

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)
Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Stáří a míšení podzemních vod Oblast 2: Petrovice - Lückendorf - Jonsdorf - Oybin

Závěrečná zpráva

Mgr. Pavel Šimek





Závěrečná zpráva

Stáří a míšení podzemních vod Oblast 2: Petrovice - Lückendorf - Jonsdorf - Oybin

Mgr. Pavel Šimek

Název a sídlo organizace:

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Ředitel:

Mgr. Mark Rieder

Zadavatel:

Saská rozvojová banka - dotační banka
Sächsisches Aufbaubank - Förderbank (SAB)

Zástupce zadavatele:

Centrum pro regionální rozvoj Chomutov

Zahájení a ukončení úkolu:

leden 2012 – prosinec 2013

Místo uložení zprávy:

SVTI VÚV TGM, v.v.i.

Náměstek pro výzkumnou a odbornou činnost:

Ing. Petr Bouška, Ph.D.

Hlavní koordinátorka úkolu GRACE:

Ing. Marie Kalinová

Zástupce projektového partnera:

Dr. Anna-Katarina Böhm

Řešitel:

Mgr. Pavel Šimek

Spolupracovníci:

Mgr. Pavel Eckhardt, Ing. Eduard Hanslík, CSc., Mgr. Marta Martínková,
Ing. Kateřina Poláková, Mgr. Lenka Koubková, Ing. Adéla Trávníčková,
RNDr. Petr Lochovský, Jan Kašpárek, Michal Novák

Obsah:

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 7 |
| 2. Obecná charakteristika zájmového území | 7 |
| 2.1 Vymezení zájmové oblasti | 7 |
| 2.2 Základní geologická a tektonická stavba oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 8 |
| 2.3 Obecná charakteristika podzemních vod | 13 |
| 2.4 Hydrodynamika a stav podzemních vod v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 13 |
| 2.5 Rešerše k vrtům v zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 20 |
| 3. Metodika a rozsah provedených prací | 29 |
| 3.1 Odběr vzorků | 29 |
| 3.2 Vlastnosti tritia | 32 |
| 3.3 Metodika stanovení tritia, fyzikálně chemických a anorganických parametrů | 34 |
| 3.4 Model | 35 |
| 3.4.1 Model Piston-flow (PM) | 35 |
| 4. Fyzikálně chemické a anorganické parametry podzemních vod. 39 | |
| 4.1 pH | 39 |
| 4.2 Elektrická konduktivita | 41 |
| 4.3 Hydrogenuhličitan HCO_3^- | 42 |
| 4.4 Chloridy Cl^- | 45 |
| 4.5 Sírany SO_4^{2-} | 46 |
| 4.6 Dusičnany NO_3^- | 48 |
| 4.7 Fosforečnany o-PO_4^{3-} | 50 |
| 4.8 Sodík Na a Draslík K | 52 |
| 4.9 Vápník Ca a Hořčík Mg | 55 |
| 4.10 Železo Fe | 58 |
| 4.11 Mangan Mn | 61 |
| 4.12 Souhrn hodnocení fyzikálně chemických a anorganických parametrů podzemních vod | 64 |
| 5. Stanovení stáří podzemních vod | 66 |
| 5.1 Vodárenské vrty | 69 |
| 5.1.1 Vodárenské vrty na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 69 |
| 5.1.1.1 Vrt CK-1 | 69 |
| 5.1.1.2 Vrt MA-1 | 70 |
| 5.1.1.3 Vrt RH-6 | 70 |
| 5.1.1.4 Vrt RH-4 | 70 |
| 5.1.1.5 Vrt PE-1 | 70 |
| 5.1.1.6 Vrt Tb-J2 | 70 |



| | |
|--|----|
| 5.1.2 Vodárenské vrty a prameny na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 71 |
| 5.1.2.1 Vrt WW Hinterdorf Br. 2 | 71 |
| 5.1.2.2 Vrt HYLGR 1/76 (51546001)..... | 71 |
| 5.1.2.3 Vrt Drehe Borg 1/77 (51546004)..... | 71 |
| 5.1.2.4 Pramen Quelle Kurpark Jonsdorf..... | 72 |
| 5.1.2.5 WF Bürgerallee | 72 |
| 5.1.2.6 WF Teufelsmühle | 72 |
| 5.1.2.7 WF Weißbachtal | 72 |
| 5.2 Pozorovací vrty..... | 73 |
| 5.2.1 Pozorovací vrty na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin..... | 73 |
| 5.2.1.1 Vrt PL-2 | 73 |
| 5.2.1.2 Vrt PL-1 | 73 |
| 5.2.1.3 Vrt LO-12Jc (VP8439) | 73 |
| 5.2.1.4 Vrt RH-5 | 74 |
| 5.2.1.5 Vrt RP-3/1 | 74 |
| 5.2.1.6 Vrt RH-1 | 74 |
| 5.2.1.7 Vrt RH-3 | 74 |
| 5.2.1.8 Vrt RP-20 | 74 |
| 5.2.1.9 Vrt RP-22 | 75 |
| 5.2.2 Pozorovací vrty na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 75 |
| 5.2.2.1 Vrt Lückendorf 6/77 (51546006) | 75 |
| 5.2.2.2 Vrt GWBR 1/63 (51540600)..... | 75 |
| 5.3 Prameny..... | 76 |
| 5.3.1 Prameny na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 76 |
| 5.3.1.1 Pramen Studánka Luž | 76 |
| 5.3.1.2 Pramen Sirný pramen..... | 76 |
| 5.3.1.3 Pramen Vodopád u Heřmanic..... | 76 |
| 5.3.2 Prameny na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 77 |
| 5.3.2.1 König Johann Quelle (51542001) | 77 |
| 5.4 Mapa stáří podzemních vod v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin | 78 |
| 6. Míšení podzemních vod..... | 80 |
| 6.1 Pole míšení I. | 81 |
| 6.2 Pole míšení II. | 82 |
| 6.3 Pole míšení III. | 82 |
| 6.4 Pole míšení IV | 83 |



| | |
|---|----|
| 7. Závěr | 84 |
| 8. Použitá literatura a podklady | 87 |
| 9. Seznam použitých zkratek a symbolů | 91 |
| 10. Přílohy | 94 |
| 10.1 Příloha 1: Fyzikálně chemické a anorganické parametry podzemních vod pro českou část zájmovéhoúzemí..... | 95 |
| 10.2 Příloha 2: Fyzikálně chemické a anorganické parametry podzemních vod pro saskou část zájmovéhoúzemí..... | 96 |
| 10.3 Příloha 3: Tritium (^3H), monitoring 2012-2013..... | 97 |
| 10.4 Příloha 4: Dusičnany (NO_3^-), monitoring 2012-2013 | 98 |
| 10.5 Příloha 5: Fotodokumentace..... | 99 |



1. Úvod

Závěrečná zpráva je dílčím výstupem projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE), podporovaného z Programu Cíl 3 (Evropského fondu pro regionální rozvoj) na podporu přeshraniční spolupráce mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko.

Projekt GRACE je zaměřen na ochranu vodních zdrojů a objasnění příčin klesání hladin podzemních vod ve vymezené přeshraniční oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Výsledky projektu přispějí k udržitelnému využívání podzemních vodních zdrojů a zlepšení jejich ochrany, dálelepší ekologické povědomí veřejnosti, doplní odborné znalosti a pomohou vytvořit společné strategie ochrany podzemních vod těchto oblastí.

Závěrečná zpráva slouží k informaci o výsledcích prací, které se váží k území oblasti 2 Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin v rámci studie Stáří a míšení podzemních vod. Stručné zadání této studie je uvedeno ve schváleném projektu prací:

V oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin provede LP doplňující radiochemické rozbor společných vzorků v návaznosti na předchozí studii na německé straně, kterou poskytne PP1.

Studie Stáří a míšení podzemních vod byla na vybraných lokalitách souběžně doplněna o navazující metody stanovení stáří a míšení podzemních vod. Jedná se o metody stanovení stabilních izotopů $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$, ^3H - ^3He .

Řešitelé tímto děkují za spolupráci Českému hydrometeorologickému ústav (ČHMU), společnosti Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SČVK, a.s.) a také saským kolegům z Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Technische Universität Dresden (TUD) a Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Radebeul (BfUL).

2. Obecná charakteristika zájmového území

2.1 Vymezení zájmové oblasti

Zájmová oblast byla rámcově vymezena ve zprávě, která je přílohou 4 zápisu ze zasedání Stálého výboru Sasko v roce 2010 (SVS, 2010). Aktuální přehledná mapa vymezení zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin je uvedena na Obrázku 2.1 (VÚV TGM, 2013).

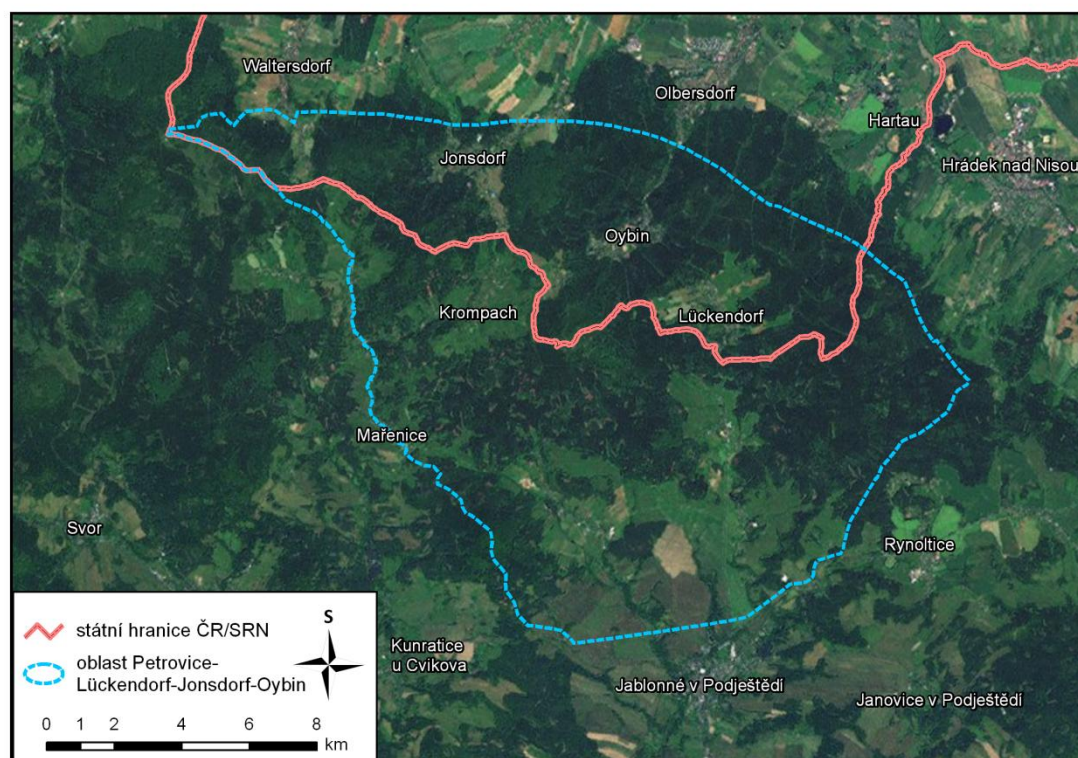
Zájmové území české části leží v Libereckém kraji, v okresech Česká Lípa a Liberec. Rozprostírá se v širším okolí Jablonného v Podještědí, Cvikova a Petrovic. Německá část zájmového území je součástí Svobodného státu Sasko a rozprostírá se v širším okolí Lückendorf, Jonsdorf a Oybin. Česká část zájmového území spadá z větší části pod CHKO Lužické hory. Saská část zájmového území spadá pod NP Žitavské hory.

Na severu a severovýchodě je zájmová oblast ohraničena lužickým zlomem. Část západní hranice území tvoří tok Svitávky. Hlavním vymežujícím faktorem byly hydrogeologické poměry a možný dosah depresí hladin podzemních vod.

Nadmořská výška zájmového území dosahuje hodnot od cca 310 m n. m. (odtok potoků Heřmanického, Železného a Kněžického ze zájmového území k jihu) do 793 m n. m. (vrchol hory Luž/Lausche).



Obrázek 2.1 – Mapa zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin (VÚV TGM, 2013).



2.2 Základní geologická a tektonická stavba oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

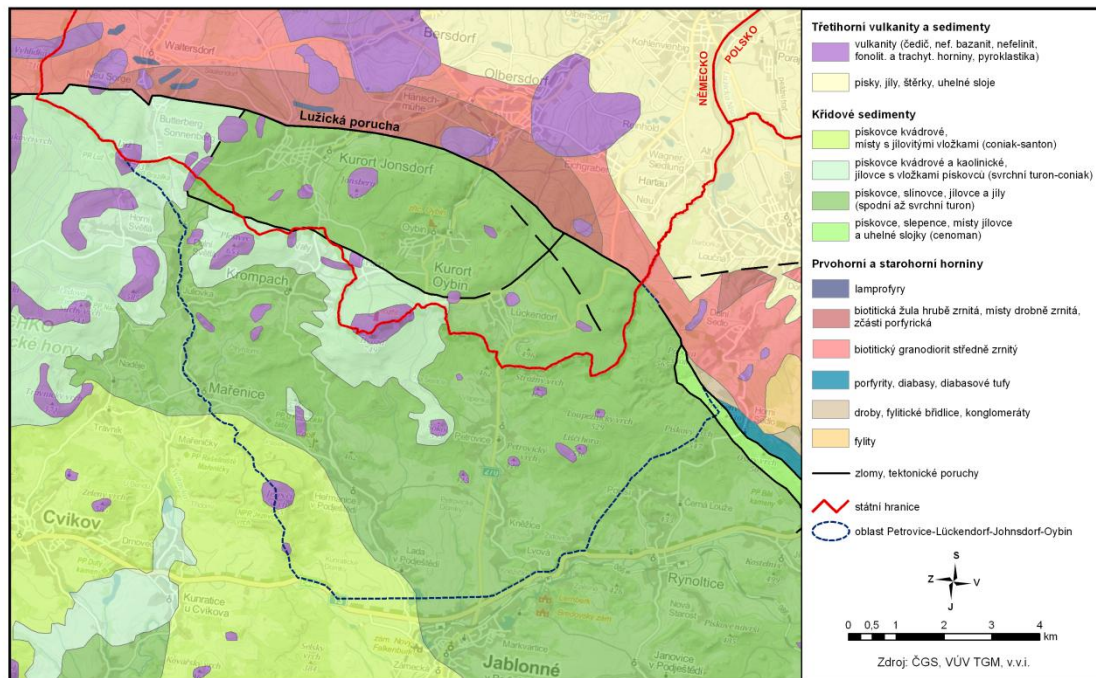
Zájmová oblast z geologického hlediska patří z českého pohledu k severní části české křídové pánve, k její lužické litofaciální oblasti. Oblast je součástí lokálně pojmenované jednotky "tlustecký blok". Přehlednou geologickou mapu uvádí Obrázek 2.2 (Pospíšil, Domečka, 1998)

Přibližně před více než 90 milióny lety zde došlo k transgresi svrchnokřídového moře. Postupně při poklesu mořského dna se zde usadil významný vrstevní sled hornin, tvořený hlavně pískovci a slínovci, lokálně i prachovci a slepenci. Podloží křídových sedimentů a oblasti severně od lužické poruchy tvoří horniny lužického plutonu, převážně granodiority a granity (např. Valečka et al., 2005).

Podloží svrchnokřídových sedimentů tvoří především epizonálně metamorfované horniny svrchního proterozoika (fylity, metabazity). Směrem z Ještědska do okolí Jablonného v Podještědí pokračuje úzký pruh hornin jitravské skupiny (fylitické břidlice s metakonglomeráty), které jsou svrchnodevonského až spodnokarbonského stáří. Do severního okraje území zasahují horniny lužického plutonu, které jsou prevariského (kadomského) stáří. Jsou zastoupeny rumburskou žulou a lužickým (seidenberským) granodioritem. Svrchnokřídové sedimenty jsou zastoupeny perucko-korycanským souvrstvím, bělohorským souvrstvím, jizerským souvrstvím, teplickým a březenským souvrstvím (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).

Svrchnokřídové sedimenty tvoří většinu povrchu zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Sedimenty perucko-korycanského souvrství vystupují na povrch při

Obrázek 2.2. – Geologická mapa zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin (Pospíšil, Domečka, 1998)



lužické poruše v okolí Jitavy, Zdislavy a Křížan, jinak jsou známy pouze z vrtů. Sedimenty reprezentují mořský vývoj cenomanského stáří. Pískovce jsou většinou bělošedé až načervenalé barvy, jemně až středně zrnité, obvykle křemenné až slabě jílovité. Ve vyšších polohách jsou jílovito prachovité. Ve spodní části souvrství se objevují polohy slepenců s valouny křemene a hornin z ještědského krystalinika. V podloží cenomanu jsou lokálně (východní část území a okolí Jablonného v Podještědí) vyvinuty polohy jílovců a prachovců, které reprezentují sladkovodní cenoman. Mocnost perucko-korycanského souvrství je v oblasti tlusteckého bloku proměnlivá a pohybuje se mezi 60 – 80 m. Minimální mocnost byla zaznamenána v JV části v okolí Křížan (okolo 3 m) a maximální v SZ části v okolí Kropmachu (až 120 m) a ve V části v okolí Jitavy a Zdislavy (okolo 100 m) (Mibus et al., 1998).

Dle saského členění odpovídají cenomanské vrstvy stupni *c1s*. Cenomanské vrstvy mají ve své skladbě pískovce různé zrnitosti. Převládá středně až hrubozrná frakce se střídavými jemně až slabě středně konglomeratickými příměsemi. Hrubozrnost, včetně až několikacentimetrových křemenů, a někdy sytá červená barva, to jsou vlastnosti, které je možné považovat za charakteristické pro křídové sedimenty v Žitavských horách (Mibus et al., 1998).

Bělohorské souvrství odpovídá spodnímu turonu. Spodní část souvrství tvoří slínovce o mocnosti až 30 m, které směrem do nadloží přechází do slinitých prachovců. Bázální slínovce jsou vyvinuty v celé oblasti a z hydrogeologického hlediska reprezentují významný izolátor mezi cenomanem a turonem. Dále do nadloží následují prachovité, vápnito-jílovité až slinité jemnozrné pískovce. Souvrství je ukončeno křemennými pískovci. Charakteristické je přibývání a hrubnutí klastické křemenné složky směrem do nadloží. Mocnost křemenných pískovců bělohorského souvrství je nejvyšší v SZ části území, kde dosahuje mocnosti 60-70 m. Směrem k JV se mocnost pískovců

postupně zmenšuje. Přibližně na linii Luhov-Janovice-Zdislava křemenné pískovce vyklíňují. Na JV od této linie pískovce plynule přechází z bělohorského do jizerského souvrství (Mibus et al., 1998).

Jizerské souvrství reprezentuje střední turon. Souvrství dosahuje mocnosti přibližně 400 až 450 metrů s nárůstem mocnosti od JJV k SSZ. Jizerské souvrství tvoří větší část tlusteckého bloku. Bazální část souvrství reprezentují až 15 metrů mocné vapnito-jílovité, jemnozrné pískovce. Nad bazální částí pískovce různé zrnitosti a jsou uspořádány obvykle do inverzních cyklů. Mocnost jednotlivých cyklů se pohybuje v rozmezí až desítek metrů. Gradace pískovců v jednotlivých cyklech narůstá směrem do nadloží, a to od jemných až po hrubě zrnité pískovce. Nejvyšší část jizerského souvrství dosahuje v J části území mocnosti 100 až 130 m. Tuto polohu reprezentují převážně jemnozrné, jílovité, vápnité pískovce, které směrem k severu přecházejí do jemně až středně zrnitých křemitých pískovců, které jsou uspořádány do inverzních cyklů (Mibus et al., 1998).

Vymezení teplického a březenského souvrství reprezentuje svrchní turon až coniac. Mocnost souvrství dosahuje 100 až 120 m. Nejmladší zachované křídové sedimenty budují Z a JZ část území tlusteckého bloku a zachovaly se i v denudačních reliktech, např. vrcholy Plešivec, Hvozď, Sokol. Skupina souvrství se vyznačuje velkou faciální proměnlivostí. Bazální část je tvořena prachovci a jílovcí. Směrem k S převládá písčité fácie na úkor prachovců a jílovců. V oblasti Jílového, Plešivce a Hvozdu je mocnost jílovců a prachovců redukována na méně než 12 metrů (Mibus et al., 1998).

Dle saského členění jsou turonské vrstvy vsazeny do podloží tzv. opukou labiatus *t1p*, která je složena z hutných a tvrdých vápenatých pískovců a prachovců a patří ke spodnímu turonu. Tuto vrstvu je možné kvůli jejímu velkému rozšíření považovat jak v Labských pískovcích, tak i v Žitavských horách za vodící horizont. Vrstvy nad vápenatými pískovci spodního turonu sestávají v Žitavských horách téměř bez výjimky z pískovců. Různě se naráželo na ± vápenaté pískovce, které hrají určitou roli pro stratifikace, jež jsou v Žitavských horách obtížné, pro hydrogeologické účely je však možné je, až na určité hydrochemické vlivy, zanedbat. Nacházejí se nad úrovní údolí, resp. nad volnou hladinou podzemní vody. V nejhlubších vrtech na německém území, ve vrtech 1E/60 a 1/63, byly nad opukou labiatus až k povrchu terénu navrtány pískovce o mocnosti 427 resp. 364 metrů, které je možné připočíst ke spodnímu a střednímu, a případně i ke svrchnímu turonu. Včetně pískovců nad dnem údolí dosahují mocnosti cca 430 metrů. Jelikož jim chybějí markantní vodící horizonty, je rozčlenění těchto vrstev jen těžko možné (Mibus et al., 1998).

Oblast je prorážena tělesy terciérních vulkanitů. Terciérní vulkanity jsou hlubokou erozí křídových sedimentů vypreparované alkalické vyvřeliny bazaltového a trachytového typu. SZ část je pokračováním zóny vulkanismu Českého středohoří. Vyskytují se zde trachytické a fonolytické horniny ve velkých subvulkanických tělesech (vrchy Luž/Lausche, Hvozď/Hochwald, Plešivec/Plissenberg, Kulich, Sokol, Jílový vrch, Jonsberg, Buchberg apod.). Pro JV část je charakteristický výskyt bazaltických hornin v drobnějších tělesech. Ostatní terciérní vyvřeliny vytvářejí většinou povrchově relativně malá tělesa, jedná se zejména o olivinické alkalické bazalty, nefelinické bazalty, limburgity, nefelinické tefrity s olivínem, olivinické nefelinity, subvulkanické bazaltoidní brekcie atp., zastoupené například ve vrcholových partiích hory Luž/Lausche a vrchů Strážného, Loupežnického, Kněžického, Kamenného, Pískového, Zámeckého apod. Často se zde vyskytují i silně silifikované a proželezněné zóny pískovců, které doprovázejí puklinové žíly vulkanitů (Mibus et al., 1998).

Z kvarterních sedimentů jsou zastoupeny uloženiny fluviální, glacifluviální, glaciální, eolické, deluviální a deluviofluviální. Nejstarší jsou relikt pleistocéních fluviálních



šterků, které pochází z doby před halštrovským či elsterským zaledněním. Toto zalednění mělo významný vliv na vývoj území, protože pevninský ledovec zasáhl až do Jitravského sedla. Zde jsou zachovány ledovcové sedimenty (čelní moréna). Glacifluviální sedimenty jsou dnes zachovány v mocnostech až 20 metrů v okolí Jablonného v Podještědí. Značné plochy území pokrývají sprašové hlíny, místy s přibývajícím uplatněním soliflukce přecházejí do uloženin eolicko-deluviálních (Mibus et al., 1998).

Tektonické postižení svrchnokřídových sedimentů v zájmovém území je poměrně rozsáhlé a komplikované. Výraznou tektonickou poruchou ve směru SZ-JV je lužický zlom. Tato přibližně 110 km dlouhá, složitá a velmi stará tektonická linie založená hluboko v zemské kůře má mezi Drážďany a Jitravou charakter plochého přesmyku. Pohyby na lužickém zlomu se v průběhu geologických období mnohokrát opakovaly. Ve třetihorách zde došlo k nasunutí severní kry lužického plutonu na jižněji ležící křídové pískovce. Vznikla tak stratigrafická inverze - převrácený sled hornin, kdy se starší granitoidní horniny nacházejí v nadloží mladších pískovců (Misař et al., 1983). Ve stejném směru s touto tektonickou strukturou probíhá předpokládaný zlom mezi Jitravou a Zdislavou a dále zlom probíhající mezi Loupežnickým vrchem a Rynolticemi. Přibližně stejný směr kopíruje heřmanický zlom, který odděluje blok středního turonu od zakleslé coniacské kry. Tektonické zlomy v zájmovém území, a to směrné, příčné i kosé, člení křídový pokryv do řady ker. Jednotlivé kry směrem od lužické poruchy zauímají převážně tektonicky nižší polohu. Tektonicky nejnižší položené kry proto nacházíme v JZ části území. Vrstvy v jednotlivých krách mají sklon přibližně 4 až 6° a jsou orientovány k JJZ. Směrem od lužické poruchy se úklon postupně zmenšuje (Mibus et al., 1998).

V saské části lze z polohy vrtů vyvodit také poruchu probíhající směrem SV-JZ, která kopíruje údolí z Oybinu do Olbersdorfu (s vodárenskými odběry Schulwiese a Teufelsmühlwiese). Jedná se o oybinskou poruchu. Přibližně 1 km východně od oybinské poruchy probíhá ve stejném směru SV-JZ scharfensteinská porucha (Mibus et al., 1998).

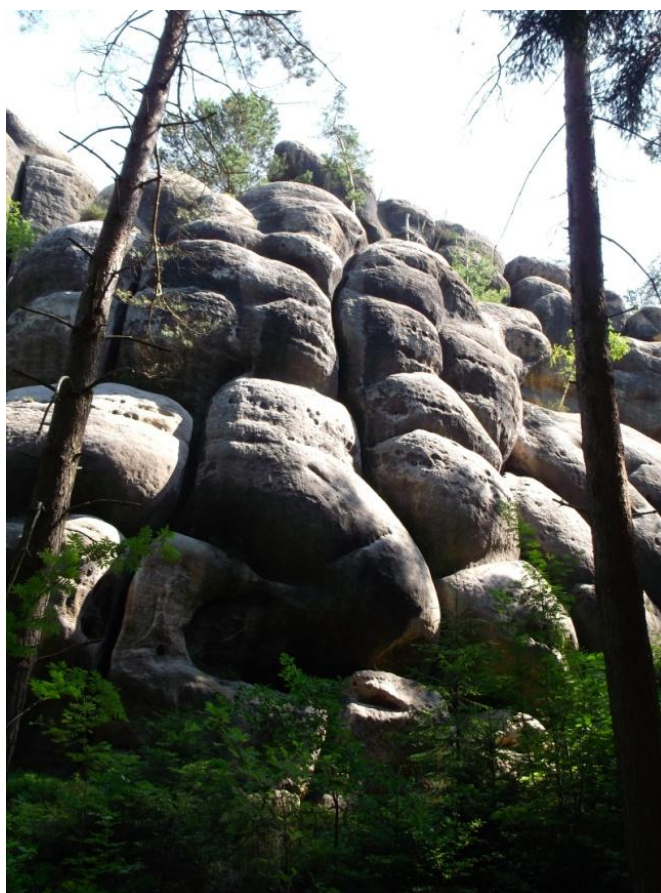
Obrázek 2.3 – Hora Hvozd (ČR) (foto © P. Eckhardt).



Obrázek 2.4 – Pískovce v NP Žitavské hory (Sasko) (foto © P. Eckhardt).



Obrázek 2.5 – Pískovce v NP Žitavské hor (Sasko) (foto © P. Eckhardt).



2.3 Obecná charakteristika podzemních vod

Podzemní vodou se rozumí voda přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení, které je v přímém styku s horninami. Je to voda v zemských dutinách a zvodnělých zemských vrstvách. Za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních a vrtech.

Útvar podzemní vody je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru. V hydrogeologii se kolektorem rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr. Naopak izolátorem se rozumí horninové těleso pro vodu málo propustné. Podzemní voda se v horninovém prostředí pohybuje převážně póry mezi jednotlivými částicemi hornin. V takovém případě se hovoří o průlinové propustnosti hornin, která se týká především sedimentárních hornin (písků, pískovců aj.) Naproti tomu omezeně propustné vyvěřelé nebo metamorfované horniny vedou vodu většinou po puklinách vzniklých v důsledku jejich rozpadu. V takovém případě se hovoří o puklinové propustnosti hornin. Pod názvem intersticinální voda, také průlinová nebo pórová voda, se rozumí voda zadržovaná v pórech (průlinách) mezi pevnými částicemi. Zvláštní skupinu tvoří horniny s krasovou propustností, kde si voda vytváří soustavu kanálů a těmi se pak pohybuje (Pitter, 2009).

Zásoby podzemních vod se doplňují trojím způsobem, a to infiltrací srážkových a povrchových vod, kondenzací vodních par v půdě a v neposlední řadě vznikem a kondenzací vodních par z magmatu. Nejvyšší podíl na doplňování podzemních vod má infiltrace srážkových a povrchových vod. Zdroje podzemních vod jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou (Pitter, 2009).

2.4 Hydrodynamika a stav podzemních vod v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Z geologického hlediska je zájmová oblast Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin tvořena převážně sedimenty svrchní křídly, zejména pískovci. Sedimenty jsou lokálně proráženy třetihorními vulkanity. Křídové sedimenty na české a německé straně jsou z litologického a hydrogeologického hlediska provázány. Vzhledem k tomuto faktu je oblast infiltrace plošně rozprostřena bez ohledu na státní hranici.

Z hydrogeologického hlediska leží území v hydrogeologickém rajónu základní vrstvy 464 – Křída horní Ploučnice. Hydrogeologické rajony spodní vrstvy jsou v zájmovém území zastoupeny útvarem 472 – Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe a 473 – Bazální křídový kolektor v benešovské synklinále (Olmer et al., 2006).

Saská část patří do útvaru podzemních vod NE 3.

Podle českého členění lze v zájmovém území rozlišit celkem tři základní zvodnělé kolektory. Hydrogeologický rajon 464 – Křída horní Ploučnice je charakterizován jako oblast významná pro tvorbu a oběh podzemních vod, což je mimo jiné podmíněno dobrou puklinovo-průlinovou propustností hornin a velkou mocností jmenovaných kolektorů. Pozice kolektorů a izolátorů podle českého členění v hydrogeologickém rajónu 464 – Křída horní Ploučnice je znázorněna na Obrázku 2.6 (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).

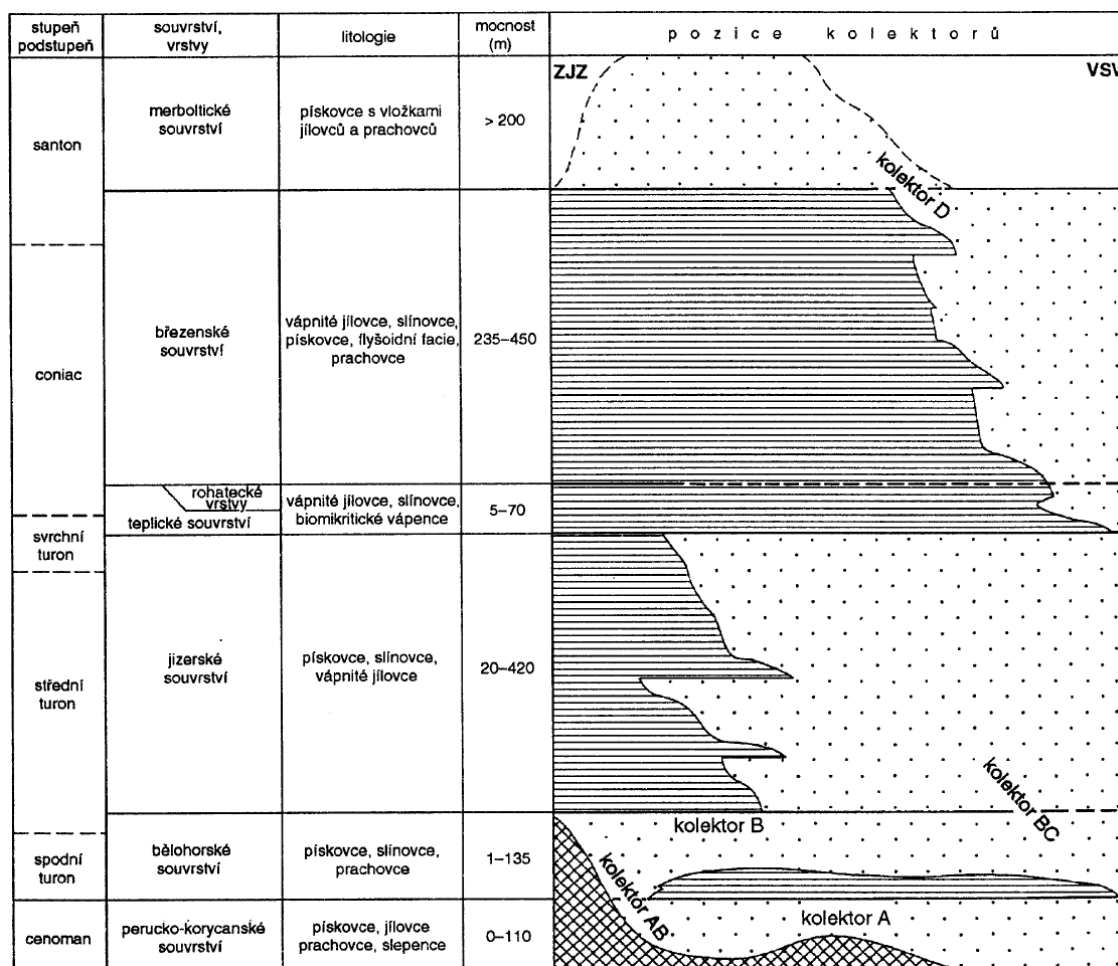
Bazální kolektor A je tvořen sedimenty perucko-korycanského souvrství (cenoman). Kolektor tvoří převážně pískovce, pouze v oblasti peruckých vrstev jsou prokládány



jílovcí. Granodiority, granity pod bází kolektoru jsou považovány za izolátor. Stropní izolátor tvoří bazální část bělohorského souvrství tvořená slínovci. Mocnost kolektoru A se průměrně pohybuje v rozmezí 40 – 70 m. Směrem k lužickému zlomu dosahuje mocnosti až 110 m a směrem k JZ mocnost klesá pod 30 m. Hlavní infiltrační oblast je situována podél lužického zlomu na rozhraní křídových sedimentů a krystalinika. Propustnost kolektoru je průlinově-puklinová. Koefficient transmisivity T klesá od SV k JZ a jeho střední hodnota dosahuje 60 m²/d (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).

Burda (1998) uvádí koefficient transmisivity T kolektoru A v korycanských pískovcích v rozmezí 6,6·10⁻⁵ až 7,2·10⁻⁴ m²/s. Oběh podzemní vody v kolektoru A směřuje od lužického zlomu k západu. Vzhledem k velké hloubce a poměrně vysoké mineralizaci není kolektor A využíván pro vodárenské účely.

Obrázek 2.6 – Pozice kolektorů a izolátorů podle českého členění v hydrogeo-logickém rájónu 464 – Křída horní Ploučnice (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).



Kolektor BC tvoří pískovce bělohorského B a jizerského C souvrství (spodní a střední turon). Nadloží kolektoru představuje teplické a březenské souvrství ve facii vápnnitých jílovců a slínovců a tvoří stropní izolátor kolektoru BC. Ve značné části zájmového území má kolektor volnou hladinu, jeho stropní izolátor byl denudován. V místech absence stropního izolátoru A (například podél lužického zlomu) nebo kde je tento

tektonicky porušen, dochází ke spojení kolektor A a BC v jeden kolektor ABC. Mocnosti kolektoru se pohybují v rozmezích od 60 m na JZ do 510 m na SV. Vzhledem k volné hladině kolektoru BC je napájen převážně srážkami prakticky v celém úseku povodí dolní Kamenice a Křinice. Odvodnění kolektoru BC zajišťuje tok Kamenice a jeho přítoky s výjimkou S okraje, kde je odvodněn na území Německa. Propustnost kolektoru je průlinově-puklinová a klesá od SV k JZ v závislosti na zvyšujícím se podílu prachovité a jílovité složky. Střední hodnota koeficientu transmisivity T je 232 m²/d (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).

Burda (1998) uvádí koeficient transmisivity T hlavního kolektoru BC v rozmezí $6,2 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Kolektor BC je v oblasti Petrovice využíván k vodárenským účelům. Koeficienty transmisivity izolátoru A/BC (převážně prachovce a slínovce bělohorského souvrství) a izolátoru BC/D (převážně prachovce, jílovce a vápnité jemnozrnné pískovce březenského a teplického souvrství) se odhadují v řádu 10^{-5} m²/s.

Kolektor D reprezentují pískovce březenského a merboltického souvrství. U lužické poruchy jsou jeho součástí i pískovce teplického souvrství. Souvisle se kolektor D vyskytuje především v Lužických horách a u východního okraje Českého Středohoří, kde je vázán na teplické a především březenské souvrství. Podloží kolektoru D tvoří vápnité jílovce, slínovce a flyšové facie teplického a březenského souvrství. Horní hranici kolektoru tvoří volná hladina podzemní vody. Hlavní infiltrační činitele představují atmosférické srážky a drenáž křídových kolektorů. Přirozené odvodnění kvarterního kolektoru zajišťují toky Křinice a Kamenice. Propustnost kolektoru je průlinově-puklinová a střední hodnota koeficientu transmisivity T je 65 m²/d (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).

Burda (1998) uvádí koeficient transmisivity T kolektoru D mezi $2 \cdot 10^{-4}$ až $1,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

Podobně jako v předchozích kolektorech, koeficient transmisivity T klesá od SV k JZ. Kolektor D není využíván pro vodárenské účely. Kolektor charakterizuje mělká zvodeň s volnou hladinou podzemní vody (Valečka, Herčík, Herrmann, 1999).

Na saské straně představují Žitavské hory kvůli bohatosti srážek a jejich pro vodu dobře propustným křídovým vrstvám významný rezervoár podzemní vody v jižní části Horní Lužice. Adekvátně geologické skladbě křídových vrstev je zde možné vyčlenit dvě patra zvodnělých horizontů, a to spodní patro tvořené cenomanskými vrstvami a horní patro tvořené turonskými vrstvami. Při porovnání s hydrogeologickými poměry Labských pískovců by spodní patro odpovídalo tamějšímu patru 4 a horní patro tamějšímu patru 3 až 2. Kvůli chybějícím hydroizolačním mezivrstvám v Žitavských horách odpadá další členění na patra 3 až 1, neboť tvoří jeden spojitý kolektor. Spodní patro (tj. cenomanský zvodnělý horizont c1s) se v prostoru Lückendorfu prezentuje významnou mocností čítající více než 100 m. Další rozšíření není celoplošně doloženo. Přínejmenším je možné se domnívat, že tato zvodeň je vymezena hrástovitým stropním zálohem u Oybinu, tzn. u scharfensteinské poruchy směrem na západ. Pokračování na druhé straně hrástu směrem na západ není známé (Mibus et al., 1998).

Tato zvodeň funguje jako kombinovaná průlinová a puklinová zvodeň, přičemž není možné uvést údaje k podílům průlin a puklin na vzniku nové podzemní vody. Prostřednictvím tektonických poruch jsou možné větší pohyby vody v horizontálním a vertikálním směru. Pískovce mohou být díky své hrubozrnnosti hodnoceny jako poměrně dobře až velmi dobře propustné. Limonitové částičky mohou lokálně omezit průchodnost pro vodu. Konkrétní hodnoty není možné kvůli absenci detailních průzkumů uvést. Kvůli své hloubkové poloze více než 380 m ve vrtu 1/63 (úroveň



údolí) a téměř 430 m ve vrtu 1 E/60 (Lückendorfská náhorní plošina) a kvůli velmi malé či chybějící možnosti infiltrace není toto patro v Žitavských horách vodohospodářsky zajímavé. Odlehčovací zóny tohoto patra je třeba hledat v jižních nížinách v horním patře, resp. nad horním patrem, takže Žitavské hory patří spíše k infiltračním zónám. Je tak zde nutné počítat s pohyby podzemní vody z horní do dolní zvodně (Mibus et al., 1998).

Pískovce a prachovce spodního turonu (opuky labiatus) vyvinuté nad cenomanskými vrstvami je třeba považovat za izolátory pohybu podzemních vod mezi dolním a horním patrem. Jejich účinnost není možné kvůli nedostatku vhodných odkryvů doložit na základě rozdílu v tlaku mezi oběma patry. Tak, jak je to zmíněno v českých zprávách a známo z Labských pískovců, mohou i v Žitavských horách existovat hydraulická spojení s nadložním patrem prostřednictvím tektonických poruch v opuce labiatus. Další výměna podzemní vody může probíhat jak prostřednictvím uvedených poruchových zón, tak i prostřednictvím spíše plošně působících mikrotektonických prvků. Inhibitor pohybu podzemní vody s mocností 16 až > 30 m tak umožňuje výměnu podzemní vody mezi oběma patry. V Labských pískovcích byly zjištěny vertikální koeficienty filtrace K mezi $5 \cdot 10^{-10}$ a $2 \cdot 10^{-9}$ m/s (Mibus et al., 1998).

Horní patro (tj. turonský zvodnělý horizont $t1p$) lze jednoznačně považovat za zvoďeň hlavní. Zahrnuje všechny pískovcové vrstvy nad opukou labiatus. Je tvořena vrstvami spodního až středního turonu. Výška zvodnělého horizontu je díky rozdílné hloubkové poloze dna podzemní vody, obzvláště v prostoru mezi Lückendorfem a Oybinem, a díky velkému spádu podzemní vody velmi diferencovaná (Mibus et al., 1998).

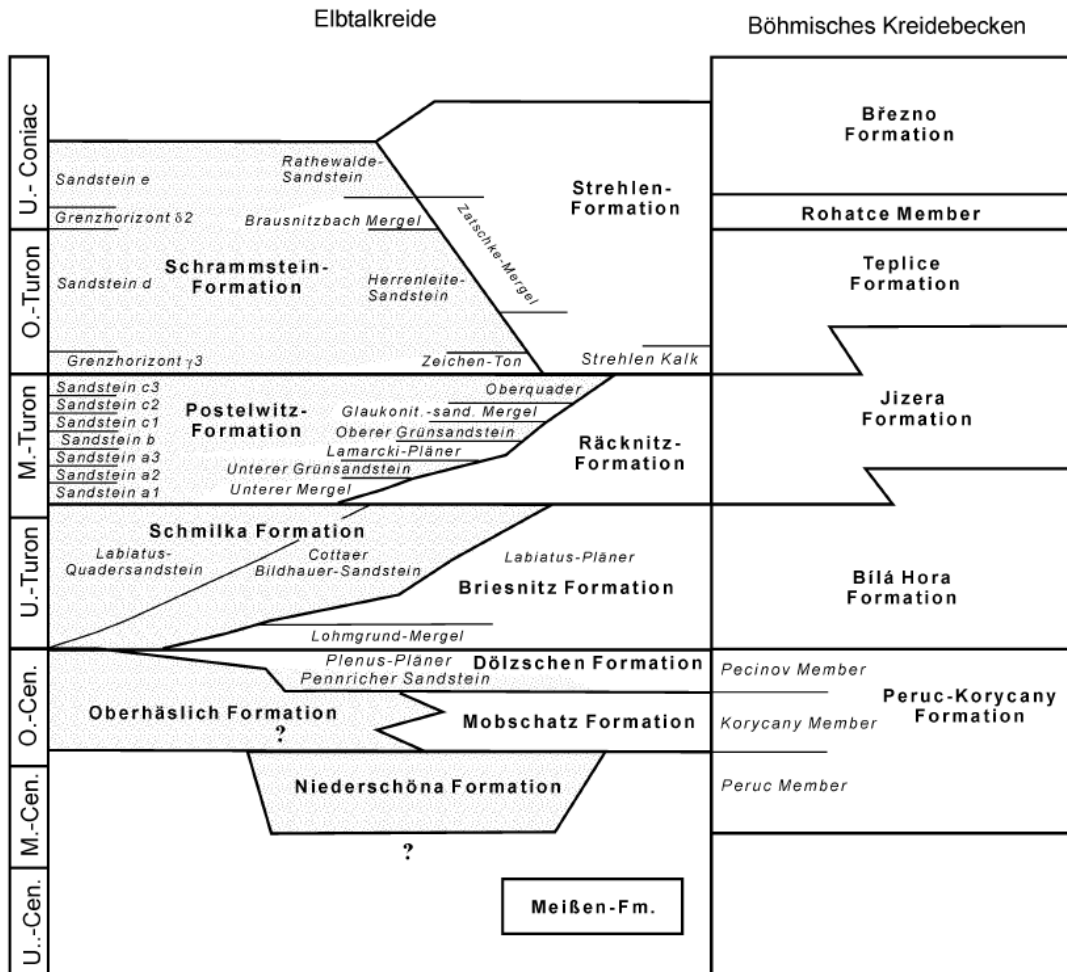
Pískovce v těchto vodou naplněných oblastech odpovídají svojí skladbou pískovcům spodního patra, takže propustnost je možné rovněž odhadovat jako relativně dobrou až velmi dobrou. Jedná se o průlinově-puklinovou propustnost. Hrubozrnné až jemnokonglomerátní pískovce vykazují přes středně zrnitou a částečně jemnozrnnou základní matici dobrou porozitu. Zóny puklin byly často popisovány hlavně z vrtných jader. V souladu s vylíčenou rozdílnou zrnitostí a puklinatostí, obzvláště pak vzhledem k obrovské mocnosti zvodně, je třeba vycházet z velmi diferencované propustnosti v rámci zvodně. Pro praktické účely je však třeba pracovat s jednotným faktorem propustnosti. Další problém tkví v posouzení vertikálního průtokového profilu. Můžeme se domnívat, že se nejhlubší zóny horní zvodně aktivně podílejí na průtoku podzemní vody pouze velmi skromně (Mibus et al., 1998).

Propustnosti byly stanovovány v průběhu průzkumných prací v letech 1976 až 78 při vrtání studní vrty Hy Lcr 1/76 (Lückendorf) a Hy Jon 1/77 (Jonsdorf) pomocí čerpacích zkoušek. Ve vrtu Hy Lcr 1/76 byla stanovena transmisivita T $8 \cdot 10^{-3}$ m²/s a koeficient filtrace K $3,2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ve vrtu Jon 1/77 byla stanovena transmisivita T $2 \cdot 10^{-3}$ m²/s a koeficient filtrace K $0,98 \cdot 10^{-5}$ m/s. Rozdíl v parametrech mezi oběma vrty vznikly vlivem lokálně velmi rozdílné puklinatosti. Pro větší zóny tektonických poruch, jako zóna scharfensteinské poruchy naznačená vrtem 5/77, platí vyšší koeficienty propustnosti (Mibus et al., 1998).

Podle saského členění se v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin nacházejí tři významné kolektory podzemních vod. Pro zásobování vodou má rozhodující význam spojitý kolektor 2 a 3, který komunikuje s povrchovou vodou zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Podzemní vody těchto kolektorů slouží jako zdroje pitné vody pro vodárenské zásobování oblasti Lückendorf-Jonsdorf-Oybin a pro jímací území Cvikov a Petrovice. Korelace souvrství křídových sedimentů v české a saské části jsou zobrazeny na Obrázku 2.7 (Voigt et al., 2013).



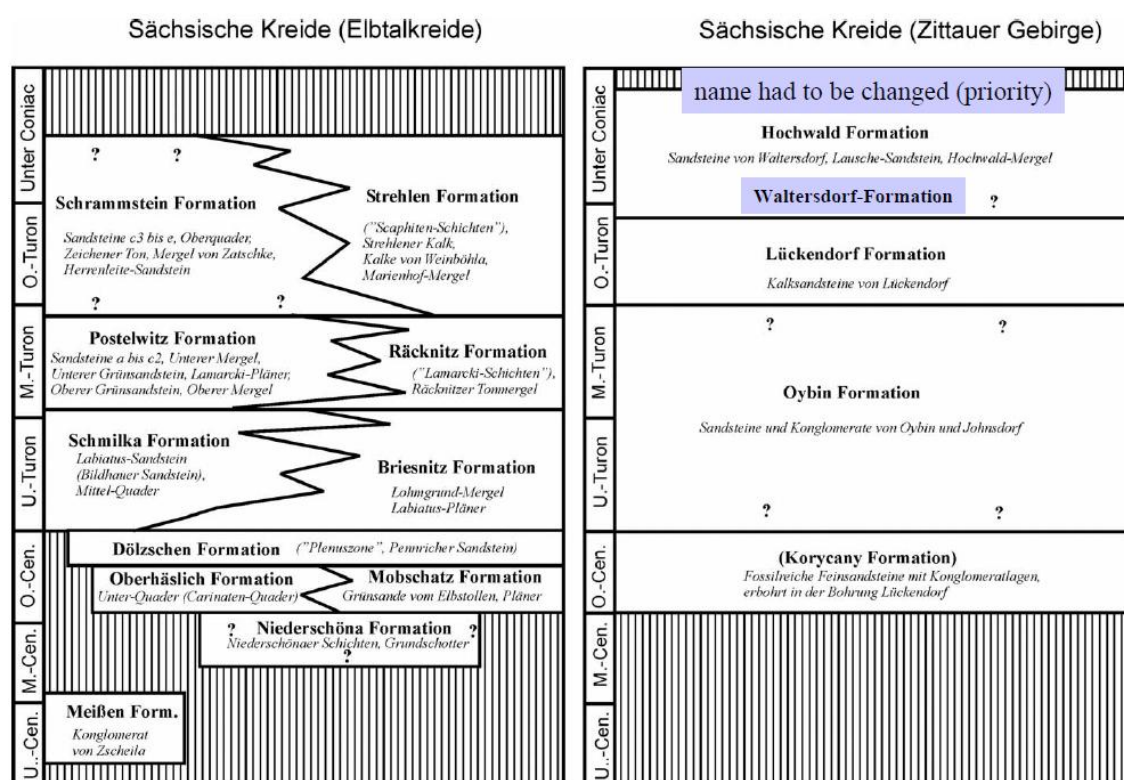
Obrázek 2.7. – Korelace jednotek křídových sedimentů v české a saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin (Voigt et al., 2013).



Březenské souvrství, rohatecké souvrství a teplické souvrství, která odpovídají svrchnímu turon a spodnímu coniacu, jsou na saské straně zastoupeny souvrstvím Strehlen-Formation a Schrammstein-Formation. Jizerské souvrství, které je středně turonského stáří, je na saské straně zastoupeno souvrstvím Räcknitz a Postelwitz. Bělohorské souvrství, které odpovídá spodnímu turonu, je na saské straně zastoupeno souvrstvím Schmilka-Formation a Briesnitz-Formation. Perucko-korycanskému souvrství, které odpovídá svrchnímu až střednímu cenomanu, je na saské straně zastoupeno souvrstvím Dölzchen-Formation, Mobschatz-Formation, Oberhäslich-Formation a Niederschöna-Formation. Jako izolátor jsou vyčleněny pouze krystalinické podloží a vrstvy Briesnitz-Formation (odpovídají spodní části bělohorského souvrství). Spodní kolektor 4 se nachází v cenomanských vrstvách Oberhäslich-Formation odpovídá kolektoru A. Vrstvy odpovídají z větší části perucko-korycanskému souvrství. Svrchní kolektor 2 až 3 ve vrstvách Postelwitz-Formation a Schrammstein-Formation odpovídá českému kolektoru BC. Vrstvy odpovídají jizerskému a případně i teplickému souvrství a kolektor je proložen pouze jednotlivými poloizolátory (např. vrstvy a, γ_3 , δ_2) (Voigt et al., 2013).

Podrobnou lokální korelaci saské křídý v oblasti Lückendorf-Jonsdorf-Oybin mezi labskými pískovci a Žitavskými horami provedl Voigt et al. (2013) a je znázorněna na Obrázku 2.8. Schrammstein Formation a Strehlen Formation v labských pískovcích odpovídá Hochwald Formation, Waltersdorf-Formation a Lückendorf Formation. Tyto souvrství náleží svrchnímu turonu a spodnímu coniacu. Ve středním turonu labských pískovců je vyčleněna Postelwitz formation a Räcknitz Formation. Ve spodním turonu labských pískovců je vyčleněna Schmilka formation a Briesnitz Formation. Těmto souvrstvím středního a spodního turonu labských pískovců odpovídá v Žitavských horách celistvá jednotka Oybin Formation. Cenomanským jednotkám labských pískovců Dölzschen Formation, Oberhäslich Formation, Mobschatz Formation a Niederschöna Formation odpovídá v Žitavských horách celistvá jednotka Korycany Formation (Voigt et al., 2013).

Obrázek 2.8. – Korelace jednotek křídových sedimentů labských pískovců a oblasti Žitavských hor (Voigt et al., 2013).



Poměrně detailní vyčlenění jednotek na české části zájmového území v oblasti Petrovic provedl Brožek (1982) a je znázorněna na Obrázku 2.9. Členění je charakteristické pro celou oblast tzv. „tlusteckého bloku“. Svrchní turon až coniac reprezentuje teplicko-březenské souvrství o mocnosti 100 až 120 metrů. Souvrství má proměnlivou hydrogeologickou funkci, především lokálního významu. Jizerské souvrství odpovídá střednímu turonu a dosahuje mocnosti 400 až 500 metrů. Souvrství má převážně volnou hladinu, s velkým vodárenským významem. Bělohorské souvrství reprezentuje spodní turon o mocnosti 50 až 100 metrů. Báze souvrství tvoří izolátor spodního turonu. Perucko-korycanské souvrství odpovídá cenomanu o mocnosti 3 až 120 metrů. Jedná se o zvodnělý kolektor s napjatou hladinou.

Obrázek 2.9. – Podrobné vyčlenění jednotek svrchní křídly v oblasti tlusteckého bloku podle Brožka (1982).

| Litostratigrafická jednotka | Stratigrafická pozice | Mocnost | Hydrostratigrafická jednotka |
|------------------------------|------------------------|-------------|--|
| teplicko-březenské souvrství | svrchní turon - coniac | 100 - 120 m | Proměnlivá hydrogeologická funkce, zvodnělé kolektory lokálního významu |
| jizerské souvrství | střední turon | 400 - 500 m | Zvodnělé kolektory středního turonu, převážně s volnou hladinou, s velkým vodárenským významem |
| bělohorské souvrství | spodní turon | 50 - 100 m | izolátory spodního turonu |
| perucko-korycanské souvrství | cenoman | 3 - 120 m | Zvodnělý kolektor cenomanu, převážně s napjatou hladinou |
| podloží (izolátor) | | | |

2.5 Rešerše k vrtům v zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Na české straně zájmového území v oblasti tlusteckého bloku probíhal intenzivní průzkum za účelem průzkumu jímacího území jako zdroj pitné vody pro obyvatelstvo v 60. a 70. letech minulého století. Pro celou oblast tlusteckého bloku byly vykázané přirozené zásoby podzemních vod jako 782 l/s v průměru a 550 l/s v mimořádných obdobích sucha. Specifická tvorba nové podzemní vody pak činí 6,8 resp. 4,8 l/s*km². Uvádí se využitelná vydatnost 400 l/s. Nakolik jsou v tomto údaji obsaženy zásoby Žitavských hor, není jasné. Správně se Žitavské hory z geologicko-hydrogeologického pohledu zahrnují do posuzování jako rámcová podmínka k tlusteckému bloku (Nakládal, 1975).

V roce 1961 zadala Krajská zpráva Zásobování vodou a kanalizace (později OVS) se sídlem v Liberci úkol provedení hydrogeologického průzkumu s cílem zajistit dostatečně vydatný zdroj pitné vody pro obec Krompach u Cvikova. Úkol byl zadán vodním zdrojům, n.p. Praha. U obce Krompach u Cvikova byl na základě požadavku vyhlouben vrt s označením S, který dosahoval hloubky 75 metrů. Požadovaná vydatnost dosahovala 6,25 l/s (Pištora, 1961).

V letech 1970 až 1973 byl realizován hydrogeologický průzkum území severozápadního lemu strážské zlomové linie mezi obcemi Noviny pod Ralskem, Křížany, Janovice a Doubice. Hydrogeologický průzkum byl zpracován na základě požadavku vodohospodářských pracovníků Severočeského kraje v zájmu ověření možnosti jímat kvalitní podzemní vodu. Celkem bylo zhotoveno 6 vrtů. V lokalitě Žibřidice byl vyhlouben vrt s označením TB-Ž1 do hloubky 158 metrů. Nedaleko obce Janovice byl vyhlouben vrt s označením TB-J2 do hloubky 350 metrů. V lokalitě Dubnice byl vyhlouben vrt s označením TB-D3 do hloubky 400 metrů. Dále byly v této lokalitě vyhloubeny další dva vrty. Vrt s označením TB-D4 dosáhl hloubky 400 metrů a vrt s označením TB-D5 dosáhl hloubky 368 metrů. V blízkosti obce Noviny pod Ralskem byl vyhlouben vrt s označením TB-D3 do hloubky 400 metrů (Pištora et al., 1973).

V roce 1973 objednal Inženýrský a investorský podnik – Krajské vodohospodářské rozvojové investiční středisko se sídlem v Teplicích u dodavatelského podniku Stavební geologie n.p. Praha hydrogeologický průzkum v oblasti hydrogeologické jednotky „tlustecký blok“. Hydrogeologický průzkum se zabýval řešením hydrogeologických poměrů komplexu turonských hornin v rámci tlusteckého bloku a probíhal v I. a II. etapě. Vrtné práce v I. etapě probíhaly v letech 1973 až 1975. Celkem bylo vyhloubeno 13 vrtů. Vrt VH-1 T byl vyhlouben do hloubky 360 metrů. V blízkosti obce Heřmanice byl vyhlouben vrt RH-1 do hloubky 410,5 metrů a vrt RH-1a do hloubky 360 metrů. U obce Lada byl vyhlouben vrt RH-2 do hloubky 315 metrů. Vrt RH-3 v blízkosti obce Lvová byl vyhlouben do hloubky 315 metrů. V blízkosti obce Krompach byl vyhlouben vrt s označením RP-1 do hloubky 56 metrů. Vrt RH-2 byl vyhlouben do hloubky 30 metrů. U obce Polesí byl vyhlouben vrt RH-3 do hloubky 95 metrů. Vrt RP-4 v blízkosti obce Petrovice byl vyhlouben do hloubky 100 metrů. Nad obcí Petrovice na státní hranici CZ/SRN byl vyhlouben vrt RP-5 do hloubky 50 metrů. V blízkosti obce Dubnice byl vyhlouben vrt RP-6 do hloubky 153 metrů. Jako poslední byly vyvrtány u obce Janovice vrty RP-7 do hloubky 62 metrů a RP-8 do hloubky 180 metrů (Nakládal, 1975).

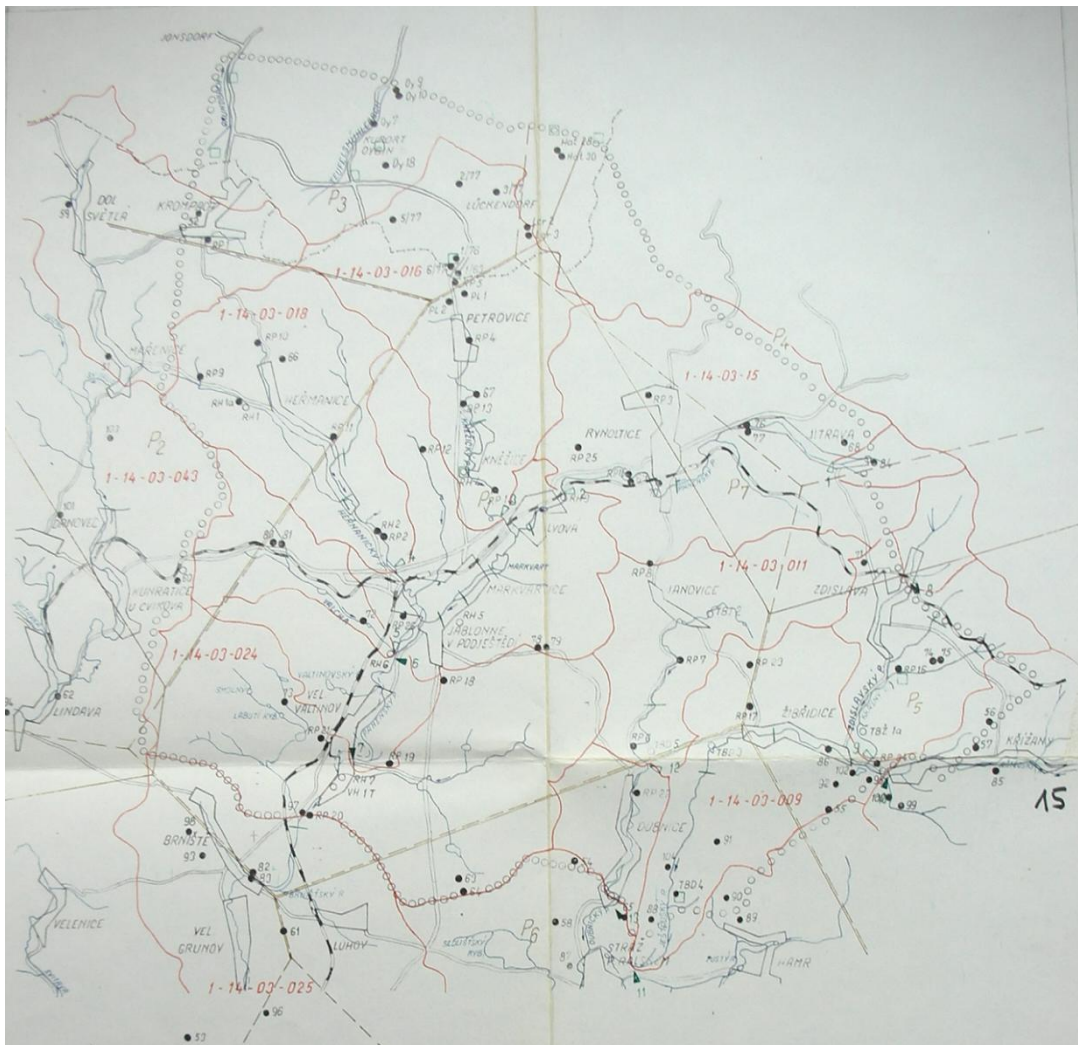
Objednávkou ze den 3.6.1977 si n.p. Silnice Teplice vyžádal hydrogeologický průzkum s cílem zajistit dostatečně vydatný zdroj pitné a užitkové vody pro rekreační a účelové zařízení „Lužické boudy“ u Krompachu. Na základě požadavků objednatele a předběžného posouzení byl na přelomu let 1977 a 78 odvrtán vrt HK-1 do hloubky 109



metrů. Vrt byl definitivně vystrojen jako jímací. Dlouhodobá čerpací zkouška (cca 16 dní) prokázala jeho vydatnost a kvalitu podzemní vody (Belohovec, 1978).

V roce 1976 byl zpracován projekt II. etapy průzkumných prací. V letech 1977 až 1978 došlo k přerušení prací na úkolu. K obnovení prací došlo až v roce 1979. Souhrnné výsledky II. etapy jsou zpracovány v Závěrečné zprávě o výsledcích geologicko-průzkumných prací „tlustecký blok“, kterou zpracoval Brožek (1982). V průběhu II. etapy bylo vyhloubeno 22 vrtů. V blízkosti obce Kněžice byl vyhlouben vrt RH-4 do hloubky 83 metrů. U obce Valdov byl vyhlouben vrt RH-5 do hloubky 202 metrů. Vrt RH-6 v blízkosti obce Jablonné v Podještědí byl vyhlouben do hloubky 200 metrů. V blízkosti obce Tlustce byl vyhlouben vrt s označením RH-7 do hloubky 200 metrů. Vrt RP-9 byl u obce Pasek vyhlouben do hloubky 50 metrů. U obce Krompach byl vyhlouben vrt RP-10 do hloubky 50 metrů. V blízkosti obce Heřmanice byl vyhlouben vrt RP-11 do hloubky 50 metrů. U obce Petrovice domky byl vyhlouben vrt RP-12 do hloubky 50 metrů. Vrt RP-13 v blízkosti obce Petrovice byl vyhlouben do hloubky 50 metrů. V blízkosti obce Kněžičky byl vyhlouben vrt s označením RP-14 do hloubky 50 metrů. Vrt RP-15 byl u obce Rynoltice vyhlouben do hloubky 51 metrů. U obce Zdislava byl vyhlouben vrt RP-16 do hloubky 62 metrů. U obce Žibřidice byl vyhlouben vrt RP-17 do hloubky 53 metrů.

Obrázek 2.10 – Umístění vrtů v oblasti tlusteckého bloku podle Brožka (1982).



Vrt RP-18 v blízkosti obce Jablonné v Podještědí byl vyhlouben do hloubky 80 metrů. V blízkosti obce Postřelná byl vyhlouben vrt s označením RP-19 do hloubky 55 metrů. Vrt RP-20 byl u obce Tlustce vyhlouben do hloubky 50 metrů. U obce Velký Valtínov byl vyhlouben vrt RP-21 do hloubky 51 metrů. V blízkosti obce Dubnice byl vyhlouben vrt RP-22 do hloubky 51 metrů. U obce Janovice byl vyhlouben vrt RP-23 do hloubky 51 metrů. Vrt RP-24 v blízkosti obce Žibřidice byl vyhlouben do hloubky 49 metrů. U obce Židovice byl vyhlouben vrt RP-25 do hloubky 57 metrů. V blízkosti obce Jablonné v Podještědí byl vyhlouben vrt RP-26 do hloubky 80 metrů (Brožek, 1982).

V letech 1976 až 1977 byly v rámci hydrogeologického průzkumu přeshraniční oblasti Petrovice - Lückendorf. Výsledná zpráva z roku 1978 byla zpracována na základě dohod dočasné pracovní skupiny NDR-ČSSR o průzkumu a využívání podzemních vod v prostoru Petrovice – Lückendorf. Na základě těchto dohod objednal KVRIS Teplice (nyní SČVK) průzkumné práce v uvedeném prostoru. Hlavním podkladem pro řešení úkolu byly výsledky tříměsíční čerpací zkoušky na studni 1/76 v Lückendorfu, při níž bylo šíření depresního kužele kontrolováno v pozorovacích vrtech. Na území ČSR byly pro tento účel vyhloubeny dva pozorovací vrty, situované severně od obce Petrovice. Vrt PL-1 byl vyhlouben do hloubky 58 metrů a vrt PL-2 byl vyhlouben do hloubky 50 metrů. Schématické rozložení vrtů je znázorněno na Obrázku 2.10 (Brožek, 1978).

V roce 1983 zadaly Severočeské vodovody a kanalizace se sídlem v Teplicích požadavek na vybudování zdroje pitné vody pro obec Petrovice. Dodavatelem prací byla Stavební geologie n.p. závod České Budějovice. V blízkosti obce Petrovice byl na základě požadavku vyhlouben vrt s označením PE-1, který dosahuje hloubky 80 metrů. Požadovaná vydatnost splňovala zadaný požadavek vydatnosti 5 l/s (Brožek, 1984).

Pro obec Mařenice v roce 1984 zadaly Severočeské vodovody a kanalizace se sídlem v Teplicích požadavek na vybudování zdroje pitné vody. Dodavatelem prací byly Vodní zdroje, n.p. Praha. U obce Mařenice byl na základě požadavku vyhlouben vrt s označením MA-1, který dosahuje hloubky 101 metrů. Požadovaná vydatnost dosahovala 20 l/s (Řeháčková, 1984).

Žitavské hory (Zittauer Gebirge) měly díky svým bohatým zásobám podzemních vod vždy velký význam pro dodávky pitné vody. Počínaje prvními zařízeními na zásobování vodou před více než sto lety (např. Weißbachtal 1872) byla podzemní voda zkoumána a její zdroje byly zpřístupňovány v širším rozsahu až do nedávné doby. Vedle rozsáhlých vrtacích prací a budování studní na přelomu dvacátých a třicátých let minulého století je nutné uvést průzkumy od roku 1955, které probíhaly se střídanou intenzitou až do roku 1990. Zvláštní význam mají průzkumy z období mezi lety 1976 a 1978, které vedly ke zřízení hlubinných studen v Lückendorfu a v Jonsdorfu a byly provázány rozsáhlými hydrogeologickými průzkumnými pracemi v oblasti Lückendorfu. Do tohoto období spadá i začátek spolupráce s českou stranou. Průzkumné práce prokázaly zásoby podzemní vody pro oblast Lückendorfu ve výši 2350 m³/d zásoby třídy C1 (příprava vodohospodářských investic) a 1550 m³/d zásoby třídy C2 (plánování dalších hydrogeologických průzkumných prací). K bezprostřednímu užívání zásob byl na 3 až 5 let povolen omezený zkušební provoz ve výši 4320 m³/d skládající se z obnovitelných a neobnovitelných zásob. O dalším užívání měl rozhodnout zkušební provoz. K tomuto zkušebnímu provozu a jeho plánovanému vyhodnocení však kvůli chybějícím investicím nedošlo. Ze studny Lückendorf 1/76 s pozdější přídatnou studnou 1/90 bylo do počátku 90. let v průměru odebíráno 14 až 38 l/s s krátkodobými špičkami představujícími cca 50 l/s. Pro odběrovou oblast Jonsdorf-Drehe byly v roce 1978 potvrzeny zásoby podzemní vody ve výši 3200 m³/d jako základ pro další průzkumy. Poté, co byly v letech 1990 a 1991 vyhloubeny a vyhodnoceny pro odběrová místa Lückendorf a Jonsdorf-Drehe přídatná studna pro



případy havárie a pro Waltersdorf a Jonsdorf Hinterdorf náhradní studna, neuskutečnily se žádné další technické práce na průzkumu podzemních vod ani na zpřístupnění dalších zdrojů podzemních vod. V letech let 1991 a 1992 byl v celé oblasti Žitavských hor zaznamenán významný úbytek odběrů podzemních vod. Vodárenské zdroje byly jednotlivě navštíveny a odborně posouzeny společně se zástupci provozovatelů, společností Stadtwerke Zittau GmbH a SOWAG mbH (Mibus et al., 1998).

V oblasti Lückendorfu byly pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou vybudovány následující vodní zdroje. V roce 1950 byla vybudována Obecní studna do hloubky 48 metrů. V rámci čerpací zkoušky, která trvala 70 hodin, bylo dosaženo průtoku Q 8,3 m³/h. Studna je v provozu a je spravována společností SOWAG. Čerpání mezi lety 1966 a 1971 bylo s průměrnými 8 m³/d velmi malé. Do roku 1975 nejsou k dispozici žádné další údaje. Pak začínají údaje o čerpání na hodnotě 84 m³/d. Do roku 1983 je zaznamenáván další slabý nárůst čerpání. Čerpací výkon byl většinou mezi 200 a 250 m³/d. V roce 1984 klesl čerpací výkon na průměrné hodnoty mezi 100 a 200 m³/d a zůstal konstantní na této úrovni až do konce roku 1992. Od roku 1993 se čerpání dále snížilo na hodnoty mezi 50 a 100 m³/d. Příčiny pro pokles čerpání je možné hledat ve snížené spotřebě vody (Mibus et al., 1998).

Průměrné denní a maximální denní jímané množství vody bylo obsažené v povolení pro užívání studny z roku 1969 (1 Z/NG – 125/69). Průměrné denní jímané množství vody bylo $Q_{\text{prům}}$ 33 m³/d a maximální denní jímané množství vody bylo Q_{max} 200 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Altbrunnen (stará studna) 1/76 bylo vybudováno v roce 1976 až 1997. Studna byla vyhloubena do hloubky 280 m. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 26.8. do 6.10.1977 (840 h), bylo dosaženo průtoku Q 184,7 m³/h. Studna byla uvedena do provozu dne 11.7.1978 a sloužila k zásobování města Zittau pitnou vodou. Je provozována společností Stadtwerke Zittau. Od dubna 1997 se čerpání neprovádí. Pro zachování funkčnosti je čerpadlo čas od času spouštěno. Pro tuto studnu bylo dne 19.9.1975 vydáno předběžné povolení k užívání. Toto povoluje pro rok 1976 maximální odběr 2160 m³/d. Do roku 1980 směl být tento odběr navýšen na 4320 m³/d. Odběrová množství byla registrována od uvedení studny do provozu až do roku 1997. Od roku 1978 do roku 1985 docházelo k postupnému navyšování čerpaného množství z 1000 na 1700 m³/d. V roce 1985 se odběr dále zvýšil na 2500 m³/d. Čerpání pak zůstalo až do konce roku 1991 přibližně na této úrovni, až došlo počátkem roku 1992 k téměř totálnímu poklesu čerpání. Časté odstávky čerpání jsou výrazem silně pokleslé poptávky po vodě (Mibus et al., 1998).

Jímací místo pozemek Neubrunnen (nová studna) 501/90 bylo vybudováno v roce 1990. Studna byla vyhloubena do hloubky 200 metrů. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 26.8. do 6.10.1977 (840 h), bylo dosaženo průtoku Q 124 m³/h. Tato studna byla vyhloubena jako náhradní studna ve vzdálenosti 48 m od staré studny 1/76 a provozuje ji společnost Stadtwerke Zittau. Slouží k zásobování města Zittau pitnou vodou, doposud však téměř nebyla využívána. Samostatné povolení pro užívání k této studni není k dispozici. Údaje o čerpání jsou k dispozici z let 1996 až 1997. V roce 1996, v době odstávky staré studny, dodávala nová studna vodu průměrným výkonem 243 m³/d. Po odstávce trvající od ledna do dubna 1997 se čerpalo až do doby najeť zase okolo 138 m³/d (Mibus et al., 1998).

Dále jsou uvedeny odběrná místa jímající vodu z mělčích hloubek. U jímacího místa v údolí Weißbachtal se jedná o 16 průtokových a sběrných jímaných pramenů s proloženými vsakovacími řády jímajícími podzemní vodu, kterou zadržuje Lužická porucha. Zařízení byla vybudována v letech 1874 až 1876 a dosahují hloubky mezi 2,0 a 5,1 m. Jímací místo Weißbachtal pokrývá největší část dodávek pitné vody pro město



Zittau. Povolení pro užívání z roku 1972 (1Z/NG – 229/72) stanovuje průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}} 1120 \text{ m}^3/\text{d}$ a maximální denní jímané množství vody $Q_{\text{max}} 1150 \text{ m}^3/\text{d}$. Údaje o odběrech podzemní vody jsou k dispozici z let 1976 až 1997. Jímací místo dodávalo dlouhodobě stabilně vodu v hodnotě povětšinou mezi 1800 a 3000 m^3/d . V období 1976 až 1997 bylo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}} 2123 \text{ m}^3/\text{d}$ a maximální denní jímané množství vody $Q_{\text{max}} 4758 \text{ m}^3/\text{d}$. Stabilní vydatnost byla doložena i hodnotami naměřenými v letech 1921 až 1955, které činila 1900 až 2680 m^3/d . Z celkového pohledu je odběr nebo vydatnost přibližně od roku 1986 klesající (Mibus et al., 1998).

U Johannquelle se jedná o přetokové prameny na Lužické poruše. Jsou jímány ve svahu pomocí jímek v hloubce 2,6 až 4,5 m. Toto místo je obhospodařováno společností Stadtwerke Zittau a slouží k dodávkám pitné vody pro město Zittau. Povolení z roku 1972 k užívání (1Z/NG-223/72) povolovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}} 1630 \text{ m}^3/\text{d}$ a maximální denní jímané množství vody $Q_{\text{max}} 1650 \text{ m}^3/\text{d}$. Údaje o vydatnosti pramenů jsou k dispozici z let 1977 až 1993. V nejbližší minulosti se již neprovádělo separátní registrování vydatnosti. Jelikož se jedná o odhadnuté hodnoty, není již možné provést smysluplné statistické vyhodnocení. Na grafickém zobrazení je nápadný pouze slabý pokles vydatnosti. Tento pokles je rovněž dlouhodoběji od roku 1930 doložen staršími údaji, ale reprezentativnost údajů není jednoznačná. V období 1977 až 1973 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}} 972 \text{ m}^3/\text{d}$ a maximální denní jímané množství vody $Q_{\text{max}} 1443 \text{ m}^3/\text{d}$ (Mibus et al., 1998).

Štola Hartau náleží obcí Hartau a slouží pro vlastní zásobování vodou. Jedná se o přibližně 40 m dlouhou štolu. Jímací místo štola Hartau je zmíněno jen kvůli úplnosti, protože má jen velmi podřadný vliv na vodní bilanci podzemních vod. V oblasti Oybin byly vybudovány jako zdroje jímání pitné vody studny Bürgerallee, Schulwiese, Elfenwiese a Teufelsmühlwiese. V roce 1972 zde bylo vystaveno povolení k užívání vody pro Oybin (1 Z/NG – 227/72). Dle tohoto povolení dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}} 8320 \text{ m}^3/\text{d}$ a maximální denní jímané množství vody $Q_{\text{max}} 8400 \text{ m}^3/\text{d}$ (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Bürgerallee studna 1 byla vyhloubena v roce 1974 jako náhradní studna pro zborcenou studnu (dnešní studna 2), která do té doby dodávala vodu jako jediná. Do provozu byla uvedena pravděpodobně v červenci 1975. Studna byla vyhloubena do hloubky 130 metrů a slouží k zásobování města Zittau pitnou vodou. Spravuje ji společnost Stadtwerke Zittau. Kryt studny byl v roce 1996 renovován a při tom byl nainstalován umělý přepad, protože v minulosti nastoupala hladina vody při odstávce čerpání až 0,75 m pod strop krytu studny. V době kontrolní obhlídky bylo čerpání na studni odstaveno. Naměřená hydrostatická hladina nereprezentuje přirozenou hladinu podzemní vody, ale je regulována umělým přepadem (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Bürgerallee studna 2 byla vyhloubena v období 1955 až 1956 a byla vyhloubena do hloubky 70 metrů. Studna slouží k zásobování Oybinu pitnou vodou a spravuje ji společnost Stadtwerke Zittau. Od havárie v roce 1973 (zborcení filtru) čerpá studna již jen se sníženým výkonem čítajícím max. 10 m^3/d . Stejně jako u studny 1 byl i u studny 2 v roce 1996 renovován kryt studny a byl nainstalován umělý přepad. Údaje k čerpání jsou k dispozici od roku 1960 do roku 1997. Údaje z let 1964 a 1965 chybějí. Zpravidla je známo pouze celkové čerpání daného zařízení (studny 1 a 2). Teprve od roku 1994 je možné oddělit čerpání obou studní. Předtím existují oddělené hodnoty měření pouze ojedinele. Odhlédneme-li od špiček a odstávek, odebíralo toto zařízení do roku 1990 téměř rovnoměrně mezi 1300 a skoro 2000 m^3/d . V období 1966 až 1991 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}} 1305 \text{ m}^3/\text{d}$ a maximální denní jímané množství vody $Q_{\text{max}} 3713 \text{ m}^3/\text{d}$. Další pokles odběrů se uskutečnil v roce 1991,



a to na 200 až 350 m³/d. Po ještě jednom zvýšení čerpání na 1.100 až 1.600 m³/d v první polovině roku 1991 poklesl odběr strmě dolů na průměrných 166 m³/d. Na této úrovni zůstává čerpání až do současnosti. Tendence u odběrů je slabě klesající. Až na jednotlivé výjimky byla studna 1 mezi lety 1994 a 1997 odstavená (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Elfenwiese bylo vybudováno v roce 1928. Jedná se o pramenný zdroj prohloubený vrtem na 23,2 m. Je spravován společností Stadtwerke Zittau a slouží k zásobování města Zittau pitnou vodou. Momentálně má velmi malý podíl na dodávkách pitné vody a slouží hlavně ještě jako injektorový pohon pro odvodušňování násoskového potrubí Schulwiese. Při normálním provozu se voda přivádí do studny 6 Schulwiese a tam je pomocí násoskového potrubí dodávána do sítě. Nadbytečná voda je odváděna do Hausgrundbachu (Mibus et al., 1998).

Jímací zařízení Schulwiese sestává z 6 vrtaných studní, každá z nich má hloubku cca 40 m. Studny čerpají s pomocí násoskového zařízení. Voda jímací místa Elfenwiese je spolupřiváděna do studny č. 6. Ke 4 ze 6 studní jsou k dispozici geologické profily vrtů (Mibus et al., 1998).

Údaje o čerpání jsou u zdrojů Schulwiese a Elfenwiese k dispozici z let 1966 až 1997. Z měřičsko-technických důvodů byly oba zdroje vždy měřeny společně. Od roku 1996 je možné sledovat oddělené hodnoty pro čerpání z Elfenwiese a Schulwiese. Podle těchto dílčích měření připadá asi 25 % čerpání na Elfenwiese a 75 % na Schulwiese. Oba vodárenské zdroje běží již jen s minimálním výkonem. Statisticky byla pro lokality Schulwiese a Elfenwiese zjištěna následující množství čerpané vody. V období 1966 až 1997 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 2587 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 5634 m³/d. Většinou se čerpalo 2000 až 3000 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Teufelsmühlwiese studna 1 bylo vybudováno v roce 1939. Hloubka studny činí 91,5. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 15.6. až 24.6.1949, bylo dosaženo průtoku Q 173 m³/h. Studna 2 Teufelsmühlwiese byla vybudována na přelomu let 1948 až 1949. Studna byla zbudována do hloubky 83,2 metrů. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 12.2. až 21.2.1949, bylo dosaženo průtoku 90 m³/h. Obě studny jsou užívány pro zásobování města Zittau pitnou vodou. Jsou provozovány společností Stadtwerke Zittau. Údaje o čerpání jsou k dispozici pro léta 1953 až 1997 s mezerou let 1958 až 1966. Průměrné čerpané množství bylo mezi roky 1953 a 1980 na 4.160 m³/d. Pak bylo zaznamenáno snížení odběrů na přibližně 2.499 m³/d. Při částečně silně kolísajících odběrových množstvích zůstává čerpání do poloviny roku 1993 na této úrovni. Poté odběr skokově klesá na průměrných 105 m³/d. Od května 1997 je studna odstavená (Mibus et al., 1998).

Následně jsou uvedeny odběrná místa jímací vodu z mělčích hloubek. Jímací místo Hain sestává ze 4 jímaných pramenů s hloubkou 2 až 3 m. Bylo vybudováno v roce 1897. Voda vytéká volně. Tento vodárenský zdroj je od července 1995 mimo provoz. Hygienické pásmo ochrany pitné vody bylo zrušeno dne 27.3.96. Byla uzavřena dohoda se soukromým uživatelem. Tento využívá přetékač vodu pro rybochovný rybník. Údaje o čerpání jsou k dispozici od roku 1986 až do odstavení vodárenského zdroje v roce 1995. Jedná se o odhadnuté údaje. V období 1986 až 1995 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 35 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 80 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Hochwald sestává ze dvou pramenných šachet s hloubkou 3 a 5 metrů. Bylo vybudováno v roce 1938. Pramen vytéká volně. Slouží k zásobování restaurace ve vyhlídkové věži na Hochwaldu pitnou vodou a spravuje je společnost SOWAG. Ochranné pásmo pitné vody bylo ustanoveno na základě usnesení okresního sněmu ze dne 19./24.11.1977. Povolení k užívání vod (1 Z/NG – 195/72) povoluje průměrné a



maximální čerpání ve výši 150 m³/d. Údaje o čerpání vody jsou k dispozici z let 1986 až 1997 s mezerou let 1992 a 1994. V období 1986-3 až 1996 dosahovalo odhadem průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 109 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 241 m³/d. Naměřený odběr od 4/1996 má následující hodnoty, průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 133 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 171 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Hölle sestává z 2 nebo 3 jímacích zařízení pramenů v hloubce 2 až 3 metry. Bylo vybudováno v roce 1897. Zařízení Hölle je od ledna 1996 mimo provoz. Odběr vody byl prováděn jako řízený podle spotřeby vody pomocí čerpadel. Ochranné pásmo pitné vody vodárenského zdroje Hölle bylo zrušeno dne 27.3.1996. Jeho likvidace se uskutečnila v letech 2005 až 2010. Odběrová množství jsou k dispozici od roku 1968 až do jeho odstavení v roce 1995. Od roku 1981 množství čerpané vody neustále klesalo. V období 1968 až 1995 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 101 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 209 m³/d (Mibus et al., 1998).

Pramenné jímací místo Hungerborn (označované i jako Hungerbrunnen) bylo vybudováno v roce 1949. Slouží k zásobování pitnou vodou a spravuje jej společnost SOWAG. Údaje o odběrech jsou k dispozici z let 1986 až 1997. Přesné měření přítoku se provádělo teprve od roku 1993. Před tímto termínem existují pouze hrubé odhady. Odhadem v období 1986 až 1993 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 194 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 250 m³/d. Dle měření v období 1993 až 1997 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 263 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 568 m³/d (Mibus et al., 1998).

V oblasti Jonsdorf byly pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou vybudovány následující vodní zdroje. Studna 1/29 byla vybudována v roce 1929 a hloubka činila 120 metrů. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 22.10. až do 6.11.1929, bylo dosaženo průtoku Q 59 m³/h. Studna byla uvedena do provozu v červenci 1986 a od té doby slouží k zásobování pitnou vodou. Je spravována společností SOWAG. Povolení k užívání z roku 1997 (reg.č. 692.222-75/97) povoluje průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 700 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 850 m³/d. Údaje o množstvích čerpané vody jsou k dispozici od uvedení studny do provozu v roce 1986 až do roku 1997. Odběry silně kolísaly a většinou se nacházejí mezi hodnotami od 100 do 700 m³/d. Od roku 1987 do roku 1993 vykazují odběry klesající trend. Skokové zvýšení čerpání od roku 1993 je vysvětlitelné výpadkem studny Hintersdorf a mimo jiné i odstavením vodárenských zdrojů Plissenberg a Hänischmühe. Dle měření v období 1986 až 1997 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 456 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 1090 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Hinterdorf stará studna 2/30 bylo vybudováno v roce 1930. Hloubka studny činí 58,8 m. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 20.10. až 22.10.1930, bylo dosaženo průtoku Q 36 m³/h. V průběhu času se velmi volný pískovec (do 33 m pod terénem) zmobilizoval, takže se studna plnila pískem. S tím spojené snížení výkonu vyvolalo potřebu náhradní studny. Tato tzv. nová studna byla vyhloubena v roce 1989. Starší studna sloužila spolu se studnou 502 E/89 k zásobování pitnou vodou a spravuje ji společnost SOWAG. V roce 1972 bylo vystaveno povolení k užívání (1 Z/NG – 202/72) s průměrným denním odběrovým množstvím vody $Q_{\text{prům}}$ 306 m³/d a maximálním denním odběrovým množstvím vody Q_{max} 325 m³/d (Mibus et al., 1998).

Hinterdorf nová studna 502 E/89 byla vybudována v roce 1989 a dosahuje hloubky 83,5 metrů. Čerpací zkouška, která proběhla od 25.8. až do 29.8.1989, prokázala



dosažení průtoku Q 48 m³/h. Kryt studny byl v roce 1997 renovován. Studna slouží společně se studnou 2/30 k zásobování pitnou vodou a je spravována společností SOWAG. K této studni neexistuje zvláštní povolení k užívání. Je zjevně užívána v rámci stávajícího povolení k užívání vody pro studnu 2/30. Údaje o čerpání jsou pro odběrovou oblast Hinterdorf k dispozici od roku 1970 do roku 1997. Oddělené zaznamenávání čerpaných množství nebylo od uvedení nové studny do provozu prováděno. Odebíraná množství vody nové studny jsou obsažena v množstvích uváděných pro starou studnu. V době mezi roky 1970 a 1976 bylo většinou odebíráno 300 až 400 m³/d. Mezi lety 1976 a 1993 následuje perioda se zvýšeným čerpáním s odběrovými množstvími většinou mezi 700 a 900 m³/d. Čerpání v tomto období vykazuje celkově klesající tendenci. Mezi lety 1993 a 1995 čerpání z velké části stálo. V roce 1995 opětovně rozjeté čerpání v hodnotách převážně mezi 100 a 500 m³/d vykazuje do roku 1997 rovněž klesající trend. S tím korespondují i měření poklesu mezi lety 1993 a 1996, které odrážejí zvýšení hladiny vody v obou studnách. Jelikož čerpání vody se řídí spotřebou vody, nesouvisí klesající odebíraná množství vody se snižující se vydatností studní, nýbrž spíše se sníženou spotřebou vody (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Drehe stará studna 1/77 bylo vybudováno v roce 1977. Hloubka studny činí 225 m. Na základě čerpací zkoušky, která probíhala od 25.1. až do 21.2.1978, bylo dosaženo v 1. stupni (hloubka 18,0 m) průtoku Q 78,8 m³/h a v 2. stupni (hloubka 33,7 m) průtoku Q 165,7 m³/h. Studna byla uvedena do provozu v roce 1988. Nachází se u přečerpávací stanice Drehe a slouží společně s novou studnou 501/90 k zásobování pitnou vodou. Je spravována společností SOWAG. V roce 1997 bylo vystaveno povolení k užívání (692.222-76/97) s průměrným denním odběrovým množstvím vody $Q_{\text{prům}}$ 2200 m³/d a maximálním denním odběrovým množstvím vody Q_{max} 2400 m³/d. Toto povolení bylo vydáno společně pro obě odběrná místa Drehe, a to novou i starou studnu (Mibus et al., 1998).

Drehe nová studna 501/90 byla vybudována v roce 1990 a dosáhla hloubky 200 metrů. Čerpací zkouška, která proběhla od 5.12. až do 9.12.1990, prokázala dosažení průtoku Q 94 m³/h. Studna se nachází u přečerpávací stanice Drehe a slouží společně se starou studnou 1/77 k zásobování pitnou vodou. Je spravována společností SOWAG. Údaje o čerpání přečerpávací stanice Drehe jsou k dispozici mezi lety 1988 a 1997. Obsahují odběrová množství staré a nové studny, nakolik už byla nová studna v provozu. Od roku 1990 zaznamenáváme u odběrů klesající trend. Množství čerpané vody přitom kleslo z >2.000 m³/d v roce 1989 na <1.000 m³/d v roce 1997. Dle měření v období 1980 až 1990 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 2040 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 3209 m³/d (Mibus et al., 1998).

Mezi další významná odběrová místa v lokalitě Drehe patří společně studna PGH, pramen Jonsdorf a Jonsdorf Unterdorf. Rok výstavby se uvádí 1928 a hloubka 19,2 metrů pod terénem. Studna v zahradě vedle bývalého PGH napájí násoskové zařízení, které se také označuje jako pramen Jonsdorf, s 3 studnami s trubkovým filtrem a 2 šachtovými studnami. Násoskové zařízení bylo vybudováno v roce 1928. Sloužilo k zásobování obce Großschönau pitnou vodou a bylo v lednu 1989 zrušeno ve prospěch hlubinných studní u přečerpávací stanice Jonsdorf-Drehe. Ochranné pásmo pitné vody bylo dne 15.5.1991 zrušeno. V období 2000 až 2005 docházelo k útlumu a likvidaci zařízení. Údaje k čerpání vody jsou pro násoskové zařízení (pramen Jonsdorf) k dispozici od roku 1970 až do jeho odstavení v roce 1988. Pro studnu u PGH jsou k dispozici údaje k odebraným množstvími vody mezi roky 1978 a 1988. Studna PGH byla po odpojení násoskového zařízení ještě 6 měsíců v provozu. Odběr pramene Jonsdorf činil od roku 1970 do roku 1976 průměrně 908 m³/d a do poloviny roku 1988 pomalu stoupal na cca 1.433 m³/d. Do roku 1983 byl odběr ze studny PGH kolem 200 m³/d. Od roku 1983 do roku 1985 došlo ke zvýšení čerpacího výkonu 1175 m³/d, na



kterých zůstal do poloviny roku 1988. Posledních 6 měsíců roku 1988 jela studna po odpojení násoskového zařízení na ještě vyšší odběr čítající 1950 m³/d. Definitivní odstavení Dále jsou uvedeny odběrná místa jímající vodu z mělkých hloubek. Pramen Kurpark (lázeňský park) byl podchycen v roce 1934. Jedná se o vydatný puklinový pramen. Kvůli velmi malým odběrům je od ledna 1996 dočasně mimo provoz. V roce 1972 bylo vystaveno povolení k užívání (1 Z/NG – 202/72) s průměrným denním odběrovým množstvím vody $Q_{\text{prům}}$ 306 m³/d a maximálním denním odběrovým množstvím vody Q_{max} 325 m³/d. Údaje k čerpání jsou k dispozici pro roky 1970 až 1995. Ačkoliv se jedná o pramen, není zde logická souvislost mezi vydatností a srážkami. Důvodem je to, že se u uváděných množství nejedná o přirozený případ, nýbrž o odběr podmíněný spotřebou vody. Odběrová množství jsou téměř rovnoměrně rozdělena na rozmezí od 100 do 200 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Bertsdorf tvořily 4 zařízení pro jímání pramenů a bylo vybudováno v útvech pleistocénu a holocénu. Odběrová místa jsou v hloubce cca 3 metry. Zařízení je mimo provoz. Hygienické pásmo ochrany pitné vody bylo na základě rozhodnutí ze dne 23.8.1995 zrušeno. Likvidace zařízení proběhla v roce 1997. Údaje o čerpání vody jsou k dispozici od roku 1970 do roku 1991. Údaje dokládají rovnoměrný odběr s průměrem 387 m³/d mezi lety 1970 a 1989. V roce 1989 čerpání vody kleslo na 79 m³/d, v dubnu 1990 pak opět stoupl na hodnoty kolem 260 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Plissenberg tvořily 3 zařízení na jímání pramenů. Zařízení bylo od února 1992 odstaveno a od ledna 1993 je mimo provoz. Hygienické pásmo ochrany pitné vody bylo zrušeno 22.12.1993. Likvidace již byla ukončena. Údaje o čerpání vody jsou k dispozici od roku 1970 do roku 1992. Od roku 1985 byla odebíraná množství vody jen odhadována. V období 1970 až 1992 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 31 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 235 m³/d (Mibus et al., 1998).

Jímací místo Hänischmühe sestávalo ze 3 zařízení na jímání pramenů. Od dubna 1992 je mimo provoz. Hygienické pásmo ochrany pitné vody bylo zrušeno 22.12.1993. Likvidace již byla ukončena. Údaje o čerpání vody, které jsou k dispozici od roku 1970 do roku 1992, vykazují rovnoměrné čerpání se slabě klesající tendencí. V období 1970 až 1992 dosahovalo průměrné denní jímané množství vody $Q_{\text{prům}}$ 33 m³/d a maximální denní jímané množství vody Q_{max} 119 m³/d (Mibus et al., 1998).



3. Metodika a rozsah provedených prací

3.1 Odběr vzorků

Odběr vzorků proběhl v období 2012 až 2013. Celkem byly odebrány vzorky podzemních vod z 12 vodárenských vrtů, 11 pozorovacích vrtů a 5 pramenů. Odběr vzorků podzemní vody probíhal v souladu s normou ČSN ISO 5667-11. Příklady odběrných míst jsou zachyceny na Obrázku 3.1.

Z vodárenských vrtů byly na české straně odebrány vzorky z funkčních vrtů ve správě SČVK, a.s., a to PE-1, MA-1, CK-1, RH-4, RH-6 a Tb-J2. Na saské straně byly vzorky odebrány z vodárenských vrtů HYLGR 1/76 (51546001), WW Hinterdorf Br.2, Drehe Borg 1/77 (51546004), WF Bürgeralle, WF Teufelsmühle, WF Weißbachtal, které provozují vodárny SOWAG a Stadtwerke Zittau.

Vzorky z pozorovacích vrtů byly na české straně odebrány z vrtů PL-1, PL-2, RH-1, Lo-12Jc, RP-3/1, RH-3, RH-5, RP-20 a RP-22. Na saské straně byly vzorky odebrány z pozorovacích vrtů Lückendorf 6/77 (51546006) a GWBR 1/63 (51540600).

U pramenů byly na české straně odebrány vzorky ze Studánky Luž, Sirného pramene a Vodopádu u Heřmanic. Na saské straně byly vzorky odebrány z pramenů Quelle Kurpark Jonsdorf a König Johann Quelle (51542001).

Reprezentativní vzorek podzemní vody pro stanovení tritia byl vždy odebírán do dvoulitrové plastové vzorkovnice. Pro určení fyzikálně-chemických parametrů byl vzorek odebrán do dvou 250 ml a jedné 100 ml plastové vzorkovnice. Vzorky byly vždy odebírány v dynamickém stavu. V případě vodárenských vrtů probíhal odběr ze vzorkovacího kohoutu při spuštěném čerpadle, kdy čerpaný vrt byl v provozu minimálně 24 hod. U každé lokality byla pořízena fotodokumentace a proběhlo zaměření pomocí GPS.

Po zhruba 1 minutě odtoku vody ze vzorkovacího kohoutu byl odebrán reprezentativní vzorek. U pramenů probíhal odběr v těsné blízkosti prameniště z přirozeného vývěru, přepadového profilu nebo odtokové roury. Vzorky z pozorovacích vrtů byly odčerpány pomocí přenosné čerpací techniky. Vzorek z pozorovacího vrtu byl odebrán po odčerpání množství vody odpovídající minimálně třem objemům daného vrtu.

Schématické rozložení vodárenských vrtů, pozorovacích vrtů a pramenů v rámci zájmového území znázorňuje Obrázek 3.2.

Data k jednotlivým odběrovým lokalitám byla čerpána z archivů: Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SČVK, a.s.), Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), www.geofond.cz, www.chmi.cz, www.umwelt.sachsen.de, www.gracecz.cz, www.sciencedirect.cz, www.geology.cz.



Obrázek 3.1 – Objekty pro odběry vzorků podzemních vod (foto © P. Šimek, P. Eckhardt).



RP-3/1 Polesí



MA-1 Jůliovka



CK-1 Vodárna Cvikov



GWBR 1/63 (51540600) Lückendorf

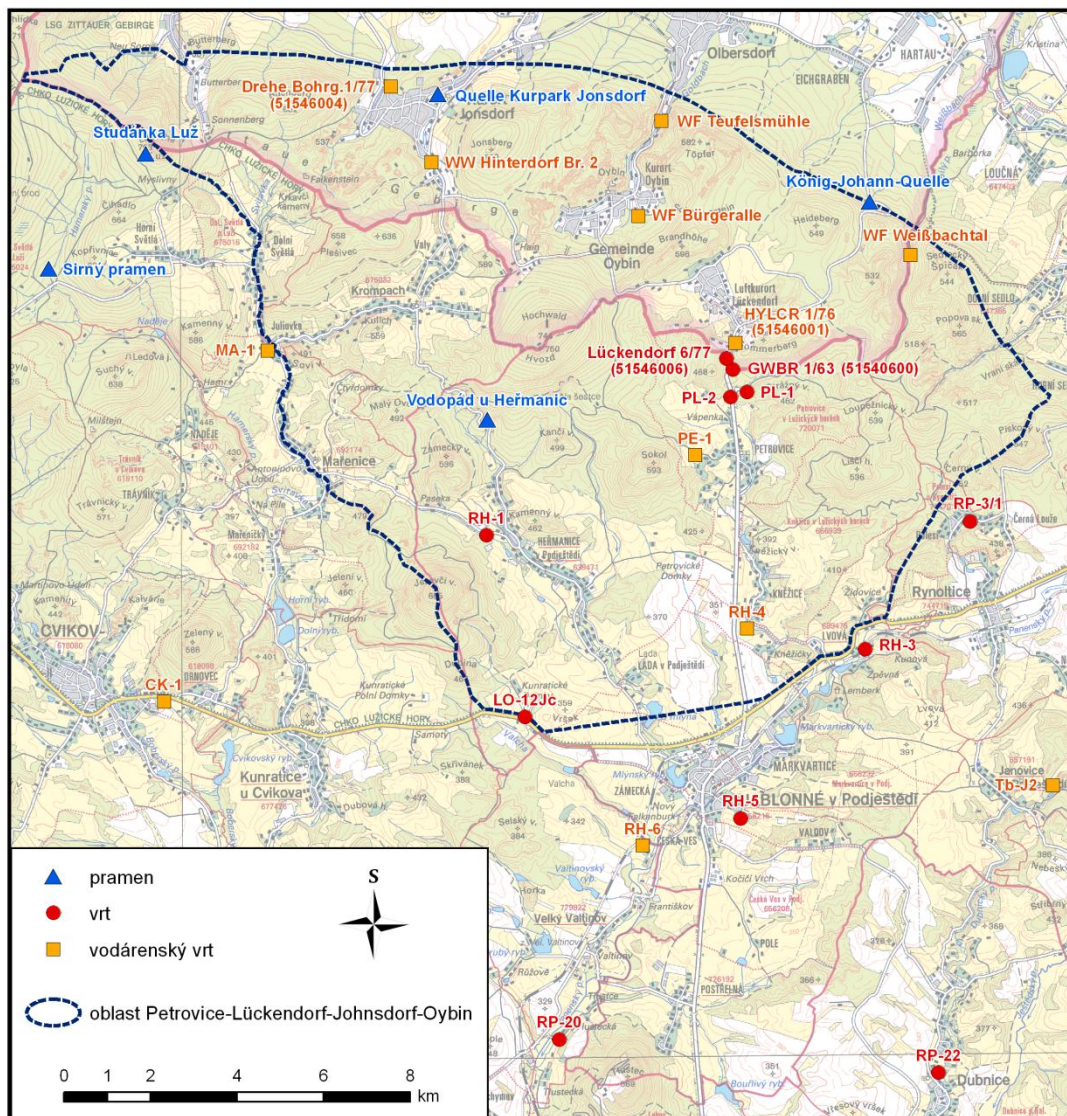


König Johann Quelle (51542001)



WF Weißbachtal

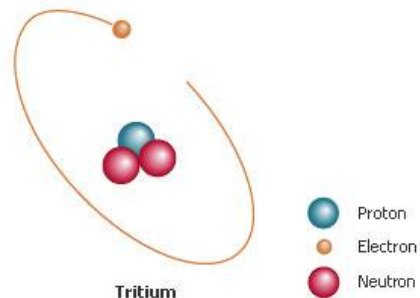
Obrázek 3.2 - Schématické rozložení vrtů a pramenů v rámci zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin.



3.2 Vlastnosti tritia

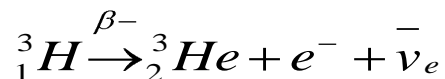
Tritium (^3H) je radioaktivní izotop vodíku, který objevil v roce 1934 lord Rutherford při ozařování těžké vody deuteriovým svazkem (Penzhorn, 2013). Protium (^1H) je nejhojnější izotop vodíku. Atom protia obsahuje jeden proton a relativní atomová hmotnost činí 1,00794. Jako deuterium (^2H) neboli těžký izotop vodík se označuje atom, který obsahuje v jádře jeden proton a jeden neutron a od běžného vodíku se liší především relativní atomovou hmotností, která činí 2,01363. Jádro tritia obsahuje jeden proton a dva neutrony. Skladba atomu tritia je schematicky znázorněn na Obrázku 3.3 (www.newenergyandfuel.com).

Obrázek 3.3 – Schéma skladby atomu tritia (www.newenergyandfuel.com).

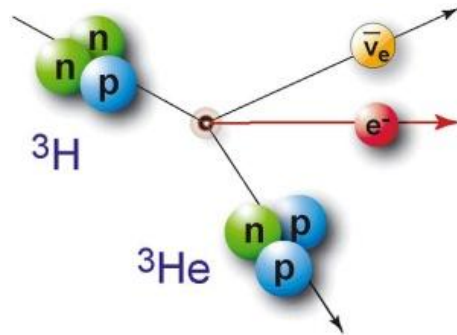


Relativní atomová hmotnost tritia je 3,016049. Národní institut pro standardy a technologie NIST (USA) uvádí poločas rozpadu tritia 4500 ± 8 dní (cca 12,32 roků), (Lucas, Unterweger, 2000).

Obrázek 3.4 – Schéma rozpadu tritia (^3H) na 3-helium (^3He) (www.newenergyandfuel.com).



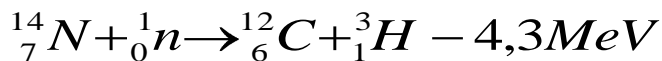
Tritium podléhá beta rozpadu (β^-) za vzniku 3-helia (^3He). Při rozpadu produkuje elektron (e^-), antineutrino ($\bar{\nu}_e$) a uvolňuje energie 18,6 keV (Lucas, Unterweger, 2000). Radioaktivní přeměna tritia (^3H) na 3-helium (^3He) je schematicky znázorněn na Obrázku 3.4 (www.newenergyandfuel.com).



K vyjádření aktivity tritia se kromě SI jednotek (Bq/kg, Bq/l) často používá i tritiová jednotka (tritium unit, TU). Je vyjádřena jako poměr atomů ^3H a ^1H (Rozanski, Gröning, 2004).

$$1\text{TU} = \left[\frac{^3\text{H}}{^1\text{H}} \right] \times 10^{-18} = 0,11919 \pm 0,00021 \text{ Bq/kg}$$

Přírodní tritium vzniká v oblasti vrchní troposféry a zejména spodní stratosféry reakcí rychlých neutronů kosmického záření s atmosférickým dusíkem. Vzhledem k tomu, že jde o endotermické reakce, jsou potřebné neutrony o energii vyšší než 4 MeV. Jedná se zejména o reakci dusíku ^{14}N (Penzhorn, 2013).



K určení koncentrace ${}^3\text{H}$ ve srážkách v době před jadernými testy, tj. koncentrace odpovídající pouze přirozeným procesům, byla využita měření ${}^3\text{H}$ ve víně (z uzavřených lahví, bez přístupu vzduchu, známého ročníku). Z těchto měření byla stanovena přirozená koncentrace ${}^3\text{H}$ ve srážkách v oblasti Bordeaux (Francie) 4,3 TU, v oblasti jezera Michigan (USA) 7,7 TU a v oblasti povodí Mississippi (USA) 5,2 TU.

V zemské kůře vzniká tritium přirozenými procesy samovolného štěpení a radioaktivní přeměnou izotopů thoria a uranu, dále pak absorpcí neutronu borem, ${}^6\text{Li}$, ${}^3\text{He}$ nebo ${}^2\text{H}$. Tyto zdroje představují méně než 1 % celkové produkce tritia přírodními procesy a mohou být tedy zanedbány.

Nejvýznamnějším umělým zdrojem tritia v životním prostředí byly v minulosti testy jaderných zbraní, a to především ty v atmosféře. Ostatní umělé zdroje mají hlavně lokální význam. Jedná se o výpustě z jaderných reaktorů, závodů na přepracování vyhořelého jaderného paliva, velká experimentální technická, civilní nebo vojenská zařízení (Penzhorn, 2013).

Atmosférické jaderné testy byly prováděny v období 1945–1980 především Spojenými státy americkými a bývalým Sovětským svazem. Další státy, které také tyto testy realizovaly, byly Velká Británie, Francie a Čína. Nejvíce testů bylo uskutečněno v obdobích 1951–1958 a 1961–1962. Na základě jednání mezi oběma mocnostmi došlo ke krátkodobému omezení testů v letech 1959–1960, avšak následovaly mohutné testy v dalším období. Politická situace nakonec vedla k dohodě mocností a v roce 1963 byla uzavřena Smlouva o částečném zákazu jaderných zkoušek (Partial Test Ban Treaty), která zakazovala jaderné testy v atmosféře, pod vodou a ve vesmíru. Některé země, např. Francie a Čína, k dohodě nikdy nepřistoupily a pokračovaly s nadzemními testy až do roku 1974, resp. 1980. Mezinárodní snahy o zákaz testů jaderných zbraní vedly k uzavření Smlouvy o úplném zákazu jaderných zkoušek (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) v roce 1996 (Marešová, 2012).

Celkově vyprodukované ${}^3\text{H}$ do roku 1963 je odhadováno na 323 kg, během počátku sedmdesátých let došlo k navýšení na 550 ± 160 kg. Tritium se primárně dostalo do vysokých vrstev stratosféry a postupně dochází k pronikání ${}^3\text{H}$ do troposféry. Nejvyšší koncentrace ${}^3\text{H}$ v atmosféře byla pozorována v roce 1963, a to 6000 TU (Ottawa, Kanada, měsíční měření ve srážkách), (Penzhorn, 2013).

Testy probíhaly především na severní polokouli. V důsledku toho byly i nejvyšší koncentrace ${}^3\text{H}$ v oceánech pozorovány v oblastech mezi padesátým a dvacátým stupněm severní šířky, což je zesíleno i jarním zeslabením tropopauzy, které závisí na zeměpisné šířce. V osmdesátých letech došlo k postupnému snížení ${}^3\text{H}$ ve srážkách a vyrovnání koncentrací mezi severní a jižní hemisférou, a to v důsledku radioaktivního rozpadu a také postupného ředění umělé vneseného tritia v oceánech (Penzhorn, 2013).

V jaderných elektrárnách obsahuje vyhořelé palivo z reaktorů významné množství tritia. Je ovšem pevně vázáno přibližně z 60 % ve formě tritidu zirkonia a ze 40 % v oxidech uranu. Pouze velmi malá část je v plynné formě, která se může uvolnit během přepracování paliva. I když z celkového obsahu tritia ve vyhořelém palivu jde o minoritní podíl, vzhledem k množství zpracovávaného paliva ve výsledku se jedná o významné výpustě. Závody na přepracování vyhořelého paliva za běžného provozu vypouštějí o 1–2 řády více tritia než jaderné reaktory (Penzhorn, 2013).



K méně významným zdrojům tritia patří velká výzkumná fúzní zařízení a další civilní i vojenská výzkumná zařízení nakládající s tritiem. Mezi nejvýznamnější patří „The Joint European Torus“ (JET). V současnosti jde o největší provozované výzkumné fúzní zařízení na světě, které se nachází ve Velké Británii. Ve výstavbě je také tokamak ve Francii, Cadarache, „International thermonuclear experimental reactor“ (ITER). Mezi světově nejvýznamnější výzkumné laboratoře pracující s koncentrovaným tritiem patří laboratoře v Karlsruhe (Německo), v Tokaimura (Japonsko) nebo Savannah River Site (USA), (Marešová, 2012).

Vysoké koncentrace tritia ve srážkách na počátku šedesátých let nabízí jedinečnou příležitost pro datování mladších podzemních systémů v poměrně široké škále věkových kategorií. Tritium je stále nejvhodnější pro sledování mladších vod (cca 5–50 let), zejména na severní polokouli (Maloszewski, Zuber, 1996).

3.3 Metodika stanovení tritia, fyzikálně chemických a anorganických parametrů

Studie je založená na datování podzemních vod pomocí tritia (viz. kapitola 3.4). Analýzu tritia provedla Laboratoř radioekologie VÚV TGM pomocí kapalinové scintilační metody po elektrolytické koncentraci vzorku (Rozanski, Gröning, 2004), (Marešová, 2012).

Pro doplnění byly u vybraných lokalit stanoveny fyzikálně chemické parametry, a to pH, sírany (SO_4^{2-}), chloridy (Cl^-), orto-fosforečnany (o-PO_4^{3-}), dusičnany (NO_3^-), hydrogenuhličitan (HCO_3^-), sodík (Na) a draslík (K), vápník (Ca), železo (Fe), hořčík (Mg) a mangan (Mn). Analýzy fyzikálně chemických parametrů provedla Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů VÚV TGM a Zkušební laboratoř technologie vody VÚV TGM.

Aktivita tritia byla stanovena za použití nízkopozadového kapalinové scintilačního detektoru Quantulus 1220 vyrobeného firmou Wallac. Stanovení radionuklidu tritia bylo v souladu se standardem ČSN ISO 9698 (1996). Relativní detekční účinnost byla 22%. Detekční limit pro směs 8 ml vzorku a 12 ml scintilačního roztoku Ultima Gold a času měření 700 min byl 1,2 Bq/l. Výsledky analýzy se vyjadřují v Bq/l s nejistotou měření na hladině 2 sigma.

Stanovení pH proběhlo potenciometricky v souladu se standardem ČSN ISO 10523. Nejistota stanovení je $\pm 0,2$. Dusičnany (NO_3^-) byly stanoveny fotometricky v souladu se standardem ČSN ISO 7890-3. Výsledky analýzy se vyjadřují v mg/l s nejistotou měření $\pm 10\%$. Orto-fosforečnany (o-PO_4^{3-}) byly stanoveny fotometricky v souladu se standardem ČSN ISO 6878. Výsledky analýzy se vyjadřují v mg/l s nejistotou měření $\pm 10\%$. Chloridy (Cl^-) byly stanoveny titračně v souladu se standardem ČSN ISO 9297. Výsledky analýzy se vyjadřují v mg/l s nejistotou měření $\pm 10\%$. Kyselinová neutralizační kapacita ($\text{KNK}_{4,5}$) byly stanoveny titračně v souladu se standardem ČSN ISO 9963-1. Výsledky analýzy se vyjadřují v mmol/l s nejistotou měření $\pm 10\%$. Sírany (SO_4^{2-}) byly stanoveny fotometricky v souladu se standardem EPA 375.4. Výsledky analýzy se vyjadřují v mg/l s nejistotou měření $\pm 10\%$. Hydrogenuhličitan (HNO_3^-) byly vypočítány na základě znalosti pH a $\text{KNK}_{4,5}$. Výsledky analýzy se vyjadřují v mg/l.

Stanovení sodíku (Na) a draslíku (K) proběhlo pomocí plamenné atomové absorpční spektrometrie (AAS) v souladu se standardem ČSN ISO 9964 1-2. Výsledky analýzy se vyjadřují v mg/l s nejistotou měření $\pm 5\%$. Stanovení vápníku (Ca), železa (Fe), hořčíku (Mg) a manganu (Mn) proběhlo pomocí optické emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu (ICP- AES) v souladu se standardem ČSN EN ISO 11885. Nejistota stanovení je $\pm 10\%$. Výsledky analýzy vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) se vyjadřují v mg/l



s nejistotou měření $\pm 10\%$. Výsledky analýzy železa (Fe) a manganu (Mn) se vyjadřují v $\mu\text{g/l}$ s nejistotou měření $\pm 10\%$. Do stanovení Na, K, Ca, Fe, Mg, Mn byly zahrnuty i jejich nerozpuštěné formy.

3.4 Model

Pod pojmem stáří podzemní vody se rozumí časový rozdíl t , který leží mezi okamžikem odběru vzorku v měřicí stanici (t) podzemních vod a okamžikem, kdy začal vzorek vody jako srážky prosakovat do půdy (t_0). Střední dobou zdržení se rozumí střední stáří všech složek vzorku podzemní vody, který se skládá ze směsi složek různého stáří. Ekologické indikátory jsou stopové látky, které celosvětově současně prosakují prostřednictvím srážek do podzemí a značují tak podzemní vodu. Mohou tak být použity k identifikaci doby zdržení podzemní vody v podzemí bez nutnosti je samotné injektovat.

Pro určení stáří vzorku podzemní vody je nutné porovnání koncentrace ekologického indikátoru tohoto vzorku s koncentrací indikátoru ve srážkách daného regionu. Koncentrace ve srážkách podléhá časovým a místním změnám. Zaznamenáváme-li koncentraci ve srážkách po určitou dobu, hovoříme o inputové funkci příslušné odběrové lokality (Rösner et al., 2007), (Bruthans, Churáčková, 2010), (Bruthans, 2011).

Abychom z koncentrace ekologického indikátoru mohli vypočítat stáří vzorku, potřebujeme k tomu matematické modely. Jsou to „koncepční blokové modely“, které popisují pouze nejdůležitější vlastnosti migračního prostoru mezi oblastí průsaku a lokalitou odběru vzorku.

3.4.1 Model Piston-flow (PM)

Model Piston-flow je nejjednodušší vyhodnocovací model, který je k dispozici. Popisuje způsob pístového proudění v napjatém podzemním zásobníku ve zvodnělé vrstvě. Model je schematicky znázorněn na Obrázku 3.6. Model Piston-flow je použitelný i pro nenapjaté zvodně, jejíž infiltrační zóna je poměrně malá. Model má homogenní strukturu stáří. Pro výpočet byly použity následující rovnice (1),(2):

$$c_v(t) = c_v(t_0) \times \exp^{(-\lambda \times t)} \quad (1)$$

- Kde: t stáří podzemní vody (r)
 λ rozpadová konstanta tritia ($1/r$)
 $c_v(t)$ objemová aktivita tritia v čase t (Bq/l)
 $c_v(t_0)$ objemová aktivita tritia ve srážkách t_0 (Bq/l)



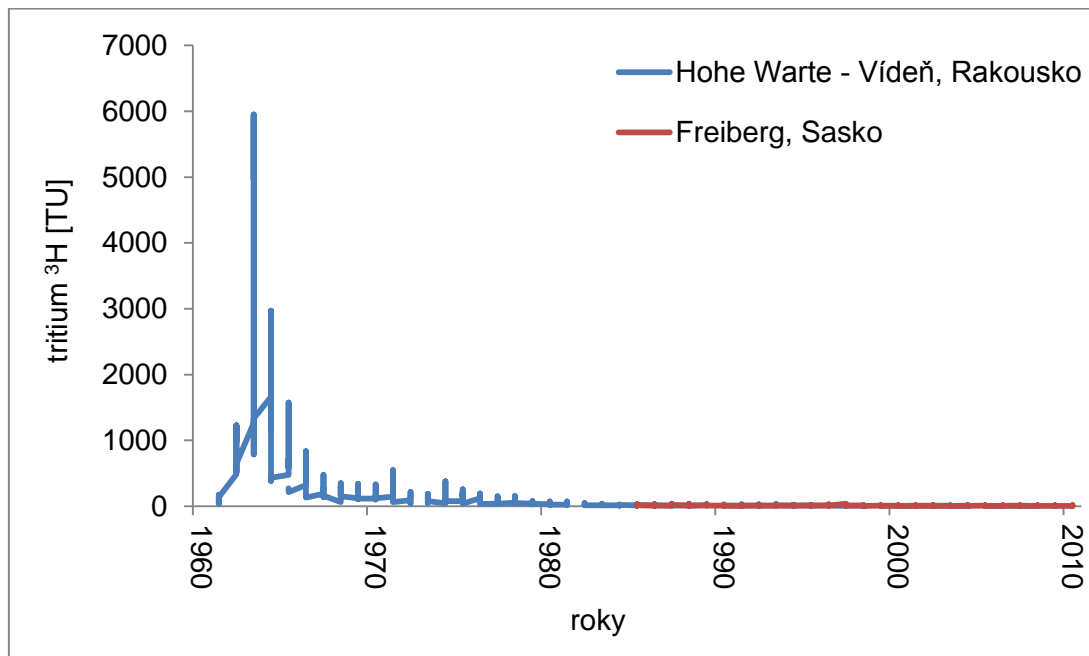
rozpadovou konstantu tritia λ lze vyjádřit z rovnice:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2)$$

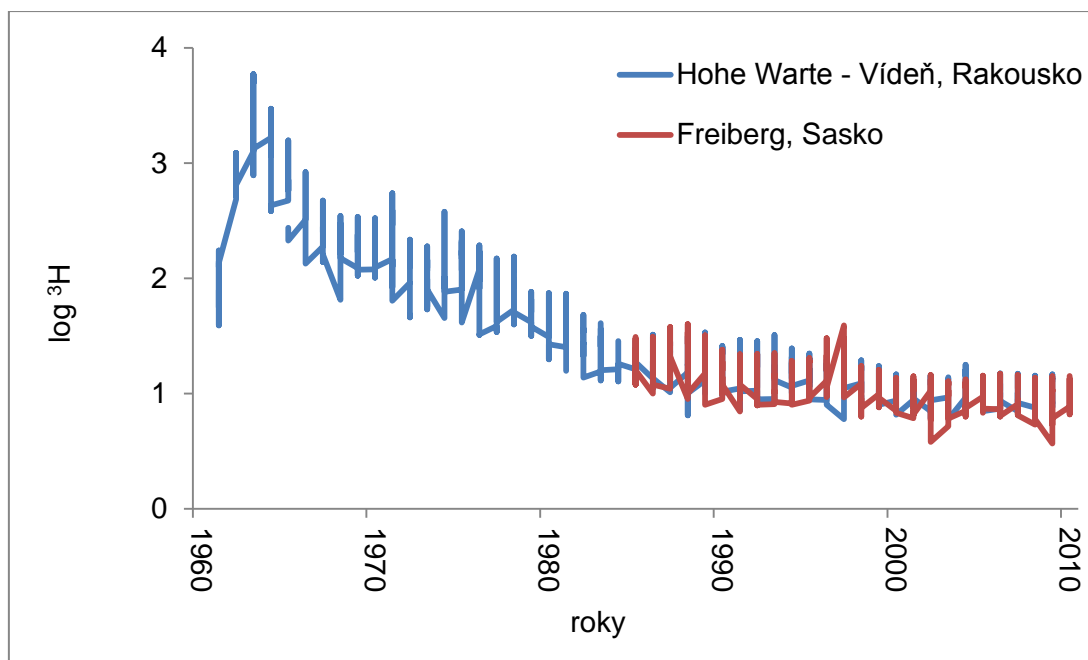
Kde: $T_{1/2}$ poločas rozpadu (r)
 λ rozpadová konstanta tritia (1/r)

Pro vstupní hodnotu objemové aktivity tritia ve srážkách byly použity dvě časové řady ze dvou lokalit. Lokalita Freiberg se nachází 50 km jihozápadně od Drážďan v SRN. Monitoring tritia ve srážkách zde probíhá kontinuálně v měsíční periodě od roku 1985. Použitá data zahrnují periodu 1985 až 2010 (LfULG, 2012). Lokalita Hohe Warte se nachází ve Vídni v Rakousku a monitoring tritia ve srážkách zde probíhá kontinuálně v měsíční periodě od roku 1961. Použitá data zahrnují periodu 1961 až 2009 (IAEA, 2014). Trend obsahu tritia ve srážkách na stanici Freiberg a Hohe Warte je znázorněn na Grafu 3.4. Vzhledem k vyšším rozdílům mezi maximálními a minimálními hodnotami je obsah tritia ve srážkách vyneseno v logaritmickém měřítku na Grafu 3.5.

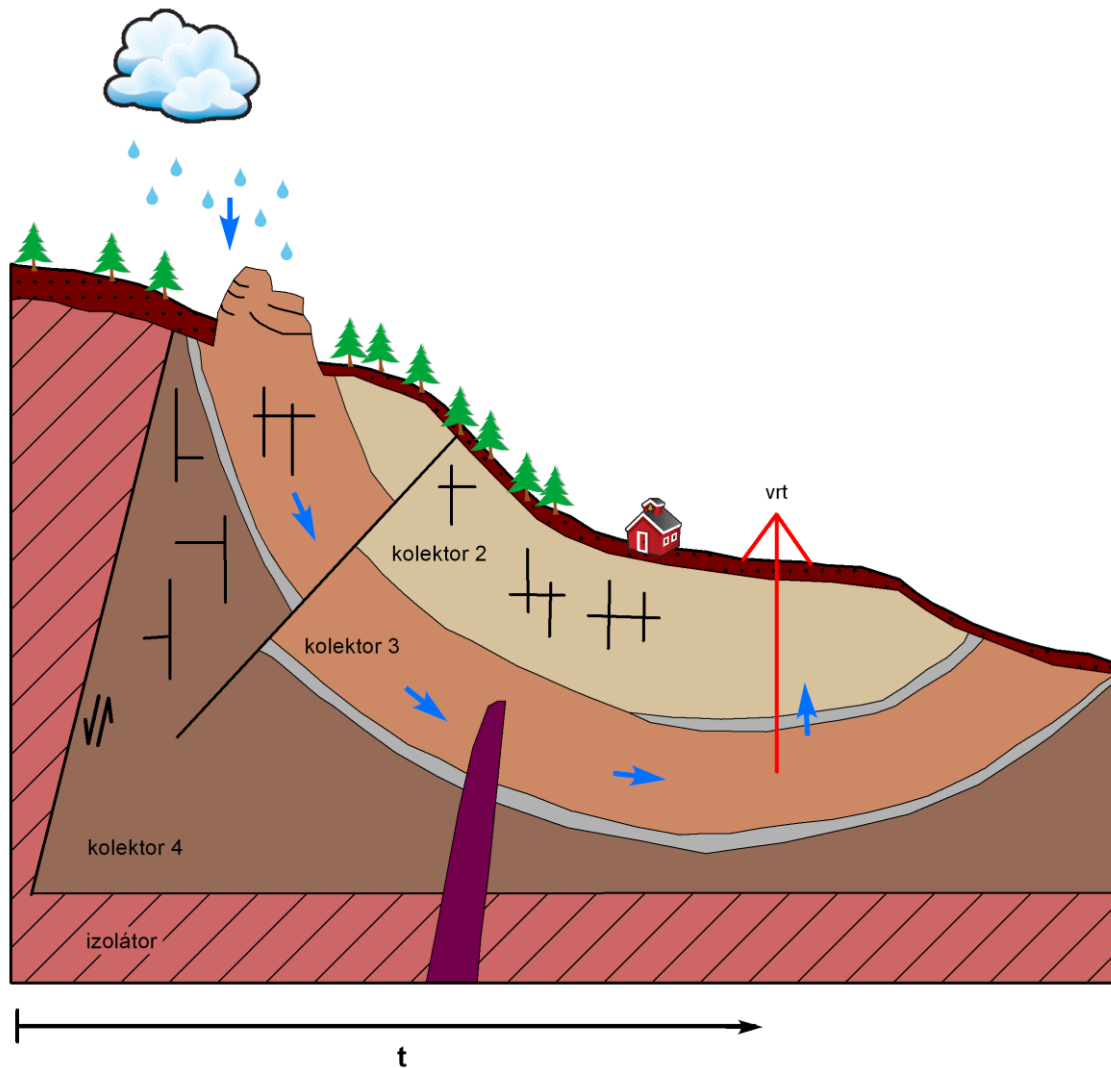
Graf 3.4 - Trend obsahu tritia ve srážkách na stanici Freiberg, Sasko (LfULG, 2012) a Hohe Warte - Vídeň, Rakousko (IAEA, 2014).



Graf 3.5 - Trend obsahu tritia ve srážkách v logaritmickém měřítku na stanici Freiberg, Sasko (LfULG, 2012) a Hohe Warte - Vídeň, Rakousko (IAEA, 2014).



Obrázek 3.6 – Model Piston-flow (PM) (VÚV TGM, 2014).



4. Fyzikálně chemické a anorganické parametry podzemních vod

Vzorky podzemní vody byly odebrány v dynamickém stavu. Pro doplnění studie byly u vybraných lokalit stanoveny fyzikálně chemické a anorganické parametry, a to pH, konduktivita, sírany (SO_4^{2-}), chloridy (Cl^-), orto-fosforečnany (o-PO_4^{3-}), dusičnany (NO_3^-), hydrogenuhličitan (HCO_3^-), sodík (Na) a draslík (K), vápník (Ca), železo (Fe), hořčík (Mg) a mangan (Mn).

Výše jmenované parametry byly na české straně stanoveny u lokalit vodárenských vrtů CK-1, MA-1, RH-6, RH-4, PE-1, Tb-J2. U pozorovacích vrtů byly parametry stanoveny u lokalit PL-1, PL-2, LO-12Jc, RH-5, RP-3/1, RH-1, RH-3, RP-20. Dále byly parametry stanoveny u pramenů Sirmý pramen a Vodopád u Heřmanic.

Na saské straně byly parametry stanoveny u lokalit vodárenských vrtů WW Hinterdorf Br. 2; HYLKR 1/76 (51546001); Drehe Bohrg.1/77 (51546004); WF Bürgerallee; WF Teufelsmühle; WF Weißbachtal. U pozorovacích vrtů byly parametry stanoveny na lokalitách Lückendorf 6/77 (51546006) a GWBR 1/63 (51540600). Dále byly parametry stanoveny u pramenů König Johann Quelle (51542001) a Jonsdorf Kurpark Quelle.

4.1 pH

Hodnota pH významně ovlivňuje chemické procesy ve vodách a proto je stanovení pH nezbytnou součástí každého chemického rozboru vody. V čistých přírodních vodách (povrchových a prostých podzemních) je hodnota pH v rozmezí asi od 4,5 do 9,5. U podzemních vod se pH pohybuje nejčastěji v rozmezí přibližně od 5,5 do 7,5. V tomto rozmezí se uplatňuje vápenato-uhličitá rovnováha, která v podstatě určuje hodnotu pH. Výjimečně je pH nižší než 5,5 nebo vyšší než 8,0. Výrazně acidické mohou být vody důlní a podzemní vody z okolí nalezišť a těžby sulfidických rud. Naopak alkalické jsou některé podzemní vody cenomanské zvodně, kdy se pH pohybuje od 8,0 až 8,5 (Pitter, 2009).

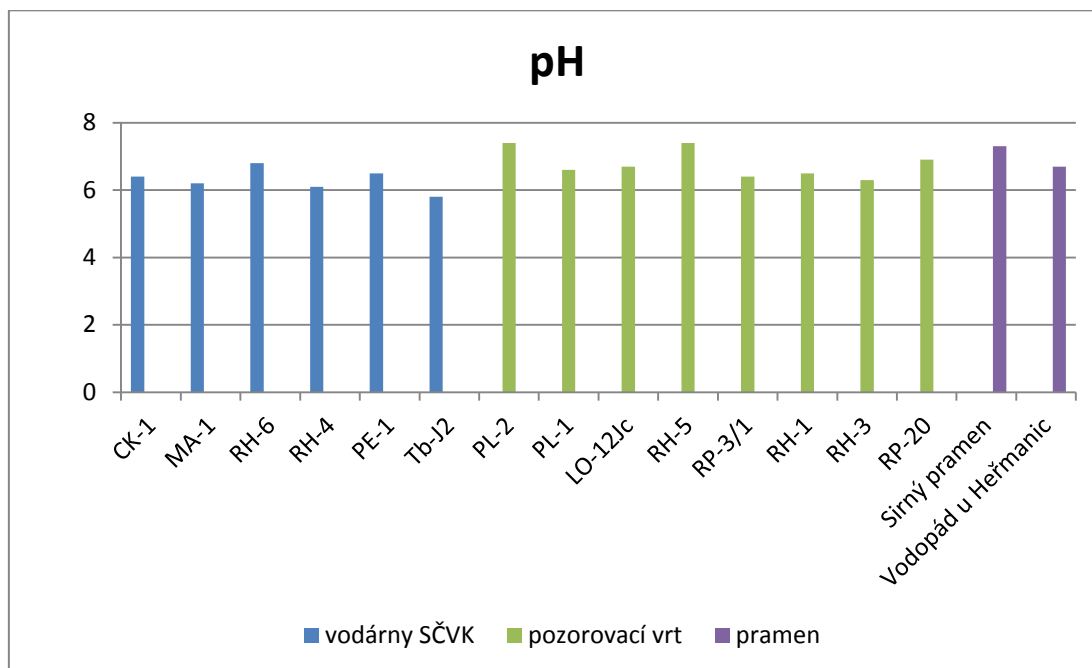
V české části zájmového území byla v případě pH zaznamenána maximální hodnota 7,4 na lokalitě RH-5 a minimální hodnota 5,8 na lokalitě Tb-J2. Průměrná hodnota pH činila 6,9.

Na saské straně zájmového území byla v případě pH zaznamenána maximální hodnota 7,3 na lokalitách Lückendorf 6/77 (51546006) a GWBR 1/63 (51540600). Minimální hodnota pH 5,7 byla zaznamenána na lokalitě WW Hinterdorf Br. 2. V průměru dosahovala hodnota pH 6,8.

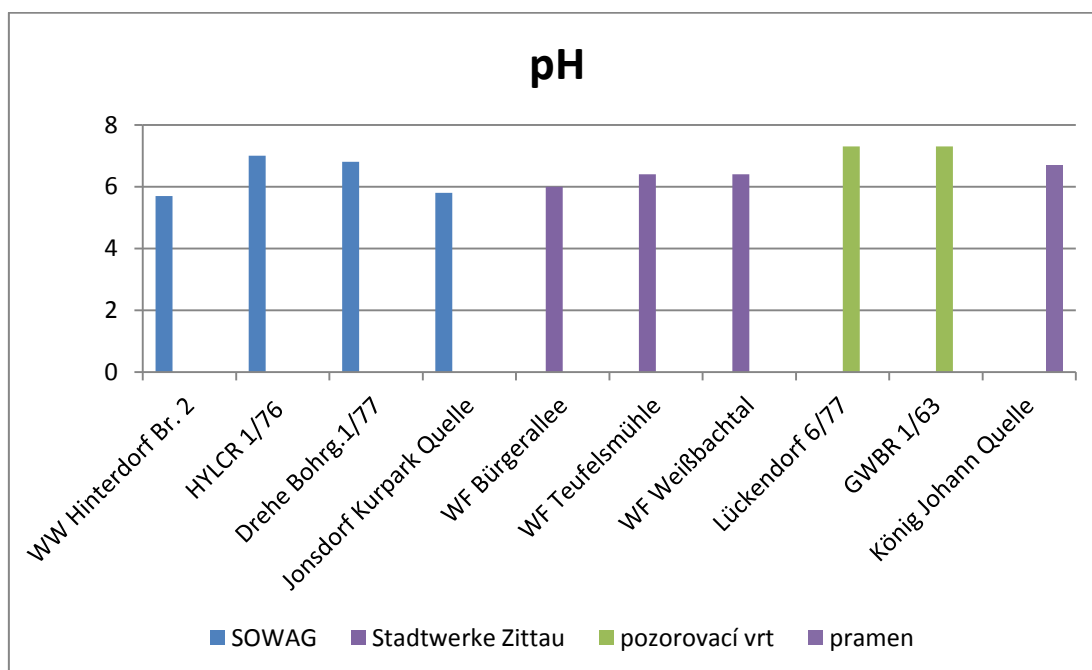
Graf 4.1 a 4.2 znázorňuje hodnoty pH vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledků jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.



Graf 4.1 – pH na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.2 – pH na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



4.2 Elektrická konduktivita

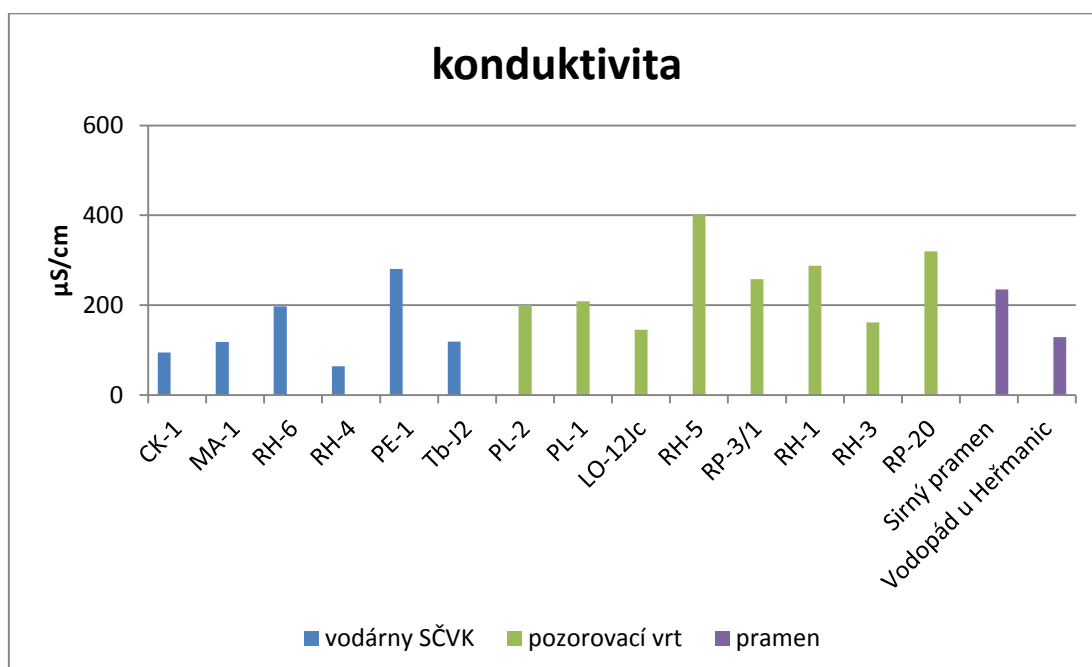
Elektrická konduktivita, která se v rozborech vody označuje obvykle jen jako konduktivita, je míra koncentrace ionizovatelných anorganických a organických součástí vody. V přírodních a užitkových vodách, s velmi nízkým obsahem organických látek, je konduktivita mírou obsahu anorganických elektrolytů (anionů a kationů). Konduktivita se obvykle označuje značkou κ a je převrácenou hodnotou odporu roztoku (Ω) mezi dvěma elektrodami o ploše 1m^2 , které jsou od sebe vzdáleny jeden metr. Jednotkou vodivosti (konduktance) je siemens (S) a jednotkou konduktivity je $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$. V hydrochemii a analytice vody jsou hodnoty konduktivity zpravidla malé, a proto se běžně uvádí v $\mu\text{S}/\text{cm}$ nebo mS/m ($1\ \mu\text{S}/\text{cm} = 0,1\ \text{mS}/\text{m}$). Konduktivita závisí na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a teplotě. Konduktivita vody se obvykle měří při $25\ ^\circ\text{C}$ nebo se na tuto teplotu přepočítává (Pitter, 2009).

Na české straně zájmového území byla v případě konduktivity zaznamenána maximální hodnota $402\ \mu\text{S}/\text{cm}$ na lokalitě RH-5 a minimální hodnota $64\ \mu\text{S}/\text{cm}$ na lokalitě RH-4. Průměrná hodnota konduktivity činila $201\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

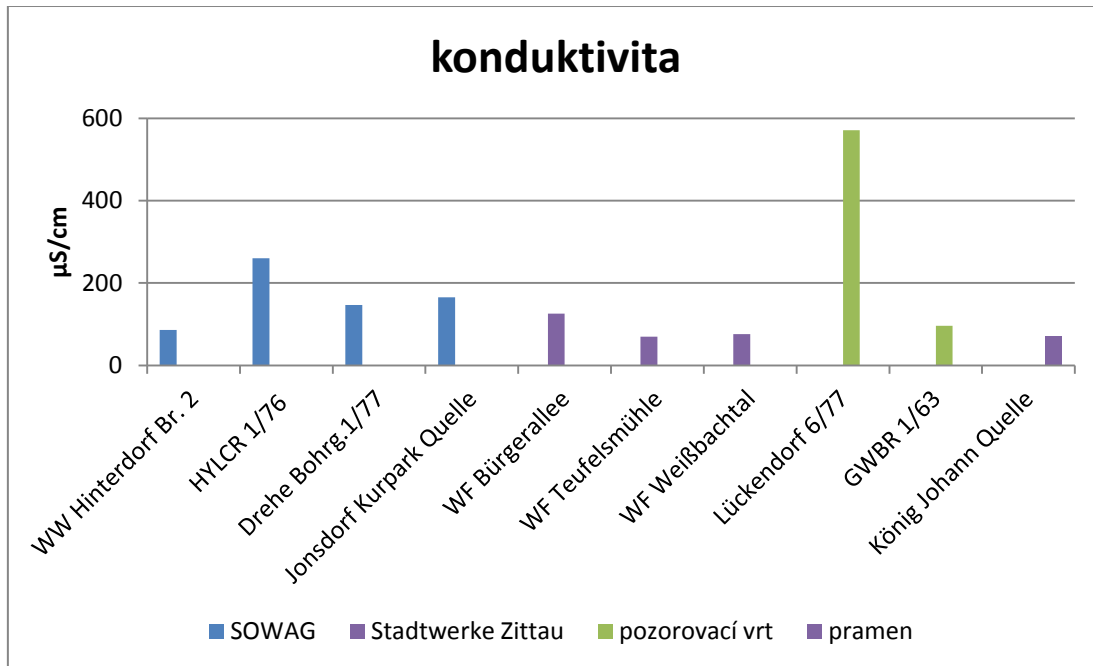
V saské části zájmového území byla v případě konduktivity zaznamenána maximální hodnota $571\ \mu\text{S}/\text{cm}$ na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006) a minimální hodnota $70\ \mu\text{S}/\text{cm}$ na lokalitě WF Teufelsmühle. Průměrná hodnota konduktivity činila $167\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

Graf 4.3 a 4.4 znázorňuje hodnoty konduktivity vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

Graf 4.3 – Konduktivita na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.4 – Konduktivita na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.

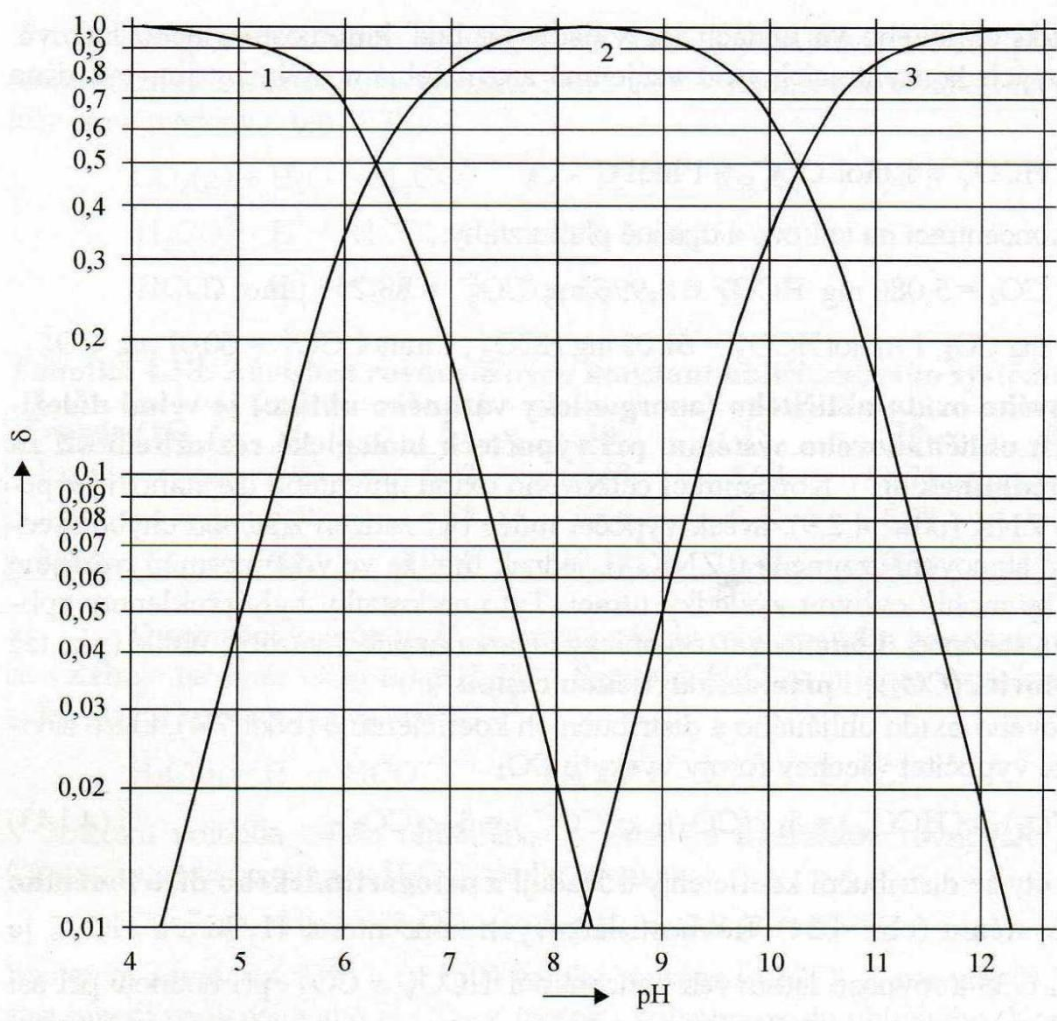


4.3 Hydrogenuhlíčitany HCO_3^-

Nejdůležitějším protolytickým systémem v přírodních a užitkových vodách je uhličitánový systém ($\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$), který výrazně ovlivňuje složení a vlastnosti vod (pH, neutralizační a tlumivou kapacitu, agresivitu, inkrustační účinky) a také všechny procesy jejich chemické nebo fyzikálně chemické úpravy (koagulace, adsorpce, odkyselování aj.). Oxid uhličitý (CO_2) přítomný ve vodách může být původu atmosférického, biogenního a hlubinného. Genezi oxidu uhličitého lze odhadnout i z izotopového složení uhlíku. Oxid uhličitý rozpuštěný ve vodě se nazývá volný oxid uhličitý. Ve vodě je rozpuštěn převážně v podobě volně hydratované molekuly, označované obvykle jako $\text{CO}_2(\text{aq})$. Volný oxid uhličitý je obsažen ve všech přírodních vodách, jejichž hodnota pH nepřesahuje 8,3. Hydrogenuhlíčitany (HCO_3^-) vznikají při chemickém zvětrávání hlinitokřemičitanů působením CO_2 a H_2O a reakcí mezi uhličitánovými minerály (např. kalcitem) a CO_2 . Hydrogenuhlíčitany jsou běžně zastoupeny v přírodních i užitkových vodách a v málo mineralizovaných vodách nad ostatními přírodními anionty převažují. V přírodních vodách jsou hydrogenuhlíčitany obsaženy při hodnotách pH od cca 4,2 až do 12,4. Uhličitany (CO_3^{2-}) se v přírodních vodách vyskytují ve vyšších koncentracích jen zřídka, protože jsou odstraňovány srážením málo rozpustných uhličitánů některých kovů, a to především jako CaCO_3 . Ve vyšších koncentracích se mohou vyskytovat jen v alkalických vodách, kdy je hodnota pH vyšší než 8,3 (Pitter, 2009).

Z distribučního diagramu na Obrázku 4.1 je patrné, že v rozmezí obvyklých hodnot pH přírodních a užitkových vod zcela převládají formy H_2CO_3^* a HCO_3^- a koncentrace CO_3^{2-} jsou zanedbatelné. Distribuční diagram je vyneseno za podmínek $T = 25^\circ\text{C}$ a $I=0$. Křivka s označením 1 náleží H_2CO_3^* , dále křivka s označením 2 náleží HCO_3^- a křivka s označením 3 náleží CO_3^{2-} (Pitter, 2009).

Obrázek 4.1 – Distribuční diagram uhličitánového systému (Pitter, 2009).

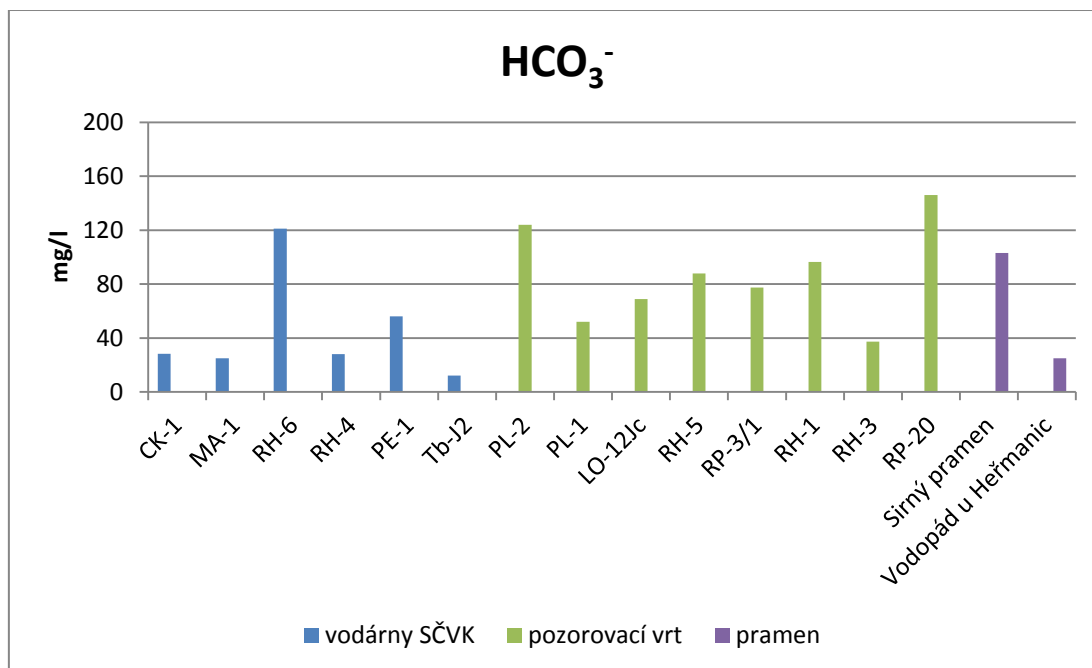


Na české straně zájmového území byla v případě HCO₃⁻ zaznamenána maximální hodnota 146 mg/l na lokalitě RP-20 a minimální hodnota 12,2 mg/l na lokalitě Tb-J2. V průměru dosahovaly HCO₃⁻ hodnoty 68,0 mg/l.

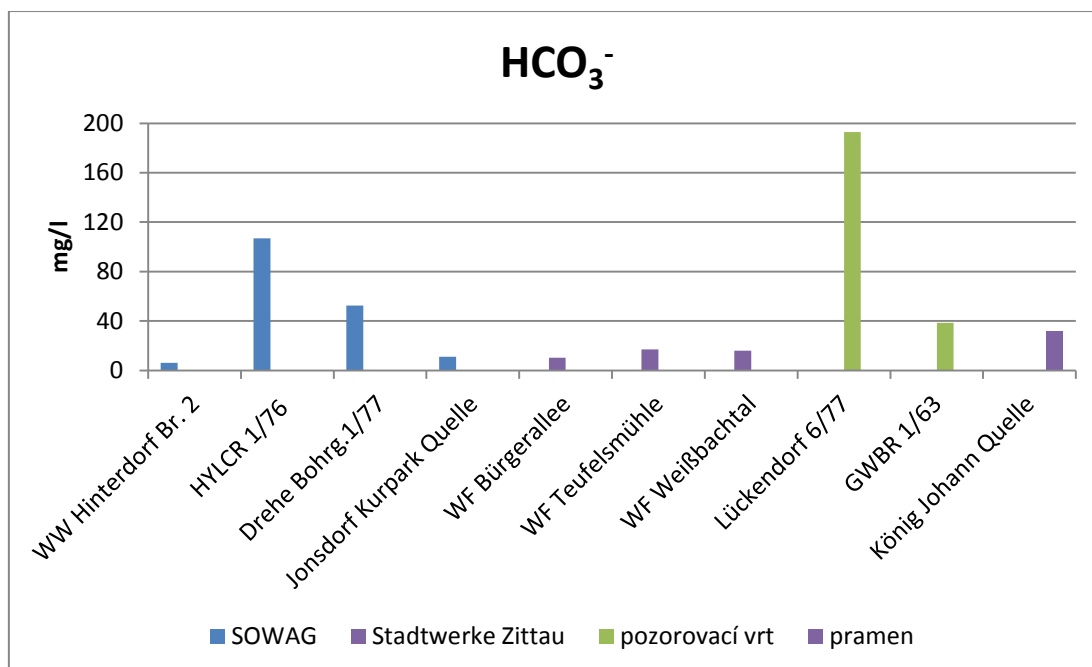
V saské části zájmového území byla v případě HCO₃⁻ zaznamenána maximální hodnota 193 mg/l na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006) a minimální hodnota 6,10 mg/l na lokalitě WW Hinterdorf Br. 2. Průměrná hodnota HCO₃⁻ činila 48,3 mg/l.

Graf 4.5 a 4.6 znázorňuje hodnoty hydrogenuhličitánů vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabelární výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

Graf 4.5 – Obsah HCO_3^- na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



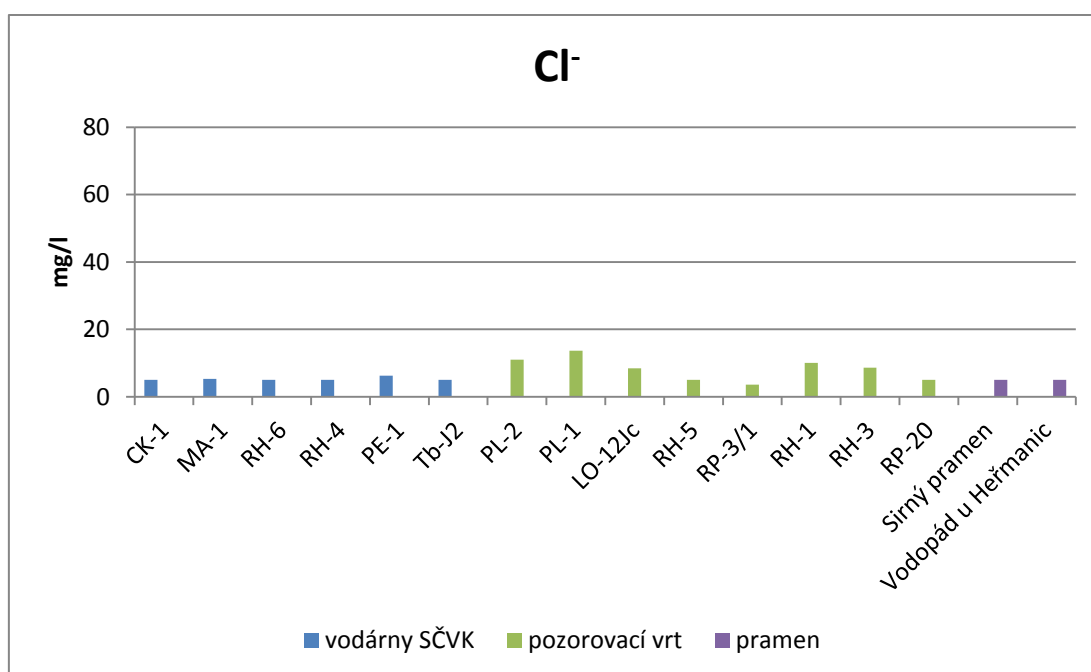
Graf 4.6 – Obsah HCO_3^- na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.

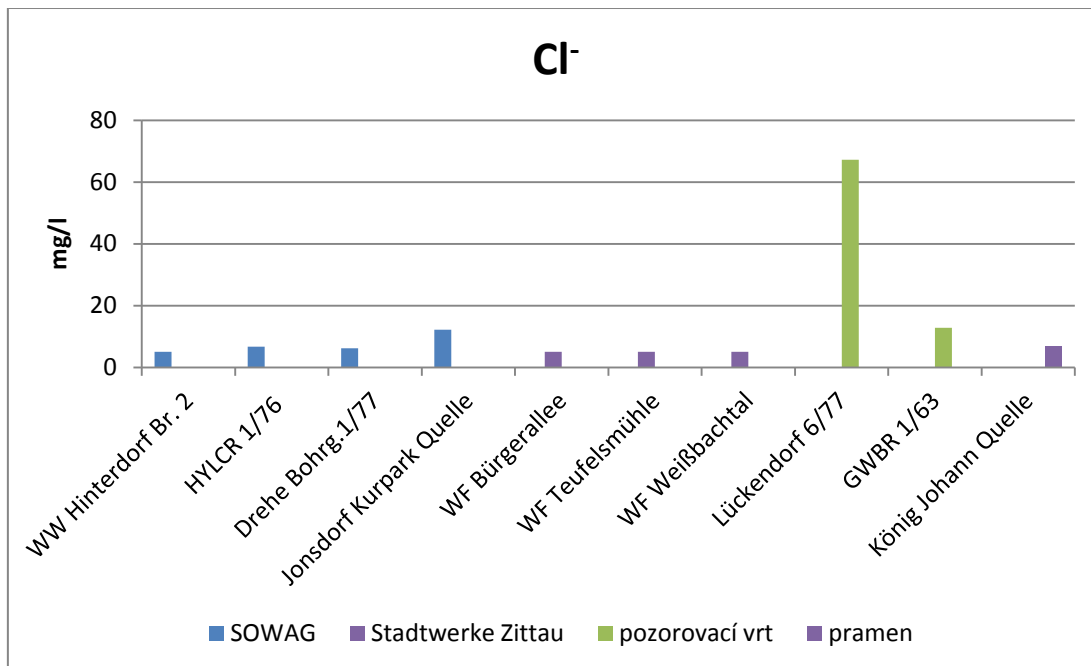


4.4 Chloridy Cl⁻

Základní druhy hornin a půd obsahují průměrně 10 mg až 500 mg chloridů v 1 kg. Jejich zvětráváním a vyluhováním přecházejí chloridy do vody. Zdaleka nejvyšší koncentrace chloridů pochází z ložisek kamenné soli nebo draselných solí. Dále mohou být také vulkanického původu. Významným zdrojem je také člověk, neboť denně vyloučí močí asi 9 g chloridů a ty pak přecházejí do splaškových vod. V souvislosti s činností člověka můžeme nalézt významný zdroj chloridů v zemědělských odpadech a živočišné výrobě. Nejrozšířenější formou výskytu sloučenin chloru ve vodách jsou chloridy. Jsou přítomné jako jednoduchý ion Cl⁻. Chloridy patří mezi základní anionty vyskytující se v přírodních i užitkových vodách. Vzhledem k dobré rozpustnosti jejich koncentrace stoupá se vzrůstající mineralizací. V neznečištěných atmosférických vodách se nacházejí koncentrace chloridů i pod 1 mg/l. V prostých podzemních a povrchových vodách dosahuje koncentrace chloridů obvykle jednotek až desítek mg/l. Poměrně vysokých koncentrací dosahují v minerálních vodách a solankách, a to až několik tisíc mg/l (Pitter, 2009).

Graf 4.7 – Koncentrace Cl⁻ na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.8 – Koncentrace Cl^- na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.

Ve vodách jsou chloridy chemicky i biochemicky stabilní. Netvoří málo rozpustné sloučeniny ani minerály. Na tuhých fázích se adsorbují jen málo, takže se v půdě při infiltraci zadržují jen nepatrně. Díky chemické a biochemické stabilitě se chlorid sodný používá jako stopovač při průzkumu podzemních vod (Pitter, 2009).

V české části zájmového území byla v případě Cl^- zaznamenána maximální hodnota 13,7 mg/l na lokalitě PL-1. Minimální hodnota pod mezí detekce <5 mg/l byla zaznamenána na lokalitách CK-1, RH-6, RH-4, Tb-J2, RP-20, Sírny pramen a Vodopád u Heřmanic. Průměrná hodnota Cl^- činila 7,63 mg/l.

Na saské straně zájmového území byla v případě Cl^- zaznamenána maximální hodnota 67,2 mg/l na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006). Minimální hodnota pod mezí detekce <5 mg/l byla zaznamenána na lokalitách WW Hinterdorf Br. 2, WF Teufelsmühle a WF Weißbachtal. V průměru dosahovaly koncentrace Cl^- hodnoty 18,7 mg/l.

Graf 4.7 a 4.8 znázorňuje hodnoty Cl^- vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

4.5 Sířany SO_4^{2-}

Ve vodách se vyskytuje síra anorganicky i organicky vázaná. Anorganické sloučeniny síry mohou být v oxidačním stupni -II, 0, II, IV a VI. Jde o sulfan (H_2S) a jeho iontové formy (HS^- , S^{2-}), thiokyanaty (SCN^-), elementární síru (S^0), thiosířany ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), siřičitany (SO_3^{2-}), sířany (SO_4^{2-}). Organické sloučeniny síry představují např. některé bílkoviny (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Koloběh sloučenin síry v přírodě, a tedy i ve vodách, je založen především na jejich biochemických přeměnách, a to na biochemickém rozkladu organických látek obsahujících síru ve skupinách -SH, SO_3H a -S-S- a na asimilaci anorganicky vázané

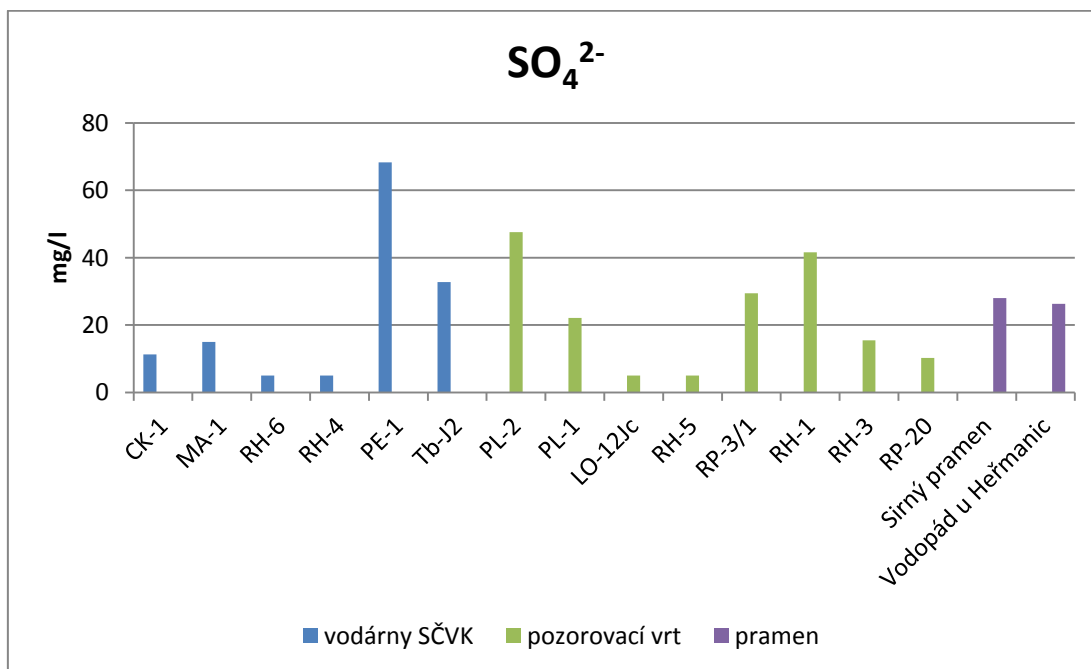
síry rostlinami a mikroorganismy. Spolu s hydrogenuhličitanu, chloridy a dusičnany patří sírany mezi hlavní anionty přírodních vod. Hlavním zdrojem síranů v přírodě jsou sádrovec ($\text{CaSO}_4^{2-} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a anhydrit (CaSO_4). Dále vznikají oxidací sulfidických rud (např. pyritu FeS_2). Z antropogenních zdrojů je nutné jmenovat především odpadní vody z průmyslu, kde se používá kyselina sírová. Dalším zdrojem jsou městské a průmyslové exhalace obsahující SO_2 a SO_3 . Z rozpuštěných forem síranů ve vodách se především vyskytuje jednoduchý síranový anion SO_4^{2-} . Ve vodách s vysokou koncentrací síranů (síranové vody) mohou být přítomné i iontové asociáty, tzv. sulfátokomplexy. Jedná se především o průmyslové vody. Rozdíly v izotopovém složení kyslíku a síry v molekule rozpuštěných síranů ve vodě umožňuje v některých případech určit jejich genezi. Koncentrace síranů ve vodách se nejčastěji vyjadřuje v mg SO_4^{2-} v 1 litru vody. Atmosférické vody obsahují sírany v desítkách až jednotkách mg/l , avšak v průmyslových oblastech mohou být mnohonásobně vyšší. V prostých podzemních vodách činí jejich koncentrace obvykle desítky až stovky mg/l . Stejně hodnoty platí i pro povrchové vody. Zvláště bohaté na sírany jsou některé minerální vody, kde koncentrace dosahuje až tisíců mg/l . Sírany v koncentraci běžně se vyskytujících v povrchových a prostých podzemních vodách nemají hygienický význam. Při vysokých koncentracích ovlivňují chuť vody. Spolu s vyššími koncentracemi hořčíku a sodíku způsobují, že voda má laxativní účinky (Pitter, 2009).

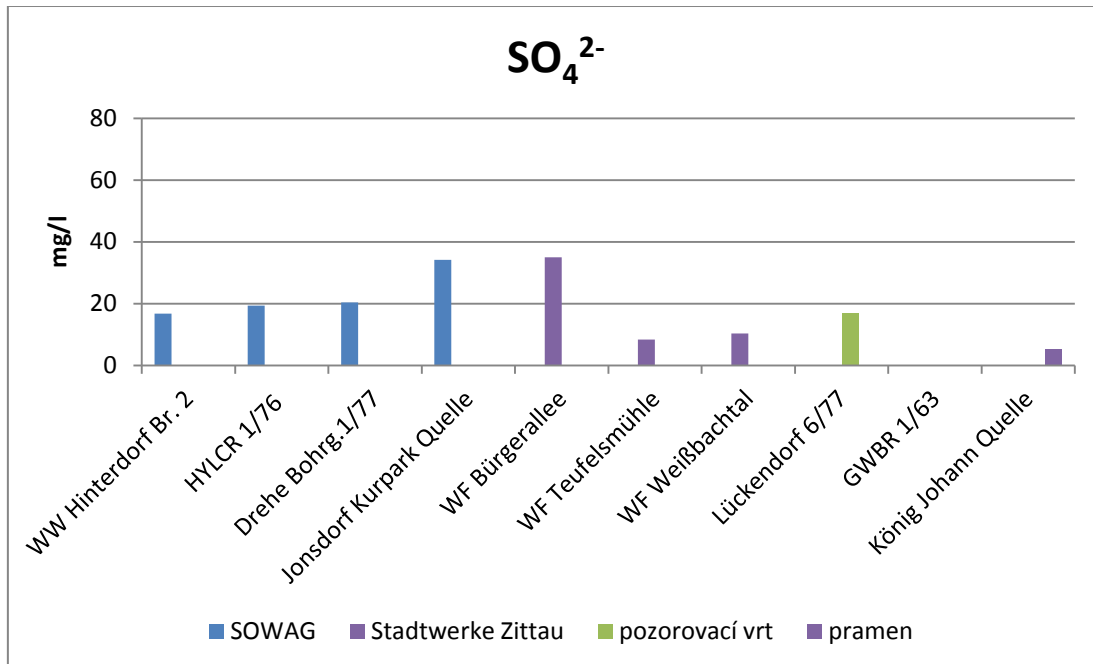
V české části zájmového území byla v případě SO_4^{2-} zaznamenána maximální hodnota 68,3 mg/l na lokalitě PE-1. Minimální hodnota pod mezí detekce <5 mg/l byla pozorována na lokalitách RH-6, RH-4 a RH-5. V průměru dosahovaly koncentrace SO_4^{2-} hodnoty 27,2 mg/l .

V případě SO_4^{2-} na saské straně zájmového území byla zaznamenána maximální hodnota 35,0 mg/l na lokalitě WF Bürgerallee a minimální hodnota pod mezí detekce <0,5 mg/l na lokalitě GWBR 1/63 (51540600). Průměrná hodnota SO_4^{2-} činila 18,5 mg/l .

Graf 4.9 a 4.10 znázorňuje hodnoty SO_4^{2-} vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

Graf 4.9 – Koncentrace SO_4^{2-} na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.10 – Koncentrace SO_4^{2-} na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.

4.6 Dusičnany NO_3^-

Dusík spolu s fosforem patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky. Sloučeniny dusíku mohou být buď anorganického, nebo organického původu. Sloučeniny dusíku v biosféře neovlivněné antropogenní činností jsou převážně biogenního původu. Vznikají rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného a živočišného původu (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě, a to 3-, 1-, 0, 1+, 3+, 5+. Ve vodách se stanovuje celkový dusík (TN=total nitrogen), který se dále dělí na anorganicky vázaný dusík a organicky vázaný dusík. Mezi hlavní formy anorganicky vázaného dusíku patří amoniakální (N-NH_4^+ , N-NH_3), dusitanový (N-NO_2^-) a dusičnanový dusík (N-NO_3^-). Organicky vázaný dusík se ve vodách vyskytuje např. ve formě bílkovin a jiných rozkladných produktů. Dusičnany (NO_3^-) jsou v minerálech obsaženy jen velmi zřídka (např. dusičnan sodný – chilský ledek). Dusičnany vznikají hlavně sekundárně při nitrifikaci amoniakálního dusíku a jeho konečným stupněm rozkladu dusíkatých organických látek v oxickém prostředí. Významným zdrojem dusičnanů je vliv antropogenní činnosti. Dusičnany se vyskytují téměř ve všech vodách a jejich koncentrace v povrchových i podzemních vodách vzrůstají v důsledku vzrůstajícího počtu obyvatel a zemědělské činnosti v jednotlivých regionech. Jsou významným indikátorem lidské činnosti. V podzemních vodách mohou koncentrace dusičnanů kolísat v závislosti na jejich genezi. V podzemních vodách má také vliv na obsah dusičnanů klimatický a půdní charakter oblasti. V přírodních vodách se také koncentrace dusičnanů mění v závislosti na vegetačním období. V pitných vodách jsou zvýšené koncentrace dusičnanů nebezpečné tím, že v gastro-intestinálním traktu mohou redukovat v důsledku bakteriální činnosti na toxičtější dusitany. Dusitany v krvi reagují s hemoglobinem a omezují jeho schopnost přenášet kyslík (dusičnanová alimentární methemoglobinaemie). Ohroženou skupinou obyvatelstva jsou především

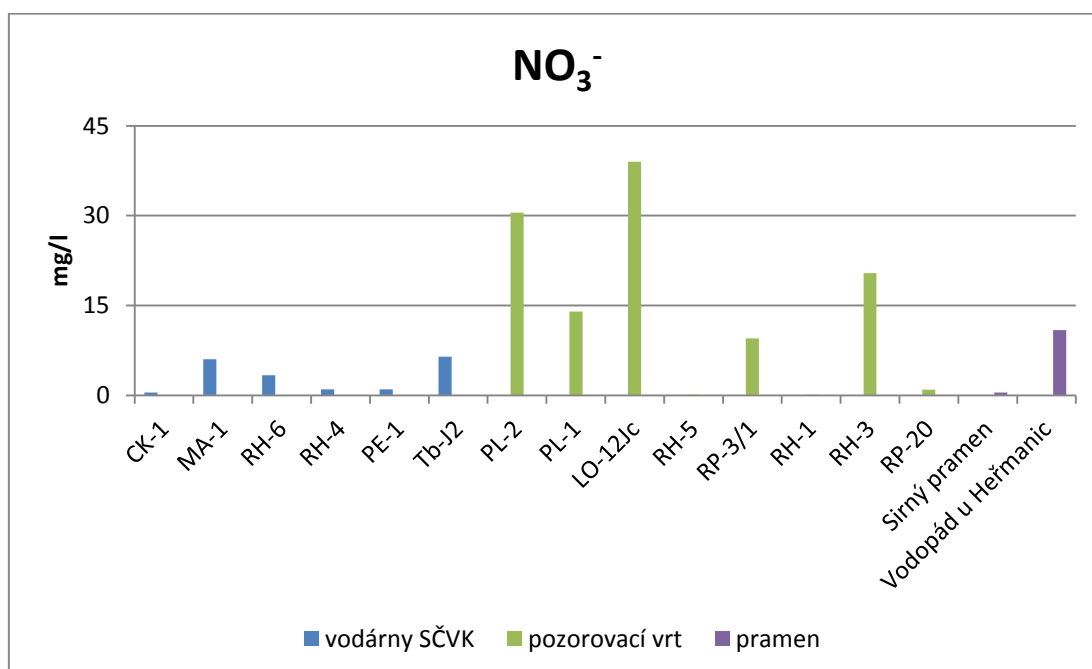
kojenci. Denní dávka dusičnanů přijatá pitnou vodou by neměla překročit 100 mg. To znamená, že při průměrné spotřebě 2 l pitné vody na obyvatele za 1 den by neměla být koncentrace dusičnanů (NO_3^-) větší než 50 mg/l (Pitter, 2009).

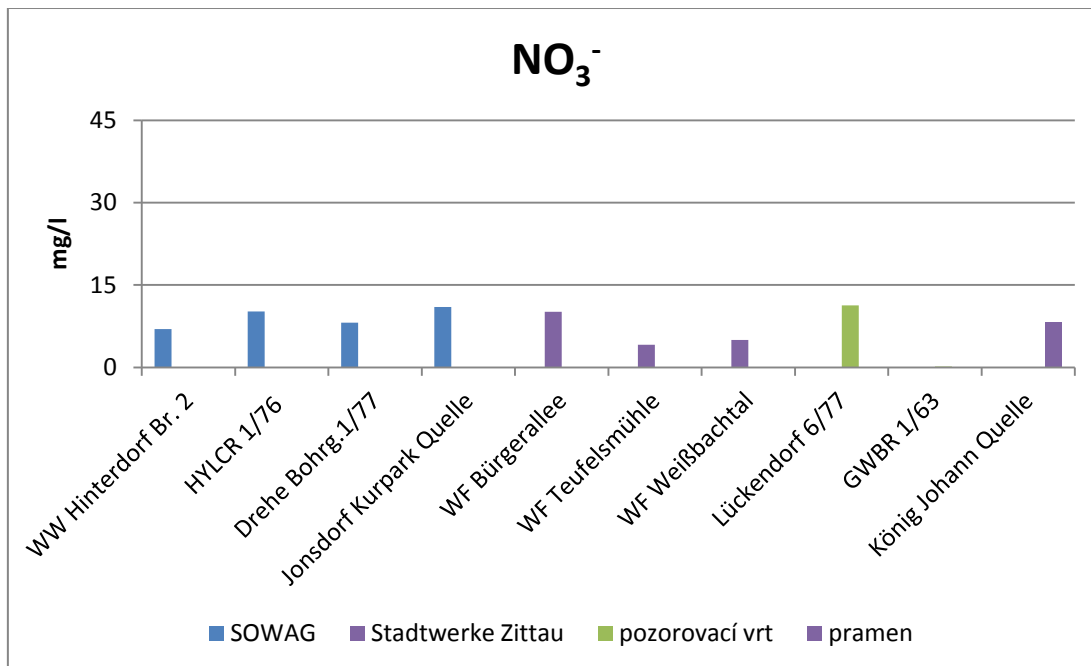
Na české straně zájmového území byla v případě NO_3^- zaznamenána maximální hodnota 39,0 mg/l na lokalitě LO-12Jc a minimální hodnota pod mezí detekce <0,1 mg/l na lokalitě RH-5. Průměrná hodnota NO_3^- činila 11,9 mg/l.

V saské části zájmového území byla v případě NO_3^- zaznamenána maximální hodnota 11,3 mg/l na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006) a minimální hodnota 0,18 mg/l na lokalitě GWBR 1/63 (51540600). V průměru dosahovaly koncentrace NO_3^- hodnoty 7,53 mg/l.

Graf 4.11 a 4.12 znázorňuje hodnoty NO_3^- vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

Graf 4.11 – Koncentrace NO_3^- na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.12 – Koncentrace NO_3^- na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.

4.7 orto – Fosforečnany o-PO_4^{3-}

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých půd, minerálů a zvětralých hornin. Obsah fosforu v horninách se obvykle pohybuje v rozmezí od 400 do 1200 mg/kg. Hlavním primárním minerálem je např. apatit (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Antropogenním zdrojem anorganického fosforu mohou být některé prací, odmašťovací a čisticí prostředky. Velkoplošným zdrojem anorganického fosforu je aplikace fosforečných hnojiv v zemědělství. Významným bodovým zdrojem mohou být velkochovy hospodářských zvířat. Zdrojem anorganického i organického fosforu je fosfor obsažený v živočišných odpadech. Člověk vylučuje denně asi 1,5 g fosforu, který přechází do splaškových vod. Zdrojem fosforu organického původu je rozkládající se bioma (Pitter, 2009).

Sloučeniny fosforu se dostávají do povrchových vod také z atmosférických depozic. Celkový fosfor (P_T) ve vodách se dělí na rozpuštěný (P_{rozp}) a nerozpuštěný (P_{nerozp}). Rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor se dále dělí na anorganicky vázaný (P_{anorg}) a organicky vázaný (P_{org}). Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se dále dělí na orthofosforečnanový (P_{ortho}) a polyfosforečnanový (P_{poly}). Běžně se analyticky rozlišuje celkový fosfor, orthofosforečnanový fosfor a fosfor vázaný v hydrolyzovatelných fosforečnanech (polyfosforečnanech a některých organofosforečných sloučeninách). Z ortofosforečnanů se vyskytují např. formy PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- . Z polyfosforečnanů se ve vodách vyskytují zejména difosforečnany a trifosforečnany v jednoduchých nebo komplexních formách. Jedná se např. o $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$, $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ (Pitter, 2009).

Vzhledem k tvorbě málo rozpustných fosforečnanů s Ca, Mg apod. a vzhledem k jejich významné chemisorpci na tuhých fázích (např. hlinítokřemičitanech) se fosforečnany vyskytují v přírodních a užitkových vodách jen ve velmi nízkých koncentracích, které

jen výjimečně převyšují 1 mg/l (Pitter, 2009).

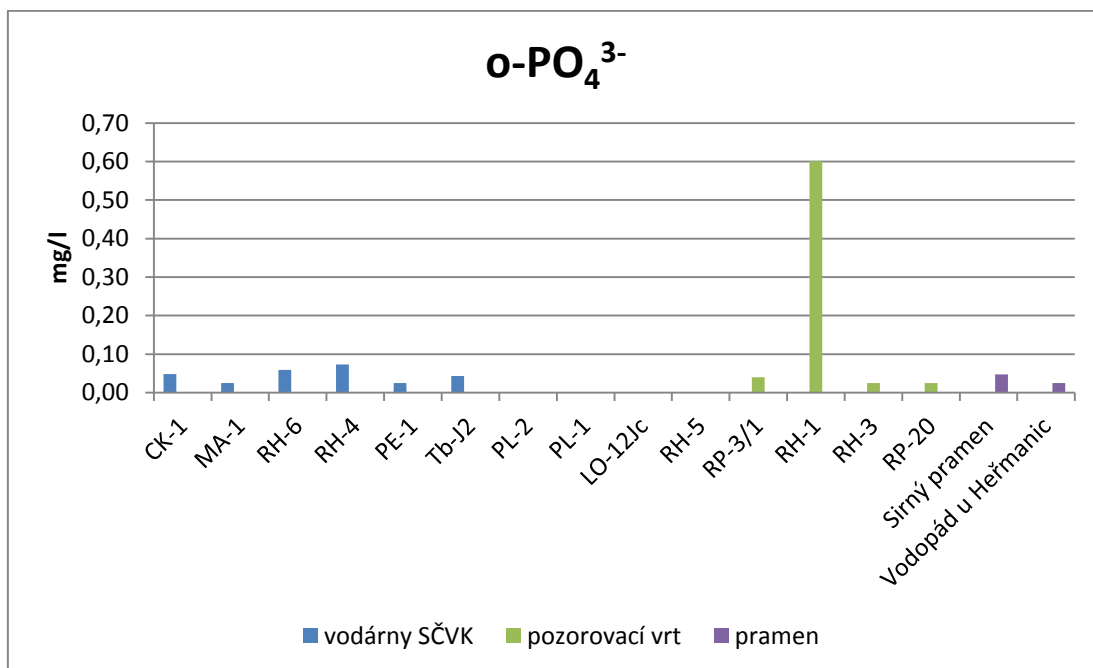
Koncentrace fosforu v minerálních vodách je velmi nízká vzhledem k přítomnosti vyšších koncentrací kovů, které tvoří málo rozpustné fosforečnany. Podstatně vyšší koncentrace fosforu se vyskytuje ve splaškových odpadních vodách a drenážních vodách ze zemědělských aglomerací. Sloučeniny fosforu mají významnou úlohu při koloběhu látek. Jsou nezbytné pro nižší i vyšší organismy, které je přeměňují na organicky vázaný fosfor. Zvláště významně se fosforečnany uplatňují při růstu řas a sinic ve vodě. Fosfor má klíčový význam pro eutrofizaci povrchových vod. V podzemních vodách mají fosforečnany indikační význam, a to při zvýšených koncentracích indikujících např. možnosti znečištění z povrchu (Pitter, 2009).

V české části zájmového území byla v případě o-PO_4^{3-} zaznamenána hodnota 0,601 mg/l na lokalitě RH-1. Minimální hodnota o-PO_4^{3-} pod mezí detekce $<0,025$ mg/l byla pozorována na lokalitách MA-1, PE-1, RH-1, RH-3 a Vodopád u Heřmanic. Průměrná hodnota o-PO_4^{3-} činila 0,15 mg/l.

Na saské straně zájmového území nebylo možné z technických důvodů o-PO_4^{3-} stanovit.

Graf 4.13 znázorňuje hodnoty o-PO_4^{3-} vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

Graf 4.13 – Koncentrace o-PO_4^{3-} na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



4.8 Sodík Na a Draslík K

Sodík a draslík jsou v zemské kůře jako prvky rozšířené přibližně stejně, a to asi 2,5%. Do vody se uvolňují při zvětrávání některých živců (např. albitu, ortoklasu) a slíd. Ve větším množství se sodík a draslík vyluhují ze solných ložisek (halit) (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Antropogenním zdrojem sodíku jsou některé průmyslové odpadní vody, aplikace draselných hnojiv a dále např. aplikace posypové soli (NaCl) na komunikace v zimních měsících. Ve vodách se sodík a draslík vyskytují převážně jako jednoduché kationty Na^+ a K^+ , protože jejich komplexační schopnost je malá. Výjimkou jsou např. důlní vody nebo alkalické vody s vyšší koncentrací uhličitánů. Patří mezi čtyři základní kationty přírodních a užitkových vod, ale z kvantitativního hlediska se většinou řadí až za vápník (Ca^{2+}) a hořčík (Mg^{2+}). V litosféře (zemská kůra a horní část pláště) je zastoupení sodíku a draslíku přibližně stejné, ale v podzemních a povrchových vodách je téměř vždy více sodíku než draslíku. V atmosférických vodách v neznečištěných oblastech se pohybují koncentrace sodíku a draslíku obvykle v desetinách až setinách mg/l. V podzemních a povrchových tekoucích vodách se vyskytují koncentrace obvykle o řád vyšší, a to jednotky až desítky mg/l. V minerálních vodách se koncentrace sodíku pohybují i v tisících mg/l a koncentrace draslíku převyšují i 100 mg/l. Ve vodě světových oceánů činí průměrná koncentrace sodíku asi 10 g/l a průměrná koncentrace draslíku asi 0,4 g/l. Sodík a draslík v povrchových a podzemních vodách nejsou příliš významné a jejich koncentrace není limitována. Představují však esenciální prvky pro člověka. Vody obsahující draslík jsou slabě radioaktivní, protože draslík vyskytující se v přírodě obsahuje asi 0,011% radioaktivního izotopu ^{40}K , který emituje záření β a γ . Tato radioaktivita tvoří přírodní pozadí radioaktivity vod. Sodík a draslík mají významnou úlohu při klasifikaci chemického složení vod, při určení genezi podzemních vod a při kontrole výsledků chemického rozboru vody (Pitter, 2009).

Zaznamenaná maximální hodnota Na v české části zájmového území činila 7,90 mg/l na lokalitě PL-2 a minimální hodnota činila 1,18 mg/l na lokalitě RH-5. V průměru dosahovala koncentrace Na hodnoty 4,43 mg/l. V saské části zájmového území byla v případě Na zaznamenána maximální hodnota 33,1 mg/l na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006) a minimální hodnota 3,03 mg/l na lokalitě WF Weißbachtal. Průměrná hodnota Na činila 7,80 mg/l.

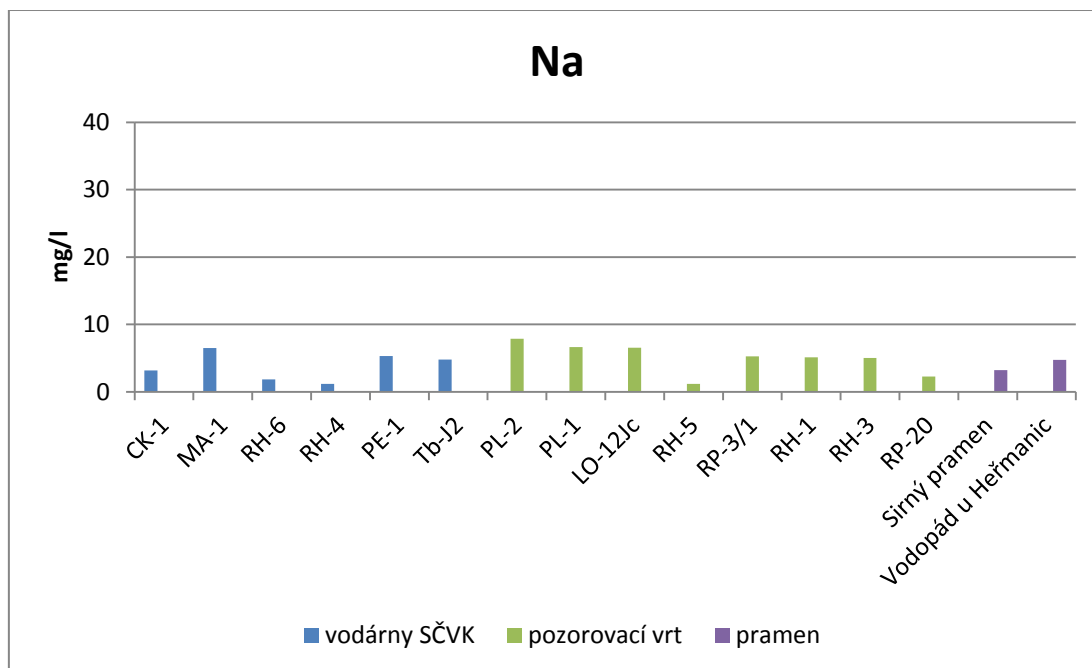
Na české straně zájmového území byla v případě K zaznamenána maximální hodnota 14,3 mg/l na lokalitě RP-3/1 a minimální hodnota 0,93 mg/l na lokalitě RH-5. Průměrná hodnota K činila 3,21 mg/l. V případě K na saské části zájmového území byla zaznamenána maximální hodnota 5,43 mg/l na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006) a minimální hodnota 0,88 mg/l na lokalitě WF Teufelsmühle. V průměru dosahovala koncentrace K hodnoty 1,96 mg/l.

Graf 4.14 a 4.15 znázorňuje hodnoty Na vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabelární výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

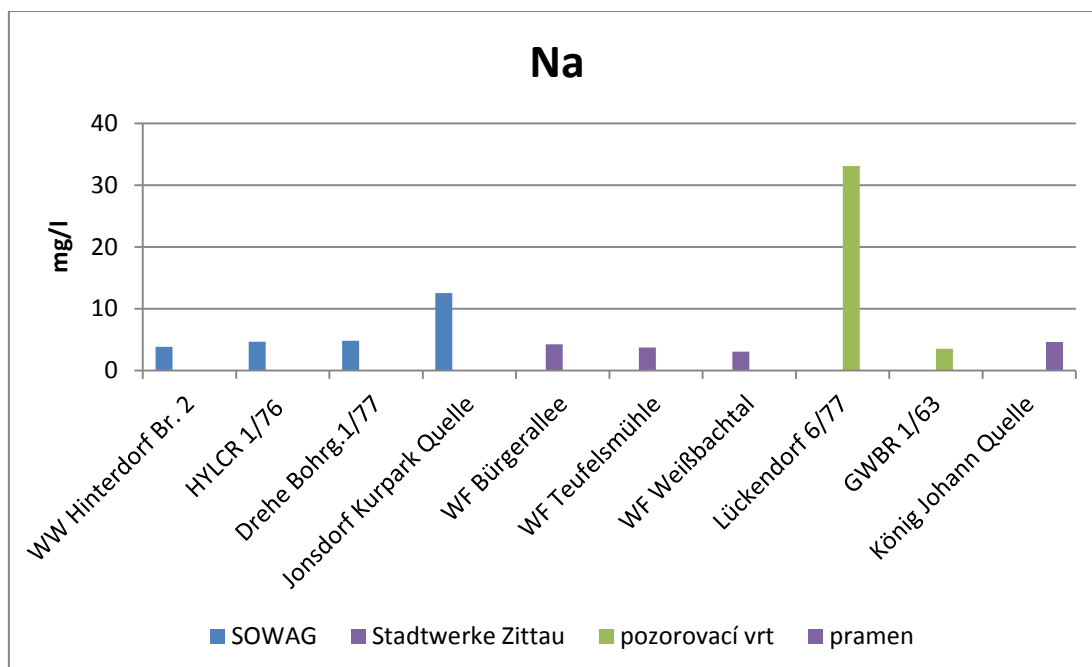
Graf 4.16 a 4.17 znázorňuje hodnoty K vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabelární výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.



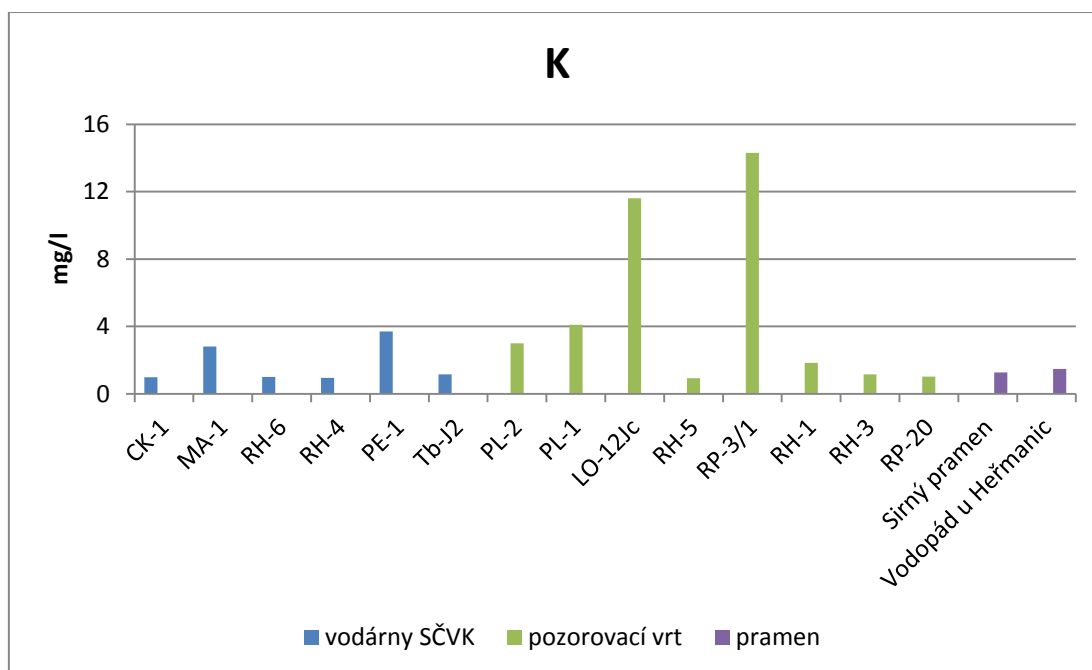
Graf 4.14 – Koncentrace Na na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



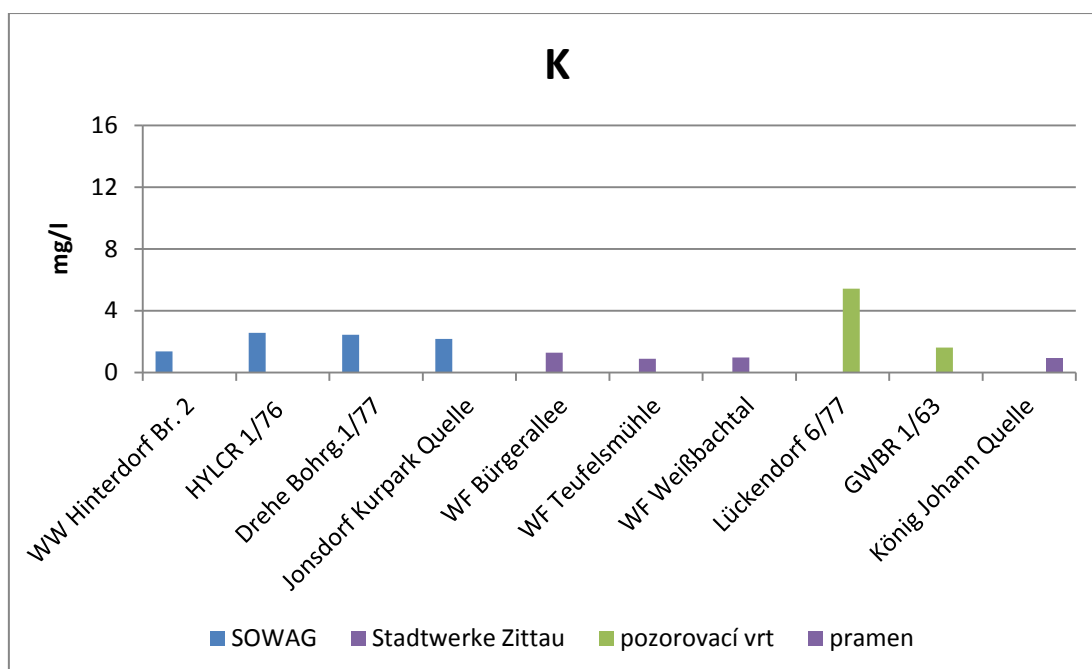
Graf 4.15 – Koncentrace Na na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



Graf 4.16 – Koncentrace K na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.17 – Koncentrace K na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



4.9 Vápník Ca a Hořčík Mg

Vápník a hořčík jsou v přírodě dosti rozšířené. Zemská kůra obsahuje asi 0,035% vápníku a 0,020% hořčíku. Vápník a hořčík se dostávají do vody rozkladem vápenatých a hořečnatých hlinitokřemičitanů, a to např. anortitu či chloritu. Ve větších koncentracích rozpouštěním vápence, dolomitu, magnezitu, sádrovce a dalších minerálů. Na obohacení podzemních vod vápníkem a hořčíkem má vliv množství rozpuštěného CO₂, který podstatně zvyšuje rozpustnost minerálů na bázi uhličitánů (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Antropogenním zdrojem vápníku a hořčíku mohou být některé průmyslové odpadní vody. V málo až středně mineralizovaných vodách se vápník a hořčík vyskytují převážně jako jednoduché ionty Ca²⁺ a Mg²⁺. Ve více mineralizovaných vodách s vyšší koncentrací hydrogenuhličitánů a síranů se mohou tvořit iontové asociáty (např. [CaCO₃(aq)]₀). V neznečištěných atmosférických vodách bývají koncentrace vápníku a hořčíku obvykle nižší než 1 mg/l. V prostých podzemních a povrchových vodách se koncentrace vápníku pohybuje od desítek až do několika stovek mg/l a koncentrace hořčíku od jednotek až do několika desítek mg/l. U minerálních vod se mohou koncentrace vápníku a hořčíku pohybovat v širokém rozmezí. U hořčíku se jedná o desítky mg/l a u vápníku se jedná o koncentrace vyšší než sto mg/l. Hořčík je ve vodách obvykle méně zastoupen než vápník. V prostých podzemních a povrchových vodách je hmotnostní koncentrace vápníku obvykle několikanásobně vyšší než hmotnostní koncentrace hořčíku. V minerálních vodách se poměr obou prvků obvykle zmenšuje (Pitter, 2009).

Z málo rozpustných sloučenin vápníku má v hydrochemii značný význam např. uhličitán vápenatý (CaCO₃). Z málo rozpustných sloučenin hořčíku má v hydrochemii značný význam např. uhličitán vápenatý (MgCO₃), který se může vyskytovat jako bezvody, trihydrát nebo pentahydrát. Vápník, hydrogenuhličitany a oxid uhličitý mají významnou úlohu při posuzování agresivních nebo inkrustačních účinků vod včetně procesu vedoucích k tzv. stabilizaci vody, respektive "úprava tvrdosti vody". Z hygienického hlediska jsou vápník a hořčík netoxické, naopak jejich přítomnost v pitné vodě je žádoucí. Vápník a hořčík představují důležité prvky pro stavbu lidského organismu (Pitter, 2009).

Na české straně zájmového území byla v případě Ca zaznamenána maximální hodnota 67,8 mg/l na lokalitě RP-20 a minimální hodnota 8,88 mg/l na lokalitě RH-4. Průměrná hodnota Ca činila 29,9 mg/l. Zaznamenaná maximální hodnota Ca v saské části zájmového území činila 72,6 mg/l na lokalitě Lückendorf 6/77 (51546006) a minimální hodnota činila 4,91 mg/l na lokalitě König Johann Quelle (51542001). V průměru dosahoval koncentrace Ca hodnoty 19,6 mg/l.

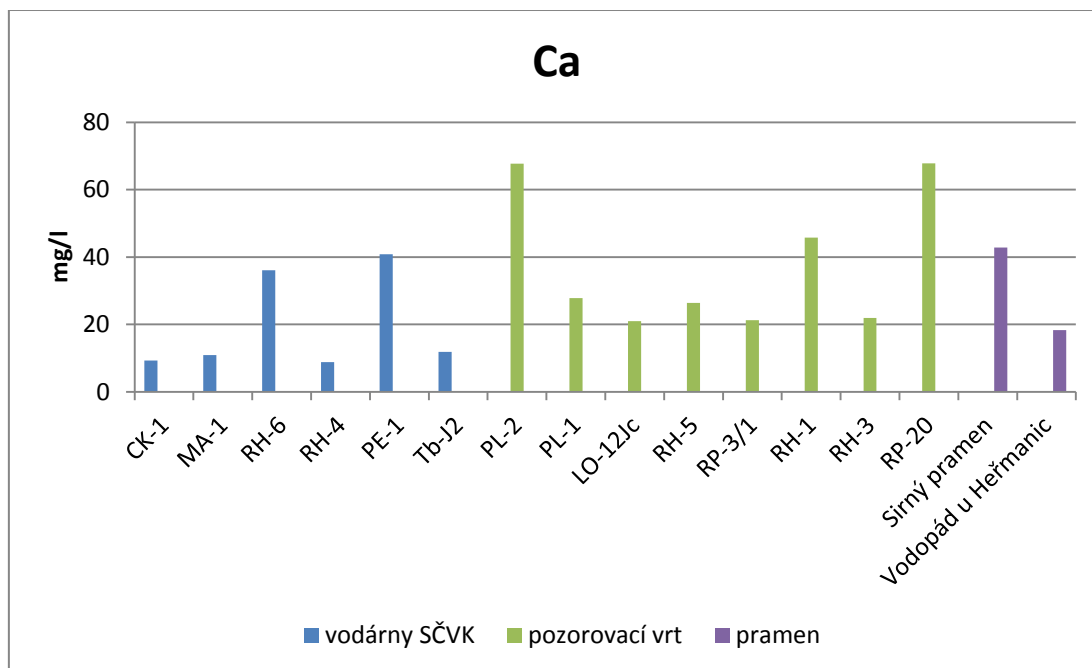
V české části zájmového území byla v případě Mg zaznamenána maximální hodnota 4,7 mg/l na lokalitě RP-3/1 a minimální hodnota 0,61 mg/l na lokalitě RH-4. Průměrná hodnota Mg činila 2,03 mg/l. V případě Mg na saské straně zájmového území byla zaznamenána maximální hodnota 3,67 mg/l na lokalitě WF Bürgerallee a minimální hodnota 0,30 mg/l na lokalitě GWBR 1/63 (51540600). V průměru dosahovala koncentrace Mg hodnoty 1,77 mg/l.

Graf 4.18 a 4.19 znázorňuje hodnoty Ca vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.

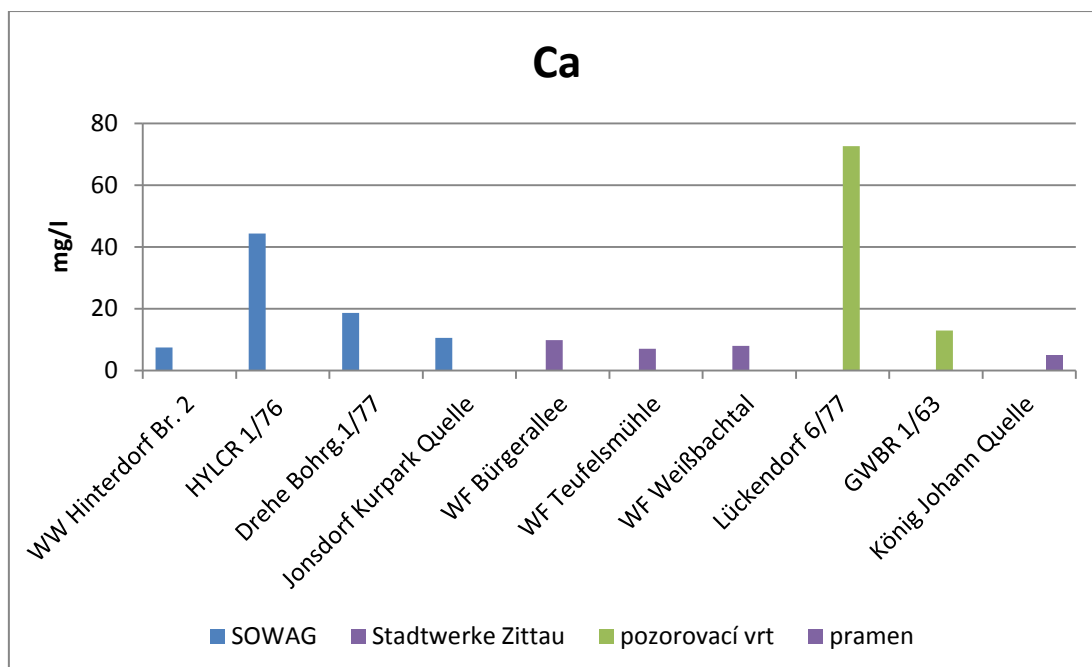
Graf 4.20 a 4.21 znázorňuje hodnoty Mg vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.



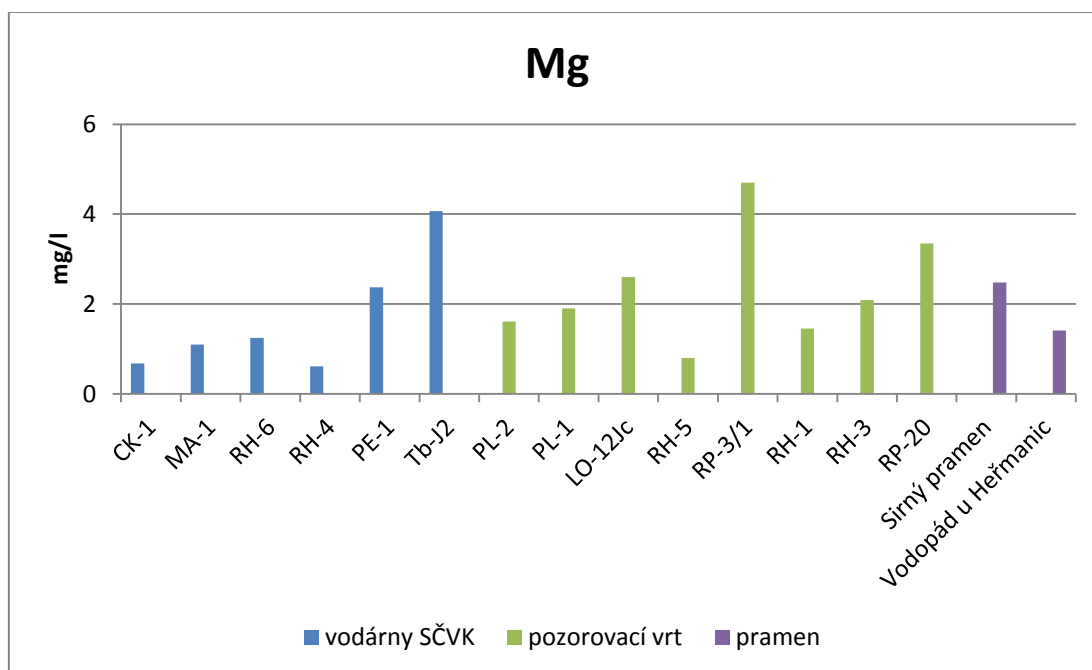
Graf 4.18 – Koncentrace Ca na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



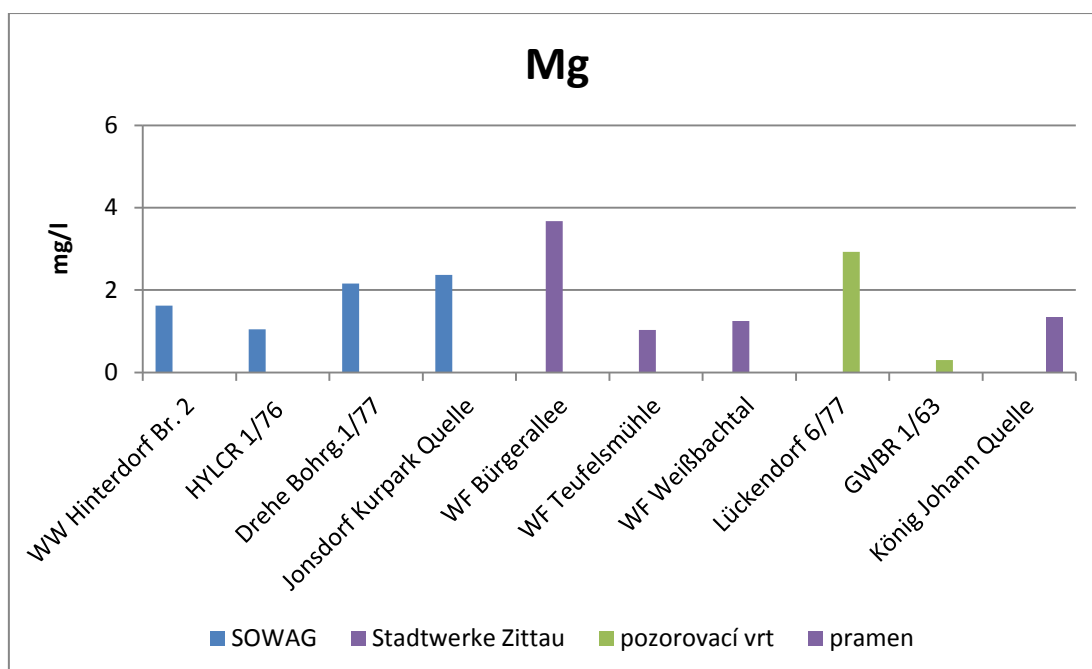
Graf 4.19 – Koncentrace Ca na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



Graf 4.20 – Koncentrace Mg na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.21 – Koncentrace Mg na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



4.10 Železo Fe

Nejrozšířenější železné rudy jsou pyrit FeS_2 , lepidokrokit Fe_2O_3 , magnetove Fe_3O_4 , limonit $\text{Fe}_3\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a siderit FeCO_3 . Pouhým rozpuštěním uvedených látek se vody obohacují železem jen málo. Rozpuštění ale napomáhá přítomnost oxidu uhličitého (CO_2) a huminových látek. Antropogenním zdrojem železa v přírodních a užitkových vodách mohou být některé průmyslové odpadní vody, důlní odpadní vody a korozní procesy ve vodním potrubí (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Formy výskytu rozpuštěného a nerozpuštěného železa ve vodách závisejí na hodnotě pH, oxidačně-redukčních podmínkách a komplexotvorných látkách přítomných ve vodě. Železo se vyskytuje ve vodách v oxidačním stupni 2+ nebo 3+. V bezkyslíkatém (anoxickém) redukčním prostředí podzemních vod a v povrchových vodách u dna umělých nádrží a jezer se vyskytuje železo v oxidačním stupni II. V této formě je železo (Fe^{2+}) rozpustné ve vodě. Ve vodách obsahující rozpuštěný kyslík (oxické prostředí) je železo v oxidačním stupni 3+ nejstabilnější formou výskytu. V oxických podmínkách dochází k oxidaci Fe^{2+} na Fe^{3+} , následující hydrolýze a k vysrážení tuhých fází Fe^{3+} (Pitter, 2009).

V nízkých koncentracích je železo běžnou součástí přírodních i užitkových vod. V atmosférických vodách jsou koncentrace železa velmi nízké, obvykle v setinách mg/l. v povrchových vodách se železo vyskytuje obvykle v obsahu setin až desetin mg/l. V podzemních vodách, které neobsahují rozpuštěný kyslík, se může vyskytovat rozpuštěné železo v oxidačním stupni II v koncentracích dosahujících i desítky mg/l. V silně kyselých vodách, které pochází např. z důlních děl, mohou koncentrace železa přesahovat i tisíc mg/l. U minerálních vod, kde koncentrace železa převyšuje deset mg/l, hovoříme o železnatých minerálních vodách a využívají se ve zdravotnictví. Železo přítomné ve vodách způsobuje především technické závady. Z hygienického hlediska ovlivňuje negativně organoleptické vlastnosti vody, barvu, chuť i zákal. Negativně mohou ovlivňovat chuť a zákal vody již koncentrace nad 0,5 mg/l (Pitter, 2009).

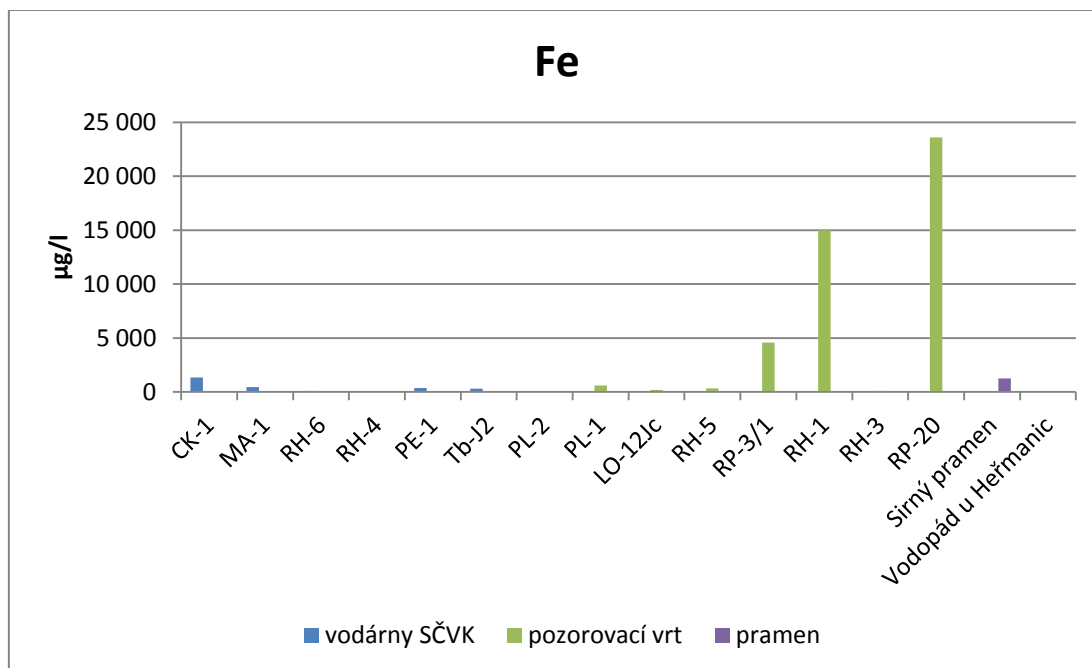
Na české straně zájmového území byla v případě Fe zaznamenána maximální hodnota 23600 $\mu\text{g/l}$ na lokalitě RP-20 a minimální hodnota 26,4 $\mu\text{g/l}$ na lokalitě PL-2. Průměrná hodnota Fe činila 3015 $\mu\text{g/l}$.

V případě Fe na saské straně zájmového území byla zaznamenána maximální hodnota 251 $\mu\text{g/l}$ na lokalitě Drehe Bohrg. 1/77 (51546004). Minimální hodnota Fe pod mezí detekce <20 mg/l byla pozorována na lokalitách WF Bürgerallee a WF Teufelsmühle. V průměru dosahovala koncentrace Fe hodnoty 104 $\mu\text{g/l}$.

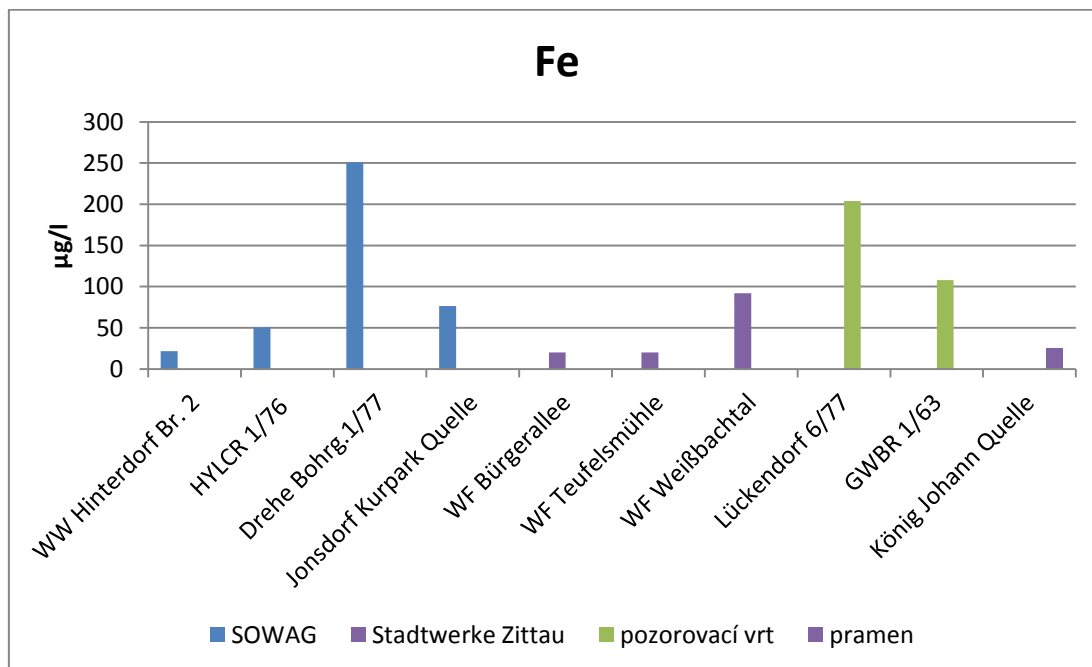
Graf 4.22 a 4.23 znázorňuje hodnoty Fe vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Vzhledem k vyšším rozdílům mezi maximálními a minimálními hodnotami je koncentrace Fe vynesena v logaritmickém měřítku na Grafu 4.24 a 4.25. Tabelární výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.



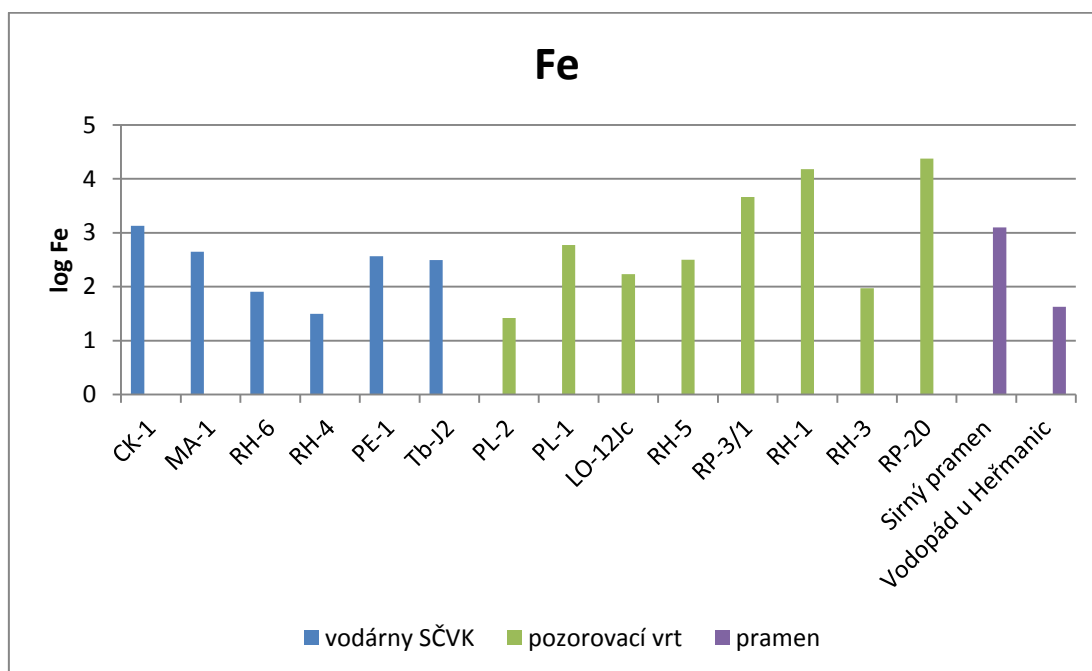
Graf 4.22 – Koncentrace Fe na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



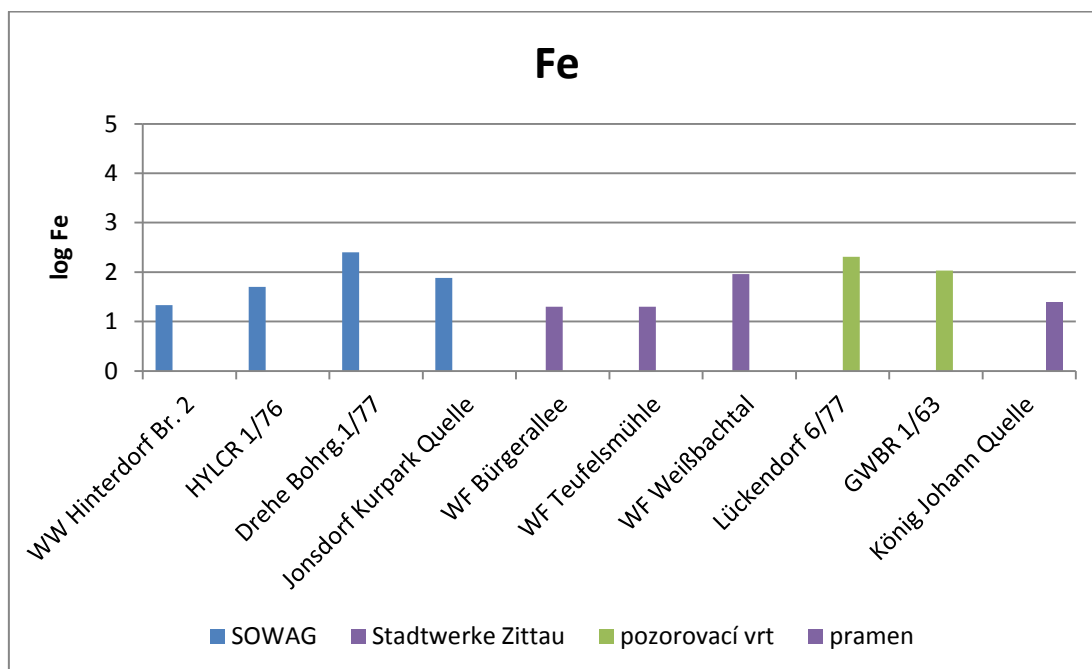
Graf 4.23 – Koncentrace Fe na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



Graf 4.24 – Koncentrace Fe v logaritmickém měřítku na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.25 – Koncentrace Fe v logaritmickém měřítku na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



4.11 Mangan Mn

Mangan obvykle doprovází železné rudy. Z manganových rud se v přírodě vyskytuje zejména burel či pyroluzit (MnO_2), braunit Mn_2O_3), hausmanit (Mn_3O_4) a manganit $[\text{MnO}(\text{OH})]$. Mangan přechází do vod také z půd a sediment. Antropogeními zdroji manganu mohou být některé průmyslové odpadní vody (Greenwood, Earnshaw, 1993).

Mangan se může vyskytovat ve vodách v rozpuštěné a nerozpuštěné formě, především v oxidačních stupních 2+, 3+, 4+ a dále taky organicky vázaný. V redukčních podmínkách za nepřítomnosti kyslíku a jiných oxidačních činidel je nejstabilnější formou manganu ve vodě Mn^{2+} , v kyselém a neutrálním prostředí převažuje z rozpuštěných forem jednoduchý hydratovaný kation $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. V závislosti na hodnotě pH a složení vody se mohou vyskytovat komplexy, např. $[\text{MnOH}]^+$. Koncentrace rozpuštěného manganu v přírodních vodách v anoxických až anaerobních podmínkách je limitována rozpustností uhlíčitanu, hydroxidu nebo sulfidu. Mangan v oxidačním stupni II je ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík nestabilní, zejména v alkalickém prostředí se rychle oxiduje na oxidační stupně 3+ a 4+. Zvýšené koncentrace železa v přírodních vodách je obvykle doprovázena i zvýšenou koncentrací manganu. Poměrově vůči železu bývá manganu méně. Vzhledem k omezené rozpustnosti oxidů manganu převyšuje jeho koncentrace ve vodách zřídka hranici 1 mg/l (Pitter, 2009).

V atmosférických vodách je jeho koncentrace velmi nízká. Koncentrace manganu jsou v podzemních vodách vyšší než v povrchových, kde probíhají oxidační procesy. Obvykle se jedná o koncentrace v setinách až desetínách mg/l. Ani minerální vody nejsou na mangan zvláště bohaté, koncentrace nad 1 mg/l jsou výjimečné. Mimořádně vysoké koncentrace manganu můžeme nalézt v kyselých vodách z okolí rudních ložisek, kde koncentrace dosahují až desítek mg/l. U průmyslových odpadních vod činí koncentrace manganu až stovky mg/l. V chemii přírodních a užitkových vod mají mimořádnou roli oxidačně-redukční procesy manganu. Mangan představuje esenciální prvek nezbytný pro rostliny a živočichy. Významně ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody, a to již v koncentraci vyšší než 0,3 mg/l (Pitter, 2009).

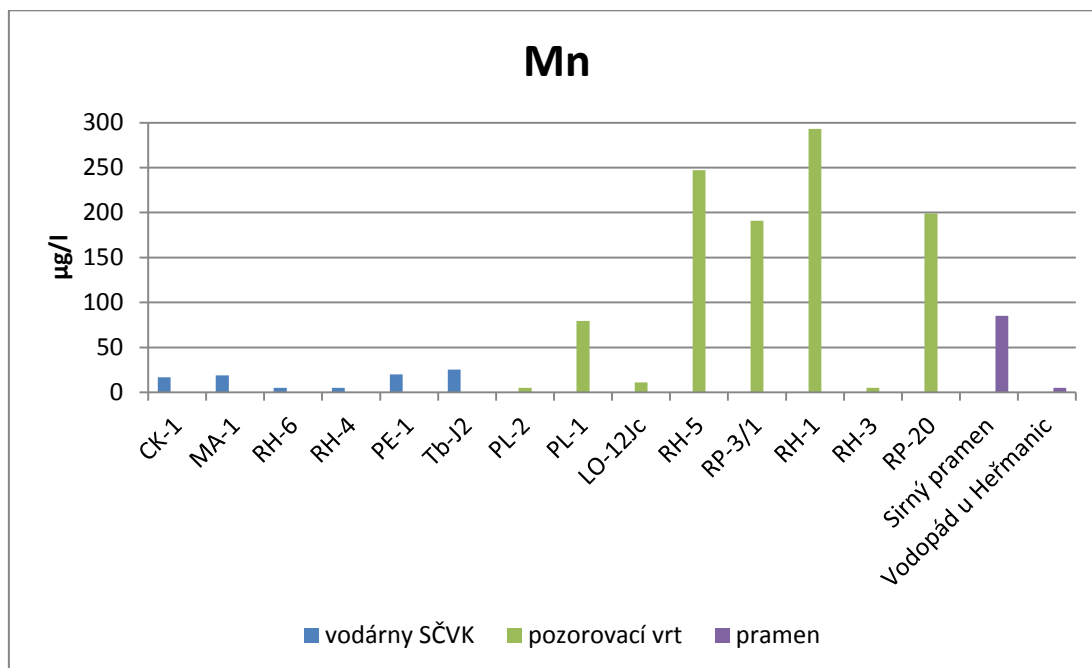
Na české straně byla v případě Mn zaznamenána maximální hodnota 293 $\mu\text{g/l}$ na lokalitě RH-1. Minimální hodnota Mn pod mezí detekce <5 mg/l byla pozorována na lokalitách RH-6, RH-4, PL-2, RH-3 a Vodopád u Heřmanic. Průměrná hodnota Mn činila 108 $\mu\text{g/l}$.

V případě Mn na saské straně byla zaznamenána maximální hodnota 44,8 $\mu\text{g/l}$ na lokalitě WF Bürgerallee. Koncentrace Mn pod mezí detekce <5 mg/l byla pozorována na lokalitách WW Hinterdorf Br. 2, Jonsdorf Kurpark Quelle a König Johann Quelle (51542001). V průměru dosahovala koncentrace Mn hodnoty 16,2 $\mu\text{g/l}$.

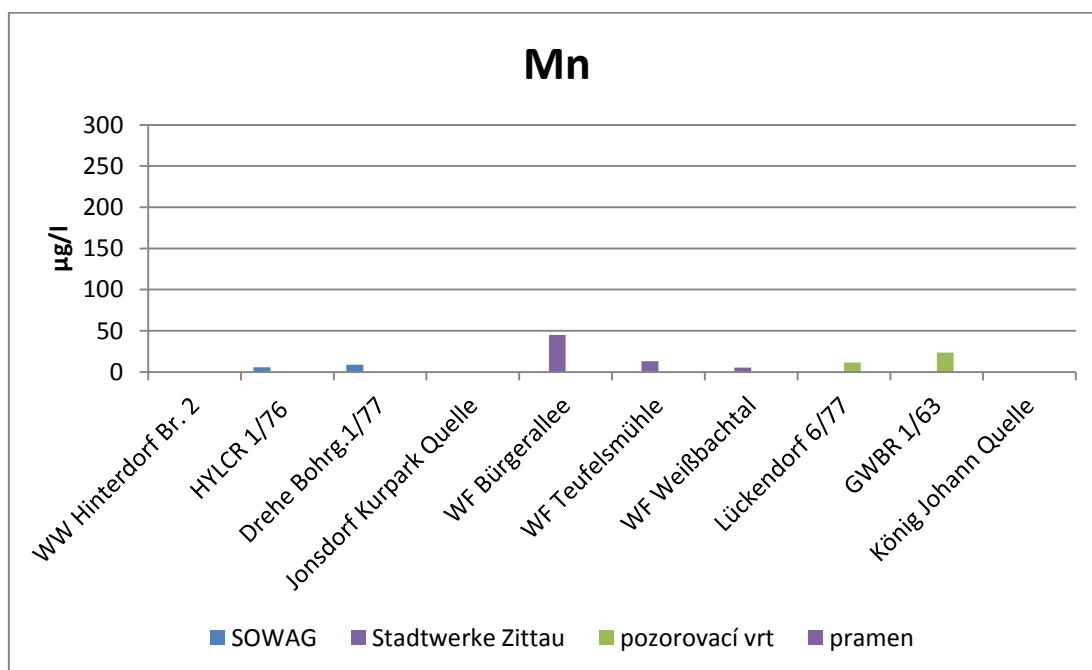
Graf 4.26 a 4.27 znázorňuje hodnoty Mn vybraných lokalit na české a saské straně zájmové oblasti. Koncentrace Mn je z důvodu vyšších rozdílů mezi maximálními a minimálními hodnotami vynesena v logaritmickém měřítku na Grafu 4.28 a 4.29. Tabele výsledky jsou sumarizovány v Příloze 1 a 2.



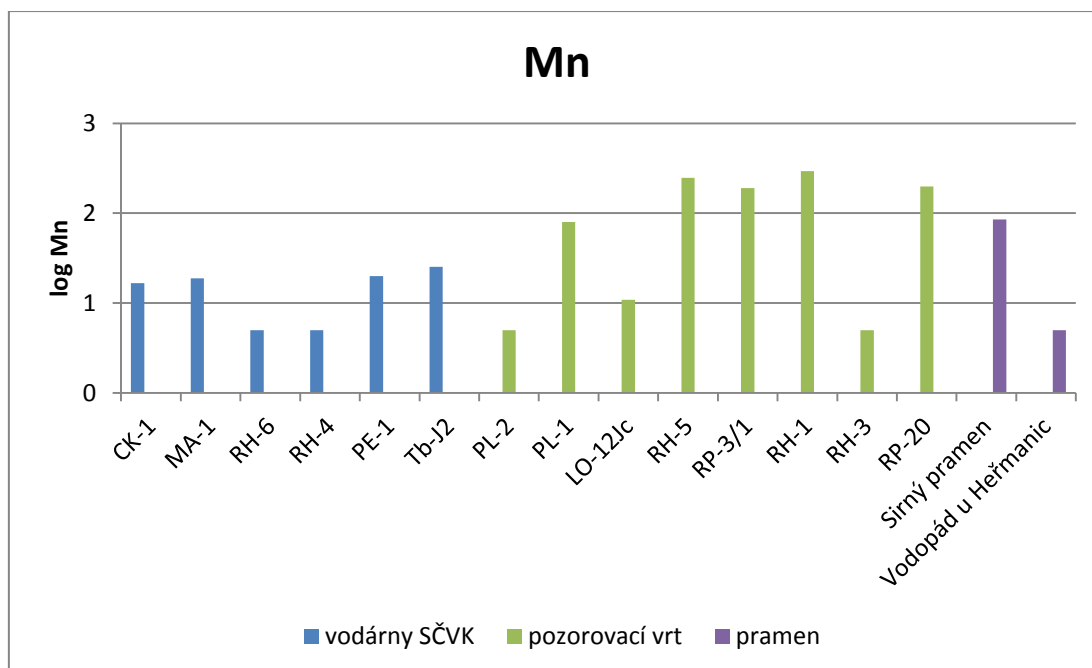
Graf 4.26 – Koncentrace Mn na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



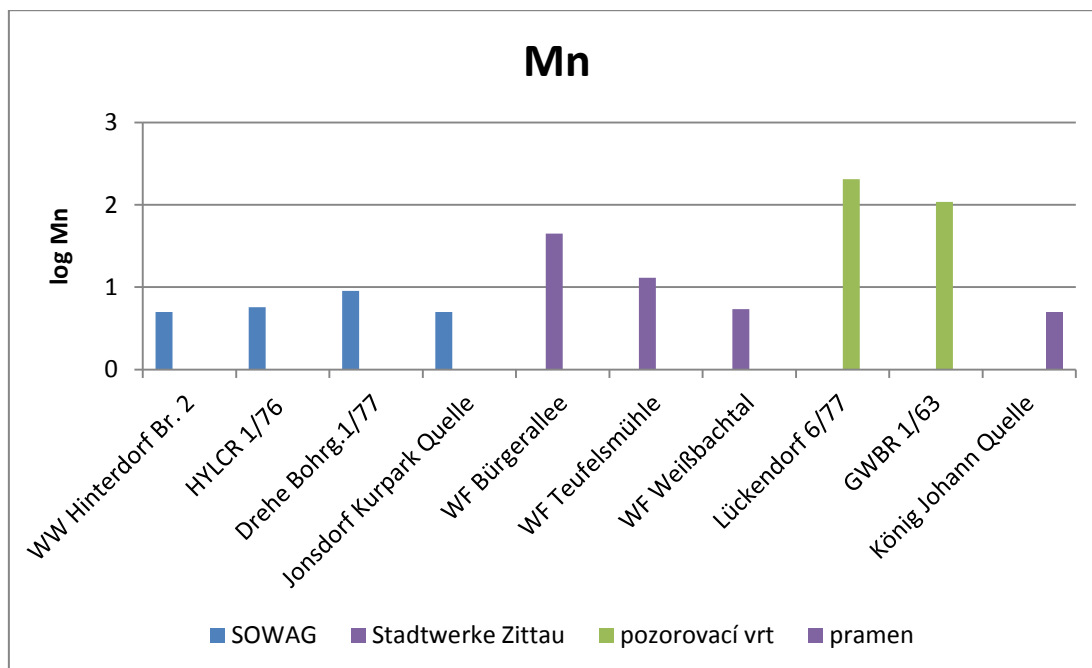
Graf 4.27 – Koncentrace Mn na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



Graf 4.28 – Koncentrace Mn v logaritmickém měřítku na vybraných lokalitách na české části zájmové oblasti.



Graf 4.29 – Koncentrace Mn v logaritmickém měřítku na vybraných lokalitách na saské části zájmové oblasti.



4.12 Souhrn hodnocení fyzikálně chemických a anorganických parametrů podzemních vod

Souhrnné hodnocení prezentuje srovnání vybraných fyzikálně chemických a anorganických parametrů podzemních vod s limity pro pitnou vodu v ČR, a to dle vyhlášky č.252/2004 Sb. (dále jen limit) Pro českou část zájmové oblasti je hodnocení zobrazeno v Tabulce 4.1 a pro saskou část zájmové oblasti je hodnocení zobrazeno v Tabulce 4.2.

Na české části zájmového území jsou hodnoty pH mírně pod limitem u vodárenských vrtů CK-1, MA-1, RH-4, Tb-J2 a dále u pozorovacích vrtů RP-3/1 a RH-3. Koncentrace

Tabulka 4.1 – Srovnání fyzikálně chemických a anorganických parametrů podzemních vod s limity pro pitnou vodu (ČR), vyhláška č.252/2004 Sb. pro českou část zájmové oblasti.

| ukazatel jednotky | pH | konduktivita | NO ₃ ⁻ | Mg | Cl ⁻ | Mn | SO ₄ ²⁻ | Na | Ca | Fe |
|----------------------|-----|--------------|------------------------------|------|-----------------|------|-------------------------------|------|------|------|
| | | μS/cm | mg/l | mg/l | mg/l | μg/l | mg/l | mg/l | mg/l | μg/l |
| CK-1 | 6,4 | 95 | <0,5 | 0,67 | <5 | 16,6 | 11,3 | 3,19 | 9,32 | 1350 |
| MA-1 | 6,2 | 118 | 6,05 | 1,10 | 5,32 | 18,9 | 15,0 | 6,52 | 10,9 | 442 |
| RH-6 | 6,8 | 197 | 3,35 | 1,25 | <5 | <5 | <5 | 1,87 | 36,1 | 80,3 |
| RH-4 | 6,1 | 64 | 1,03 | 0,61 | <5 | <5 | <5 | 1,18 | 8,88 | 31,4 |
| PE-1 | 6,5 | 281 | 0,99 | 2,37 | 6,31 | 19,9 | 68,3 | 5,30 | 40,8 | 367 |
| Tb-J2 | 5,8 | 119 | 6,46 | 4,07 | <5 | 25,4 | 32,8 | 4,82 | 11,9 | 311 |
| PL-2 | 7,4 | 200 | 30,5 | 1,61 | 11,0 | <5 | 47,6 | 7,90 | 67,7 | 26,4 |
| PL-1 | 6,6 | 209 | 14,0 | 1,90 | 13,7 | 79,6 | 22,1 | 6,63 | 27,8 | 592 |
| LO-12Jc | 6,7 | 145 | 39,0 | 2,60 | 8,41 | 10,9 | 5,06 | 6,56 | 21,0 | 170 |
| RH-5 | 7,4 | 402 | <0,1 | 0,80 | 1,49 | 247 | <0,5 | 1,18 | 26,4 | 316 |
| RP-3/1 | 6,4 | 258 | 9,51 | 4,70 | 3,65 | 191 | 29,4 | 5,28 | 21,3 | 4570 |
| RH-1 | 6,5 | 288 | <0,1 | 1,45 | 10,1 | 293 | 41,6 | 5,13 | 45,8 | 1500 |
| RH-3 | 6,3 | 162 | 20,4 | 2,09 | 8,69 | <5 | 15,5 | 5,05 | 21,9 | 93,2 |
| RP-20 | 6,9 | 320 | 0,96 | 3,35 | <5 | 199 | 10,3 | 2,30 | 67,8 | 2360 |
| Sirný pramen | 7,3 | 235 | <0,5 | 2,48 | <5 | 85,3 | 28,0 | 3,25 | 42,8 | 1250 |
| Vodopád u Heřmanic | 6,7 | 129 | 10,9 | 1,41 | <5 | <5 | 26,3 | 4,77 | 18,3 | 42,4 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---------|------|-----|----|-----|----|-----|-----|-------|-----|
| limit pro pitnou vodu (ČR), vyhláška č.252/2004 Sb. | 6,5-9,5 | 1250 | 50 | 10 | 100 | 50 | 250 | 200 | 40-80 | 200 |
| typ limitu | MH | MH | NMH | MH | MH | MH | MH | MH | DH | MH |

Použité zkratky: MH – mezní hodnota, NMH – nejvyšší mezní hodnota, DH – doporučená hodnota



vápníku (Ca) je pod limitem u vodárenských vrtů CK-1, MA-1, RH-6, RH-4, Tb-J2 a dále u pozorovacích vrtů PL-1, LO-12Jc, RH-5, RP-3/1, RH-3 a u pramene Vodopád u Heřmanic. Koncentrace manganu (Mn) je výrazně nad limitem u pozorovacího vrtu RP-3/1, RH-1 a RP-20. Dále koncentrace manganu (Mn) překračuje limit u pozorovacího vrtu PL-1 a pramene Sirný pramen. Koncentrace železa (Fe) je výrazně nad limitem u vodárenského vrtu CK-1, pozorovacích vrtů RP-3/1, RH-1 a RP-20 a pramene Sirný pramen. Koncentrace železa (Fe) překračuje limit u vodárenských vrtů MA-1, PE-1 a Tb-J2. U pozorovacích vrtů je limit pro koncentraci železa (Fe) překročen u vrtů PL-1 a RH-5. V případě zbylých parametrů, a to konduktivity, dusičnanů (NO_3^-), hořčíku (Mg), chloridů (Cl^-), síranů (SO_4^{2-}) a sodíku (Na) nebyl limit překročen.

Na saské části zájmového území jsou hodnoty pH mírně pod limitem u vodárenských vrtů WW Hinterdorf Br. 2, Jonsdorf Kurpark Quelle, WF Bürgerallee, WF Teufelsmühle a WF Weißbachtal. Koncentrace vápníku (Ca) je pod limitem u vodárenských vrtů WW Hinterdorf Br. 2, Drehe Bohrg. 1/77 (51546004), Jonsdorf Kurpark Quelle, WF Bürgerallee, WF Teufelsmühle, WF Weißbachtal a dále u pozorovacího vrtu GWBR 1/63 (51540600) a pramene König Johann Quelle (51542001). Limit pro koncentraci železa (Fe) byl překročen u vodárenského vrtu Drehe Bohrg. 1/77 (51546004) a pozorovacího vrtu Lückendorf 6/77 (51546006). V případě zbylých parametrů, a to konduktivity, dusičnanů (NO_3^-), hořčíku (Mg), chloridů (Cl^-), manganu (Mn), síranů (SO_4^{2-}) a sodíku (Na) nebyl limit překročen.

Tabulka 4.2 – Srovnání fyzikálně chemických a anorganických parametrů podzemních vod s limity pro pitnou vodu (ČR), vyhláška č.252/2004 Sb. pro saskou část zájmové oblasti.

| ukazatel | pH | konduktivita | NO_3^- | Mg | Cl^- | Mn | SO_4^{2-} | Na | Ca | Fe |
|--------------------------------|-----|------------------|-----------------|------|---------------|-----------------|--------------------|------|------|-----------------|
| jednotky | | $\mu\text{S/cm}$ | mg/l | mg/l | mg/l | $\mu\text{g/l}$ | mg/l | mg/l | mg/l | $\mu\text{g/l}$ |
| WW Hinterdorf Br. 2 | 5,7 | 86 | 6,99 | 1,62 | 4,39 | <5 | 16,8 | 3,80 | 7,39 | 21,5 |
| HYLCR 1/76 (51546001) | 7,0 | 260 | 10,2 | 1,05 | 6,72 | 5,70 | 19,3 | 4,67 | 44,3 | 50,5 |
| Drehe Bohrg. 1/77 (51546004) | 6,8 | 147 | 8,16 | 2,16 | 6,18 | 9,00 | 20,4 | 4,82 | 18,6 | 251 |
| Jonsdorf Kurpark Quelle | 5,8 | 165 | 11,0 | 2,37 | 12,2 | <5 | 34,2 | 12,5 | 10,5 | 76,3 |
| WF Bürgerallee | 6,0 | 126 | 10,1 | 3,67 | 3,52 | 44,8 | 35,0 | 4,25 | 9,82 | <20 |
| WF Teufelsmühle | 6,4 | 70 | 4,14 | 1,03 | 4,14 | 13,0 | 8,41 | 3,69 | 6,97 | <20 |
| WF Weißbachtal | 6,4 | 76 | 4,98 | 1,25 | 4,35 | 5,40 | 10,3 | 3,03 | 7,99 | 91,9 |
| Lückendorf 6/77 (51546006) | 7,3 | 571 | 11,3 | 2,93 | 67,2 | 11,7 | 16,9 | 33,1 | 72,6 | 204 |
| GWBR 1/63 (51540600) | 7,3 | 96 | 0,18 | 0,30 | 12,8 | 23,5 | <0,5 | 3,52 | 12,9 | 108 |
| König Johann Quelle (51542001) | 6,7 | 71 | 8,27 | 1,34 | 6,97 | <5 | 5,21 | 4,59 | 4,91 | 24,9 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---------|------|-----|----|-----|----|-----|-----|-------|-----|
| limit pro pitnou vodu (ČR), vyhláška č.252/2004 Sb. | 6,5-9,5 | 1250 | 50 | 10 | 100 | 50 | 250 | 200 | 40-80 | 200 |
| typ limitu | MH | MH | NMH | MH | MH | MH | MH | MH | DH | MH |

Použité zkratky: MH – mezní hodnota, NMH – nejvyšší mezní hodnota, DH – doporučená hodnota



5. Odhad stáří podzemních vod

V oblasti CHKO Lužické hory a NP Žitavské hory proběhla v minulosti řada výzkumných studií se zaměřením na stav a dynamiku podzemních vod. Na české straně zájmového území můžeme uvést např. studie firmy Stavební geologie, n.p. Tlustecký blok (Zpráva z I. etapy a ideový projekt II. etapy) (Nakládal, 1975) nebo Tlustecký blok (Závěrečná zpráva o výsledcích geologicko-průzkumných prací) (Brožek, 1982). V saské části zájmového území můžeme jmenovat např. studii firmy G.E.O.S (Mibus et al., 1998).

Z výše jmenovaných studií se však žádná nezabývala komplexně oběma částmi oblasti CHKO Lužické hory a NP Žitavské hory, jak je tomu v této studii Stáří a míšení podzemních vod v zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin.

Studie provedené v oblasti CHKO Lužické hory se zabývaly stavem podzemních vod a na odhad stáří podzemních vod se nezaměřovaly (Nakládal, 1975), (Brožek, 1982).

V oblasti NP Žitavské hory provedla firma G.E.O.S. odhad průměrné doby setrvání podzemní vody na vybraných vrtech. K posouzení průměrné doby setrvání zkoumané podzemní vody, a tím i chráněnosti podzemní vody, byly ve vybraných průzkumných sondách odebrány vzorky na analýzu ^3H . K porovnání bylo dále možné využít nezveřejněné hodnoty z většího státního průzkumného programu z let 1988-89. Odběr vzorků provedla společnost G.E.O.S. Freiberg dne 5.12.1997. Odběr vzorků se uskutečnil po načerpání studní z dopravovaného proudu. Analytika byla provedena společností VKTA Rossendorf v laboratoři pro analytiku životního prostředí a radionuklidů s pomocí scintilační spektrometrie kapalin po destilaci a elektrolytickém obohacení. Výsledky měření a použitá data z literatury jsou uvedeny v Tabulce 5.1 (Mibus et al., 1998).

Tabulka 5.1 – Výsledky analýz tritia na vybraných lokalitách v oblasti NP Žitavské hory provedené firmou G.E.O.S. v roce 1998 (Mibus et al., 1998).

| Měřicí stanice | Místo | Datum odběru vzorku | ^3H [TU] | Poznámka |
|----------------|----------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| 501/9 | Lückendorf Neubrunnen | 5.12.1997 | 28,2±1,1 | |
| 1/76 | Lückendorf Altbrunnen | 1988 | 20,9±2,2 | hodnota z literatury |
| 6/77 | Lückendorf | 5.12.1997 | 12,7±1,0 | |
| 2/56 | Oybin Bürgerallee studna 2 | 5.12.1997 | 16,3±0,9 | |
| 1/77 | Jonsdorf studna Drehe | 5.12.1997 | 10,5±0,8 | |
| 2/30 | Jonsdorf studna Hinterdorf | 1988 | 16,3±1,7 | hodnota z literatury |
| | Johannquelle | 5.12.1997 | 8,8±0,9 | |

Mibus (1998) odebrané vzorky podzemních vod kvantitativně seřadil podle jejich aktivity ^3H a rozdělil do čtyř předpokládaných období původu v Tabulce 5.2 (Mibus et al., 1998).

Tabulka 5.2 – Kvantitativní vyhodnocení podzemních vod na vybraných lokalitách v oblasti NP Žitavské hory provedené firmou G.E.O.S. v roce 1998 (Mibus et al., 1998).

| | | |
|-----|---------------------------------------|---|
| I | ^3H poblíž nuly: | staré vody s dobou setrvání >45 a, infiltrace před testy jaderných zbraní 1953-1963 („bombový vrchol“), kosmogenní ^3H již rozpadlý |
| II | $^3\text{H} < 8 \text{ TU}$: | staré vody s velmi malou příměsí technogenních ^3H mladších vod |
| III | $^3\text{H} 8\text{-}20 \text{ TU}$: | smíšené vody z tritiované vody testů jaderných bomb a vod chudých na ^3H před a po bombovém vrcholu, až k recentním vodám, roztok proto většinou nejednoznačný |
| IV | $^3\text{H} > 20 \text{ TU}$: | převažující podíl vody z doby bombových testů s velmi malou příměsí vod chudých na ^3H |

Případné významnější rozdíly ve stanovení jednotlivých ukazatelů nebo odhadu stáří jsou způsobeny použitím konkrétní analytické metody nebo odlišného modelu pro odhad stáří podzemních vod. V úvahu musíme brát také datum odběru vzorků.

Pro odhad míry zastoupení podílu mladší složky ve studované vodě byl v této studii použit přirozený stopovač tritium, jehož koncentrace byla uměle zvýšena v 60. až 70. letech minulého století, viz Kapitola 3.3.

Vzorky podzemní vody byly odebrány v dynamickém stavu. Na základě analýzy tritia byly stanoveny předpokládané intervaly stáří. Výsledky měření vzorků podzemních vod z vodárenských vrtů, pozorovacích vrtů a pramenů na české a saské části zájmového území jsou sumarizovány v Tabulce 5.3. Odhad stáří proběhl k referenčnímu roku 2013.



Tabulka 5.3 – Výsledky odhadu stáří podzemních vod pomocí tritia na české a saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin.

| místo odběru | typ objektu | odhad stáří v rocích (rozsah) | nalezené intervaly po roce 1961 (interval v rocích) | nalezené intervaly po roce 1961 (interval v letopočtu) |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------|---|--|
| CK-1 | vodárenský vrt | 18 - 43 | 52; 32 - 20; 16 - 15; 11 | 1961; 1981-1993; 1997-1998; 2002 |
| MA-1 | | 3 - 32 | 52; 45; 41 - 0 | 1961; 1968; 1972 - 2013 |
| RH-6 | | >52 | <52 | starší než 1961 |
| RH-4 | | >52 | <52 | starší než 1961 |
| PE-1 | | 3 - 32 | 52; 42 - 0 | 1961; 1971 - 2013 |
| Tb-J2 | | 3 - 32 | 52; 45; 41 - 0 | 1961; 1968; 1972 - 2013 |
| WW Hinterdorf Br. 2 | | 3 - 32 | 52; 45; 41 - 0 | 1961; 1968; 1972 - 2013 |
| HYLCR 1/76 (51546001) | vodárenský vrt | 18 - 43 | 52; 33 - 15; 12 - 10; 3 | 1961; 1980-1998; 2001-2003; 2009 |
| Drehe Bohrg, 1/77 (51546004) | | 18 - 43 | 52; 32 - 15; 11; 3 | 1961; 1981-1998; 2002; 2009 |
| Jonsdorf Kurpark Quelle | | 3 - 32 | 52; 42 - 0 | 1961; 1971 - 2013 |
| WF Bürgerallee | | 3 - 32 | 52; 42 - 30; 27 - 0 | 1961; 1968; 1971-1983; 1986 - 2013 |
| WF Teufelsmühle | | 18 - 43 | 52; 32 - 18; 16 - 15; 11 | 1961; 1981-1995; 1997-1998; 2002 |
| WF Weißbachtal | | 3 - 32 | 52; 45; 41 - 0 | 1961; 1968; 1972 - 2013 |
| PL-2 | pozorovací vrt | 0 - 23 | 52; 45; 42 - 30; 27 - 0 | 1961; 1968; 1971-1983; 1986-2013 |
| PL-1 | | 0 - 23 | 52; 45; 42 - 30; 27 - 0 | 1961; 1968; 1971-1983; 1986-2013 |
| LO-12Jc (VP8439) | | >52 | <52 | starší než 1961 |
| RH-5 | | 18 - 43 | 51; 46 - 32; 20; 17 - 16; 9; 6 - 0 | 1962; 1967-1981; 1993; 1996-1997; 2004; 2007-2013 |
| RP-3/1 | | 3 - 32 | 52; 41 - 0 | 1961; 1972 - 2013 |
| RH-1 | | 3 - 32 | 52; 45; 42 - 0 | 1961; 1968; 1971 - 2013 |
| RH-3 | | 3 - 32 | 52; 45; 41 - 0 | 1961; 1968; 1972 - 2013 |
| RP-20 | | >52 | <52 | starší než 1961 |
| RP-22 | | >52 | <52 | starší než 1961 |
| Lückendorf 6/77 (51546006) | pozorovací vrt | 0 - 23 | 43 - 30; 26 - 24; 22 - 14; 11 - 0 | 1970-1983; 1987-1989; 1991-1999; 2002-2013 |
| Lückendorf, GWBR 1/63 (51540600) | | 3 - 32 | 52; 32 - 15; 11 | 1961; 1981-1998; 2002 |
| Sirný pramen | pramen | 18 - 43 | 52; 41; 37 - 36; 33 - 0 | 1961; 1972; 1976-1977; 1980-2013 |
| Vodopád u Heřmanic | | 0 - 23 | 42 - 30; 27 - 0 | 1971-1983; 1986-2013 |
| Lůž | | 0 - 23 | 52; 47 - 31; 26 - 24; 22 - 15; 9 - 0 | 1961; 1966-1982; 1987-1989; 1991-1998; 2004-2013 |
| König Johann Quelle (51542001) | | 3 - 32 | 52; 32 - 10; 4 | 1961; 1981-2003; 2009 |

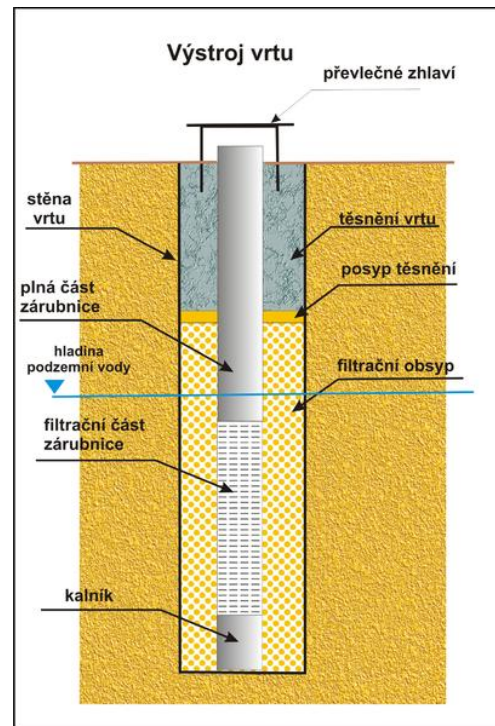
Odhad stáří proběhl k referenčnímu roku 2013.



5.1 Vodárenské vrty

Vodárenské vrty reprezentují významné zdroje vody pro využití v technologickém procesu (zásobování, zavlažování), nebo jako zdroj pitné vody pro zásobování obyvatelstva (vodárny). Vodárenské vrty jsou obvykle většího průměru, a to více jak 150 mm. Vrty jsou vystrojeny kovovou, plastovou nebo betonovou zárubnicí. Těsnění vrtu zabraňuje kontaminaci vrtu s povrchu. Charakteristickým znakem vodárenských vrtů je snaha o zastížení a provrtání vodonosné vrstvy (zpravidla v plné její mocnosti) a zajištění stěn vrtu výstrojí, jež má umožnit přítok vody do vrtu bez strhávání jemnozrnných frakcí hornin z okolí výstroje vrtu. Výstroj vodárenského vrtu se skládá zpravidla z kolony trubek (zárubnic), plných ve spodní části, perforovaných přes vodonosnou vrstvu (kolektor) a plných v horní (nástavné) části. Prostor mezi zárubnicí a stěnou vrtu je vyplněn zpravidla obsypem z vhodně zvoleného materiálu jako např. z říčního štěrku (kačírek). Materiál obsypu zabraňuje vnosu jemnozrnných frakcí hornin z okolí a plní tak funkci filtru. Vodárenské vrty jsou v místě perforovaných zárubnic osazeny čerpadlem odpovídajícího výkonu, které zajišťuje stále čerpání podzemní vody do vodárenské sítě. Schéma výstroje vrtu je znázorněno na Obrázku 5.1 (www.studnysat.cz).

Obrázek 5.1 – Schéma výstroje vrtu (www.studnysat.cz).



5.1.1 Vodárenské vrty na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Oblast Petrovice reprezentuje významné zdroj pitné vody na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Stáří podzemních vod bylo odhadnuto na 6 vodárenských vrtech, které jsou ve správě společnosti SČVK, a.s.

5.1.1.1 Vrt CK-1

Vrt CK-1 byl vybudován v roce 1971 a slouží k vodárenským účelům v rámci vodárny ÚV Cvikov. Hloubka vrtu činí 68 metrů pod úrovní terénu. Perforované pažnice o průměru 350 mm se nachází v hloubce 25,0 až 45,0 metrů a dále v hloubce 52,50 až 65,0 metrů pod úrovní terénu. Obsyp vrtu tvoří kačírek s granulací 8/16 mm a nachází se v hloubce 25 až 65 m. Vrt čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Žitný, 1971). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 18 – 43 let.

5.1.1.2 Vrt MA-1

Vrt MA-1 byl vybudován v roce 1985. Celková hloubka vrtu činí 101 metrů pod úrovní terénu. Perforované pažnice o průměru 300 mm se nachází v hloubce 45,0 až 69,5 metrů a dále v hloubce 74,75 až 97,50 metrů pod úrovní terénu. Obsyp vrtu tvoří kačírek s granulací 4/8 mm a nachází se v hloubce 23 až 101 m. Vrt čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Řeháčková, 1986). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 - 32 let.

5.1.1.3 Vrt RH-6

Vrt RH-6 byl odvrtán v roce 1979. Vrt dosahuje celkové hloubky 200 metrů pod terénem. Definitivní výstroj v aktivní části vrtu byla provedena perforovanými dřevěnými pažnicemi o průměru 330 mm, ve svrchní části vrtu antikorozními ocelovými pažnicemi plnými o průměru 380 mm. Vrt čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Brožek, 1982). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na více než 54 let.

5.1.1.4 Vrt RH-4

Vrt RH-4 byl vybudován v roce 1976. Celková hloubka vrtu činí 83 metrů pod úrovní terénu. Definitivní výstroj byla provedena dřevěnými lepenými pažnicemi, spojována antikorozními plechovými manžetami. Svrchu jsou plné pažnice o průměru 377 mm a v aktivní části vrtu jsou perforované pažnice o průměru 300 mm. Obsyp vrtu tvoří kačírek s granulací 8/16 mm. Čerpaná voda pochází z kolektoru 3 (Brožek, 1982). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na více než 54 let.

5.1.1.5 Vrt PE-1

Vrt RH-6 byl odvrtán v roce 1979. Vrt dosahuje celkové hloubky 80 metrů pod terénem. Vrt byl definitivně vystrojen ocelovými pažnicemi o průměru 241 mm. Perforované pažnice se nachází v hloubce 40,7 až 53,2 metrů a dále v hloubce 60,0 až 78,0 metrů pod úrovní terénu. Obsyp vrtu tvoří kačírek s granulací 4/16 mm a nachází se v hloubce 8 až 80 m. Vrt čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Brožek, 1984). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 - 32 let.

5.1.1.6 Vrt Tb-J2

Vrt Tb-J2 byl vybudován v roce 1972. Celková hloubka vrtu činí 350 metrů pod úrovní terénu. Konečnou výstroj vrtu tvořily ocelové pažnice o průměru 426 mm v úseku 0 až 47,8 metrů. Dále následovaly ocelové pažnice o průměru 324 mm střídavě plné a perforované v úseku 47,8 až 350 metrů. Obsyp vrtu tvořil kačírek o granulaci 4/8 mm v úseku 31,0 až 350,0 metrů. Čerpaná voda pochází z kolektoru 3 (Pištora et al.,



1973). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na více než 54 let.

5.1.2 Vodárenské vrty a prameny na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Oblast Lückendorf-Jonsdorf-Oybin reprezentuje významné zdroj pitné vody na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Stáří podzemních vod bylo odhadnuto na 3 vodárenských vrtech, 3 vodárenských jímacích oblastí a jednom prameni jímaném pro vodárenské účely, které jsou ve správě společností SOWAG a Stadtwerke Zittau.

5.1.2.1 Vrt WW Hinterdorf Br. 2

Odběrové místo Hinterdorf stará studna 2/30 bylo vybudováno v roce 1930. Hloubka studny činí 58,8 m. Hinterdorf nová studna 502 E/89 byla vybudována v roce 1989 a dosahuje hloubky 83,5 metrů. Studna slouží společně se studnou 2/30 k zásobování pitnou vodou a je spravována společností SOWAG. Vrt čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Mibus et al., 1998). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 – 32 let.

5.1.2.2 Vrt HYLKR 1/76 (51546001)

Odběrové místo 1/76 bylo vybudováno v roce 1976 až 1997. Studna byla vyhloubena do hloubky 280 m. Studna byla uvedena do provozu dne 11.7.1978 a sloužila k zásobování města Zittau pitnou vodou. Je provozována společností Stadtwerke Zittau. Odběrové místo 501/90 bylo vybudováno v roce 1990. Tato studna byla vybudována jako náhradní studna ve vzdálenosti 48 m od staré studny 1/76 a provozuje ji společnost Stadtwerke Zittau. Studna byla vyhloubena do hloubky 200 metrů. Čerpaná voda pochází z kolektoru 3 (Mibus et al., 1998). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 18 – 43 let.

5.1.2.3 Vrt Drehe Borg 1/77 (51546004)

Odběrové místo Drehe stará studna 1/77 bylo vybudováno v roce 1977. Hloubka studny činí 225 m. Studna byla uvedena do provozu v roce 1988. Nachází se u přečerpávací stanice Drehe a slouží společně s novou studnou 501/90 k zásobování pitnou vodou. Je spravována společností SOWAG. Drehe nová studna 501/90 byla vybudována v roce 1990 a dosáhla hloubky 200 metrů. Vrt čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Mibus et al., 1998). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 18 – 43 let.



5.1.2.4 Pramen Quelle Kurpark Jonsdorf

Pramen Kurpark (lázeňský park) byl podchycen v roce 1934. Jedná se o vydatný puklinový pramen průměrný. Voda pramene pochází z kolektoru 2 až 3 (Mibus et al., 1998). Datováním podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 – 32 let.

5.1.2.5 WF Bürgerallee

Odběrové místo Bürgerallee studna 1 byla vyhloubena v roce 1974. Do provozu byla uvedena v roce 1975. Studna byla vyhloubena do hloubky 130 metrů a slouží k zásobování města Zittau pitnou vodou. Spravuje ji společnost Stadtwerke Zittau. Odběrové místo Bürgerallee studna 2 byla vyhloubena v období 1955 až 1956 a byla vyhloubena do hloubky 70 metrů. Studna slouží k zásobování Oybinu pitnou vodou a spravuje ji společnost Stadtwerke Zittau. Od havárie v roce 1973 (zborcení filtru) čerpá studna již jen se sníženým výkonem čítajícím max. 10 m³/d. Odběrové místo čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Mibus et al., 1998). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 - 32 let.

5.1.2.6 WF Teufelsmühle

Odběrové místo Teufelsmühlwiese studna 1 bylo vybudováno v roce 1939. Hloubka studny činí 91,5 metrů. Studna 2 Teufelsmühlwiese byla vybudována na přelomu let 1948 až 1949. studna byla zbudována do hloubky 83,2 metrů. Obě studny jsou užívány pro zásobování města Zittau pitnou vodou. Jsou provozovány společností Stadtwerke Zittau. Voda čerpaná z odběrového místa pochází z kolektoru 3 (Mibus et al., 1998). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 18 – 43 let.

5.1.2.7 WF Weißbachtal

U odběrového místa v údolí Weißbachtal se jedná o 16 průtokových a sběrných jímaných pramenů s proloženými vsakovacími řády jímajícími podzemní vodu, kterou zadržuje Lužická porucha. Zařízení byla vybudována v letech 1874 až 1876 a dosahují hloubky mezi 2,0 a 5,1 m. Odběrové místo Weißbachtal pokrývá největší část dodávek pitné vody pro město Zittau. Odběrové místo čerpá podzemní vodu z kolektoru 3 (Mibus et al., 1998). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 – 32 let.



5.2 Pozorovací vrty

Pro doplňující informace byly do studie začleněny i pozorovací vrty na české a saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. Tento typ vrtu slouží především k dlouhodobému sledování hladin podzemních vod. Výstroj pozorovacích vrtů se shoduje s výstrojí vodárenských vrtů (viz Obrázek 5.1). U těchto vrtů však musíme dbát zvýšené opatrnosti, neboť jim není věnována taková péče a stálý servis jako u vodárenských vrtů. Můžeme se tak setkat s částečně zasypanými nebo poškozenými vrty. Údaje získané z analýz z takto poškozených vrtů mohou být zkreslující.

5.2.1 Pozorovací vrty na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin bylo do studie pro doplňující informace začleněno 9 pozorovacích vrtů.

5.2.1.1 Vrt PL-2

Vrt PL-2 byl odvrtán v roce 1977. Vrt dosahuje celkové hloubky 50 metrů pod terénem. Vrt byl definitivně vystrojen pažnicemi z PVC o průměru 110 mm. Perforované pažnice se nachází v hloubce 15,0 až 50,0 metrů pod úrovní terénu. Vrt zastihuje kolektor 2 (Brožek, 1978). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 0 - 23 let.

5.2.1.2 Vrt PL-1

Vrt PL-1 byl vybudován v roce 1977. Celková hloubka vrtu činí 60 metrů pod úrovní terénu. Konečnou výstroj vrtu tvořily PVC pažnice o průměru 110 mm. Perforované pažnice se nachází v hloubce 15,0 až 58,0 metrů pod úrovní terénu. Vrt zastihuje kolektor 2 (Brožek, 1978). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 0 - 23 let.

5.2.1.3 Vrt LO-12Jc (VP8439)

Celková hloubka vrtu činí 602 metrů pod úrovní terénu. Vrt je pod správou ČHMU a v databázi je veden pod číslem VP8439. Vrt zastihuje cenomanský kolektor 4 (ČHMU, 2013). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na více než 54 let.



5.2.1.4 Vrt RH-5

Vrt RH-5 byl odvrtán v roce 1976. Vrt dosahuje celkové hloubky 202 metrů pod terénem. Vrt byl definitivně vystrojen dřevěnými lepenými pažnicemi. Svrchní část vrtu byla vystrojena plnou pažnicí o průměru 400 mm a aktivní část vrtu byla vystrojena střídavě plnou a perforovanou pažnicí o průměru 320 mm. Obsyp vrtu tvoří kačírek s granulací 8/16 mm. Vrt zastihuje kolektor 3 (Brožek, 1982). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 18 – 43 let.

5.2.1.5 Vrt RP-3/1

Vrt RP-3/1 byl vybudován v roce 1975. Celková hloubka vrtu činí 53 metrů pod úrovní terénu. Konečnou výstroj vrtu tvořily ocelové pažnice o průměru 110 mm. Vrt zastihuje kolektor 2 (Brožek, 1982). Na základě datování čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 0 – 23 let.

5.2.1.6 Vrt RH-1

Vrt RH-1 byl odvrtán v roce 1974. Vrt dosahuje celkové hloubky 410,5 metrů pod terénem. Vrt byl definitivně vystrojen ocelovými pažnicemi o průměru 630 mm v hloubce 0 až 67,8 metrů a dále ocelovými pažnicemi o průměru 530 mm v hloubce 67,88 až 98,00 metrů pod úrovní terénu. V hloubce 53,5 až 167,25 metrů pod úrovní terénu byla použita plná překližka z lepeného dřeva o průměru 300 mm a dále v hloubce 167,25 až 253,00 metrů pod úrovní terénu byla použita perforovaná překližka z lepeného dřeva o průměru 300 mm. V hloubce 253,00 až 358,00 metrů pod úrovní terénu byla použita plná překližka z lepeného dřeva o průměru 250 mm a dále v hloubce 358,00 až 410,5 metrů pod úrovní terénu byla použita perforovaná překližka z lepeného dřeva o průměru 250 mm. Vrt zastihuje kolektor 3 (Nakládal, 1975). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 – 32 let.

5.2.1.7 Vrt RH-3

Vrt RH-3 byl vybudován v roce 1974. Celková hloubka vrtu činí 326,4 metrů pod úrovní terénu. Definitivní výstroj vrtu tvořily antikorozi ocelové pažnice o průměru 400 mm v hloubce 0 až 54,4 metrů pod úrovní terénu. Dále výstroj vrtu tvořila překližka z lepeného dřeva o průměru 300 mm v hloubce 48,00 až 325,00 metrů pod úrovní terénu, která byla ze 70% perforovaná a 30% plná. Vrt zastihuje kolektor 3 (Nakládal, 1975). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 – 32 let.

5.2.1.8 Vrt RP-20

Vrt RP-20 byl odvrtán v roce 1979. Vrt dosahuje celkové hloubky 55 metrů pod terénem. Vrt byl definitivně vystrojen ocelovou pažnicí o průměru 219 mm,



perforovanou v úseku 13,0 až 49,0 metrů pod úrovní terénu. Obsyp vrtu tvoří kačírek s granulací 8/12 mm. Vrt zastihuje kolektor 3 (Nakládal, 1975). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na více než 52 let.

5.2.1.9 Vrt RP-22

Vrt RP-22 byl vybudován v roce 1979. Celková hloubka vrtu činí 51,0 metrů pod úrovní terénu. Vrt zastihuje kolektor 3 (Nakládal, 1975). Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na více než 52 let.

5.2.2 Pozorovací vrty na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin byly do studie pro doplňující informace začleněny 2 pozorovací vrty.

5.2.2.1 Vrt Lückendorf 6/77 (51546006)

Vrt Lückendorf 6/77 (51546006) zastihuje kolektor 3. Datováním čerpaných podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 0 - 23 let.

5.2.2.2 Vrt GWBR 1/63 (51540600)

Kolektor 3 zastihuje vrt GWBR 1/63 (51540600). Stáří podzemních vod bylo odhadnuto pomocí tritia na 3 - 32 let.



5.3 Prameny

Prameny reprezentují významné hydrogeologické objekty, neboť mohou poskytovat důležité údaje o stavu a změnách hydrogeologického prostředí. Jejich vydatnost může citlivě reagovat na změny prostředí, často je ale obtížné zjistit, který typ změny prostředí danou výchylku ve vydatnosti vyvolal. Pramenů bývá početně podstatně více než využitelných hydrogeologických vrtů. Prameny mohou upozornit na některé jevy, jakými je třeba zpřesnění stratifikace kolektorů.

5.3.1 Prameny na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Z pramenů byly na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin analyzovány 3 lokality.

5.3.1.1 Pramen Studánka Luž/ Lauscheborn Alt

Pramen Studánka Luž/Lauscheborn Alt leží u rozcestí turistických cest na úpatí hory Luž, je málo vydatný, jeho voda pochází z místních terciérních vulkanitů. Pramen je podchycen v kruhové betonové skruži. Dne 4. 8. 2012 neodtékala z pramene žádná voda, konduktivita vody tu byla nízká – 89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Eckhardt, 2013). Datováním podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 0 - 23 let.

5.3.1.2 Pramen Sirný pramen

Pramen Sirný pramen leží v lese na pravém břehu potoka, vyvěrá do tůně, ve které vytváří tvarově bohaté rezavé klky, po odtoku barví vodu potoka mírně do modrozelená. Okolo jsou ještě obdobné slabší vývěry s železitými kaly. Jedná se o výjimečnou lokalitu. Pramen byl měřen v rámci monitoringu v roce 2012, jeho vydatnost byla v květnu 2,75 l/s, v červnu 4,4 l/s a v říjnu 4,3 l/s, konduktivita vody byla stálá okolo 214 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Eckhardt, 2013). Datováním podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 - 32 let.

5.3.1.3 Pramen Vodopád u Heřmanic

Pramen Vodopád u Heřmanic je v lokalitě pramenné oblasti nad silnicí z Heřmanic do Kropachu pod Hvozdem nejvydatnější, pod jeho vývěrem se vyskytuje vodopád, měl vydatnost 3,75 až 5,3 l/s a konduktivita vody činila 117 až 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jižně od něj v drobném údolí s pískovcovou skálou se vyskytuje drobný pramen č. 35 s vydatností 0,03 l/s a konduktivitou vody 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Eckhardt, 2013). Datováním podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 0 – 23 let.



5.3.2 Prameny na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Z pramenů byla na saské straně zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin analyzována jedna lokalita.

5.3.2.1 König Johann Quelle (51542001)

Jedná se o pramen s nejsilnějším odtokem v zájmovém území. Je umístěný u lužické poruchy. Pramen je podchycen několika jímkami, v dolní části s přetokem železnou trubkou pod mostek silnice. Pro veřejnost je nad silnicí umístěn využívaný kohout na stáčení vody a fontánka. Velká část vody pramene je jímána, volně měřit lze pouze přetok z jímacího území. Dne 19. 9. 2013 bylo provedeno i měření vydatnosti – průtok činil 43,3 m³ za hodinu, to odpovídá 12 l/s. Odtok od jímacího území byl v rámci tohoto projektu měřen dne 4. 10. 2012 v úrovni 10 l/s, dne 25.7.2013 byl 9,1 l/s. Konduktivita vody tu byla naměřena v úrovni 52 a 69 µS/cm (Eckhardt, 2013). Datováním podzemních vod pomocí tritia bylo odhadnuto stáří na 3 – 32 let.

.



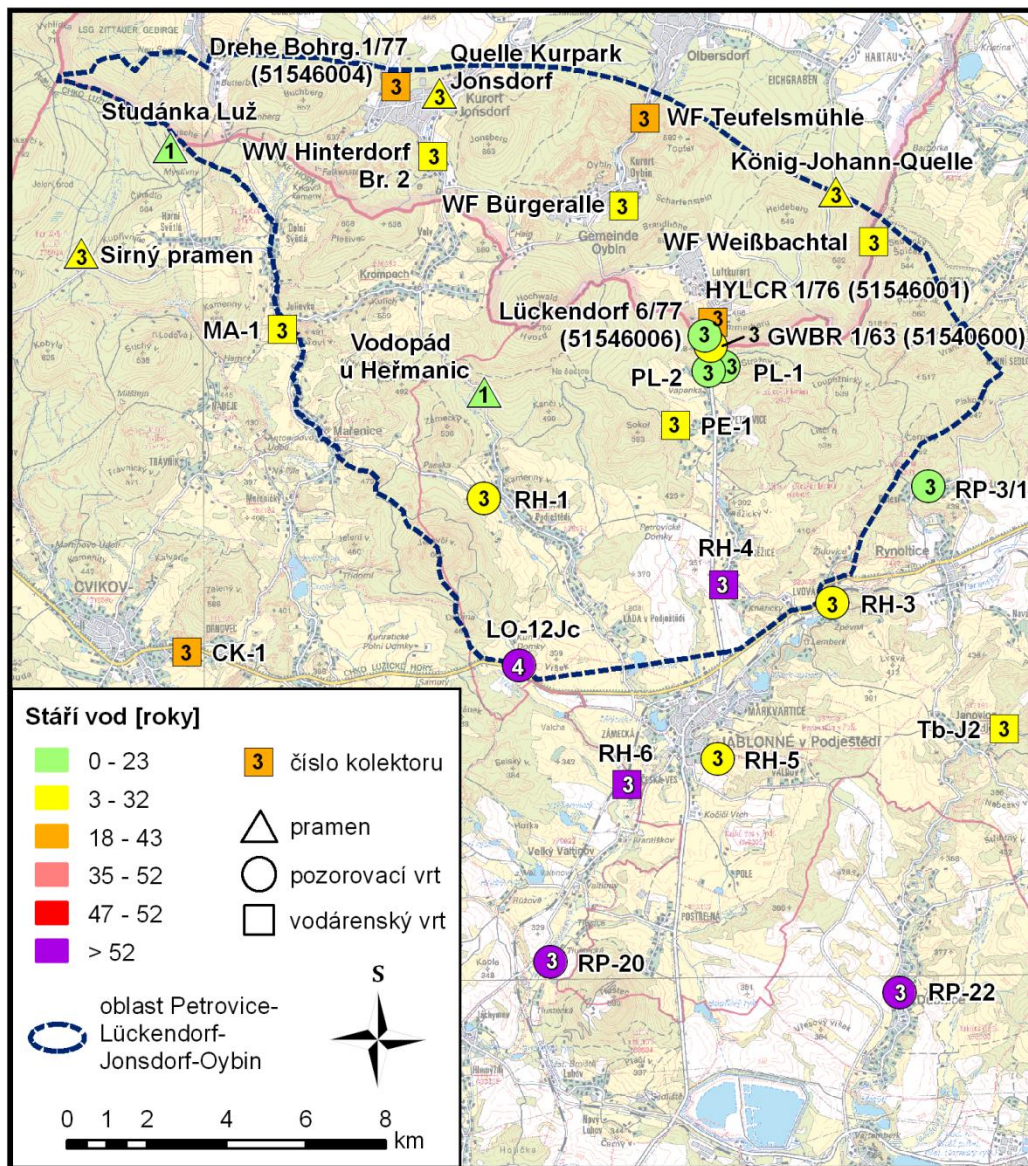
5.4 Mapa stáří podzemních vod v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

Výsledky stáří podzemních vod byly pro lepší přehlednost rozčleněny na 6 časových intervalů a graficky vyneseny do mapy. K níže uvedeným intervalům stanoveným na základě jednoho odběru je zapotřebí zahrnout také rok 1961 kdy docházelo k rychlému nárůstu aktivity ^3H následkem atmosférických testů jaderných zbraní. Pokud by byl proveden další odběr, u kterého by nebylo pozorováno prudké navýšení aktivity, lze období začátku bombového píku (1961) vyloučit. Mapa stáří podzemních vod na Obrázku 5.2 zobrazuje jednotlivé zkoumané objekty rozčleněné do časových intervalů.

- 0 – 23 roků - Reprezentuje kategorii nejmladších objektů. Jedná se z větší části o prameny v zájmové oblasti, dále pak v menší míře některé mělké pozorovací vrty. Do tohoto intervalu spadají prameny Vodopád u Heřmanic a Studánka Luž. Dále sem paří pozorovací vrty PL-2, PL-1, RP-3/1 a Lückendorf 6/77 (51546006).
- 3 – 32 roků - Reprezentuje kategorii mladších objektů. Jedná se z větší části o prameny, vodárenské a pozorovací vrty. Do tohoto intervalu spadají prameny Jonsdorf Kurpark Quelle, Sirný pramen, König Johann Quelle (51542001). Dále do této kategorie spadají vodárenské vrty MA-1, PE-1, Tb-J2, WW Hinterdorf Br. 2, WF Bürgerallee, WF Weißbachtal. Z pozorovacích vrtů do této kategorie spadají RH-1, RH-3 a Lückendorf, GWBR 1/63 (51540600).
- 18 – 43 roků - Reprezentuje kategorii středně starých objektů. Jedná se o vodárenské vrty a pozorovací vrt. Do tohoto intervalu spadají vodárenské vrty CK-1 HYLGR 1/76 (51546001), Drehe Bohrg 1/77 (51546004), WF Teufelsmühle a pozorovací vrt RH-5.
- 35 – 52 roků - Reprezentuje kategorii starších objektů. Žádný objekt v zájmové oblasti do této kategorie nespadá. Voda tohoto stáří by pocházela přímo z období testů jaderných zbraní.
- 47 – 52 roků - Reprezentuje kategorii starých objektů. Žádný objekt v zájmové oblasti do této kategorie nespadá. Voda tohoto stáří by pocházela přímo z období testů jaderných zbraní.
- > 52 roků - Reprezentuje kategorii nejstarších objektů. Jedná se o vodárenské a pozorovací vrty. Do tohoto intervalu spadají vodárenské vrty RH-6, RH-4 a dále pozorovací vrty LO-12Jc (VP8439), RP-20 a RP-22.



Obrázek 5.2 – Mapa stáří podzemních vod s vyznačenými kolektory v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin

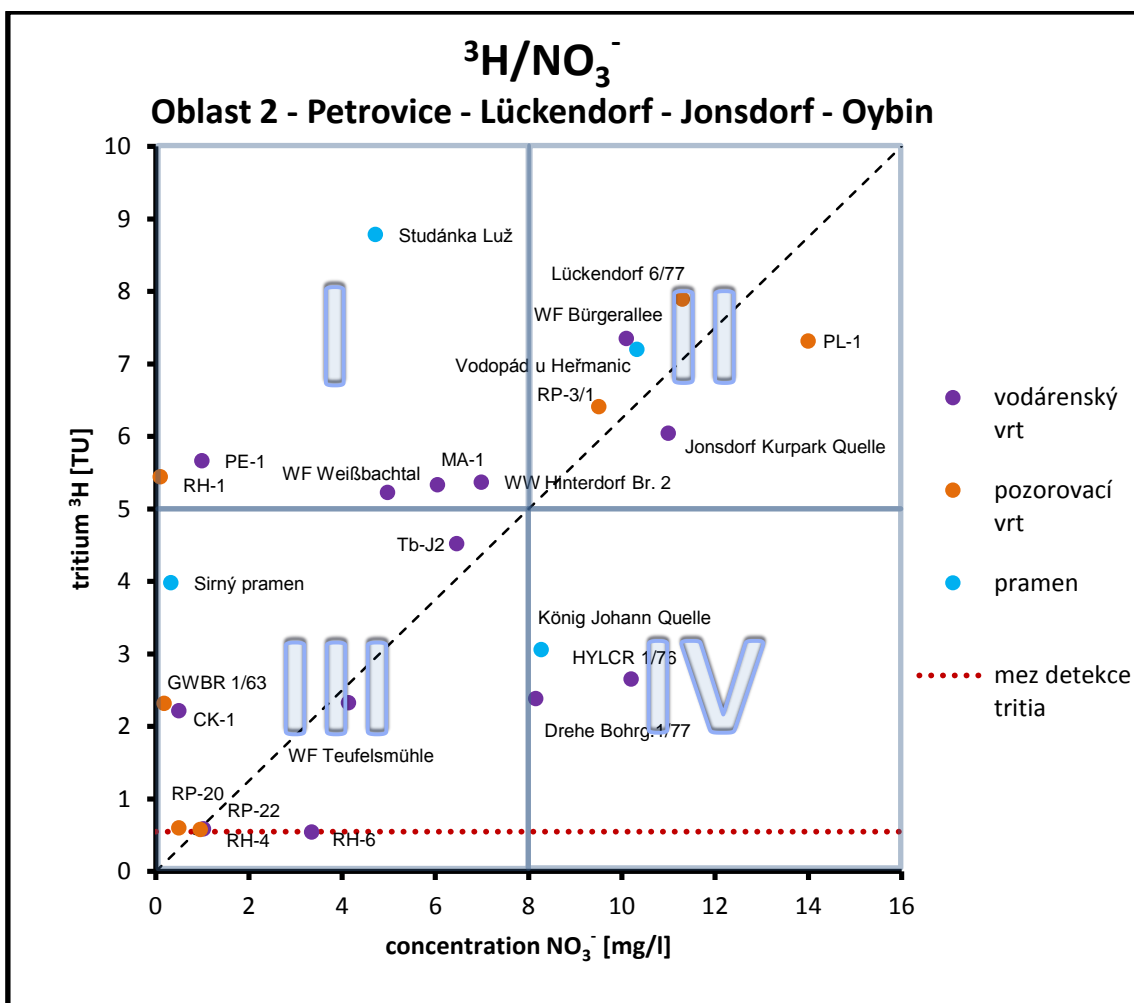


6. Míšení podzemních vod

Dusičnany jsou ve vodě dobře rozpustné, dostávají se do podzemních vod především vlivem antropogenní činnosti – znečištěním povrchových vod a srážek. Přítomnost dusičnanů v podzemních vodách, které jsou obecně na dusičnany chudé, indikuje jejich míšení s povrchovými vodami (Churáčková et al., 2010).

Identifikace infiltrace mladších vod do kolektoru je nezbytná pro odhadnutí přiměřeného věku podzemních vod v kolektoru. Tento jev lze spolehlivě vysledovat porovnáním koncentrací tritia a dusičnanů, které jsou produkty moderní antropogenní činnosti. Dusičnany se obvykle vyskytují ve zvýšené míře v zemědělských oblastech a pouze v mělkých vrstvách, protože snadno podléhají redukci v průběhu jejich přechodu do hloubky. Koncentrace dusičnanů zřídka překročí 5,0 mg/l. Například koncentrace dusičnanů 31,0 mg/l a 22,2 mg/l byly pozorovány v cenomanském a turonském kolektoru podél údolí řeky Jizery, což je nepochybně v důsledku silně rozvinuté zemědělské činnosti (Jiráková et al., 2010)

Graf 6.1 – Míšení podzemních vod s povrchovými vodami v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin.



Míšení podzemních vod s povrchovými bylo posouzeno na základě korelace aktivity tritia a koncentrace dusičnanů. V úvahu byl brán u výše jmenovaných ukazatelů průměr za období 2012 až 2013. Ukazatele byly stanoveny z totožného vzorku podzemní vody, který byl odebrán v daný odběrový den. Pokud to technické možnosti nedovolovaly, byly vzorky odebrány pro jednotlivé ukazatele separátně.

Výsledky analýz obou ukazatelů byly vyneseny do společného Grafu 6.1. Osa X reprezentuje koncentraci dusičnanů v jednotkách mg/l v rozmezí 0 až 16 mg. Mez detekce pro dusičnany se pohybuje kolem 0,1 mg/l. Osa Y reprezentuje aktivitu tritia v jednotkách TU v rozmezí 0 až 10 TU. Mez detekce pro tritium se pohybuje kolem 0,6 TU. Výsledné pole grafu bylo rozděleno do čtyř polí, které charakterizují lokality v nich obsažené. Pro názornost byla grafem uměle proložena křivka míšení, která znázorňuje ideální poměr míšení tritia a dusičnanů pro tento soubor dat

Tabulka s průměrnými hodnotami pro tritium za období 2012 až 2013 je uvedena v Příloze 3. Tabulka s průměrnými hodnotami pro dusičnany za období 2012 až 2013 je uvedena v Příloze 4.

6.1 Pole míšení I.

Pole míšení I. zasahuje výšeč grafu v rozsahu tritia 5 až 10 TU a dusičnanů v rozsahu 0 až 8 mg/l. V poli I se nacházejí nejmladší vody mělkého oběhu s nejvyšší objemovou aktivitou tritia, ale nižší koncentrací dusičnanů. Jsou to zejména mělké pozorovací vrty a prameny nacházející se v centru CHKO Lužické hory a NP Žitavské hory, kde vliv antropogenní činnosti je minimální. Do této oblasti spadají následující pozorované lokality.

Z vodárenských objektů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadají následující lokality. Vrt PE-1 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 5,7 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 0,99 mg/l. Vrt MA-1 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 5,3 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 6,05 mg/l.

Z vodárenských objektů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadají lokalita WF Weißbachtal. Průměrná hodnota aktivity tritia zde dosahuje 5,2 TU a průměrná koncentrace dusičnanů 4,98 mg/l. Vrt WW Hinterdorf Br. 2 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 5,4 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 6,99 mg/l.

Z pozorovacích vrtů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá vrt RH-1, který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 5,4 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů méně než 0,1 mg/l.

Žádný z pozorovacích vrtů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli I. nevyskytuje.

Z pramenů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá Studánka Luž, která vykazuje průměrnou aktivitu tritia 8,8 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 4,72 mg/l.

Žádný z pramenů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli I. nevyskytuje.



6.2 Pole míšení II.

Pole míšení II. Zasahuje výšeč grafu v rozsahu tritia 5 až 10 TU a dusičnanů v rozsahu 8 až 16 mg/l. Pole míšení II. Reprezentuje nejmladší vody mělkého oběhu s nejvyšší objemovou aktivitou tritia a koncentrací dusičnanů, jsou to zejména mělké pozorovací vrty a prameny. Do této oblasti spadají následující pozorované lokality.

Žádný z vodárenských vrtů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli I. nevyskytuje.

Z vodárenských objektů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá jímací území WF Bürgerallee. Průměrná hodnota aktivity tritia zde dosahuje 7,4 TU a průměrná koncentrace dusičnanů 10,1 mg/l. Dále sem spadá pramen jímaný pro vodárenské účely Jonsdorf Kurpark Quelle, který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 6,0 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 11,0 mg/l.

Z pozorovacích vrtů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá vrt PL-1, který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 7,3 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů méně než 14 mg/l. Vrt PL-2 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 7 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 30,5 mg/l. Vrt LO-12Jc (VP8439) vykazuje aktivitu tritia méně než 0,5 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 39,0 mg/l. Vrt RP-3/1 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 6,4 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 9,51 mg/l. Dále sem spadá vrt RH-3, který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 5,2 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 20,4 mg/l.

Z pozorovacích vrtů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá vrt Lückendorf 6/77 (51546006), který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 7,9 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 11,3 mg/l.

Z pramenů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá Vodopád u Heřmanic, který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 7,2 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 10,3 mg/l.

Žádný z pramenů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli I. nevyskytuje.

6.3 Pole míšení III.

Pole míšení III. zasahuje výšeč grafu v rozsahu tritia 0 až 5 TU a dusičnanů v rozsahu 0 až 8 mg/l. Pole míšení III. reprezentuje nejstarší vody hlubokého oběhu s nejnižší objemovou aktivitou tritia a koncentrací dusičnanů, jsou to zejména vrty využívané k vodárenským účelům. Do této oblasti spadají následující pozorované lokality.

Z vodárenských objektů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadají následující lokality. Vrt CK-1 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 2,2 TU a koncentrací dusičnanů méně než 0,5 mg/l. Vrt RH-6 vykazuje aktivitu tritia méně než 0,5 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 3,35 mg/l. Vrt RH-4 vykazuje průměrnou aktivitu tritia <0,57 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 1,37 mg/l. Dále vrt Tb-J2 vykazuje průměrnou aktivitu tritia 4,5 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 6,46 mg/l.

Z vodárenských objektů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá jímací území WF Teufelsmühle. Průměrná hodnota aktivity tritia zde dosahuje 2,3 TU a průměrná koncentrace dusičnanů 4,14 mg/l.



Z pozorovacích vrtů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá vrt RP-20, který vykazuje aktivitu tritia méně než 0,6 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů méně než 0,96 mg/l. Vrt RP-22 vykazuje aktivitu tritia méně než 0,6 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů méně než 0,5 mg/l.

Z pozorovacích vrtů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá vrt GWBR 1/63 (51540600), který vykazuje aktivitu tritia méně než 2,3 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů méně než 0,18 mg/l.

Z pramenů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá Sirný pramen, který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 4,0 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 0,33 mg/l.

Žádný z pramenů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli II. nevyskytuje.

6.4 Pole míšení IV.

Pole míšení IV. Zasahuje výšeč grafu v rozsahu tritia 0 až 5 TU a dusičnanů v rozsahu 8 až 16 mg/l. Pole míšení IV reprezentuje nejstarší vody hlubokého oběhu s nejnižší objemovou aktivitou tritia, ale vyšší koncentrací dusičnanů. Jsou zde zastoupeny především vodárenské vrty a prameny v blízkosti aglomerací.

Žádný z vodárenských objektů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli IV. nevyskytuje.

Z vodárenských objektů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá vrt Drehe Bohrg 1/77 (51546004). Průměrná hodnota aktivity tritia zde dosahuje 2,4 TU a průměrná koncentrace dusičnanů 8,16 mg/l. Dále vrt HYLGR 1/76 (51546001) vykazuje aktivitu tritia 2,7 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů méně než 10,2 mg/l.

Žádný z pozorovacích vrtů na české a saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli IV. nevyskytuje.

Žádný z pramenů na české části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin se v poli IV. nevyskytuje.

Z pramenů na saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin sem spadá König Johann Quelle (51542001), který vykazuje průměrnou aktivitu tritia 3,1 TU a průměrnou koncentrací dusičnanů 8,27 mg/l.



7. Závěr studie Stáří a míšení podzemních vod

Studie shrnuje výsledky monitoringu za účelem odhadu stáří a míšení podzemních vod, který v zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin probíhal v roce 2012 až 2013. Celkem byly odebrány vzorky podzemních vod z 12 vodárenských vrtů, 11 pozorovacích vrtů a 5 pramenů.

Studie je založená na základě datování podzemních vod pomocí tritia. Na základě měření tritia bylo možné rozpoznat značnou změnu věkové struktury od nadloží k podloží. Pro odhad stáří podzemních vod byl využit výpočet na základě modelu Piston-flow, do kterého vstupují zjištěné objemové aktivity tritia v podzemních vodách a objemové aktivity tritia ve srážkách. Koncentrace dusičnanů v závislosti na aktivitě tritia v podzemních vodách indikují míru míšení podzemních vod s povrchovými vodami.

V oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin byly identifikovány podzemní vody různého stáří, což pomáhá identifikovat jejich původ v kolektorech podzemní vody. Oblast Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin rozkládající se na území CHKO Lužické hory a národního parku Žitavské hory představuje významnou oblast zásob podzemních vod s poměrně variabilním stářím. Obecně lze konstatovat, že se jedná o vodu se stářím nad 30 let.

Kolísání hladin podzemní vody a odhad vzdálenosti infiltrační zóny pravděpodobně úzce koresponduje s poklesem hladin podzemní vody na německém území. V případě výskytu podílu mladší vody v křídových kolektorech lze předpokládat, že infiltrační zóna se nachází v blízkém okolí lužické poruchy. Vzhledem k absenci polo izolátoru mezi kolektory 2 a 3 je komunikace mezi kolektory značná, což je patrné v celé části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin.

Ze souhrnného hodnocení vybraných fyzikálně chemických a anorganických parametrů podzemních vod s limity pro pitnou vodu v ČR, a to dle vyhlášky č.252/2004 Sb. vyplývá, že podzemní vody v zájmové oblasti jsou vhodné pro čerpání a úpravu pitné vody. Významně pozitivně se na kvalitě podzemních vod promítá četné zalesnění, ale antropogenní činnost se zde projevuje ve větší míře. Poměrně rozsáhle jsou zde zastoupeny zemědělské pozemky, zvláště na české části zájmového území. Nižší hodnoty pH a vápníku jsou u čerpaných podzemních vod pro vodárenské účely upravovány pomocí vápnění. Nadlimitní koncentrace železa, které jsou především charakteristické u pozorovacích vrtů, jsou způsobeny především korozí výstroje vrtů a celkovým technickým stavem vrtů. Zvýšené koncentrace železa mohou být také způsobeny v důsledku vyloučení železitého tmelu z pískovců (viz Obrázek 2.4 v Kapitole 2.2). Zvýšené manganu souvisí s lokálním charakterem geologického podloží.

Vodárenské vrty reprezentují významné zdroje vody pro využití v technologickém procesu, nebo jako zdroj pitné vody pro zásobování obyvatelstva. Vodárenské vrty se ukázaly jako vhodné odběrové lokality pro odběr reprezentativního vzorku podzemní vody pro odhad stáří, neboť jsou pravidelně monitorovány a udržovány v dobrém technickém stavu.

Vodárenské vrty na české i saské straně zastihují bázi spodního až středního turonu, resp. kolektor 3. Lze předpokládat, že čerpaná voda z vodárenských vrtů RH-4, RH-4, CK-1, Tb-J2, WF Teufelsmühle a Drehe Bohrg 1/77 (51546004) pochází z hlubšího oběhu. Infiltrační oblast této vody je pravděpodobně situována na vzdálenějším území. K infiltraci vody do kolektoru dochází pravděpodobně v severní části zájmového území Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin v blízkosti lužické poruchy. Delšímu oběhu podzemních vod, a tedy i vyššímu stáří, nasvědčuje i nižší koncentrace tritia ve



srovnání s vodárenskými objekty MA-1, PE-1, WW Hinterdorf Br. 2, Jonsdorf Kurpark Quelle, WF Bürgerallee a WF Weißbachtal. U těchto vodárenských vrtů pravděpodobně dochází k míšení vody s vyšší dobou zdržení s vodou s velmi krátkou dobou zdržení. Tento stav může být způsoben celkovým stavem vrtu, způsobem těsnění nebo přítokem vod mělkého oběhu ze svrchního kolektoru 2 nebo povrchové vody. Nejmarkantnější je tento stav pozorovatelný např. u jímacího území WF Bürgerallee. Míšení podzemních vod nasvědčuje i vyšší koncentrace dusičnanů.

Pozorovací vrtý se ukázaly jako vhodné odběrové lokality pro odběr reprezentativního vzorku podzemní vody pro odhad stáří, avšak u těchto vrtů musíme dbát zvýšené opatrnosti. Pozorovacím vrtům není věnována taková péče a stálý servis jako u vodárenských vrtů. Můžeme se tak setkat s částečně zasypanými nebo poškozenými vrtý. Údaje získané z analýz z takto poškozených vrtů mohou být zkreslující.

Pozorovací vrtý na české i saské straně zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin zastihují střední, spodní turonu až cenoman, resp. kolektor 2, 3 a 4.

Pozorovací vrtý PL-1, PL-2 a RP-3/1 zastihují střední turon, resp. kolektor 2. Pozorovací vrtý RH-5, RH-1, RH-3, Lückendorf 6/77 (51546006) a GWBR 1/63 (51540600) spodní turon, resp. kolektor 3. Z výše uvedené nízké střední doby zdržení a vyššímu obsahu dusičnanů (ve srovnání s podzemní vodou z vodárenských vrtů) lze u hodnocených objektů předpokládat, že dochází k míšení vody s vyšší dobou zdržení s vodou s velmi krátkou dobou zdržení. Tento stav může být způsoben celkovým technickým stavem vrtu, způsobem těsnění nebo přítokem povrchové vody.

Dva pozorovací vrtý RP-20 a RP-22, které se nacházejí na jižním okraji zájmového území, vykazovaly vysokou dobu zdržení podzemní vody a minimální míšení. Tomu nasvědčovaly i koncentrace tritia a dusičnanů pod mezí detekce. Vrtý zastihují svrchní turon (coniac). Vysoké stáří podzemní vody v těchto vrtech lze interpretovat dotací artéské vody z hlubších vrstev kolektoru nebo velkou vzdáleností od infiltrační zóny. Z odhadnutého stáří podzemních vod v těchto pozorovacích vrtech lze předpokládat, že se stáří podzemních vod směrem od S k J, resp. směrem do pánve zvyšuje.

Pozorovací vrt LO-12Jc (VP8439) zastihuje nejhlubší cenoman, resp. kolektor 4. Jedná se o nejstarší podzemní vodu, která je dotována přetokem v místě lužické poruchy z turonského kolektoru 2 a 3. Zjištěná aktivita tritia je pod mezí detekce. Koncentrace dusičnanu je zde poměrně vysoké. Vysoké hodnoty lze interpretovat antropogenním znečištěním v průběhu povodní, kdy došlo k přelití povrchové vody do vrtu. Voda z kolektoru 4 není využívána pro vodárenské účely.

Dále bylo odhadnuto stáří podzemní vody z pramenů, které se ukázaly jako vhodné lokality pro odběr reprezentativního vzorku podzemní vody pro odhad stáří. Prameny reprezentují významné hydrogeologické objekty, neboť mohou poskytovat důležité údaje o stavu a změnách hydrogeologického prostředí. Jejich vydatnost může citlivě reagovat na změny prostředí.

Prameny na české i saské části zájmové oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin odvodňují svrchní až střední turon, resp. kolektor 2 až 1. Na základě odhadu stáří vykazují prameny Studánka Luž a Vodopád u Heřmanic nízké střední doby zdržení a vyšší obsah dusičnanů (ve srovnání s podzemní vodou z vrtů). Lze u hodnocených pramenů předpokládat, že dochází k míšení vody s vyšší dobou zdržení s vodou s velmi krátkou dobou zdržení. Tento stav může být způsoben výrazným přítokem vod mělkého oběhu ze svrchního kolektoru nebo přímo povrchové vody (např. Studánka Luž). Naopak prameny König Johann Quelle (51542001) a Sirný pramen vykazují ve všech hodnocených pramenů nejvyšší podíl složky s vyšší dobou zdržení. Delšímu oběhu podzemních vod, a tedy i vyššímu stáří, nasvědčuje i nižší koncentrace tritia a



dusičnanů. Na stáří vod se také významně podílí absence poloizolátoru mezi kolektorem 2 a 3, kdy prameny jsou částečně dotovány i starší vodou z kolektoru 3.



8. Použitá literatura a podklady

- Archiv Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SČVK,a.s.)
- Archiv Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
- Belohovec, T. (1978): Kropach, závěrečná zpráva. - Stavební geologie, n.p., Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Brožek, P. (1978): Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu oblasti Petrovice – Lückendorf. - Stavební geologie, n.p, Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Brožek, P. (1982): Tlustecký blok, Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu. – Stavební geologie, n.p., Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Brožek, P. (1984): Zpráva o výsledcích geologickoprůzkumných prací, Petrovice – SČVK. - Stavební geologie, n.p, Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Bruthans, J., Svetlík, D., Soukup, J., Schweigstillova, J., Valek, J., Sedlackova, M., Mayo, L.,A. (2012): Fast evolving conduits in clay-bonded sandstone: Charakterization, erosion processes and significance for the origin of sandstone landforms, Geomorphology (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.07.028>
- Bruthans, J., Churáčková, Z. (2011): Využití stopovačů pro studium proudění, původu a vývoje chemického složení vody pramene (Sv. Vojtěch, česká křídová pánev), Zprávy o geologických výzkumech v roce 2010, Česká geologická služba Praha, ISSN 0514-8057, ISBN 978-80-7075-769-7.
- Burda J. (1998): „Hydrogeologická mapa ČR. List 03-13 Hrádek nad Nisou. Měřítko 1 : 50 000.“ – sestavil a vydal Český geologický ústav.
- ČSN ISO 5667-11. Kvalita vod – Odběr vzorků – Část 11: Návod pro odběr vzorků podzemních vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 32 stran, Třídící znak 75 7051.
- ČSN ISO 9698. Jakost vod: Stanovení objemové aktivity tritia – Kapalinná scintilační měřicí metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 26 stran, Třídící znak 75 7635.
- ČSN ISO10523. Jakost vod: Stanovení pH. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 20 stran, Třídící znak 75 7365.
- ČSN ISO 7890-3. Jakost vod: Stanovení dusičnanů. Část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 1995, 8 stran, Třídící znak 75 7453.
- ČSN EN ISO 6878. Jakost vod: Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 2005, 24 stran, Třídící znak 75 7465.
- ČSN ISO 9297. Jakost vod: Stanovení chloridů – Argentometrické stanovení s chromanovým indikátorem (metoda podle Mohra). Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 1996, 8 stran, Třídící znak 75 7420.
- ČSN ISO 9963-1. Jakost vod: Stanovení kyselinové neutralizační kapacity (KNK), Část 1: Stanovení KNK4,5 a KNK8,3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci

- metrologii a státní zkušebnictví, 1997, 12 stran, Třídící znak 75 7371.
- ČSN ISO 9964-1. Jakost vod: Stanovení sodíku a draslíku. Část 1: Stanovení sodíku metodou atomové absorpční spektrometrie. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 1996, 8 stran, Třídící znak 75 7378.
- ČSN ISO 9964-2. Jakost vod: Stanovení draslíku a draslíku. Část 2: Stanovení sodíku metodou atomové absorpční spektrometrie. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 1996, 8 stran, Třídící znak 75 7378.
- ČSN EN ISO 11885. Jakost vod: Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES). Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 28 stran, Třídící znak 75 7387.
- Eckhardt, P. (2013): Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin. – MS VÚV TGM, v.v.i. Praha, prosinec 2013.
- EPA 375.4. Sulfate (Turbidimetry): Methods for the Chemical Analysis of Water and Wastes (MCAWW) (EPA/600/4-79/020), Editorial Revision 1978. 26th West Martin Luther King Drive, Cincinnati, Ohio 45268-0001: U.S.EPA National Exposure Research Laboratory (NERL), Microbiological and Chemical Exposure Assessment Research Division (MCEARD), Issued 1971.
- Greenwood, N.,N., Earnshaw, A., (1993): Chemie prvků, svazek 1.- Pergamon Press plc, Praha 1993, ISBN: 80-85427-38-9.
- Churáčková, Z., Bruthans, J., Lachman, V., Musil, V., Kadlecová, R. (2010): Proudění podzemní vody ve východní a severovýchodní částí české křídové pánve (^3H , ^{14}C a SF_6 stopovače, obsahy dusičnanů): doba zdržení a otázky efektivního monitoringu kontaminace. - Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009, Česká geologická služba Praha, ISSN 0514-8057.
- Jiráková, H., Huneau, F., Hrkal, Z., Celle-Jeanton, H., Le Coustumer, 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 (2010), 1265–1279.
- Lucas, L.,L., Unterweger, M.,P., (2000). „Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium“. - Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology 105 (4): 541. Doi:10.6028/jres.105.043.
- Maloszewski, P., Zuber, A. (1996): Lumped parameter models for interpretation of environmental tracer data. - In: Manual on mathematical models in isotope hydrology. IAEA-TECDOC-910, Austria, 1996, ISSN: 1011-4289.
- Marešová, D. (2012): Metoda elektrolytického nabožení tritia ve VÚV TGM, v.v.i. - In: XIX. Konzultační dny pro pracovníky vodohospodářských radiologických laboratoří, Marešová Diana (Edit.), str.: 53 – 55, VÚV TGM, Praha, 2012, ISBN: 978-80-87402-24-5.
- Marešová, D., Hanslík, E. (2012): Tvorba tritia, jeho uvolňování do hydrosféry a bilance hlavních zdrojů v životním prostředí. - In: XIX. Konzultační dny pro

- pracovníky vodohospodářských radiologických laboratoří, Marešová Diana (Edit.), str.: 44 – 49, VÚV TGM, Praha, 2012, ISBN: 978-80-87402-24-5.
- Mibus, H.-P., Schirner, T., Mibus, J.-U. (1998): Übersichtsbeurteilung des Grundwasserdargebots und dessen Nutzung im Zittauer Gebirge unter Berücksichtigung der Grundwassernutzungen auf tschechischem Gebiet. - G.E.O.S. Freiberg ImbH, Dresden.
- Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983): „Geologie ČSSR I Český masív.“ – Státní pedagogické nakladatelství v Praze, 1. vydání.
- Nakládal, V. (1975): Tlustecký blok – hydrogeologický průzkum, Zpráva z I. etapy a ideový projekt II. etapy. - Stavební geologie, n.p, Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Olmer M. et al. (2006): „Hydrogeologická rajonizace České republiky.“ – Sborník geologických věd 23, vydala Česká geologická služba Praha, 32 stran, 1. vydání.
- Penzhorn, R.-D. (2013): Natural and man-made sources of tritium: applications of tritium, In: Tritium in fusion, Tosti Silvano, Ghirelli Nicholas (Edit.), Nova Science Publishers, Inc., New York, 2013, ISBN: 978-1-62417-270-0.
- Pištora, Z. (1961): Závěrečná zpráva o výsledku vrtných prací na akci Krompach u Cvikova. – Vodní zdroje, n.p., Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Pištora, Z., Chval, D., Jedlička, B. (1973): Hydrogeologický průzkum území severního lemu strážské zlomové linie mezi Novinami p. Ralskem a Křižany. – Vodní zdroje, n.p., Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- Pitter, P (2009): Hydrochemie. - 4. aktualizované vydání, VŠCHT Praha, 2009, ISBN: 978-80-7080-701-9.
- Pospíšil J., Domečka K. (1998): „Geologická mapa ČR. List 03-13 Hrádek nad Nisou. Měřítko 1 : 50 000.“ – sestavil a vydal Český geologický ústav Praha.
- Rozansky, K., Gröning, M. (2004): Quantifying uncertainties of tritium assay in water samples using electrolytic enrichment and liquid scintillation Spectrometry. - In: Quantifying uncertainties in nuclear analytical measurements, IAEA-TECDOC-1401, Austria, 2004, ISBN: 92-0-108404-8, ISSN: 1011-4289.
- Rösner, S., Szymczak, P., Höhn, R. (2007): Gutachten Zustandsüberwachung Grenzgrundwasser / Operatives Messnetz. Regierungspräsidium Dresden, G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, Seitenzahl/ Text 59, Zahl Anlagen 10, mit 101 Blatt, unveröff.
- Řeháčková, O. (1986): Hydrogeologický průzkum Mařenice. - Vodní zdroje, n.p., Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.
- SVS (2010): „Zápis o 12. Zasedání Stálého výboru Sasko Česko-německé komise pro hraniční vody.“ – Karlštejn, 8.-10..červen 2010.
- Valečka J. et al. (2005): „Lužické hory. Geologie chráněných krajinných oblastí České republiky.“ – Český geologický ústav.
- Valečka, J., Herčík, F., Herrmann, Z. (1999): Hydrogeologie české křídové pánve. - Český geologický ústav, Praha, ISBN 80-7075-309-9.
- Voigt, T., Franke, J., Franke, S. (2013): „Grundlagen für ein geologisch-tektonisches



Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3 – Projektes GRACE. Abschlussbericht.“ – Jena, 15.3.2013.

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Sbírka zákonů České Republiky 2004, Ministerstvo vnitra, Praha.

www.geofond.cz (2013)

www.chmi.cz (2013)

www.umwelt.sachsen.de (2013)

www.gracecz.cz (2013)

www.sciencedirect.cz (2013)

www.geology.cz (2013)

www.newenergyandfuel.com (2013)

www.studnysat.cz (2013)

www.iaea.org (2014)

Žitný, L. (1971): Zhodnocení hydrogeologického průzkumného vrtu Cvikov II. Kunratice, Vodní zdroje, n.p. Praha, archiv ČGS (Geofond) Praha.



9. Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky:

| | |
|-------------|--|
| AAS | Atomic absorption spectrometry |
| a.s. | akciová společnost |
| BfUL | Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Radebeul |
| CHKO | chráněná krajinná oblast |
| č. | číslo |
| ČGS | Česká geologická služba |
| ČHMÚ | Český hydrometeorologický ústav |
| ČR | Česká republika |
| ČSN | Česká technická norma |
| EPA | U. S. Environmental Protection Agency |
| EU | Evropská unie |
| GRACE | projekt Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí |
| G.E.O.S | G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH |
| GPS | globální poziční systém |
| GWV | grundwasserversorgung |
| HEIS VÚV | Hydroekologický informační systém VÚV TGM, v.v.i |
| IAEA | International Atomic Energy Agency |
| IAEA-TECDOC | IAEA Technical Documents |
| ICP- AES | inductively coupled plasma optical emission spectrometry |
| ISBN | International Standard Book Number |
| ISSN | International Standard Serial Number |
| ISO | International Organization for Standardization |
| ITER | International thermonuclear experimental reactor |
| JET | The Joint European Torus |
| JZ | jihozápad |
| LfULG | Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie |
| m. n. m. | metrů nad mořem |
| MCAWW | Methods for the Chemical Analysis of Water and Wastes |
| MCEARD | Microbiological and Chemical Exposure Assessment Research Division |



| | |
|------------|--|
| NERL | National Exposure Research Laboratory |
| NIST | National Institute of Standards and Technology |
| NP | národní park |
| n.p. | národní podnik |
| PM | Model Pistonflow |
| Q_{365} | průtok, který je dosažen nebo překročen 365 dní v roce |
| Q_{max} | maximální denní průtok |
| $Q_{prům}$ | průměrný denní průtok |
| S-JTSK | System Jednotné trigonometrické sítě katastrální |
| SAB | Sächsische Aufbaubank |
| Sb. | Sbírka zákonů |
| SČVK | Severočeské vodovody a kanalizace |
| SOWAG | Süd Oberlausitzer Wasserversorgungs und Abwasserentsorgungsgesellschaft mbH |
| SRN | Spolková republika Německo |
| str. | strana |
| střed. | Střední |
| StUFA | Staatliche Umweltfachamt |
| SV | severo-východ |
| SVS | Stálý výbor pro saský hraniční úsek (Stálý výbor Sasko) Česko-německé komise pro hraniční vody |
| TUD | Technische Universität Dresden |
| USA | United States of America |
| ÚV | úpravna vod |
| v.v.i. | veřejná výzkumná instituce |
| VHB | Vodohospodářská bilance |
| VÚV TGM | Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka |
| WW | Wasserwerk |



Symbols:

| značka | veličina | název jednotky | jednotky |
|----------------|--------------------------|---|--|
| c | koncentrace | gramy na litr miligramy na litr mikrogramy na litr miligramy na kilo | g/l mg/l µg/l mg/kg |
| c | molarita | milimol na litr | mmol/l |
| c _v | objemová aktivita | Becquerel na litr | Bq/l |
| a | hmotnostní aktivita | Becquerel na kilogram | Bq/kg |
| A | aktivita | tritiová jednotka (tritium unit) | TU |
| κ | konduktivita | milisiemens na metr mikrosiemens na centimetr | mS/m µS/cm |
| K | koeficient filtrace | metr za sekundu | m/s |
| T | koeficient transmisivity | metr čtverečný za den | m ² /d |
| s | délka | kilometr metr milimetr | km m mm |
| Q | průtok | litry za sekundu litry za minutu metry krychlové za sekundu metry krychlové za den metry krychlové za měsíc metry krychlové za rok | l/s l/min m ³ /s m ³ /d m ³ /měsíc m ³ /rok |
| t | čas | rok | r |
| E | energie | kiloelkelectronvolt megaelkelectronvolt | keV MeV |
| T | teplota | stupeň Celsia | °C |
| R | elektrický odpor | ohm | Ω |
| m | hmotnost | kilogram gram miligram | kg g mg |
| S | plocha | centimetr čtverečný metr čtverečný kilometr čtverečný | cm ² m ² km ² |

(Pitter, 2009)



10. Přílohy



10.1 Příloha 1: Fyzikálně chemické a anorganické parametry podzemních vod pro českou část zájmového území

| lokality | pH | konduktivita | HCO ₃ ⁻ | KNK 4,5 | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | o-PO ₄ ³⁻ | Na | K | Ca | Mg | Fe | Mn |
|--------------------|------|--------------|-------------------------------|---------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|-------|------|
| | | μS/cm | mg/l | mmol/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | μg/l | μg/l |
| CK-1 | 6,4 | 95 | 28,3 | 0,46 | <5 | 11,3 | <0,5 | 0,048 | 3,19 | 0,99 | 9,32 | 0,67 | 1350 | 16,6 |
| MA-1 | 6,2 | 118 | 25,0 | 0,41 | 5,32 | 15,0 | 6,05 | <0,025 | 6,52 | 2,82 | 10,9 | 1,10 | 442 | 18,9 |
| RH-6 | 6,8 | 197 | 121 | 1,99 | <5 | <5 | 3,35 | 0,059 | 1,87 | 1,00 | 36,1 | 1,25 | 80,3 | <5 |
| RH-4 | 6,1 | 64 | 28,1 | 0,46 | <5 | <5 | 1,03 | 0,073 | 1,18 | 0,95 | 8,88 | 0,61 | 31,4 | <5 |
| PE-1 | 6,5 | 281 | 56,1 | 0,92 | 6,31 | 68,3 | 0,99 | <0,025 | 5,30 | 3,71 | 40,8 | 2,37 | 367 | 19,9 |
| Tb-J2 | 5,8 | 119 | 12,2 | 0,20 | <5 | 32,8 | 6,46 | 0,043 | 4,82 | 1,16 | 11,9 | 4,07 | 311 | 25,4 |
| PL-2 | 7,4 | 200 | 124 | 2,03 | 11,0 | 47,6 | 30,5 | - | 7,90 | 3,00 | 67,7 | 1,61 | 26,4 | <5 |
| PL-1 | 6,6 | 209 | 51,9 | 0,85 | 13,7 | 22,1 | 14,0 | - | 6,63 | 4,11 | 27,8 | 1,90 | 592 | 79,6 |
| LO-12Jc (VP8439) | 6,7 | 145 | 68,9 | 1,13 | 8,41 | 5,06 | 39,0 | - | 6,56 | 11,6 | 21,0 | 2,60 | 170 | 10,9 |
| RH-5 | 7,4 | 402 | 87,9 | 1,44 | 1,49 | <0,5 | <0,1 | - | 1,18 | 0,93 | 26,4 | 0,80 | 316 | 247 |
| RP-3/1 | 6,4 | 258 | 77,5 | 1,27 | 3,65 | 29,4 | 9,51 | <0,040 | 5,28 | 14,3 | 21,3 | 4,70 | 4570 | 191 |
| RH-1 | 6,5 | 288 | 96,4 | 1,58 | 10,1 | 41,6 | <0,1 | 0,601 | 5,13 | 1,84 | 45,8 | 1,45 | 15000 | 293 |
| RH-3 | 6,3 | 162 | 37,2 | 0,61 | 8,69 | 15,5 | 20,4 | <0,025 | 5,05 | 1,16 | 21,9 | 2,09 | 93,2 | <5 |
| RP-20 | 6,9 | 320 | 146 | 2,40 | <5 | 10,3 | 0,96 | <0,025 | 2,30 | 1,03 | 67,8 | 3,35 | 23600 | 199 |
| Sirný pramen | 7,3 | 235 | 103 | 1,69 | <5 | 28,0 | <0,5 | 0,047 | 3,25 | 1,27 | 42,8 | 2,48 | 1250 | 85,3 |
| Vodopád u Heřmanic | 6,7 | 129 | 25,0 | 0,41 | <5 | 26,3 | 10,9 | <0,025 | 4,77 | 1,48 | 18,3 | 1,41 | 42,4 | <5 |
| max | 7,4 | 402 | 146 | 2,40 | 13,7 | 68,3 | 39,0 | 0,601 | 7,90 | 14,3 | 67,8 | 4,70 | 23600 | 293 |
| min | 5,80 | 64 | 12,2 | 0,20 | <5 | <5 | <0,1 | <0,025 | 1,18 | 0,93 | 8,88 | 0,61 | 26,4 | <5 |
| prům | 6,9 | 201 | 68,0 | 1,12 | 7,63 | 27,2 | 11,9 | 0,15 | 4,43 | 3,21 | 29,9 | 2,03 | 3015 | 108 |



10.2 Příloha 2: Fyzikálně chemické a anorganické parametry podzemních vod pro saskou část zájmového území

| lokalita | pH | konduktivita | HCO ₃ ⁻ | KNK 4,5 | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | o-PO ₄ ³⁻ | Na | K | Ca | Mg | Fe | Mn |
|----------------------------------|-----|--------------|-------------------------------|---------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | μS/cm | mg/l | mmol/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | μg/l | μg/l |
| WW Hinderdorf Br. 2 | 5,7 | 86 | 6,10 | 0,10 | 4,39 | 16,8 | 6,99 | - | 3,80 | 1,37 | 7,39 | 1,62 | 21,5 | <5 |
| HYLCR 1/76 (51546001) | 7,0 | 260 | 107 | 1,75 | 6,72 | 19,3 | 10,2 | - | 4,67 | 2,56 | 44,3 | 1,05 | 50,5 | 5,70 |
| Drehe Bohrg 1/77 (51546004) | 6,8 | 147 | 52,5 | 0,86 | 6,18 | 20,4 | 8,16 | - | 4,82 | 2,44 | 18,6 | 2,16 | 251 | 9,00 |
| Jonsdorf Kurpark Quelle | 5,8 | 165 | 11,0 | 0,18 | 12,2 | 34,2 | 11,0 | - | 12,5 | 2,17 | 10,5 | 2,37 | 76,3 | <5 |
| WF Bürgerallee | 6,0 | 126 | 10,4 | 0,17 | 3,52 | 35,0 | 10,1 | - | 4,25 | 1,28 | 9,82 | 3,67 | <20 | 44,8 |
| WF Teufelsmühle | 6,4 | 70 | 17,1 | 0,28 | 4,14 | 8,41 | 4,14 | - | 3,69 | 0,88 | 6,97 | 1,03 | <20 | 13,0 |
| WF Weißbachtal | 6,4 | 76 | 15,9 | 0,26 | 4,35 | 10,3 | 4,98 | - | 3,03 | 0,96 | 7,99 | 1,25 | 91,9 | 5,40 |
| Lückendorf 6/77 (51546006) | 7,3 | 571 | 193 | 3,17 | 67,2 | 16,9 | 11,3 | - | 33,1 | 5,43 | 72,6 | 2,93 | 204 | 11,7 |
| Lückendorf, GWBR 1/63 (51540600) | 7,3 | 96 | 38,4 | 0,63 | 12,8 | <0,5 | 0,18 | - | 3,52 | 1,60 | 12,9 | 0,30 | 108 | 23,5 |
| König Johann Quelle (51542001) | 6,7 | 71 | 31,7 | 0,52 | 6,97 | 5,21 | 8,27 | - | 4,59 | 0,90 | 4,91 | 1,34 | 24,9 | <5 |
| max | 7,3 | 571 | 193 | 3,17 | 67,2 | 35,0 | 11,3 | - | 33,1 | 5,4 | 72,6 | 3,67 | 251 | 44,8 |
| min | 5,7 | 70 | 6,10 | 0,10 | 3,52 | <0,5 | 0,18 | - | 3,03 | 0,88 | 4,91 | 0,30 | <20 | <5 |
| prům | 6,8 | 167 | 48,3 | 0,79 | 12,8 | 18,5 | 7,53 | - | 7,80 | 1,96 | 19,6 | 1,77 | 104 | 16,2 |



10.3 Příloha 3: Tritium (^3H), monitoring 2012-2013

| místo odběru | typ objektu | Tritium (^3H) | | | | | | | | | | průměr 2012-2013 |
|---|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| | | [TU] | | | | | | | | | | |
| | | datum odběru 08.04.13 | datum odběru 14.05.12 | datum odběru 28.08.12 | datum odběru 18.04.13 | datum odběru 24.04.13 | datum odběru 25.04.13 | datum odběru 01.08.13 | datum odběru 22.08.13 | datum odběru 28.08.13 | datum odběru 19.02.14 | |
| CK-1 MA-1 RH-6 RH-4 PE-1 Tb-J2 | vodárenský vrt | | | | | | | | | 2,2 ± 0,4 | | 2,2 ± 0,4 |
| | | | | | | | | | 5,3 ± 0,6 | | 5,3 ± 0,6 | |
| | | | | | | | | | < 0,5 | | < 0,5 | |
| | | | | | | | | | < 0,6 | | < 0,6 | |
| | | | | | | | | | 5,7 ± 0,6 | | 5,7 ± 0,6 | |
| | | | | | | | | | 4,5 ± 0,6 | | 4,5 ± 0,6 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| WW Hinterdorf Br. 2 HYLCR 1/76 (51546001) Drehe Bohrg 1/77 (51546004) Jonsdorf Kurpark Quelle WF Bürgerallee WF Teufelsmühle WF Weißbachtal | vodárenský vrt | | | | 5,4 ± 0,6 | | | | | | | 5,4 ± 0,6 |
| | | | | | 2,7 ± 0,5 | | | | | | | 2,7 ± 0,5 |
| | | | | | 2,4 ± 0,5 | | | | | | | 2,4 ± 0,5 |
| | | | | | 6,0 ± 0,7 | | | | | | | 6,0 ± 0,7 |
| | | | | | 7,4 ± 0,6 | | | | | | | 7,4 ± 0,6 |
| | | | | | 2,3 ± 0,4 | | | | | | | 2,3 ± 0,4 |
| | | | | | 5,2 ± 0,6 | | | | | | | 5,2 ± 0,6 |
| PL-2 PL-1 LO-12Jc (VP8439) RH-5 RP-3/1 RH-1 RH-3 RP-20 RP-22 | pozorovací vrt | | | | < 7,0 | | | | | | | 7,0 ± 0,7 |
| | | | | | 7,3 ± 0,7 | | | | | | | 7,3 ± 0,7 |
| | | | | | 0,5 | | | | | | | < 0,5 |
| | | | | | 10,9 ± 0,8 | | | | | | | 10,9 ± 0,8 |
| | | | | | | 6,4 ± 0,6 | | | | | | 6,4 ± 0,6 |
| | | | | | | | 5,4 ± 0,6 | | | | | 5,4 ± 0,6 |
| | | | | | | | | 5,2 ± 0,6 | | | | 5,2 ± 0,6 |
| Lückendorf 6/77 (51546006) Lückendorf, GWBR 1/63 (51540600) | pramen | 7,9 ± 0,7 | | | 7,9 ± 0,7 | | | | | | | 7,9 ± 0,7 |
| | | | | | 2,3 ± 0,4 | | | | | | | 2,3 ± 0,4 |
| Sirný pramen Vodopád u Heřmanic Studanka Luž König Johann Quelle (51542001) | pramen | | 4,0 ± 0,7 | | | | | | | | | 4,0 ± 0,7 |
| | | | 7,4 ± 0,9 | | | | | | 7,0 ± 0,7 | | | 7,2 ± 0,8 |
| | | | 8,8 ± 1,0 | | | | | | | | | 8,8 ± 1,0 |
| | | | | | 3,1 ± 0,5 | | | | | | | 3,1 ± 0,5 |



10.4 Příloha 4: Dusičnany (NO₃⁻), monitoring 2012-2013

| místo odběru | typ objekt | Dusičnany (NO ₃ ⁻) | | | | | | | | | | průměr 2012-2013 |
|---|----------------|---|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| | | [mg/l] | | | | | | | | | | |
| | | datum 08.04.13 | datum 14.05.12 | datum odběru 28.08.12 | datum odběru 18.04.13 | datum odběru 24.04.13 | datum odběru 25.04.13 | datum odběru 01.08.13 | datum odběru 22.08.13 | datum odběru 28.08.13 | datum odběru 19.02.14 | |
| CK-1 MA-1 RH-6 RH-4 PE-1 Tb-J2 | vodárenský vrt | | | | | | | | | < 0,5 | | < 0,50 |
| | | | | | | | | | | 6,0 ± 0,6 | | 6,05 ± 0,6 |
| | | | | | | | | | | 3,3 ± 0,3 | | 3,35 ± 0,3 |
| | | | | | | | | | | | 1,0 ± 0,1 | 1,03 ± 0,1 |
| | | | | | | | | | | 0,9 ± 0,1 | | 0,99 ± 0,1 |
| | | | | | | | | | | 6,4 ± 0,6 | | 6,46 ± 0,6 |
| WW Hinterdorf Br. 2 HYLCR 1/76 (51546001) Drehe Bohrg 1/77 (51546004) Jonsdorf Kurpark Quelle WF Bürgerallee WF Teufelsmühle WF Weißbachtal | | | | | 6,9 ± 0,7 | | | | | | | 6,99 ± 0,7 |
| | | | | | 10, ± 1,0 | | | | | | | 10,2 ± 1,0 |
| | | | | 8,1 ± 0,8 | | | | | | | 8,16 ± 0,8 | |
| | | | | 11, ± 1,1 | | | | | | | 11,0 ± 1,1 | |
| | | | | 10, ± 1,0 | | | | | | | 10,1 ± 1,0 | |
| | | | | 4,1 ± 0,4 | | | | | | | 4,14 ± 0,4 | |
| | | | | 4,9 ± 0,5 | | | | | | | 4,98 ± 0,5 | |
| PL-2 PL-1 LO-12Jc (VP8439) RH-5 RP-3/1 RH-1 RH-3 RP-20 RP-22 | pozorovací vrt | | | | 30, ± 3,0 | | | | | | | 30,5 ± 3,0 |
| | | | | | 14, ± 1,4 | | | | | | | 14,0 ± 1,4 |
| | | | | 39, ± 3,9 | | | | | | | | 39,0 ± 3,9 |
| | | | | < 0,1 | | 9,5 ± 0,9 | | < 0,1 | | | | < 0,10 |
| | | | | | | | | 20, ± 2,0 | | | | 9,51 ± 0,9 |
| | | | | | | | | | | | | 0,10 |
| | | | | | | | | | 0,9 ± 0,1 | | | 20,4 ± 2,0 |
| | | | | | | | | | < 0,5 | | | 0,96 ± 0,1 |
| | | | | | | | | | | | | < 0,50 |
| Lückendorf 6/77 (51546006) Lückendorf, GWBR 1/63 | | | | | 11, ± 1,1 | | | | | | | 11,3 ± 1,1 |
| | | | | | 0,1 ± 0,0 | | | | | | | 0,18 ± 0,0 |
| Sirný pramen Vodopád u Heřmanic Studanka Luž König Johann Quelle (51542001) | pramen | | | 0,1 ± 0,0 | | | | | | < 0,5 | | 0,33 ± 0,0 |
| | | | | | 9,7 ± 0,9 | | | | | 10, ± 1,0 | | 10,3 ± 1,0 |
| | | | | 4,7 ± 0,4 | | | | | | | | 4,72 ± 0,4 |
| | | | | | 8,2 ± 0,8 | | | | | | | 8,27 ± 0,8 |



10.5 Příloha 5: Fotodokumentace

CHKO Lužické hory

(foto © P. Šimek)



CK-1 **Vodárna Cvikov** **zpráva GeoFond: GF V065028**

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°46,560' E: 14°38,894' | -716505,5666 | -969298,1717 |



LO-12 Jc (VP8439) **Kunratice** **zpráva GeoFond: GF P 053200**

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°46.440' E: 14°43,389' | -711298,2878 | -970221,2762 |



RH-3 **Lvová** **zpráva GeoFond: GF P 025074**

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°46,978' E: 14°47,625' | -706230,6323 | -969888,8237 |





RH-5 Jablonné v Podještědí (Markvartice) zpráva GeoFond: FZ 005881

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°45.638' E: 14°46,077' | -708361,5746 | -972112,3921 |



RP-3/1 Polesí zpráva GeoFond: FZ 005881

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°47,983' E: 14°48,929' | -704466,9062 | -968242,5919 |



Tb-J2 Janovice v Podještědí zpráva GeoFond: P 025020

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°45.899' E: 14°49,961' | -703770,218 | -972232,1473 |



RH-6 Jablonné v Podještědí zpráva GeoFond: FZ 005881

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°45.424' E: 14°44,855' | -709838,4511 | -972316,2655 |



RP-20 Tlustecká zpráva GeoFond: FZ 005881

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°43.662' E: 14°41,175' | -711427,6412 | -974968,8193 |



RH-4 Kněžice zpráva GeoFond: FZ 005881

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°47.138' E: 14°46,157' | -707902,1334 | -969367,8363 |



PL-1 Petrovice – silnice k hranici CZ/SRN (lesní školka) zpráva GeoFond: V078602

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°49,008' E: 14°46,154' | -707449,1283 | -965930,3406 |



PL-2 Petrovice – silnice k hranici CZ/SRN práva GeoFond: V078602

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°48.968' E: 14°45,949' | -707697,5923 | -965972,1518 |



MA-1 Jůliovka zpráva GeoFond: P050601

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°49,331' E: 14°40,181' | -714322,9177 | -964407,8299 |



PE-1 Petrovice

zpráva GeoFond: P042592

| |
|-----------------------------|
| GPS |
| N: 50°48,506' E: 14°45,511' |

| | |
|----------------|----------------|
| S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| -708319,3001 | -966751,8473 |



RH-1 Heřmanice

zpráva GeoFond: P025074

| |
|-----------------------------|
| GPS |
| N: 50°47.875' E: 14°42,911' |

| | |
|----------------|----------------|
| S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| -711503,0925 | -967509,6873 |

NP Zittauer Gebirge

(foto © P. Šimek, P. Eckhardt)



GWBR 1/63 (51540600)

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°45,977' E: 14°49,183' | -707612,064436 | -965580,537444 |



Lückendorf 6/77 (51546006)

| | | |
|--------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°45,9' E: 14°49,27' | -707680,731542 | -965409,383498 |

WW Hinterdorf Br. 2

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°42,224' E: 14°50,819' | -711579,948115 | -961992,645175 |

HYLCR 1/76 (51546001)

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°46,011' E: 14°49,392' | -707521,756928 | -965202,095776 |

Drehe Bohrg. 1/77 (51546004)

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°41,716' E: 14°51,417' | -712024,224657 | -960814,724229 |

Quelle Kurpark Jonsdorf

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°42,306' E: 14°51,354' | -711353,372231 | -961022,694446 |



WF Weißbachtal

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°48,187' E: 14°50,088' | -704818,945072 | -964258,730528 |



WF Teufelsmühle

| | | |
|----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°45,09' E: 14°51,145' | -708165,532469 | -961837,29347 |

WF Bürgeralle

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°44,804' E: 14°50,394' | -708681,561133 | -963173,084017 |



König-Johann-Quelle (51542001)

| | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| GPS | S-JTSK POINT_X | S-JTSK POINT_Y |
| N: 50°47,683' E: 14°50,507' | -705303,768929 | -963411,189949 |