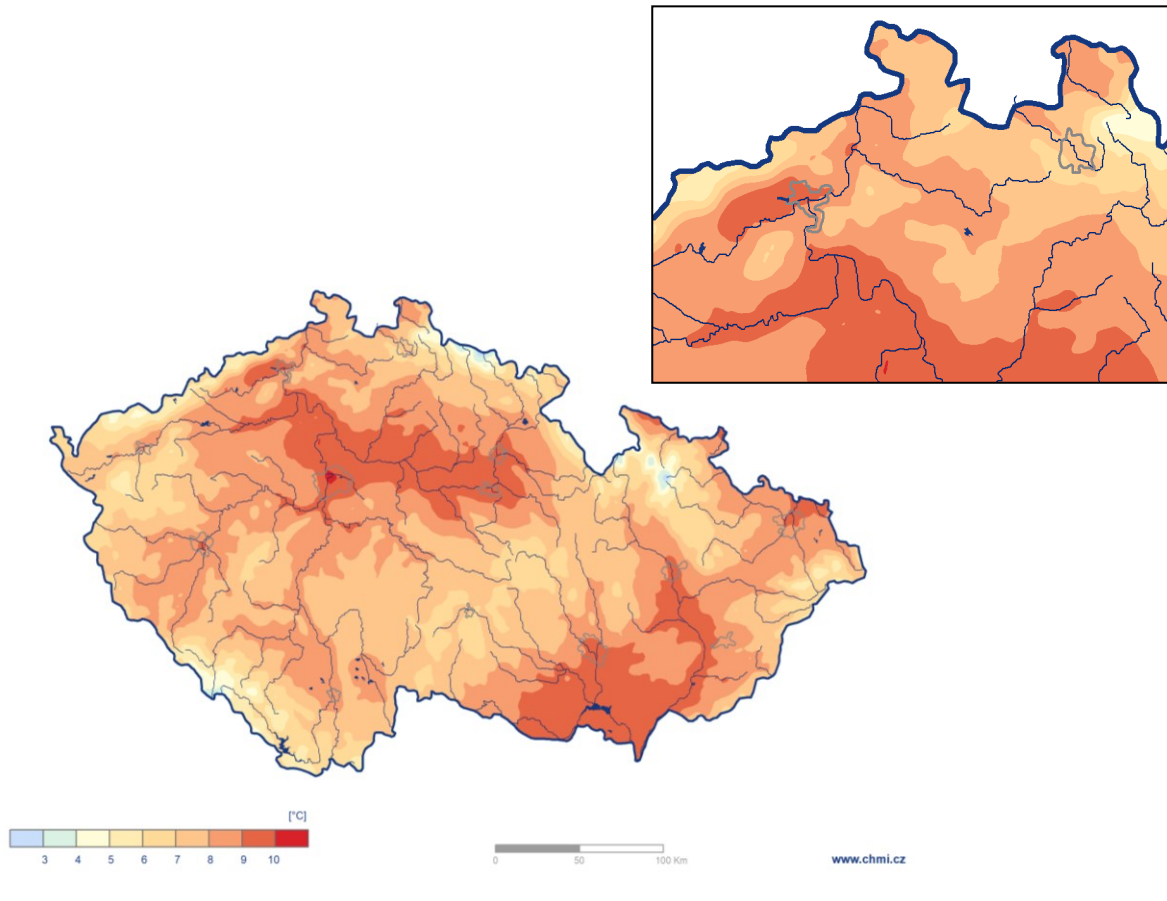
Severočeský kraj leží na pomyslné hranici mezi klimatem kontinentálního a oceánského typu. To se projevuje značnou proměnlivostí počasí nejen během roku, ale také odlišnostmi v jednotlivých letech nebo obdobích. Vliv na to má i velká členitost terénu, kdy typicky platí, že s rostoucí nadmořskou výškou klesá teplota a roste množství srážek. Pro genezi minerálních vod zejména sírano-hořečnatého typu je zásadní také vliv srážkového stínu pohoří na západě regionu (Kačura, 1980).

Oblasti hor, zejména pak hory Jizerské, Lužické a Ještědské pohoří jsou tedy srážkově nadprůměrné s ročními úhrny kolem 800 – 1000 mm, v Jizerských horách i 1600 mm. Českě středohoří, Krušné hory a Doupovské hory mají roční úhrn srážek nižší, kolem 700 mm. Nejsuššími oblastmi celého regionu (a také celkově v rámci celé republiky) jsou pak tradičně oblasti Žatecké pánve, kde roční úhrn srážek dosahuje kolem 450 mm, dále oblasti Dolního Poohří, Roudnicka, Litoměřicka a Lovosicka, kde úhrn srážek nebývá vyšší než 500 mm za rok (Kačura, 1980). Příčinou je poloha těchto oblastí ve srážkovém stínu Krušných a Doupovských hor, které zachytávají většinu srážek přicházejících na naše území díky převládajícímu západnímu proudění (obr. 4).



Obr. 4: Průměrný roční úhrn srážek za období 1981 – 2010 (vpravo nahoře je detail studované oblasti), zdroj: ČHMÚ

Jako průměrná roční teplota oblasti bývá uváděna teplota 7 – 8 °C. Vyšší teploty zpravidla panují v oblastech Loun, Dolního Poohří, Bíliny, Litoměřic, Lovosic, Žatecké pánve a dolní části povodí Smědavy. Naopak k poklesu dochází s rostoucí nadmořskou výškou. Na území Českého středohoří, Lužických a Doupovských hor se roční průměrná teplota pohybuje kolem 5 – 7 °C (obr. 5), přičemž v nejvyšších polohách Jizerských a Krušných hor a na Milešovce klesá i pod 4 °C (Kačura, 1980).



*Obr. 5: Průměrná roční teplota vzduchu za období 1981 – 2010 (vpravo nahoře je detail studované oblasti), zdroj: ČHMÚ*

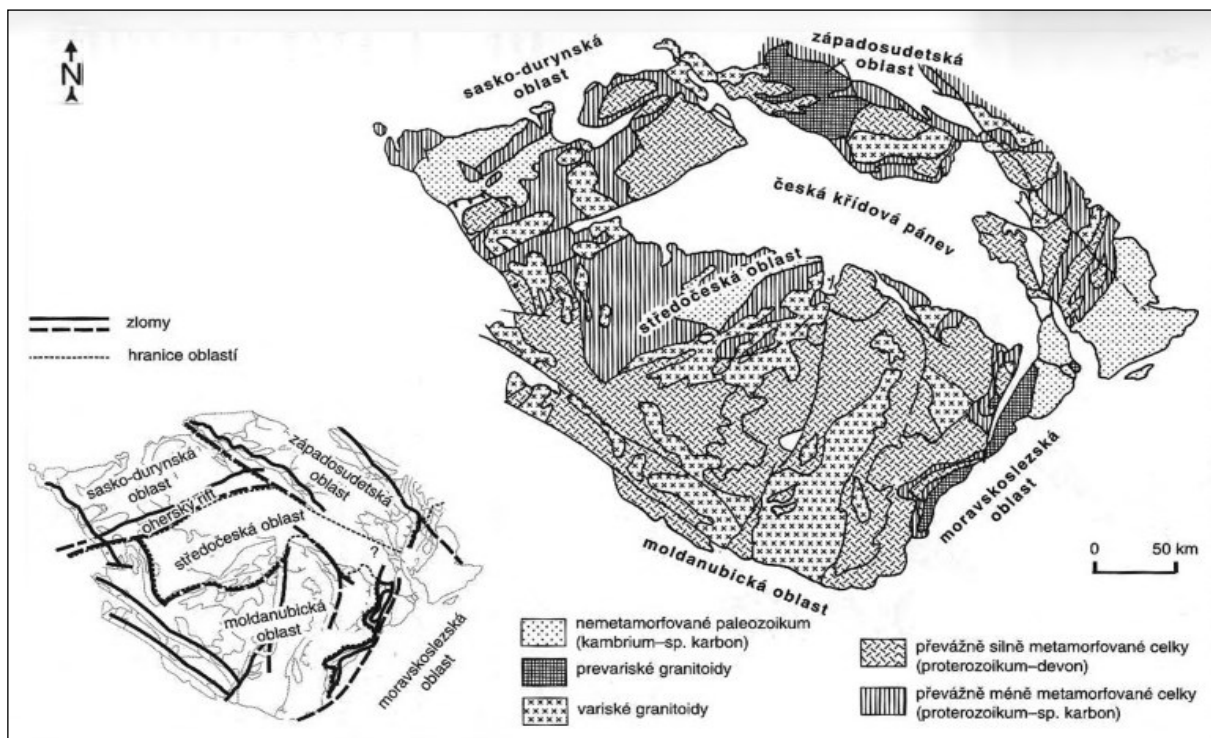
Hydrografická síť je určující pro průběh erozních bází lokálních i regionálních celků. V těchto místech zpravidla dochází k drenáži hluboko založených systémů oběhu podzemní vody a tím i k přirozeným vývěrům přírodních minerálních vod (Kačura, 1980). Hydrograficky je kraj rozdělen mezi povodí Odry a Labe. Povodí Odry zaujímá plochu asi 800 km<sup>2</sup> a odvodňuje nejvýchodnější část regionu, a to západní část Jizerských hor, severní svahy Ještědského pohoří a Libereckou kotlinu. Nejvýznamnějším tokem je Lužická Nisa.



Převážná část kraje patří do povodí Labe, jehož plocha zaujímá kolem 7000 km<sup>2</sup>. Je složeno z části povodí Jizery, která zde i pramení, dále z povodí Ploučnice, Kamenice, značné části povodí Ohře a povodí Bíliny (Kačura, 1980; ČHMÚ).

### 4.3. Geologická stavba

Území severočeského regionu je z hlediska geologické stavby velmi různorodé. Tato oblast je tvořena podle regionálního členění Českého masivu jednotkou saxothuringika, kterou lze rozdělit na soustavy krušnohorskou a lugickou (obr. 6). Jiní autoři (Kachlík, 2003) považují obě soustavy za jeden celek kvůli řadě společných rysů i kvůli skutečnosti, že jejich oddělení došlo až po ukončení variské orogeneze během platformního vývoje Českého masivu tzv. labskou tektonikou.



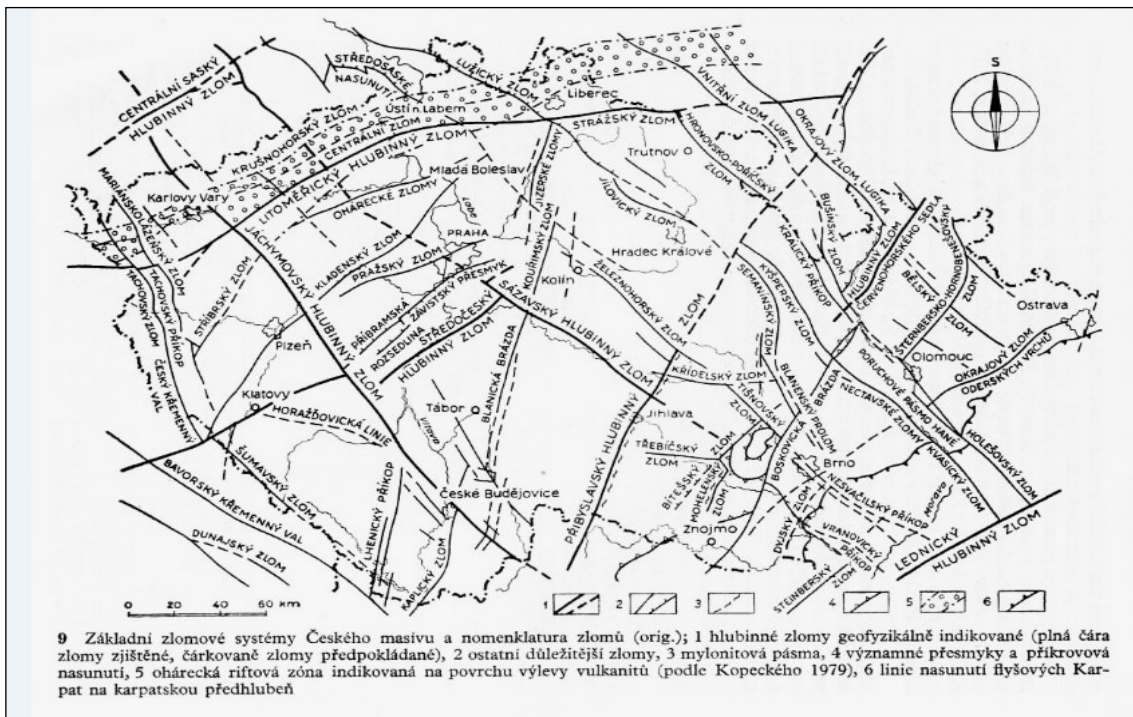
Obr. 6: Základní regionálněgeologické rozdělení variské stavby Českého masivu, zdroj: Chlupáč a kol. 2002

Krušnohorská soustava zahrnuje geograficky region Krušných hor a přilehlých oblastí. Vůči jednotce středočeské je na jihovýchodě omezena podkrušnohorským zlomem. Na severovýchodě je od oblasti lugické oddělena rovněž tektonicky, tzv. středosaským nasunutím, na severozápadě a jihozápadě přechází celá oblast do Německa (Mísař a kol. 1983).

Krušnohorská oblast má složitou geologickou stavbu, čemuž odpovídá i pestré horninové zastoupení.

Centrální oblast tvořící samotné Krušné hory je tvořena silně metamorfovanými horninami (převážně různé typy rul a migmatitů) (Misař a kol. 1983; Chlupáč a kol. 2002). Směrem k okrajovým jednotkám nacházíme spíše horniny slaběji metamorfované (zejména svory či fylity). Krystalinické jednotky krušnohorské oblasti prostupují také tělesa magmatických hornin (například karlovarský pluton) (Misař a kol. 1983).

Významné je i oddělení oblasti krušnohorské od středočeské tzv. litoměřickým zlomem (Misař a kol. 1983). Ten totiž spolu s podkrušnohorským zlomem vytváří těleso asymetrické příkopové propadliny známé jako oherský (ohárecký) rift (obr. 7). Tímto riftem se během třetihor dostávalo na povrch magma, které umožnilo vznik vulkanických těles v oblasti dnešních Doupovských hor a Českého středohoří. Přitom došlo k poklesům a vzniku podkrušnohorských pánví, kde se ukládala organická hmota a postupně se měnila na dnešní sloje hnědého uhlí. Vulkanická aktivita v oblasti výrazně přispěla ke vzniku termálních i některých chladných minerálních pramenů (Kačura, 1980; Chlupáč a kol. 2002; Kachlík, 2003).



Obr. 7: Základní zlomové systémy Českého masivu, zdroj: Matula a Pašek, 1995

Lugická oblast je od krušnohorské oddělena tektonicky středosaským nasunutím, které je pokračováním labského lineamentu. Ten tvoří výrazné zlomové pásmo dělicí oblast lugickou od středočeské. Tato jižní hranice je překryta platformními sedimenty české křídové tabule (Misař a kol. 1983; Chlupáč a kol. 2002; Kachlík, 2003). Na styku s krušnohorskou oblastí nalézáme převážně sedimentární a metamorfované horniny (hlavně fylity a svory, jílové břidlice, arkóзовé pískovce a droby).

V celém komplexu vystupují i intruze mladších, drobných těles granitoidů. V severozápadní části lugičské oblasti se nachází lužický pluton. Jedná se o velké granitoidní těleso kadomského stáří, složené převážně z granodioritu prostoupeného množstvím různých typů žilných hornin (Mísař a kol. 1983).

V období dozívání variské orogeneze vznikly mocné komplexy permo-karbonských sedimentů (Chlupáč a kol. 2002). V tomto regionu je nacházíme v oblastech tzv. brázd (hluboká tektonická údolí, která se vytvořila v závěru orogeneze na významných zlomech a vyplnila se snosovými sedimenty) (Kachlík, 2003). Převládajícími typy hornin jsou klastické sedimenty, doplněné vulkanickými horninami a vulkanoklastiky. V mocných souvrstvích sedimentů se nacházejí také sloje uhlí (Chlupáč a kol. 2002).

Hlavní transgrese moře a s ní spojená sedimentace nastala až ve svrchní křídě. Zaplavena byla prakticky celá severní část Českého masívu. Vznikla tím česká křídová tabule (Chlupáč a kol. 2002). Převládají zde subhorizontálně uložené sedimenty mořského původu (Mísař a kol. 1983). Petrograficky se jedná o mocná souvrství převážně pískovců, jílovců a slínovců, které v některých místech přecházejí do opuk. Tektonicky jsou sedimenty české křídové tabule intenzívně porušeny řadou dílčích zlomů. Všechny souvisejí s labským lineamentem, který ve směru SZ-JV prochází podložím pánve (Kachlík, 2003).

Třetihorní horniny se vyskytují především v neogénních pánvích. Horninově převládají různé typy zpevněných i nezpevněných klastických sedimentů. Významné jsou sloje hnědého uhlí, které se nacházejí v dílčích pánvích v Podkrušnohoří (Mísař a kol. 1983).

V neogénu začala výrazná vulkanická aktivita, která souvisela s oživením tektoniky v oblasti podkrušnohorského zlomu. Podél něj vystupovalo magma ve velké délce, v mnoha přírodních kanálech a vytvářelo různé typy povrchových i podpovrchových těles. Nejčastěji zde najdeme výlevné bazické horniny (čediče) nebo horniny s foidy (znělce). Méně často se vyskytují jiné typy hornin, např. trachyty (Mísař a kol. 1983; Chlupáč a kol. 2002; Kachlík, 2003).

Z období kvartéru se dochovalo rozsáhlé množství periglaciálních sedimentů, zejména říčního a eolického původu, ale také četné svahové sedimenty. Mnohem méně je sedimentů glaciálních, protože kontinentální ledovec zasáhl pouze malou část severočeské oblasti (Mísař a kol. 1983).

## 5. METODY STUDIA SLOŽENÍ

### 5.1. Odběr, přeprava a uchování vzorků

Při analýze vody je odběr v terénu, přeprava a uchování vzorků velice důležitou součástí celého procesu rozboru vody. Chyby vzniklé v těchto krocích totiž poté negativně ovlivní všechny ostatní kroky analýzy. Důležité je taky přistupovat ke každému odběru individuálně, zhodnotit vnější podmínky i účel analýzy. Vnější podmínky se někdy označují jako místní nález (Adam 1976). Tento pojem zahrnuje všechny okolnosti, které mohou ovlivnit mineralizaci nebo obsah jednotlivých složek. Mezi nejčastější faktory patří geologické poměry, proudění podzemní vody a její souvislost s povrchovými toky, krajinný pokryv a způsoby hospodaření. Pro některé rozborů jsou klíčové i meteorologické podmínky či výskyt organismů. Konkrétní sledované faktory závisí zejména na účelu rozboru. Všeobecně ovšem platí tři hlavní zásady pro odběr a skladování vzorku (Hofmann a kol. 1965):

1. Vzorek vody musí dobře reprezentovat poměry v místě odběru (musí být reprezentativní)
2. Odběr vzorku, jeho skladování a přeprava musí být takové, aby nedošlo ke změnám analyzovaných složek a vlastností
3. Musí být odebrán dostatečný objem pro použité analytické metody

Při samotném odběru je nutné použít laboratorně vyčištěné vzorkovnice z vhodného materiálu. Nejčastější je použití skleněných nebo plastových lahví. Sklo i plast mají jiné sorbční vlastnosti, záleží tedy opět na typu analýzy. Sorbce může být také potlačena přidáním okyselující látky. Před každým použitím je nutné vzorkovnice vyčistit. Skleněné se nejčastěji vyplachují horkou kyselinou chromsírovou a destilovanou vodou, plastové kyselinou chlorovodíkovou a poté taky destilovanou vodou (Hofmann a kol. 1965; Adam, 1976). Při odběru z vrtu nebo čerpadla je vhodné nechat vodu chvíli samovolně vytékat. Tím se zabrání možnému zkreslení analýzy tím, že technika byla zanešena a voda uvnitř po určitou dobu stála. Poté by se měla vzorkovnice několikrát vypláchnout a naplnit až po okraj (Hofmann a kol. 1965; Adam, 1976). Vzduchová kapsa totiž může negativně ovlivnit chemismus vody (oxidace, uvolnění rozpuštěných plynů) (Adam, 1976). Nedílnou součástí odběru je i řádné označení a popsání vzorku tak, aby nemohlo dojít k záměně (Hofmann a kol. 1965).

Neméně důležitá je i správná konzervace vzorku a zajištění vhodných podmínek při přepravě a skladování. V odebraných vzorcích probíhají fyzikální, chemické a biologické procesy, které mění acidobazické a oxidačně-redukční podmínky ve vodách a tím dochází ke změně koncentrací některých složek a možnému zkreslení výsledků (Sixta a Šulcek, 1981). Aby se těmto procesům zabránilo nebo se alespoň co nejvíce omezily, používáme různé způsoby konzervace (Sixta a Šulcek, 1981):

- Fyzikální podmínky lze zachovat při odběru do hermeticky uzavíratelných lahví. V tomto případě zůstávají zachovány i plynné složky a celý systém je v rovnováze.
- Nežádoucí chemické změny a stabilita některých látek se řeší přidávkou kyselin (acidifikací vzorku). Tento krok poté znemožňuje analýzu některých složek, jejichž koncentrace mohou být kyselinou zkresleny.
- Mikrobiální a biochemické pochody lze zastavit nebo zpomalit sterilizací (např. kyselinou, UV zářením) nebo ochlazením. Je prokázáno, že tyto pochody se výrazně utlumí při ochlazení na 3 až 4 °C (Hofmann a kol. 1965).

Pro co nejpřesnější výsledky by se analýza měla provádět co možná nejdříve po odběru. Pokud to není možné, měly by být vzorky konzervovány a umístěny na tmavé a chladné místo a uchovávány v těchto stabilních podmínkách (nejlépe v chladničce) do doby, kdy bude prováděn rozbor (Hofmann a kol. 1965).

## 5.2. Fyzikálně-chemické vlastnosti

### 5.2.1. Teplota

Teplotu vody měříme ihned při odběru, neboť později se teplota vody přizpůsobí okolí nebo je záměrně snížena kvůli konzervaci a pro charakteristiku vodního zdroje tím pádem ztrácí význam. Teplota významně ovlivňuje chemické a biologické pochody ve vodách a tím i další zjišťované veličiny. Větší interval teplot je u vod povrchových, které jsou také více ovlivněny změnou teploty vzduchu během dne a roku. Podzemní vody jsou chodem teploty vzduchu ovlivněny méně. Mnohem větší vliv má teplotní gradient, tedy postupný nárůst teploty s hloubkou (Sýkora a kol. 2016). Teplota podzemních vod může skokově narůst při kontaktu s tektonickou poruchou, poté hovoříme o vodách termálních, jejichž teplota při vývěru dosahuje 20 a více stupňů Celsia.

### 5.2.2. Elektrická vodivost

Konduktivita (vodivost) je mírou koncentrace ionizovatelných anorganických a organických látek (Sýkora a kol. 2016). Jednoduše řečeno, jde o koncentraci veškerých ve vodě přítomných kationtů a aniontů (Adam, 1976). Tato veličina závisí na teplotě, druhu a koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle a pohyblivosti (Sýkora a kol. 2016). Jednotkou je  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$  nebo  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Stanovení konduktivity se používá při kontrole výsledků chemického rozboru vod. Průměrná konduktivita pitných vod v ČR je přibližně  $40 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mezní hodnota pro pitnou vodu je normou stanovena na  $125 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Sýkora a kol. 2016).

### 5.2.3. Oxidačně-redukční potenciál (Eh)

Oxidačně-redukční potenciál (redox potenciál, hodnota Eh) nám udává míru oxidačních nebo redukčních vlastností vody (Adam, 1976).

Výsledky měření vztahujeme ke standardní vodíkové elektrodě, protože její potenciál je považován za nulový, a uvádíme v mV. Hodnota Eh závisí na teplotě a pH, protože obě tyto veličiny významně ovlivňují koncentraci oxidačních činidel v roztoku (nejčastěji rozpuštěný kyslík nebo oxidačně-redukční systémy – železo, mangan, síra, uhlík) (Sýkora a kol. 2016).

#### **5.2.4. Hodnota pH**

Hodnota pH je zásadní pro většinu chemických a biochemických dějů a dá se z ní usuzovat původ a formy výskytu vod (Sýkora a kol. 2016). Navíc je velmi důležitým faktorem při čerpání a dalších úpravách nejen podzemních a minerálních vod. Hodnota pH by se měla stanovit ideálně ihned při odběru nebo co nejdříve v laboratoři. Ke stanovení se používají dva typy metod, kolorimetrické a elektrometrické (Hofmann a kol. 1965). Kolorimetrické metody fungují na principu změny zabarvení roztoku po přidání vhodného indikátoru. Tyto metody bývají méně přesné a v praxi se moc nepoužívají. Elektrometrické měření se provádí skleněnou elektrodou a využívá skutečnosti, že změna pH při stálé teplotě vyvolá změnu potenciálu elektrody (Hofmann a kol. 1965). Tyto metody jsou mnohem přesnější. Prakticky se dnes používají univerzálnější a do terénu více vhodné pH- metry (Adam, 1976). Normou stanovené hraniční hodnoty pro pitnou vodu jsou od 6,5 do 9,5. Prosté podzemní vody mají hodnoty pH nejčastěji v rozmezí 5,0 až 7,5, vody minerální v intervalu 5,5 až 7,0 (Sýkora a kol. 2016). Téměř u všech přírodních vod a hlavně u vod podzemních je hodnota pH určena zejména poměrem uhličitanových aniontů volného CO<sub>2</sub> (Adam, 1976).

#### **5.2.5. Alkalinita**

Při chemickém rozboru představuje alkalinita množství silné kyseliny (nejčastěji sírové nebo chlorovodíkové), která je potřebná k neutralizaci hydrogenuhličitanů, uhličitanů a hydroxidů rozpuštěných ve vodě (Adam, 1976). Ke stanovení se používá titrace vzorku roztokem kyseliny, indikace bodu ekvivalence může být vizuální (barevné indikátory), častěji ale bývá elektrometrická. Alkalinitu je vhodné určovat hned při odběru, nejpozději pak do 24 hodin po něm, protože je závislá na teplotě a obsahu rozpuštěných látek (Hofmann a kol. 1965, Adam 1976). Výsledky stanovení se udávají v mmol/l.

### **5.3. Instrumentální metody studia složení vod**

Pro zjištění chemického složení vod se používá celá řada analytických metod. V této části se budu věnovat pouze popisu metod použitých při analýze mých vzorků minerálních vod.

#### **5.3.1. Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)**

K měření obsahu hlavních kationtů byla použita optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES). Tato spektroskopická analytická metoda založená na principu, že atomy prvků v plazmovém výboji přijímají energii a přecházejí do stavu s vyšší energií (excitovaný stav).

Při návratu do základního stavu částice vyzařují záření, jehož spektrální čáry jsou charakteristické pro daný prvek. Spektroskopická analýza tohoto záření vede k získání informace o tom, který prvek záření vysílá (kvalitativní údaj), a o množství tohoto prvku ve vzorku (kvantitativní údaj). Metoda ICP-OES pracuje nejčastěji s kapalnými vzorky, obvykle s vodnými roztoky ve zředěných minerálních kyselinách. Používáme nejčastěji 2% HNO<sub>3</sub> nebo 2% HCl, zředěná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> je méně vhodná (Rohovec, 2008). Obecnou výhodou této metody je vysoká citlivost pro řadu prvků, které jsou jinými metodami obtížně stanovitelné (Ta, Nb, Zr, Hf, U nebo vzácné zeminy) (Pelikánová, 1986). Na druhou stranu není ani toto stanovení bez problémů, neboť se tyto prvky vyskytují přirozeně v nižších koncentracích blízcích se detekčnímu limitu. Pod detekčním limitem jsou prvky prakticky neanalyzovatelné (např. Ra, Tc, Po) (Rohovec, 2008). Dalším limitem metody mohou být spektrální interference (překryvy velmi blízkých spektrálních čar), u geologických vzorků může být problematická sorpce zájmového prvku na pevnou látku, se kterou je vzorek během manipulace ve styku, nebo vyšší viskozita daná vyšším obsahem vysokomolekulárních organických látek (Rohovec, 2008).

### **5.3.2. Vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC)**

Měření koncentrace hlavních aniontů bylo provedeno metodou vysokoúčinné kapalinové chromatografie. HPLC je široce využívaná chromatografická analytická technika, jejím principem je výměna hmoty mezi stacionární a mobilní fází. Tato metoda využívá kapalná mobilní fáze. Komponenty analyzované směsi (analyty) jsou ve vhodném rozpouštědle pod vysokým tlakem přinuceny projít skrz chromatografickou kolonu. V koloně je směs rozdělena na jednotlivé složky. Nepohyblivá výplň kolony je tvořena stacionární fází. Vzorek je mobilní fází přenesen do kolony, zde jsou složky směsi zdrženy stacionární fází. Různé složky směsi jsou zdrženy po různě dlouhou dobu, než jsou opět převedeny mobilní fází do detektoru. Tím dochází k rozdělení a detekci jednotlivých komponent. Interakce rozpuštěných složek se stacionární fází lze upravovat změnou rozpouštědla, stacionární fáze či přísady do mobilní fáze. V důsledku toho poskytuje HPLC vysoký stupeň všestrannosti a přizpůsobivosti, navíc umožňuje jednoduchou separaci širokého spektra chemických látek (Havliš, 2007; Adámek, 2007).

### **5.3.3. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICPMS)**

Touto metodou byly změřeny koncentrace stopových prvků u vzorků minerálních vod. Metoda ICP MS patří mezi emisní metody, ale nestuduje elektromagnetické záření jako většina ostatních popisovaných metod, ale hmotová spektra. Vzorek se připravuje a ionizuje stejně jakou metody ICP-OES. Vzniklé ionty se pak vedou do tzv. hmotnostního spektrometru. Tam jsou jednotlivé částice separovány na základě své hmotnosti a náboje ( $m/z$ ). Separace může probíhat v elektromagnetu nebo kvadrupólovém separátoru iontů. V detektoru jsou pak ionty převáděny na elektrický signál. Takto lze stanovit i prvky s velmi podobnou stavbou elektronového obalu a tedy i velmi podobnými chemickými vlastnostmi.

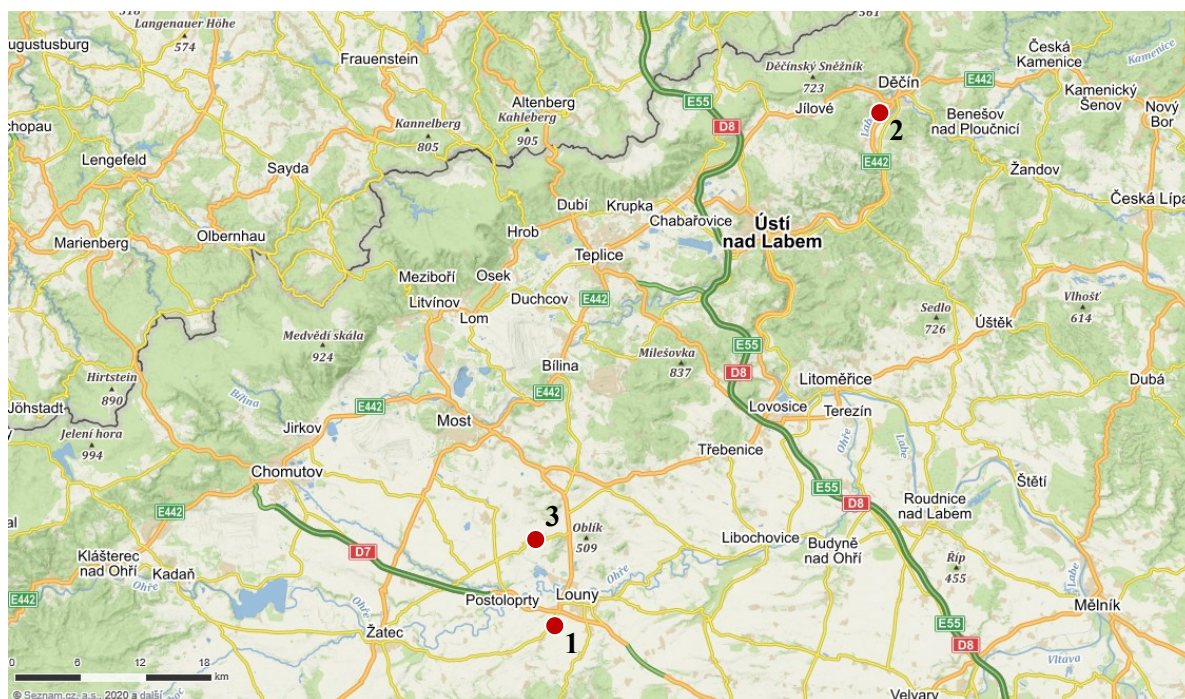
Pro běžnou analýzu obecně platí, že těžké ionty (které díky větší hmotnosti snáze „prolétnou“ až k detektoru) se analyzují lépe než ionty lehké.

Analytická technika ICP MS je rychlá, multielementní a umožňuje rovněž izotopovou analýzu. Omezení pro tuto metody představují vysoké koncentrace solí, kyselin a organických látek ve vzorku. Všechny tyto součásti mohou zvyšovat viskozitu roztoku a současně způsobit zanesení přístroje. Stejně jako u ICP-OES se můžeme setkat se spektrálními i nespektrálními interferencemi (Strnad a kol. 2008).



## 6. VÝSLEDKY ANALÝZY A CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH MINERÁLNÍCH VOD

V následující části práce se věnuji charakteristice tří vybraných vod na základě výsledků laboratorního a terénního měření fyzikálně-chemických vlastností chemického složení. Součástí textu jsou tabulky s naměřenými hodnotami a vlastní fotodokumentace. Obrázek 8 zachycuje studovanou oblast severočeského regionu s vyznačenými místy odběru.



Obr. 8: Mapa studované oblasti, 1 - pramen Luna (Louny), 2 - pramen Vilsnice (Děčín), 3 - Praga (Břvany), zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

### 6.1. Výsledky laboratorního měření

Při odběru v terénu byla měřena teplota. Ihned po příjezdu bylo v laboratoři změřeno pH, Eh pH-metrem, dále vodivost a nakonec alkalinita automatickým titrátorem. Hlavní kationty byly zjištěny optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem, hlavní anionty vysoce účinnou kapalinovou chromatografií. Koncentrace stopových prvků byla zjištěna hmotnostní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem. Hmotnostní spektrometrie byla využita také pro analýzu stabilních izotopů kyslíku a vodíku a pro izotopy stroncia, u nichž bylo potřeba nejprve vzorky připravit chromatografickou separací na iontoměničích (Míková et al. 2007; Dupalová et al. 2012).

Výsledky terénního měření i laboratorní analýzy chemického a izotopového složení jsou shrnuty v tabulkách 1-3.

**Tabulka 1: Fyzikálně-chemické parametry a koncentrace hlavních iontů zkoumaných minerálních vod**

Pramen		Luna	Vilsnice	Praga
X, Y (souřadnice)		50.3486253N, 13.8038667E	50.7446481N, 14.1797339E	50.4044964N, 13.7228772E
t	°C	21	21	14
pH		6,9	7,1	5,9
Eh	mV	24	103	99
vodivost	mS/cm	14,67	0,56	2,57
alkalinita	mmol/l	73,25	1,43	6,3
<b>Hlavní prvky</b>				
Na	mg/l	3988	63,5	293
K	mg/l	157	6,6	52,7
Mg	mg/l	99,1	5,6	90,4
Ca	mg/l	0,57	0,45	1,96
Fe	mg/l	0,83	0,34	1,9
Mn	mg/l	0,03	0,01	0,13
Al	mg/l	0,03	0,02	0,12
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	4468,25	87,23	384,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	<0,2	54,9	566
Cl <sup>-</sup>	mg/l	700	10,3	42,5
F <sup>-</sup>	mg/l	2,43	1,84	2,22
Br <sup>-</sup>	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	<0,4	<0,4	<0,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	<0,2	1,24	<0,2
TDS	g/l	9,42	0,23	1,43

TDS – total dissolved solid, celkové množství pevných rozpuštěných látek

**Tabulka 2: Koncentrace stopových prvků ve zkoumaných minerálních vodách**

Pramen		Luna	Vilsnice	Praga
<b>Stopové prvky</b>				
Be	µg/l	0,89	0,11	2,35
B	µg/l	1480	37,37	350
Cr	µg/l	4,91	0,73	5,47
V	µg/l	16,84	0,4	1,2
Co	µg/l	0,21	< LOD	0,32
Ni	µg/l	0,17	0,42	2,23
Cu	µg/l	43,66	< LOD	2,62
Zn	µg/l	< LOD	< LOD	1,27
As	µg/l	< LOD	10,7	0,59
Se	µg/l	4,45	< LOD	< LOD
Rb	µg/l	530	29,5	231

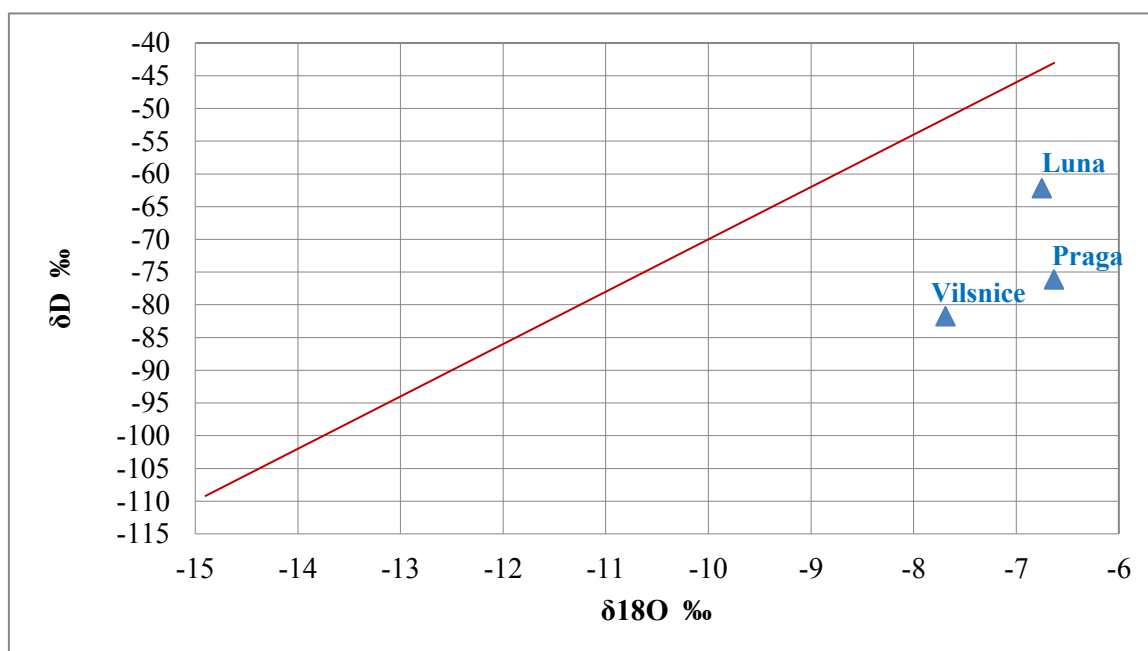
Sr	$\mu\text{g/l}$	3710	302	910
Ag	$\mu\text{g/l}$	1,88	< LOD	< LOD
Sb	$\mu\text{g/l}$	0,34	0,48	0,1
Cs	$\mu\text{g/l}$	32,25	4,8	8,3
Ba	$\mu\text{g/l}$	8240	48	6,1
Tl	$\mu\text{g/l}$	0,51	< LOD	< LOD
Pb	$\mu\text{g/l}$	< LOD	< LOD	< LOD
Bi	$\mu\text{g/l}$	0,61	< LOD	< LOD
Th	$\mu\text{g/l}$	8,29	0,3	1,24
U	$\mu\text{g/l}$	0,07	0,08	0,04

LOD – limit of detection, mez detekce přístroje

Tabulka 3: Izotopické složení zkoumaných minerálních vod

		Luna	Vilsnice	Praga
$\delta^{18}\text{O}$	‰ SMOW	-6,75	-7,69	-6,63
$\delta^2\text{H}$	‰ SMOW	-62,17	-81,76	-76,11
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$		0,716 (SD = 0,0008)	0,710 (SD = 0,0005)	0,716 (SD = 0,0003)

SMOW – Standard Mean Ocean Water



Obr. 9: Grafické znázornění izotopického složení studovaných vod v porovnání s globální meteorickou linií (červeně)

### 6.1.1. Minerální pramen Luna (Louny)

Tato silně mineralizovaná, termální kyselka byla objevena v letech 1963 – 1964 při hloubení výzkumného geologického vrtu. Podloží je tvořeno žulami s vložkami kontaktních rohovců a právě v polohách žul v hloubkách 1094 – 1101 m, 1125 m a 1148 m byl objeven přítok této minerální vody. Dodnes se tak jedná o nejhloběji zjištěný a čerpaný zdroj minerální vody v České republice (Janoška, 2011).

V Lounech jsou celkově 4 vývěry této minerální vody. Třemi z nich se dostává na povrch výše popsaná voda. Dva z těchto vývěrů jsou běžně dostupné veřejnosti, avšak voda se kvůli své silné mineralizaci nedoporučuje užívat dlouhodobě (Potužák, 2011). Na obr. 10 je vidět vývěr na Lounském sídlišti. Zařízení je v současnosti tvořeno bloky místních křemenců, do kterých je zavedeno potrubí s minerálkou. Při léčbě se využívá k léčení zánětů trávicího a močového ústrojí a při nemocech žlučníku. Ve formě zábalů a koupelí je ordinována při některých kožních onemocněních (Janoška, 2011).



*Obr. 10: Místo vývěru pramene Luna na Lounském sídlišti mezi ulicemi U Pramenu, Vladimírská a Citolobská, zdroj: foto autora*

Vzhledem k teplotě vody při vývěru a vysoké mineralizaci bývá Luna označována za termální kyselku (Kačura, 1980; Janoška, 2011). To potvrdila i naše analýza. Voda měla při odběru teplotu 21 °C a ze všech tří studovaných vod má nejvyšší mineralizaci. S tím koreluje i nejvyšší výsledky hodnot alkalinity a vodivosti. Z hlavních prvků dosahuje nejvyšších hodnot koncentrace kationtů u Na, K a Mg, mezi anionty převažují hydrogenuhličitan, chloridy a fluoridy. Naopak v porovnání s ostatními vodami nenajdeme v Luně skoro žádné sírany. Mezi stopovými prvky dosahuje nejvyšších hodnot B, V, Cu, Se, Rb, Sr. Ag, Bi a Tl byly jediné u Lony v koncentracích nad mezí detekce. Dále se vyšší obsah zaznamenal u Cs, Ba a Th. Nejnižší koncentrace byly zaznamenány u Pb, As a Zn.

### 6.1.2. Minerální pramen Vilsnice (Děčín)

V okolí Děčína nacházíme několik termálních pramenů, za jejichž vznikem je tepelná anomálie podmíněna ohářeckým riftem.

Tato voda byla objevena při vrtu roku 1912. Vrt dosáhl v křídových sedimentech překrytých sedimenty labské říční terasy hloubky přes 175 m (Kačura, 1980). V oblasti bylo provedeno ještě několik vrtů, přičemž se vždy narazilo na vodu podobných vlastností jako ve studni ve Vilsnici. Vzhledem k velice slabé mineralizaci a nepřítomnosti žádných chemicky významných látek byly tyto vody vesměs využívány jen pro své termální vlastnosti v průmyslu a k rekreačním účelům (napouštěla se jimi koupaliště) (Kačura, 1980). Konkrétně voda v místě odběru (Vilsnická 45) je příležitostně užívána jako užitková voda, nikoliv jako pitná (obr. 11 a 12).



*Obr. 11 a 12: Místo odběru pramenu Vilsnicev areálu podniku Justrová-Justra, Vilsnická 45, Děčín, zdroj: foto autora*

Voda ve Vilsnici má ze všech studovaných vzorků nejnižší mineralizaci. Jedná se o prostou termální vodu s teplotou 21 °C u vývěru. Zároveň má ze všech vod nejvyšší hodnoty pH a Eh. Ve složení opět převládá Na, K, Mg, hydrogenuhličitan. Zastoupeny jsou ve vyšší míře sírany. Chloridů a fluoridů má nejméně ze všech tří vod. Naopak nejvyšší koncentrace ze všech se projevila u dusičnanů. Ze stopových prvků je asi nejvýznamnější obsah As, který je nejvyšší ze všech tří vzorků. Dále má voda ve Vilsnici vyšší obsah B, Rb, Sr a Ba. Mnohé prvky jako Co, Cu, Zn, Se, Ag, Pb nebo Bi nebyly vůbec detekovány.

### 6.1.3. Minerální pramen Praga (Břvany)

Přirozené vývěry této kyselky se objevovaly v Břvanech v nivě Hrádeckého potoka. Voda sem pronikala z vrstev cenomanských pískovců v hloubce 15 – 20 m, jejichž nadloží tvoří nepropustné turonské jílovce. Zlomy v silně tektonicky porušených sedimentech se staly přírodními drahami pro CO<sub>2</sub> postvulkanického původu (Kačura, 1980; Janoška, 2011).

Přestože tato voda získala statut léčivé vody krátce po svém objevení roku 1913, nikdy se k žádným léčebným nebo balneologickým účelům nepoužívala. Ještě před první světovou válkou zde vznikla první stáčírna a tato minerálka se pak prodávala pod různými jmény (nejznámější asi Praga) jako stolní voda (Kačura, 1980; Janoška, 2011). V 60. a 70. letech se na základě hydrogeologického průzkumu našly další zdroje, avšak provoz plnění byl postupně utlumován a poslední z nich se zavřela v roce 2005 (Janoška, 2011). Dnes je veřejnosti přístupný pouze jeden zdroj v severní části obce (obr. 13 a 14). Minerálka je pravidelně odebírána obyvateli pro domácí spotřebu.



*Obr. 13 a 14: Fontána s přívodem minerálky Praga a budova před stáčírnou v Břvanech, zdroj: foto autora*

Praga je středně mineralizovaná kyselka. Stejně jako u předchozích dvou vod u ní z kationtů převažuje Na, K a Mg, na rozdíl od Luny a Vilsnice má také vyšší obsah Ca. Ze všech tří vod má také nejvyšší obsah Fe, Mn a Al. Z aniontů opět převažují hydrogenuhličitany, chloridy a flouridy, za zmínku ale určitě stojí vysoká koncentrace síranů. Ze stopových prvků mají vyšší obsah Be, B, Cr, V, Ni, Cu, dále také Rb, Sr, Cs a Ba. Naopak nízké hodnoty vykazuje u Se, Ag, Tl, Pb a Bi.

#### 6.1.4. Vyhodnocení izotopického složení

U všech tří vod bylo změřeno izotopické složení kyslíku vodíku a stroncia. Výsledky analýzy stabilních izotopů H a O jsou znázorněny na obr. 12. Pro porovnání je zde i křivka tzv. meteorické linie vypočtené podle vzorce pro globální meteorickou linii (GML) (Craig, 1961; Drever, 1988; Dupalová et al. 2012; Šantrůček, 2014):  $\delta D = \delta^{18}O \times 8 + d$ , kde  $d$  představuje tzv. přebytek deuteria a pro srážkovou vodu se zpravidla používá hodnota 10, která byla použita i v tomto případě.

Z obrázku vyplývá, že izotopické složení vodíku přibližně odpovídají hodnotám na křivce. Výrazně se ovšem liší hodnoty  $\delta^{18}O$ , které jsou oproti GML všechny izotopicky těžší. Voda pramene Vilsnice se přitom liší méně, než prameny Prahy a Luny, které mají tyto hodnoty téměř stejné.

Z výsledků analýzy izotopů stroncia ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) vyplývá, že jsou si v tomto parametru všechny tři vody velmi podobné. Luna a Praga dosahují dokonce stejných hodnot. Všechny tři vody mají hodnotu stronciového izotopického poměru vyšší, než je současný standard oceánské vody odpovídající hodnotě asi  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \sim 0,709241 \pm 32$  (Viezer 1989).

## 7. DISKUSE

Z výsledků analýzy, měření i charakteristiky studované oblasti můžeme vyvodit odlišné podmínky vzniku a vývoje u každé ze tří minerálních vod.

Pramen Luna je s největší pravděpodobností reliktní mořskou vodou, která se dostala z povrchu do podloží podél tektonických poruch a byla uzavřena v nepropustném kolektoru. O tomto způsobu vývoje svědčí vysoká mineralizace (zejména vysoký obsah Na a Cl) a také velká hloubka, ze které pramen vyvěrá. Velká hloubka také může vysvětlovat nízký obsah síranů, neboť síranové vody potřebují ke svému vzniku mělký oběh vod, aby byla zajištěna oxidace sulfidů. Značná hloubka a přítomnost velkého množství tektonických poruch v oblasti jsou pravděpodobně příčinou pro vysoké koncentrace hydrogenuhličitánů a vysokou teplotu této minerální vody. Vysoké mineralizaci a vyšší agresivitu vody (v důsledku rozpuštěného CO<sub>2</sub>) odpovídá i izotopické složení δ18O, které odkazuje na dlouhodobou intenzivní interakci mezi vodou a horninou. Nepřímo mohou izotopy kyslíku také potvrzovat tezi o mořském původu této vody, neboť mořská voda bývá zpravidla izotopicky těžší než voda srážková (Drever, 1982). Izotopy stroncia odkazují na pevninský původ korových hornin, se kterými voda během své geneze interagovala.

Termální voda ve Vilsnici je oproti Luně minerálně velmi chudá. Z hodnot mineralizace a koncentrací hlavních i stopových prvků vyplývá, že jde o vodu prostou, která pochází převážně ze srážek a hromadila se v mělkém kolektoru. Ten se díky výskytu četných zlomů v okolí Děčína a Ústí nad Labem a tím způsobeným výrazně vyšším termálním gradientem zahřál a dal vzniknout v okolí několika zdrojům prosté termální vody. Tuto teorii potvrzuje i izotopické složení této vody, které je ze všech tří vzorků nejlehčí a nejvíce se blíží srážkové vodě ve středních zeměpisných šířkách. Izotopy stroncia opět odkazují na pevninský původ korových hornin, se kterými voda během své geneze interagovala. V tomto případě je však hodnota 87Sr/86Sr velmi podobná standardu mořské vody. Tento fakt by mohl být způsoben velmi výraznou vulkanickou aktivitou v dané oblasti během třetihor, která se projevovala zejména alkalickými bazaltovými vulkanity. Tyto mladé horniny mohly výrazně ovlivnit složení povrchových a mělce podpovrchových vod (Dupalová et al. 2012). Překvapivým prvkem ve složení je poměrně vysoká koncentrace arzenu a v porovnání se dvěma dalšími vodami i dusičnanů. Tyto odchylky by mohly být vysvětleny kontaminací vody v důsledku jejího mělkého oběhu.

Kyselka Praga se vyznačuje střední mineralizací. Obohacení CO<sub>2</sub> proběhlo podél četných zlomů a celý proces je opět spojen s vulkanismem v severočeské oblasti. Voda ovšem nikdy nedosáhla takové hloubky jako Luna, proto nedošlo k jejímu ohřátí. Uložení mělčeji pod povrchem, vyšší obsah oxidu uhličitého a interakce s okolními sedimenty však umožnily obohacení vody o sírany, železo a mangan.



Tyto ionty jsou typicky ukazateli mělkého oběhu vod, oxidických podmínek a také zvýšené agresivity vody, dané zejména rozpuštěným CO<sub>2</sub>, případně kyselinou sírovou. Tyto podmínky dokresluje i izotopové složení kyslíku, které se u této minerální vody jeví jako nejtěžší.

Vzhledem k tomu, že izotopický poměr vodíku odpovídá u Prahy více klimatickým a geografickým podmínkám, než tomu bylo v případě Luny, je změna v parametru  $\delta^{18}\text{O}$  vyvolaná pravděpodobně pouze interakcí vody s horninou. Poměr izotopů stroncia je stejný jako u Prahy a ukazuje na ovlivnění i této minerální vody interakcemi s horninami kontinentálního původu.

## 8. ZÁVĚR

Ve své práci jsem zkoumala tři vzorky minerálních vod z oblasti Severočeského kraje. Mým cílem bylo ukázat na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech, chemickém složení a izotopickém složení různorodost podmínek, ve kterých vznikaly, a procesů, které se na genezi těchto vod přímo či nepřímo podílely.

První část práce je věnována spíše obecnějším poznatkům o minerálních vodách. Jsou zde zmíněny hlavní typy minerálních vod, které se na našem území nacházejí. Rovněž jsem uvedla i nejdůležitější procesy podílející se na vzniku chemického složení podpovrchových vod. Následující krátké kapitoly byly věnovány i problematice jímání a ochrany minerálních pramenů. Závěrem této teoretické části se věnuji popisu přírodních podmínek ve studované oblasti. Konkrétně jsou zmíněny poměry klimatické, hydrologické a geologické, které mají pro podpovrchové vody klíčový význam.

Druhá část je věnována prezentaci výsledků analýzy studovaných vod. V úvodu jsem popsala metody odběru, uchování a rozboru vody. Následující kapitoly zahrnují charakteristiku jednotlivých míst odběru. Nejdůležitějším výstupem této části jsou tabulky shrnující výsledky laboratorní analýzy odebraných vod.

Výsledky rozboru a měření provedených u tří odebraných vod skutečně potvrdily, že se tyto vody zásadně liší ve svých vlastnostech i složení. Pramen Vilsnice odebraný v Děčíně je zástupcem prosté meteorické vody, která zasakovala hlouběji pod povrch, kde došlo k jejímu ohřevu. Voda proto nyní vystupuje na povrch ohřátá v průměru na více jak 20 °C, avšak její mineralizace není nijak výrazná. Naopak pramen Luna odebraný v Lounech měl mineralizaci velmi vysokou. Tato skutečnost a také velký podíl chloridů v jejím chemickém složení ukazují na její původ v mořské vodě. Této teorii nasvědčuje i její izotopické složení. Poslední odebranou vodou byla kyselka Praga, jejíž vývěr se nachází v Břvanech. Praga je příkladem mělce podpovrchové minerální vody s vysokým množstvím CO<sub>2</sub>. Ten způsobuje její vyšší agresivitu vůči okolním horninám. Kyselka je proto navíc obohacena i o velké množství síranů a díky frakcionaci izotopů kyslíku při chemické interakci s horninou je také izotopicky nejtěžší.

Z výstupů laboratorní analýzy je jasné, že tyto vody se zásadně liší podmínkami a procesy svého vzniku, které můžeme nejlépe mapovat odlišnými vlastnostmi, chemickým a izotopickým složením. Problematika minerálních vod je však značně složitá, zejména kvůli množství vlivů působících na jejich vznik a vývoj. Pro úplné pochopení všech procesů je proto nutné udělat analýzu mnohem podrobnější, která by zahrnovala například i hydrogeologický výzkum nebo podrobnější rozbor izotopického složení.

## 9. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- ADAM, J., (1976). Metody chemické analýzy vody. Státní pedagogické nakladatelství. Praha
- ADÁMEK, T., (2007). Speciace sloučenin chromu pomocí HPLC. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav chemie. Brno
- Český hydrometeorologický úřad. Portál ČHMÚ. Historická data. Mapy charakteristik klimatu.[online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>
- DEUTSCH, W. J., (1997). Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers. ISBN 0-87371-308-7.
- DOLNÍČEK, Z., SULOVSKÝ, P., (2013). Laboratorní metody výzkumu. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3833-7.
- DREVER, J. I., (1988). The geochemistry of natural waters. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall. ISBN 0-13-351396-3.
- DUPALOVÁ, T., SRACEK, O., VENCELIDES, Z., ŽÁK, K., (2012). The origin of thermal waters in the northeastern part of the Eger Rift, Czech Republic. Applied Geochemistry. (27), 689-702.
- FILLIMONOVA, E., LAVRUSHIN, V., KHARITONOVA, N., et al.,(2020). Hydrogeology and hydrogeochemistry of mineral sparkling groundwater within Essentuki area (Caucasian mineral water region). Environmental Earth Sciences . DOI: 10.1007/s12665-019-8721-2. ISSN 1866-6280
- HANUSKOVÁ, D., (2018). Jak se hydrologicky podílí mlha na atmosférické depozici? Využití stabilních izotopů. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí.
- HEM, J. D., (1970). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 2. ed. Washington: U.S.Government Printing Office. Geological Survey.
- HOFMANN, P., (1965). Jednotné metody chemického rozboru vod: určeno pro posl. odb. a vys. škol. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada stavební literatury.
- HYNIE, O., (1949). Geologie minerálních zřídél v Čechách a na Moravě. Československá akademie věd. Praha.
- HYNIE, O., (1963). Hydrogeologie ČSSR. Československá akademie věd, Praha.
- CHLUPÁČ, I., (2002). Geologická minulost České republiky. Academia. Praha. ISBN 80-200-0914-0.
- Jak a proč se čerpají minerální vody. Referenční laboratoře PLZ.[online]. Dostupné z: <http://www.rlplz.cz/jimanivod.htm>

- JANDOVÁ, D., (2009). Balneologie. 1. vyd. Grada Publishing a. s., Praha. ISBN 978-80-247-2820-9
- JANOŠKA, M., (2011). Minerální prameny v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Academia. Praha. ISBN 978-80-200-1615-7.
- JIRÁKOVÁ, H., HUNEAU, F., HRKAL, Z., CELLE-JEANTON, H., LE COUSTOMER, P., (2010). Carbon isotopes to constrain the origin and circulation pattern of groundwater in the north-western part of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic). Applied Geochemistry.(25). 1265–1279.
- KAČURA, G., (1980). Minerální vody Severočeského kraje. Ústřední ústav geologický. Praha.
- KACHLÍK, V., (2003). Geologický vývoj území České republiky. Ústav geologie a paleontologie, Přírodovědecká fakulta UK.
- KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., PORCAL, P., POSCH, M., (2017). Trends in riverine element fluxes: A chronicle of regional socio-economic changes. Water Research. (125). 374-383.
- MÍKOVÁ, J., DENKOVÁ, P., (2007). Modified chromatographic separation scheme for Sr and Nd isotope analysis in geological silicate samples. Journal of Geosciences. (52). 221-226.
- MÍSAŘ, Z., (1983). Geologie ČSSR: celost. vysokošk. učebnice pro stud. přírodověd. fakult, stud. oboru geochemie a zákl. a ložisková geologie. Státní pedagogické nakladatelství. Praha.
- MRÁZ, L., TOLAR, V., (1985). Laboratorní kurs chemie pro geology. Státní pedagogické nakladatelství. Praha.
- QUATTRINI, S., PAMPALONI, B., BRANDI, M. L., (2016). Natural mineral waters: chemical characteristics and health effects. Clinical cases in mineral and bone metabolism. 13(3). 173-180.
- PAČES, T., (2011). Úvod do hydrogeochemie. Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7372-748-2.
- PAČES, T., (1982). Voda a Země. Academia. Praha.
- PAČES, T., (1983). Základy geochemie vod. Academia. Praha.
- PAŠEK, J., MATULA, M., (1995). Inženýrská geologie I., II. SNTL. Praha.
- PELIKÁNOVÁ, M., (2005). Aplikace radiofrekvenčního induktivně vázaného plazmového výboje pro analýzu geologických vzorků. Chemická analýza v geologii. Ústřední ústav geologický. Praha.
- PETRACCIA, L., LIBERATI, G., MASCIULLO, S. G., GRASSI, M., FRAIOLI, A., (2005). Water, mineral waters and health. Clinical Nutrition.(25). 377-385.
- PITTER, P., (1998). Výpočet celkové mineralizace a její význam v hydrochemii. Chemické listy. 1998, (92), 772-776.

- POTUŽÁK, M., (2011). Minerální vody ve výživě a terapii. Praktické lékařství. 242-244.
- RENÉ, M., (2016). Úvod do geochemie. Ústav struktury a mechaniky zemin AV ČR, v.v.i. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, 2016.
- ROHOVEC, J., (2008). ICP OES v geovědách. Moderní analytické metody v geologii. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha.
- SINGH, B. P., (2017). Original isotopic composition of water in precipitation by different methods. Applied Water Science. 7(6). 3385-3390. DOI: 10.1007/s13201-016-0500-6. ISSN 2190-5487.
- SIXTA, V., ŠULCEK, Z., (1980). Stabilita vzorků vod a možnosti jejich konzervování. Chemická analýza v geologii. Ústřední ústav geologický. Praha.
- STRNAD, L., MIHALJEVIČ, M., ŠEBEK, O., (2008). Aplikace hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geovědách. Moderní analytické metody v geologii. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha.
- SÝKORA, V., KUJALOVÁ, H., PITTER, P., (2016). Hydrochemie pro studenty bakalářského studia. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-949-5.
- ŠANTRŮČEK, J., ŠANTRŮČKOVÁ, H., (2014). Stabilní izotopy a jejich využití v biologii a ekologii. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-7394-481-0.
- ŠRÁČEK, O., KUCHOVSKÝ, T., (2003). Základy hydrogeologie. Masarykova univerzita. Brno. ISBN 80-210-3146-8.
- ULRYCH, J., PIVEC, E., POVONDRA, P., BENDL, J., (1997). Geochemical and isotope characteristics of representative carbonates in young alkaline volcanites from northern Bohemia. Journal of the Czech Geological Society. (42). 26-32.
- VEIZER, J., (1989). Strontium Isotopes in Seawater through time. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 17(1). 141-167. DOI: 10.1146/annurev.ea.17.050189.001041. ISSN 0084-6597
- Voda na Zemi. Klimatologie a hydrogeografie pro učitele. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. [online]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/07-voda.html](http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz_geogr/web/pages/07-voda.html)
- Vyhláška č. 423/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví způsob a rozsah hodnocení přírodních léčivých zdrojů a zdrojů přírodních minerálních vod a další podrobnosti jejich využívání, požadavky na životní prostředí a vybavení přírodních léčebných lázní a náležitosti odborného posudku o využitelnosti přírodních léčivých zdrojů a klimatických podmínek k léčebným účelům, přírodní minerální vody k výrobě přírodních minerálních vod a o stavu životního prostředí přírodních léčebných lázní (vyhláška o zdrojích a lázních)
- Zákon č. 164/2001 Sb. Zákon o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázních a lázeňských místech a o změně některých souvisejících zákonů (lázeňský zákon)

