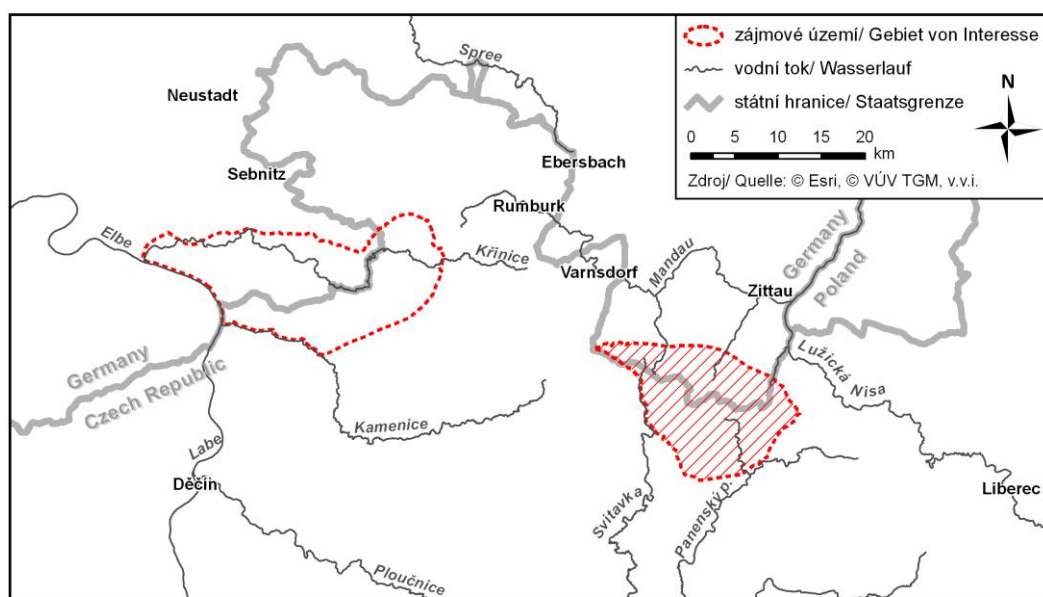


Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin



Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj: Investice do Vaší budoucnosti



Ziel 3 | Cíl 3

Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
2007-2013. www.ziel3-cil3.eu



Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj: Investice do Vaší budoucnosti

Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin

Výstup společného česko-saského projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Návrh květen 2015

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA

veřejná výzkumná instituce

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Freistaat
SACHSEN

Praha 2015

Autorský kolektiv

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce (VÚV TGM, v.v.i.):

Ing. Marie Kalinová, Mgr. Pavel Eckhardt, Mgr. Marta Martínková, Mgr. Lenka Blahníková

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG):

Dr. Peter Börke, Carsten Schulz, Dr. Anna-Katharina Böhm

Překlady: Ing. Libuše Punčochářová a Gabriele Großert

Anotace

Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin předkládá Stálému výboru Sasko-česko-německé komise pro hraniční vody, státní a veřejné správě i odborníkům zainteresovaným v této oblasti návrhy na společný postup při ochraně těchto vodních zdrojů. K formulaci návrhů byly využity nové poznatky získané v projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE), zejména výsledky modelování proudění podzemních vod, odhady důsledků vývoje klimatu, poznatky o vývoji vydatnosti pramenů a odhady stáří podzemních vod pomocí sledování radioaktivních látek.

Klíčová slova

Zdroje podzemních vod, zásobování vodou, přeshraniční spolupráce

Klíčová slova anglicky

Groundwater resources; water supply, international cooperation

Obsah

1	Úvod	3
2	Charakteristika oblasti a výsledky	7
2.1	Vymezení zájmové oblasti	7
2.2	Geologie a hydrogeologie	8
2.3	Prameny a jejich vydatnost	9
2.4	Stáří a míšení podzemních vod	10
2.5	Klimatická charakteristika	11
2.6	Vývoj hladin podzemních vod	12
2.7	Využívání vodních zdrojů	14
2.8	Povrchové toky	15
2.9	Fauna podzemních vod	15
3	Výsledky modelu proudění podzemních vod	17
3.1	Model proudění podzemních vod - výsledky kalibrace	17
3.2	Modelové scénáře	18
4	Syntéza	21
5	Vodohospodářská strategie	24
5.1	Cíl strategie	24
5.2	Opatření pro dlouhodobou ochranu podzemních vod	24
5.3	Realizace Rámcové směrnice EU	25
5.4	Přeshraniční spolupráce	26
5.5	Monitoring	27
6	Závěry a výhled	29
7	Literatura	31

Seznam obrázků

Obr. 1: Propojení dílčích částí řešení	4
Obr. 2: Vymezení zájmové oblasti	7
Obr. 3: Odkrytá geologická mapa zájmového území	8
Obr. 4: Stáří podzemních vod a vody z pramenů s přiřazením monitorovaných objektů k příslušné zvodni (ŠIMEK, 2014)	11
Obr. 5: Roční úhrny srážek na měřicích stanicích Mařenice (zdroj: ČHMÚ) a Kurort Jonsdorf (zdroj: DWD).....	12
Obr. 6: Porovnání vybraných linií vývoje hladin podzemních vod v turonské (kol. BC) a cenomanské zvodni (kol. A) na českých a saských pozorovacích vrtech (roční průměry)	13
Obr. 7: Vývoj odebíraného množství podzemních vod.....	14
Obr. 8: Hydroizohypsy a pole proudění dle nakalibrovaného modelu ve zvodni 2+3.....	17
Obr. 9: Poklesy hladin podzemních vod ve zvodni 2+3, důsledek odběrů podzemní vody ...	18
Obr. 10: Předpoklad tvorby nové podzemní vody (infiltrace) pro simulace změny klimatu a období sucha v modelových scénářích.....	19
Obr. 11: Pokles hladiny podzemní vody ve zvodni 2+3 při odběrech odpovídajícím povoleným odběrům a při maximálním klimatickém suchu v roce 2043 v porovnání s výchozím stavem (2012)	20
Obr. 12: Stávající vymezení vodních útvarů podzemních vod	25

Seznam tabulek

Tab. 1: Geologický a hydrogeologický přehled v zájmovém území	9
Tab. 2: Podíl přímého přínosu srážek a doba setrvání vody ve zvodni (HAHN ET AL., 2013) .	10
Tab. 3: Přehled tří skupin klimatických a odběrových scénářů zpracovaných modelem proudění podzemních vod.....	18
Tab. 4: Hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod	26

1 Úvod

Jak česká, tak německá strana využívají k zásobování obyvatelstva vodní zdroje podzemních vod v přeshraniční oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin.

Čeští a saští odborníci dlouhodobě spolupracují na řešení problematiky hraničních vod na základě Smlouvy mezi Českou republikou a Spolkovou republikou Německo o spolupráci na hraničních vodách v oblasti vodního hospodářství ze dne 12. prosince 1995 a pravidelně o výsledcích informují Stálý výbor Sasko Česko- německé komise pro hraniční vody.

V oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, kterou tvoří křídové pískovce, byl zaznamenán v letech 1983-93 prudký pokles hladin podzemních vod.

Nastala zejména otázka, do jaké míry má pokles hladin podzemních vod antropogenní původ, vyvolaný vysokými odběry podzemních vod v zájmové oblasti a do jaké míry mohl být způsoben přírodními vlivy.

Bylo zřejmé, že problematika proudění podzemních vod, je velmi obsáhlá a vyskytující se problémy jsou natolik komplikované, že nebylo možné najít jednoduché řešení, ale že je nutné navrhnout postupy a opatření založené na společných odborných studiích a modelech.

Z tohoto důvodu byl do Programu EU Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce 2007–2013 mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko Evropského fondu pro regionální rozvoj navržen společný projekt Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE) mezi partnery Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce (VÚV TGM, v.v.i.) a Saským zemským úřadem pro životní prostředí, zemědělství a geologii (LfULG).

Stálý výbor Sasko požádal partnery projektu, aby průběžně informovaly o stavu prací probíhajících v rámci projektu a o dosažených výsledcích. Podpora projektu byla schválena v srpnu 2011. Vedoucím partnerem projektu je VÚV TGM, v.v.i., projektovým partnerem je LfULG.

Projekt je zaměřen na objasnění příčin klesání hladin podzemních vod. Kromě jiného je úkolem projektu návrh společné Strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin tak, aby přispěla k dlouhodobě udržitelnému využívání těchto vodních zdrojů pro zásobování pitnou vodou. K objasnění problematiky byl zvolen přístup, který propojuje dílčí části řešení a je graficky znázorněn na obr. 1.



Obr. 1: Propojení dílčích částí řešení

K dosažení uvedených cílů byly zpracovány datové soubory, rešerše a studie, které přinesly řadu dílčích výsledků a výstupů. Jejich společné vyhodnocení přispělo k lepšímu pochopení systému a procesů a tím k objasnění problematiky poklesu hladin podzemních vod. Významná role připadla modelování proudění podzemních vod, protože do modelu jsou dílčí poznatky integrovány.

Práce na projektu probíhaly v období listopad 2011 až březen 2015. V průběhu řešení byly realizovány tyto výstupy:

Zpracování následujících studií a zpráv:

Hahn, h. J.; Burghardt, D.; D. Matzke & A. Fuchs (2013): Grenzüberschreitende ökologische Bewertung des Grundwassers durch die Erfassung der Grundwasserfauna sowie die Bestimmung stabiler Isotopen im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht im Auftrag des LfULG , 40 S. + Anl.

Eckhardt, P. (2013) Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha 96 stran

Eckhardt, P. (2013) Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha, 62 s.

Martínková, M. (2014) Vliv klimatické změny na celkovou vodnost oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch a oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, Studie vlivu klimatu, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha 34 stran.

Šimek, P. (2014) Stáří a míšení podzemních vod, Oblast 1: Hřensko–Křinice/Kirnitzsch, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha, 106 s., 15 příloh a dodatek č. 1 (14C).

Šimek, P. (2014) Stáří a míšení podzemních vod, Oblast 2: Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, závěrečná zpráva, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha, 105 s., 11 příloh.

Sültenfuß, J. (2014): Beurteilung der Heliumisotopenanalyse von Grundwasserproben aus dem Zittauer Gebirge und der Sächsischen Schweiz 2014. - Abschlussbericht im Auftrag des LfULG, 13 S.

Bohrlochmessung-Storkow GmbH (2013) Bohrlochgeophysik an Grundwassermessstellen des Freistaates Sachsen in den Untersuchungsgebieten des Ziel 3 – Projektes GRACE, im Auftrag des LfULG, Bearbeiter K. Baumann, L. Kuschel.

Voigt, T., J. Franke & S. Franke (2013) Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzgebiet im Rahmen des Ziel 3 – Projektes GRACE. Abschlussbericht, unveröffentlicht, im Auftrag des LfULG, 42 S. + Anl.

G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH (2014) Entwicklung zweier 3D-Modelle hydrogeologischer Körper im sächsisch-böhmischen Grenzgebiet im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht, im Auftrag des LfULG, Bearbeiter R. Kahnt, R. Löser, A. D. Gabriel, D. Hermann, S. Renker, M. Helbig, A. Kutzke; 115 S. + Anl.

Modely proudění podzemních vod

Modely proudění podzemních vod zpracovala společnost AQUATEST, a.s. na základě smlouvy s VÚV TGM, v.v.i.; v první etapě byl pro každou oblast zpracován model proudění pro českou část území, v druhé etapě, při zpracování přeshraničních modelů proudění byla do modelů integrována kromě českých také data a informace ze saského území a aktivně se zapojil i saský projektový partner.

Nol, O. (2012) Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitsch, zpráva za 1. etapu. AQUATEST, a.s., Praha, září 2012.

Vaněk J. & O. Nol (2012), Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, zpráva za 1. etapu. Praha: AQUATEST, září 2012, 37 s.

Nol, O. (2014) Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitsch, zpráva za 2. etapu, AQUATEST, a.s., Praha, květen 2014.

Vaněk J. (2014) Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, zpráva za 2. etapu, AQUATEST, a.s. Praha, květen 2014, 110 s.

Publikace:

Vydány byly dvě společné česko-německé publikace, které byly předány zájemcům zejména na setkání s veřejností a následně při dalších příležitostech.

Kalinová, M., Böhm, A., K., Eckhardt, P., Börke, P., Martínková, M., Šimek, P., Schulz, C., Bílý, M., Koubková, L. (2014) Zdroje podzemních vod na česko-saském pomezí, I. Oblast Hřensko-Křinice/Kirnitsch, Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet, I. Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitsch, VÚV TGM, v.v.i., Praha ISBN 978-80-87402-30-6.

Kalinová, M., Böhm, A., K., Eckhardt, P., Börke, P., Martínková, M., Šimek, P., Schulz, C., Bílý, M., Koubková, L. (2014) Zdroje podzemních vod na česko-saském pomezí, II. Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet, II. Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, VÚV TGM, v.v.i., Praha ISBN 978-80-87402-31-3.

Setkání s veřejností a exkurze

Uskutečnila se dvě setkání s veřejností s odborným programem a exkurze s odborným výkladem:

Setkání s veřejností	
04. 06. 2014	v Krásné Lípě, zaměřená na oblast Hřensko-Křinice/Kirnitzsch
02. 10. 2014	v Žitavě, zaměřená na oblast Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin
Odborné exkurze	
27. 11. 2012	geologická exkurze do oblasti Zirkelstein – Bad Schandau – Schmilka – Kirnitschtal (severozápadní část oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch)
09. 07. 2013	geologická exkurze do saské části Lužických hor (severní část oblasti Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin)
21. 11. 2013	hydrogeologická exkurze – oblast Hřensko-Kamenice, jihozápadní část oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch, vodárna Hřensko

Kromě této Strategie pro oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin je obdobně zpracována Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch.

Na internetových stránkách projektu na adrese www.gracecz.cz je přehled o aktivitách projektu a možnost stažení dílčích výstupů.

Cílem Strategie je, na základě nových poznatků předložit společné návrhy opatření, které povedou k šetrnému a udržitelnému užívání přírodních vodních zdrojů pro zásobování pitnou vodou. Tyto návrhy opatření zohlední přírodní podmínky a zachování rovnováhy vodního režimu v krajině.

Předkládaný materiál obsahuje stručný popis charakteristik zájmové oblasti s využitím výsledků projektu. V kapitole Syntéza jsou výsledky shrnuty a interpretovány. Výstupem je vodohospodářská strategie včetně návrhu opatření a doporučení. Další informace lze nalézt v publikaci Zdroje podzemních vod na česko-saském pomezí - II. oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin a na internetových stránkách projektu na adrese www.gracecz.cz.

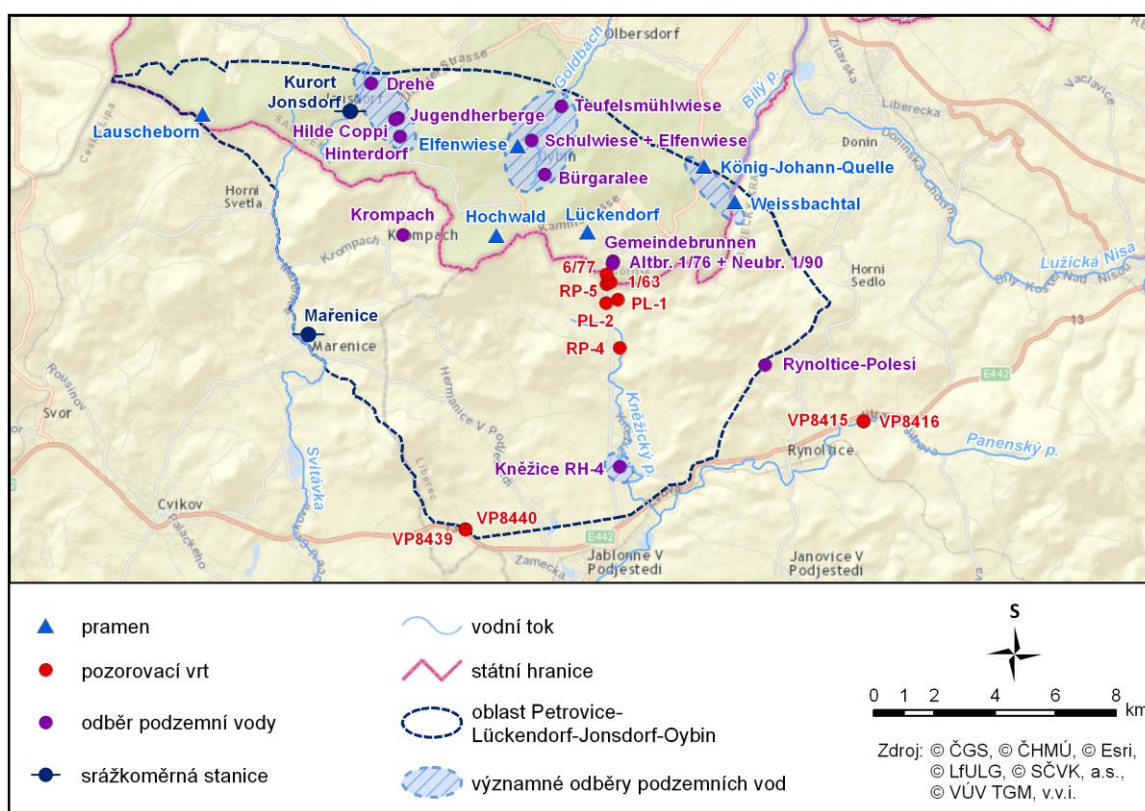
Návrh Strategie je konzultován s širší skupinou odborníků a bude k dispozici pro státní a veřejnou správu. Následně bude návrh Strategie předložen Stálému výboru Sasko-Česko-německé komise pro hraniční vody.

2 Charakteristika oblasti a výsledky

2.1 Vymezení zájmové oblasti

Zájmová oblast je vymezena přeshraničně. České území z větší části leží v CHKO Lužické hory, v saské části se nachází CHKO Žitavské hory. Severní a severovýchodní hranice zájmové oblasti je vymezena lužickou poruchou, část západní hranice tvoří tok Svitávky. Jihozápadní, jižní a jihovýchodní hranice byla vymezena na základě hydrogeologických a orografických poměrů. Zájmová oblast zahrnuje zejména obce Lückendorf, Oybin, Jonsdorf, Waltersdorf, Krompach, Mařenice a osady Heřmanice v Podještědí, Petrovice a Podlesí.

Z hydrogeologického resp. hydrologického hlediska německé území zahrnuje útvary podzemních vod NE 3. České území spadá do severní části útvaru podzemních vod 46400 – Křída Horní Ploučnice. Zájmová oblast zabírá plochu přes 83 km².



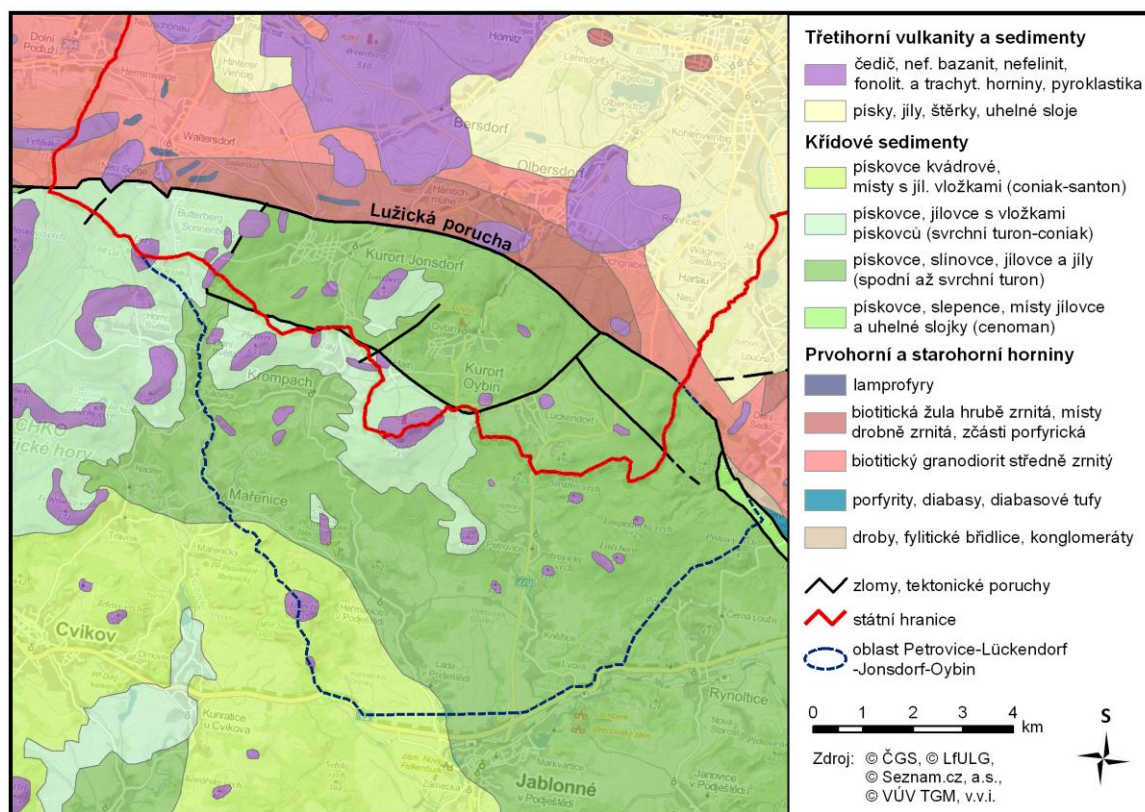
Obr. 2: Vymezení zájmové oblasti

Nadmořská výška zájmového území dosahuje hodnot od cca 310 m n. m. do 793 m n. m. (vrchol hory Luž/Lausche). Oblast je možno přiřadit k oceánsky laděnému, mírnému klimatu (SMUL, 2008; TOLASZ ET AL., 2007). Vzhledem k příkré se od severního předhůří zvedajícím Lužickým horám rostou s narůstající výškou rychle i srážky a v horských polohách pískovcové tabule dosahují hodnot 800 až 960 mm, na téměř 800 metrů vysokých vrcholcích pak pravděpodobně cca 1 000 mm ročního srážkového úhrnu (MANNSFELD & RICHTER, 1995). Povrch je z větší části kryt kvartérními sedimenty, které jsou zastoupené hlavně deluviálními sedimenty (hlinité písky, písčité hlíny, hlíny s úlomky hornin, hlinitokamenité sedimenty s bloky, sutě). Zejména v okolí vodních toků jsou zastoupeny fluvialní a deluviofluvialní sedimenty, zřídka i rašeliny. Na jihu zájmového území se vyskytují spraše a

sprašové hlíny (POSPIŠIL A DOMEČKA, 1996; VALEČKA, 1999). Lesy tvoří většinu zájmového území, přičemž přirozená lesní společenstva jsou často silně ovlivněna lesnickou činností. Významný podíl zauímají louky, jež se nachází zejména v jižní části zájmové oblasti.

2.2 Geologie a hydrogeologie

Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin dominantně tvoří křídové pískovce, které jsou usazeninami křídového moře z doby před cca 70–100 miliony let (PÄLCHEN & WALTER, 2008). Jsou součástí podstatně větší české křídové pánve, která zauímá plochu 14 600 km² (HERČÍK ET AL., 2003). Přehled o geologii zájmové oblasti poskytuje následující obrázek.



Obr. 3: Odkrytá geologická mapa zájmového území

Pískovce v zájmovém území tvoří hydrogeologickou jednotku. Křídové sedimenty Lužických hor se skládají z převážně středně zrnitých až hrubozrnných pískovců (VOIGT ET AL., 2013). Podstatným znakem těchto pískovcových sedimentů jsou lokálně velké změny jejich charakteru v důsledku tektonické a vulkanické činnosti. Po sedimentaci těchto pískovců došlo v mladších třetihorách v důsledku tektonických vlivů ke vzniku tektonických poruch, kdy byly pískovce rozbity a popřípadě i vzájemně na sebe nasunuty. S tím souvisí i vulkanická činnost, v jejímž důsledku prorazil velký počet vulkanických pňů a čedičových žil stávající křídové souvrství. Markantními doklady této vulkanické činnosti jsou vrchy Luž a Hvozd. Dalším viditelným dokladem třetihorní vulkanické činnosti jsou tzv. kontaktně metamorfované pískovce (VOIGT ET AL., 2013). Tento proces lokálně vedl i k vytvoření sloupově odlučných pískovců.

Podloží křídů tvoří pevné horniny krystalinika (PÄLCHEN & WALTER, 2008; MÍSAŘ ET AL., 1983).

Severní a severovýchodní okraj zájmové oblasti je tvořen lužickou poruchou. Po usazení křídových sedimentů byl tektonicky aktivován severní blok lužického masivu skládající se zejména ze žul a granodioritů a nasunut nad pískovce (VOIGT ET AL., 2013). Povrch je tvořen většinou málo mocnými kvartérními sedimenty, jako jsou svahoviny, spraše, fluvialní písky a nivní sedimenty (VOIGT ET AL., 2013), v kvartérních sedimentech se lokálně vytváří mělká zvedeň (v kolektoru 1 podle saského členění).

Z hydrogeologického hlediska se v zájmovém území střídají vodonosné kolektory a méně propustné poloizolátory a izolátory. Na obou stranách státní hranice jsou tak vytvořeny až tři zvodně (viz tab.1).

Tab. 1: Geologický a hydrogeologický přehled v zájmovém území

Německé názvosloví	Typ sedimentu	České názvosloví	Hydrogeologická funkce
Waltersdorf-Formation	Pískovce	Březenské souvrství	kolektor D (1)
Lückendorf-Formation	Jílovce, prachovce, vápnité pískovce	Teplické souvrství	izolátor C/D (1/2+3)
Oybin-Formation	Pískovce	Jizerské souvrství, svrchní bělohorské souvrství	kolektor BC (2+3)
Dölzschen-Formation	Prachovce, opuky	Spodní část bělohorského souvrství	izolátor A/BC (2+3/4)
Oberhäslich-Formation	Pískovce, slepence	Perucko-korycanské souvrství	kolektor A (4)

Nejhlubší samostatnou zvedeň tvoří pískovce cenomanu (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Nad ní jsou uloženy turonské a coniacké pískovce o mocnosti cca 750 m (VOIGT ET AL., 2013). Uvnitř těchto pískovcových vrstev se vytvořilo několik zvodní, které jsou vzájemně odděleny hydrologicky nepropustnými izolátory (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Podél lužické poruchy však vycházíme z toho, že zde izolátory vymizí, takže jsou zde zvodně hydraulicky vzájemně propojené (HERČÍK ET AL., 2003). To znamená pro německou část zájmového území, že je zde často pouze jedna zvedeň s velkou mocností, tvořená pískovci cenomanu a turonu a pokračující jižně od státní hranice přímo na české území (VOIGT ET AL., 2013; HERČÍK ET AL., 2003).

Kvůli velkoplošnému rozšíření a vysoké propustnosti zejména turonské zvodně v zájmovém území vykazuje tato zvedeň vysoké hodnoty tvorby nové podzemní vody (HERČÍK ET AL., 2003). Podzemní voda této zvodně se využívá pro zásobování pitnou vodou.

2.3 Prameny a jejich vydatnost

Vývoj vydatnosti pramenů byl zkoumán v rámci projektu GRACE a výsledky byly shrnuty v dílčí studii (ECKHARDT, 2013). Prameny mohou být dobrými indikátory pro přirozené nebo

antropogenní změny životního prostředí. Hlavně vydatnost pramene může velmi citlivě reagovat na změněné podmínky.

Celkově bylo v zájmové oblasti a jejím bezprostředním okolí nalezeno 213 pramenů, z toho 62 leží na saském území. U většiny pramenů byla zjištěna silná korelace mezi povětrnostními podmínkami a vydatností (ECKHARDT, 2013). Nejvyšší vydatnosti byly zaznamenány v jarním období nebo po srážkově bohatých obdobích. Nejnižší vydatnosti byly pozorovány koncem letního období a na začátku podzimu, kdy místy až vysychaly části jednotlivých pramenů. Těmito změnami jsou dotčeny obzvláště drobné prameny, které mají obecně malou vydatnost a jsou napájeny ze svrchních zvodní. Takovýmto pramenem je například sledovaný pramen v obci Lückendorf.

Nejvyšší vydatnosti byly v zájmové oblasti zaznamenány u saských pramenů v blízkosti lužické poruchy v severní části území, protože zde se křídové pískovce dotýkají granitoidů Lužického plutonu, takže podzemní voda vyvěrá prostřednictvím tzv. přetokových pramenů (G.E.O.S., 1998). Nejvydatnějšími prameny tohoto druhu jsou pramen König-Johann-Quelle a prameny oblasti Bílého potoka. Větší množství většinou méně vydatných pramenů se vyskytuje v české části zájmového území.

Jen některé prameny jsou využívány k zásobování obyvatel pitnou vodou. V Sasku je například využívána část pramene König-Johann-Quelle a pramenná oblast u hraničního Bílého potoka (Weißbach).

2.4 Stáří a míšení podzemních vod

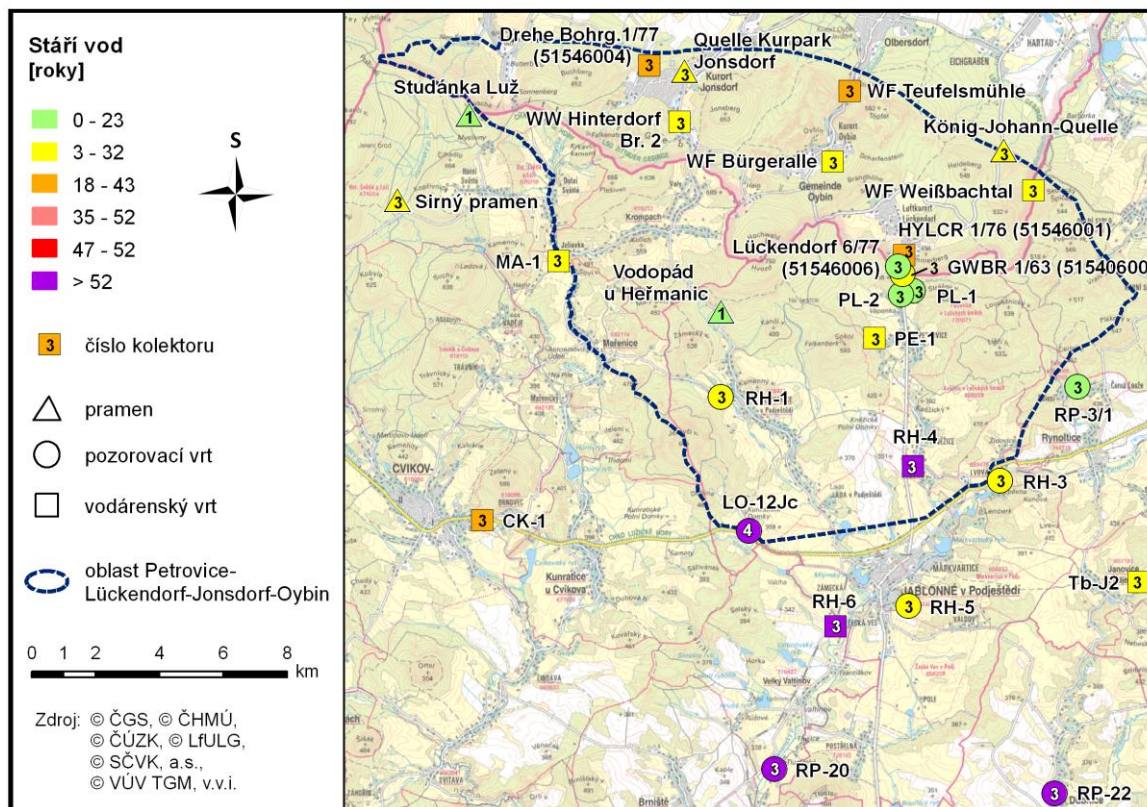
Ke zjišťování stáří a míšení podzemních vod byly provedeny izotopové analýzy (s použitím izotopů deuteria (^2H), kyslíku 18 (^{18}O), tritia (^3H) a tritia-hélia).

Obsah stabilních izotopů v podzemní vodě byl v porovnání s vodou srážkovou podstatně vyrovnanější. Dále bylo možné s pomocí stabilních izotopů vypočítat podíly přímého přínosu srážkové vody v podzemní a pramenné vodě a odhadnout dobu setrvání vody v podzemí. V tabulce 2 jsou tyto poznatky shrnuty.

Tab. 2: Podíl přímého přínosu srážek a doba setrvání vody ve zvodni (HAHN ET AL., 2013)

pozorovací vrt/ pramen	podíl srážek [%]	doba setrvání
Quelle Lückendorf	37	střední - dlouhá
König-Johann-Quelle	19	dlouhá
Scheibborn-Quelle	73	krátká - střední
Lückendorf 6/77	70	krátká - střední
Oybin Teufelsmühle Br. 2	15	dlouhá
Oybin Bürgeralle Br.2	7	dlouhá
Lückendorf-Niederdorf	1	dlouhá
Johnsdorf 'Drehe 1+2'	20	dlouhá
WW Eichgraben 'Fass. Weißbachtal 1-16'	15	dlouhá
Heřmanice pramen Vodopád	22	dlouhá
Pod Kulichem, pramen v Kropmachu	0	dlouhá

Pomocí analýzy tritia (^3H) v podzemních a pramenných vodách bylo možné zjistit stáří vod, které je zobrazeno na následující mapě (ŠIMEK, 2014).



Obr. 4: Stáří podzemních vod a vody z pramenů s přiřazením monitorovaných objektů k příslušné zvodni (ŠIMEK, 2014)

V oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin byly identifikovány podzemní vody různého stáří, což pomáhá určit jejich původ v kolektorech podzemní vody (ŠIMEK, 2014). Vzhledem k absenci poloizolátoru mezi kolektory 2 a 3 je komunikace mezi těmito částmi turonského kolektoru značná, což je patrné v celé části zájmové oblasti. Principiálně je znatelné zvyšování stáří podzemní vody směrem k jihu. Tento výsledek je v souladu s výsledky práce ALVARADO ET AL. (2013) a zjištěnými směry proudění. S rostoucí hloubkou ve zvodni stoupá často i stáří vody.

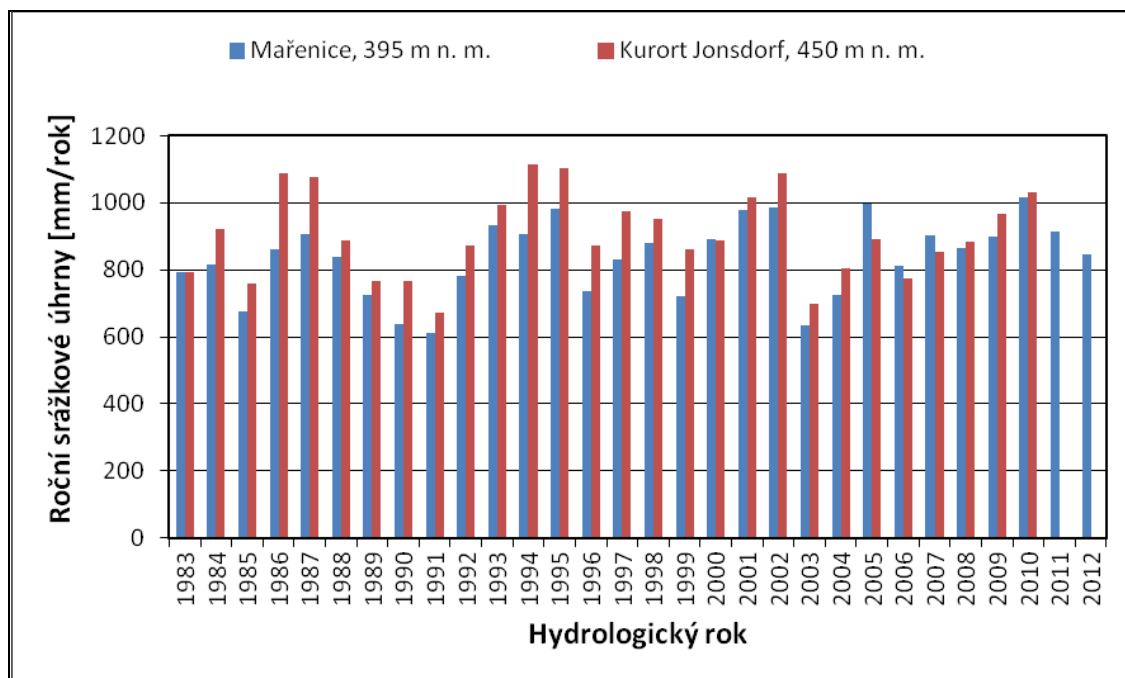
Nejnižší stáří vod 0-23 let často korespondují s velmi malými hloubkami do 30 m pod terénem, nebo byla tato stáří pozorována u pramenů. O něco vyšší stáří vody (3-32 let) bylo pozorováno u hladin podzemních vod, které jsou charakterizovány celkově hlubší polohou otevřených úseků výstroje vrtu.

Výsledky stanovení stáří vod metodou s použitím tritia a hélia v podstatě potvrzují výsledky zjištěné tritiovou metodou.

Výsledky ze zjišťování stáří a míšení vod byly použity i pro tvorbu modelů proudění podzemních vod.

2.5 Klimatická charakteristika

Klima má rozhodující vliv na zdroje podzemních vod zájmové oblasti. Průměrné roční hodnoty teploty se pohybují mezi 7 a 8 °C, roční úhrny srážek většinou převyšují 700 mm (MARTÍNKOVÁ, 2014). Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** jsou uvedeny roční úhrny srážek hydrologických let 1983 - 2012 na měřicích stanicích Mařenice (CZ) a Kurort Jonsdorf (D).



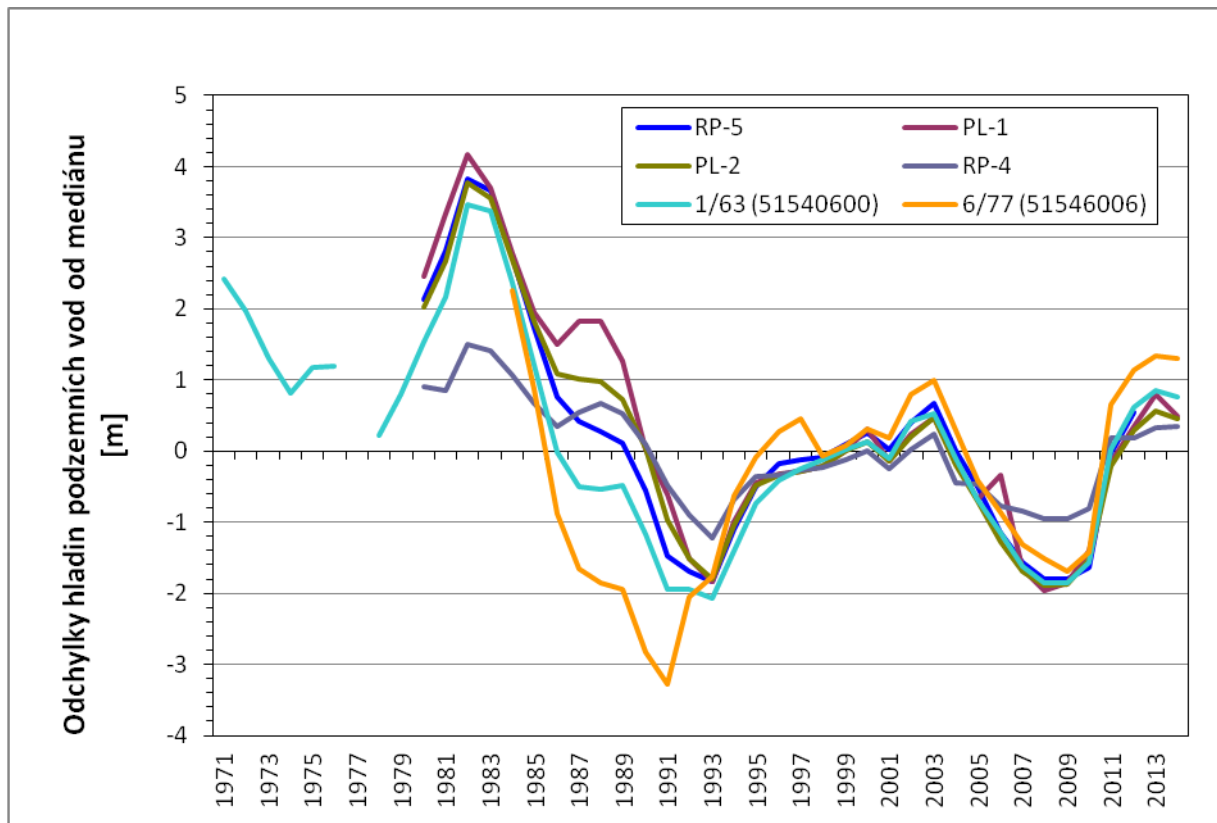
Obr. 5: Roční úhrny srážek na měřicích stanicích Mařenice (zdroj: ČHMÚ) a Kurort Jonsdorf (zdroj: DWD)

Ani u jedné ze stanic nelze identifikovat jednoznačnou tendenci ve vývoji srážek. Dobře znatelná je však periodicitu srážkového dění, to znamená střídání vlhkých a suchých klimatických period.

Klimatické veličiny, které jsou rozhodující pro budoucí vývoj dotace podzemních vod, jsou teplota vzduchu a množství srážek. Můžeme vycházet z toho, že v budoucnosti dojde k dalšímu nárůstu teplot. Vzhledem k vývoji srážek nelze krátkodobě a střednědobě počítat s úbytkem ročních srážek (LFULG, 2014). Dlouhodobě (od poloviny 21. století) je předpokládán pokles průměrných ročních srážek (LFULG, 2014). Dle prognóz obsah vlhkosti ve vzduchu stoupne o 7 % na jeden stupeň Celsia (CLAUSIUS, 1850). Teplota a výpar ovlivňují množství, intenzitu, frekvenci, délku trvání a typ srážek. Když se otepluje, dochází ke zvyšování intenzity a zkracování doby trvání srážkových událostí – srážky se nestačí vsáknout, což také závisí na nasycení půdy, a rychle odtečou, což negativně ovlivňuje dotaci podzemních vod. Stoupající trend teploty vzduchu může také způsobit změnu formy srážek, a to tak, že v zimě nesněží, ale prší. Když například v zimě prší, zachycení vody rostlinami je vzhledem k vegetačnímu klidu nižší. Principiálně platí, že v zimních měsících, resp. v období vegetačního klidu je k dispozici více vody pro infiltraci. Naopak v zimě může docházet k zvýšení povrchového odtoku (vzhledem k promrzání půd), tím je voda ze srážek z povodí odvedena a nepřispívá k infiltraci.

2.6 Vývoj hladin podzemních vod

Od osmdesátých let minulého století byly pozorovány jak na českých, tak i na saských pozorovacích vrtech určených pro měření podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin poklesy hladin podzemních vod. Tento vývoj je pro vybrané vrty zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 6: Porovnání vybraných linií vývoje hladin podzemních vod v turonské (kol. BC) a cenomanské zvodni (kol. A) na českých a saských pozorovacích vrtech (roční průměry)

Z obrázku je dobře viditelná podobnost průběhu vývojových linií hladin u různých pozorovacích vrtů v rámci daného území. Diferenciace časové reakce a amplitudy kolísání na různých pozorovacích vrtech je podmíněna polohou v povodí a různými vzdálenostmi hladiny podzemních vod od úrovně terénu a propustnostmi v nenasycené zóně (G.E.O.S., 1997).

Maxima a minima tvorby nové podzemní vody se odrážejí na hladinách podzemních vod. Kromě těchto přirozených faktorů je třeba vycházet i z toho, že na vývoj hladiny podzemních vod působí i antropogenní odběry podzemní vody. Pro oblast Lückendorf je možné přímé porovnání vývoje hladin podzemních vod a odběrových množství. Byl zde pozorován velký pokles hladin podzemních vod od roku 1983 do roku 1993. Zatímco první fázi poklesu z let 1983–1987 je možné dát pravděpodobně do souvislosti zejména s přirozenými vlivy (suchý rok 1982), druhou fázi poklesu hladin podzemních vod mezi lety 1989 a 1993 je možné vysvětlit výrazně stoupajícími odběry pitné vody od roku 1984 do roku 1988/89 při současně poměrně suchém období (velmi nízké roční srážkové úhrny). Tomu odpovídá i plné využití využitelných zásob podzemních vod ve fázi nejvyšších odběrů v letech 1986–1990 a počátek opětovného nárůstu hladin podzemních vod od roku 1993 po výrazné redukci odběrů v roce 1991/2. Významný vliv odběrů na hladiny podzemních vod potvrzují i výsledky modelu proudění podzemních vod.

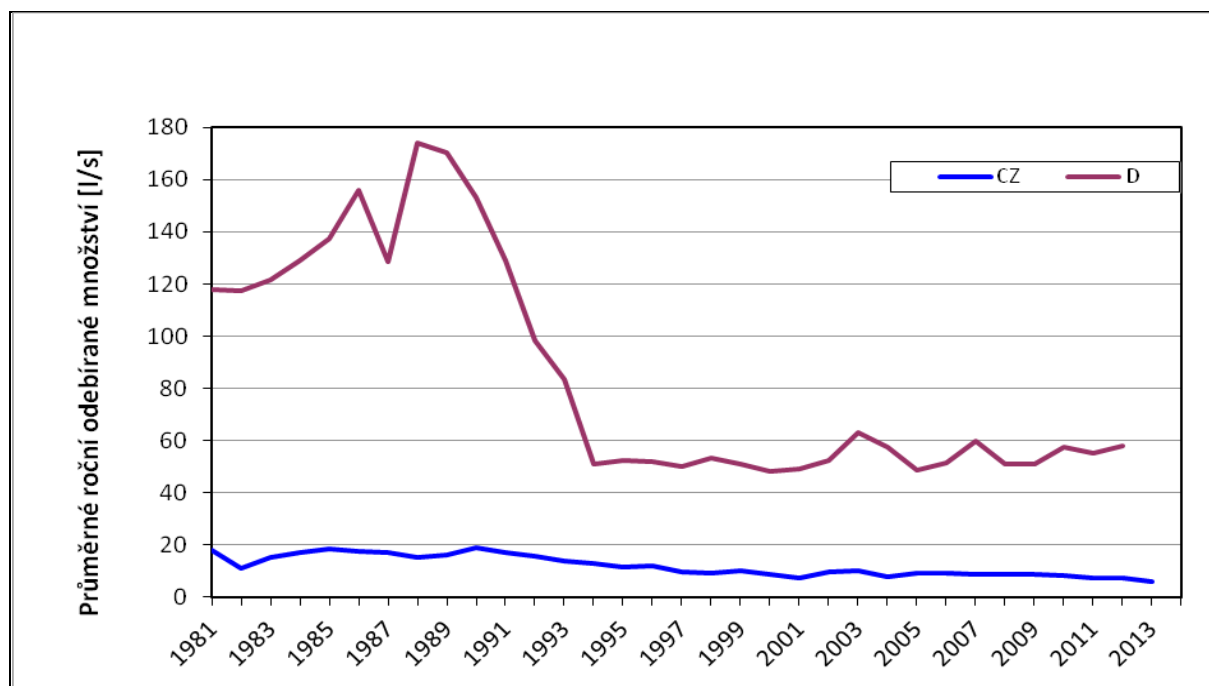
Po fázi opětovného nárůstu hladin v letech 1993–2004, v důsledku zmenšených odběrových množství a vlhkého období několika let, opět do roku 2010/11 hladiny podzemních vod poklesly, což je možné dát do souvislosti s extrémně suchým rokem 2003 a relativně suchými lety 2005, 2006 a 2008. Počínaje rokem 2011 je možno pozorovat opětovný vzestup

hladin podzemních vod, který je reakcí na částečně srážkově velmi bohaté roky, jako byl rok 2010. Úroveň hladin podzemních vod z roku 1983 však doposud nebylo dosaženo.

2.7 Využívání vodních zdrojů

V oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin jsou významné vodní zdroje pro zásobování kvalitní pitnou vodou, dochází zde k odběrům podzemní vody pro tyto účely jak na českém, tak i na saském území.

Významně vyšší jsou odběry podzemních vod na saské straně zájmového území. Zde byla a je intenzivněji odebírána voda z podzemních zdrojů Lužických hor od konce 70. let až začátku 80. let minulého století, a to pro zásobování vodou města Žitava (Zittau) a jeho tehdy nově vzniklého sídliště Zittau-Hirschfelde (VEB HYDROGEOLOGIE, 1978a). Jak ukazuje následující obrázek, uskutečnily se nejvyšší odběry v 80. letech, sumárně ze všech odběrových zdrojů to činilo až 170 l/s. Po změně politického režimu 1989/90 se odběry vody značně snížily a v 90. letech kolísaly mezi 50 a maximálně 60 l/s. Počínaje rokem 2001 se odběry opět mírně navýšily, přesto ale činí již méně než polovinu odběrů vody před rokem 1990. Odběry provádějí dvě vodárenské společnosti – SOWAG (Südoberlausitzer Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungs GmbH) a Stadtwerke Zittau GmbH. Od roku 2001 se ze všech odběrových míst sumárně odebírá v průměru 78 l/s. Z toho asi 58 l/s pochází ze studní. Nejdůležitější odběrová místa se nacházejí v obcích Oybin (studny Teufelsmühle a Schulwiese) a Jonsdorf (jímací území „An der Drehe“, Hilde Coppi a Hinterdorf). Pro zásobování pitnou vodou se dále využívají jímací oblast Weißbachtal s cca 20 l/s, prameny Oybin-Hochwald a částečně König-Johannquelle a Oybin-Elfenwiese. Mezi lety 1988 a 2005 bylo v Lužických horách z 32 odběrových zařízení 17 zařízení odstaveno z provozu.



Obr. 7: Vývoj odebíraného množství podzemních vod

Nejvýznamnějším jímacím územím v české části oblasti je jímací území Kněžice v povodí Kněžického potoka. Vodu z tohoto jímacího území odebírají Severočeské vodovody a

kanalizace, a.s. (SČVK). Z tohoto zdroje dochází k zásobování pitnou vodou zejména u města Jablonné v Podještědí. V současnosti je tu odebíráno okolo 7 l/s, údaje vycházejí z vodohospodářské bilance (<http://heis.vuv.cz>). Odběry podzemních vod z dalších jímacích území na české straně jsou nižší. Je odebírána podzemní voda pro místní spotřebu. Takovéto odběry jsou v Krompachu a u osady Polesí (<http://heis.vuv.cz>). Celkové odběry z české části zájmového území v minulosti dosahovaly až k 20 l/s, v současnosti nepřesahují 10 l/s. Kromě toho existují na české straně drobné odběry zásobující vodou jednotlivé domy apod., ty však nejsou kvůli velmi malým množstvím čerpané vody relevantní. Česká i saská strana využívá vodní zdroje podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin na základě vodoprávních povolení; v současné době reálně odebíraná množství vody jsou podstatně nižší než množství povolená.

2.8 Povrchové toky

Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin náleží do povodí Ploučnice (povodí Labe) a Lužické Nisy (povodí Odry). Územím prochází evropské rozvodí Severního a Baltského moře zčásti ve směru státních hranic. Zájmové území je pramennou oblastí spíše drobných vodních toků.

V českém teritoriu odtéká většina vodních toků na jih do řeky Ploučnice, která v Děčíně ústí do Labe. K těmto vodním tokům patří Svitávka, Heřmanický potok a Kněžický potok. Zčásti leží pramenné přítoky těchto potoků na německé straně, jako je tomu např. u Svitávky, jejíž prameny leží západně od obce Kurort Jonsdorf. Horní část povodí Kněžického potoka tvoří potok Lückendorfer Bach odtékající směrem na jih (VEB HYDROGEOLOGIE, 1976).

Na saském území je hlavní vodotečí Mandava, která teče severně od zájmového území, tedy severně od lužické poruchy přibližně ze západu na východ, od Großschönau přes Hainwalde do Zittau, kde ústí do Lužické Nisy, a patří tak do povodí Odry. Ze zájmového území odtékají na sever do Mandavy vodní toky Schwarzer Graben a Sorgewasser (oblast Waltersdorfu), Pochebach a Grundbach (Kurort Jonsdorf), Goldbach (Kurort Oybin), jakož i další bezejmenné potoky. Bílý potok, pramenící v těsné blízkosti státní hranice, teče jako hraniční tok směrem k Lužické Nise. Tyto potoky tekoucí na sever protínají lužickou poruchu a jejich koryta pak odtud probíhají krystalickými horninami Hornolužické pahorkatiny.

V pískovcovém území obecně existuje nerušená komunikace mezi podzemními a povrchovými vodami, takže např. potoky Grundbach a Pochebach jsou napájeny převážně podzemní vodou (VEB HYDROGEOLOGIE, 1978b). Pokud lokálně přítok podzemní vody chybí, protože se koryto vodního toku nachází nad hladinou podzemní vody a vodní tok je napájen pouze srážkovou a povrchovou vodou, pak může povrchová voda vzhledem k velké propustnosti pískovců (VOIGT ET AL., 2013) lokálně velmi rychle prosáknout do podloží. To se odráží například na Kněžickém/Lückendorfském potoce, kterým v některých částech teče voda pouze po tání sněhu anebo po silných srážkách a jehož hraniční profil je po většinu roku bez povrchové vody (VEB HYDROGEOLOGIE, 1976; 1978a; ECKHARDT, 2013).

Průtoky, resp. vodní stavy nejsou v zájmovém území ani na české, ani na saské straně pravidelně sledovány, nebo nejsou sledovány vůbec. Učinit jednoznačné závěry k průtokovým poměrům těchto povrchových vod tak není možné.

2.9 Fauna podzemních vod

V rámci projektu byl v zájmovém území poprvé prováděn průzkum fauny podzemních vod. U této fauny se jedná o živočichy zvláště přizpůsobené biotopu podzemních vod (stygofauna s velikostí jedinců 0,3-1,0 mm). Nejčastěji se vyskytující druhy patří ke korýšům, červům,

mlžům a plžům (HAHN ET AL., 2013). Jsou to živočichové heterotrofní, to znamená, že jsou odkázáni na externí přísun organických a anorganických sloučenin (živiny, energie), (HAHN ET AL., 2013).

Podzemní voda a prameny v zájmovém území byly živočichy z fauny podzemních vod osídleny s různou intenzitou (HAHN ET AL., 2013). Z hlediska jejich druhové skladby byla nalezená společenstva typická pro prameny a podzemní vody střední části Německa (STEIN ET AL., 2012).

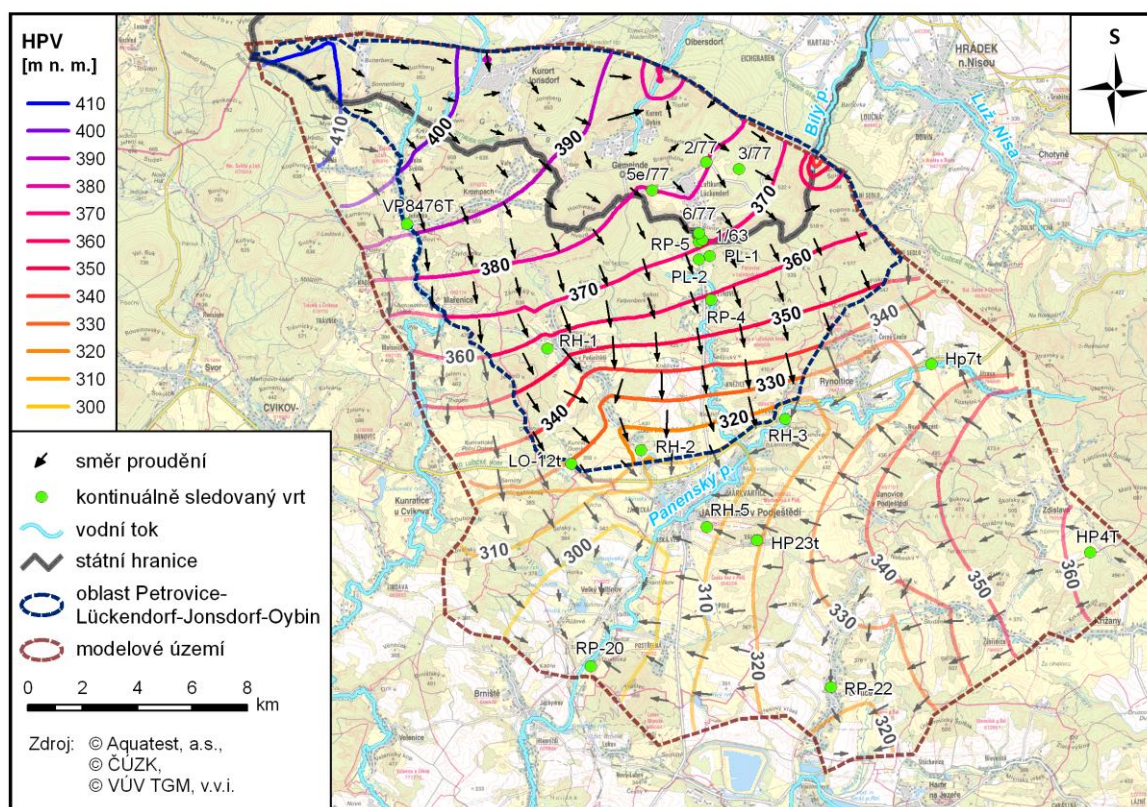
Celkově byla fauna testována v šesti vrtech (z toho 1 na saské a 5 na české straně) a v pěti pramenných vývěrech (3 na saské straně, 2 na straně české). Ve vzorcích bylo identifikováno celkem 25 druhů fauny. Zatímco v hydrogeologických vrtech bývá oživení často dáno především skutečnými zástupci fauny podzemních vod (tzv. stygobionty), v pramenech k nim přistupuje i fauna vod povrchových, především tzv. krenobionti (neboli fauna pramenných vývěrů). Přesto byl v testovaných vodách prokázán i výskyt osmi druhů typických jako fauna podzemní. Například ve vrtu Z1 (Lückendorf) byl opakovaně nalezen klanonožec *Graeteriella unisetigera*. V pramenných vývěrech (König-Johann-Quelle) byl zjištěn velmi zajímavý korýš, a to bezkrunýřka *Bathynella natans*, poprvé objevený v závěru 19. století českým profesorem Vejdovským ve studni v Praze na Malé Straně. Od té doby potvrzených výskytů bezkrunýřky přibylo (m.j. i v podzemních jeskyních, VIŠŇOVSKÁ & PAPÁČ, 2010), nicméně každý další nález tohoto živočicha je cenný. Hydrochemické a faunistické nálezy získané v zájmovém území poukazují na to, že individuální stav pozorovacího vrtu má směrodatný vliv na výsledky průzkumu. Řídké a nestabilní osídlení pozorovacího vrtu může souviset s jeho špatným stavem. Mnohé pozorovací vrty byly zanesené, zrezavělé nebo zaokrované, a je tak možné je považovat za nevhodné pro osídlení živočichy (GUTJAHR ET AL., 2013; HAHN ET AL., 2013). Významné je v této souvislosti dobré osídlení faunou u pramenů, které zjevně nabízejí podstatně lepší, tzn. nenarušené životní podmínky.

Závěrem je možno konstatovat, že pozorovací vrty v zájmovém území jsou nevhodné pro průzkum fauny podzemních vod. Hlavně jejich velká hloubka a špatný stav s sebou přinášejí jejich velmi malé osídlení faunou (HAHN ET AL., 2013). Je otázkou nakolik odpovídají poměry ve vrtech realitě horninového prostředí.

3 Výsledky modelu proudění podzemních vod

3.1 Model proudění podzemních vod - výsledky kalibrace

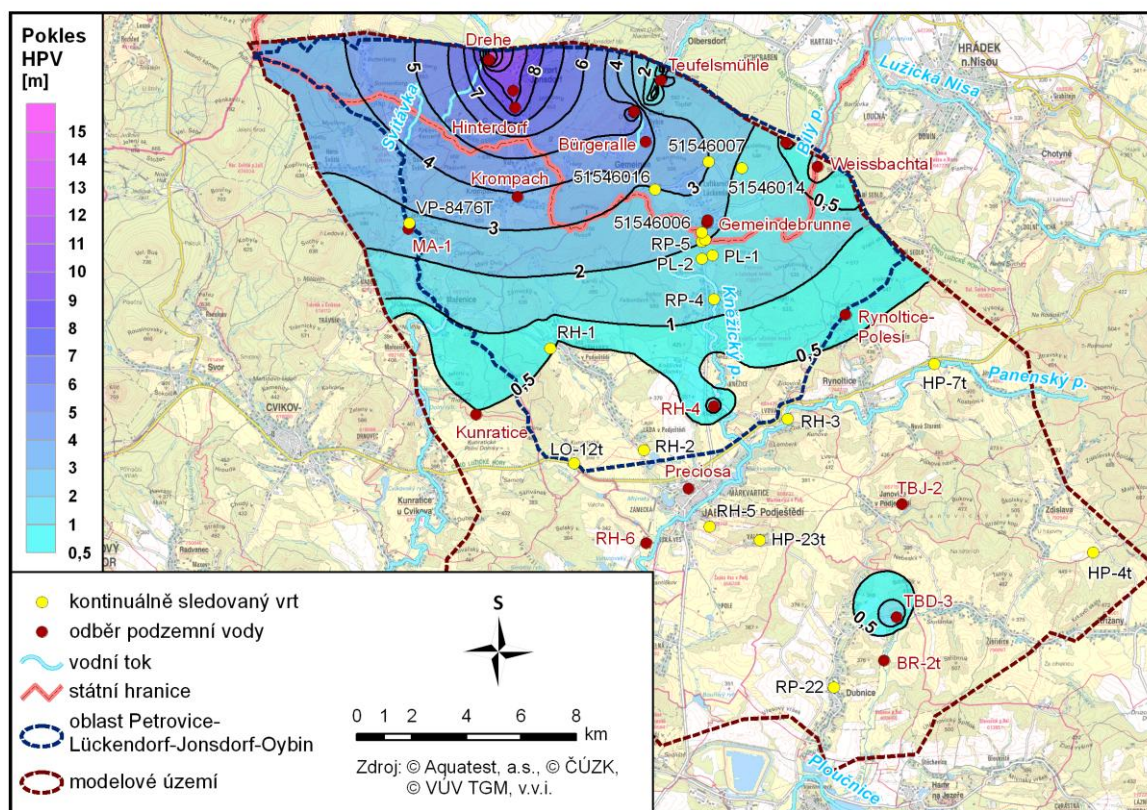
Model proudění podzemních vod pro oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin (Vaněk J. 2014) byl vytvořen začleněním geologického, resp. hydrogeologického modelu pro saské území a na základě odpovídajících údajů pro území české. Modelové zvodně modelu proudění podzemních vod odpovídají reálně existujícím zvodním tabulky 1. Po výstavbě a parametrizaci modelu byl model pomocí časových řad monitorovaných údajů nakalibrován. Prvním významným výsledkem kalibrace přeshraničního modelu proudění podzemních vod je namodelování volné hladiny podzemní vody a směru jejího proudění v jednotlivých zvodních. Na obr. 8 je jako příklad zobrazeno pole proudění ve zvodni 2+3.



Obr. 8: Hydroizohypsy a pole proudění dle nakalibrovaného modelu ve zvodni 2+3

Z tohoto obrázku je zřejmé, že hlavní přirozený směr toku podzemní vody v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin ve zvodni 2+3 je převážně nasměrován na jih k Panenskému potoku, tedy na českou stranu. Pouze na severu na saské straně v úzkém pásu se směr toku obrací na jihovýchod k údolí Bílého potoka (k hraničnímu vodnímu toku Bílý potok/Weißbach). Podzemní rozvodí probíhá přibližně v oblasti státní hranice, můžeme tak vycházet z existence dvou relativně oddělených proudů podzemních vod.

Dále je možné pomocí modelu proudění modelovat dopady užívání vody na hladinu a dynamiku podzemních vod. Vytvořením diferencí mezi modelovými hladinami podzemních vod bez odběrů a s odběry vody bylo možné vypočítat depresní kužely vyplývající z užívání vody. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny poklesy hladin ve zvodni 2+3, stav v roce 2012 vypočtený na základě časových řad při kalibraci modelu.



Obr. 9: Poklesy hladin podzemních vod ve zvodni 2+3, důsledek odběrů podzemní vody

Na saské straně je zobrazena velká deprese ve zvodni 2+3 v oblasti vodárenských odběrů.

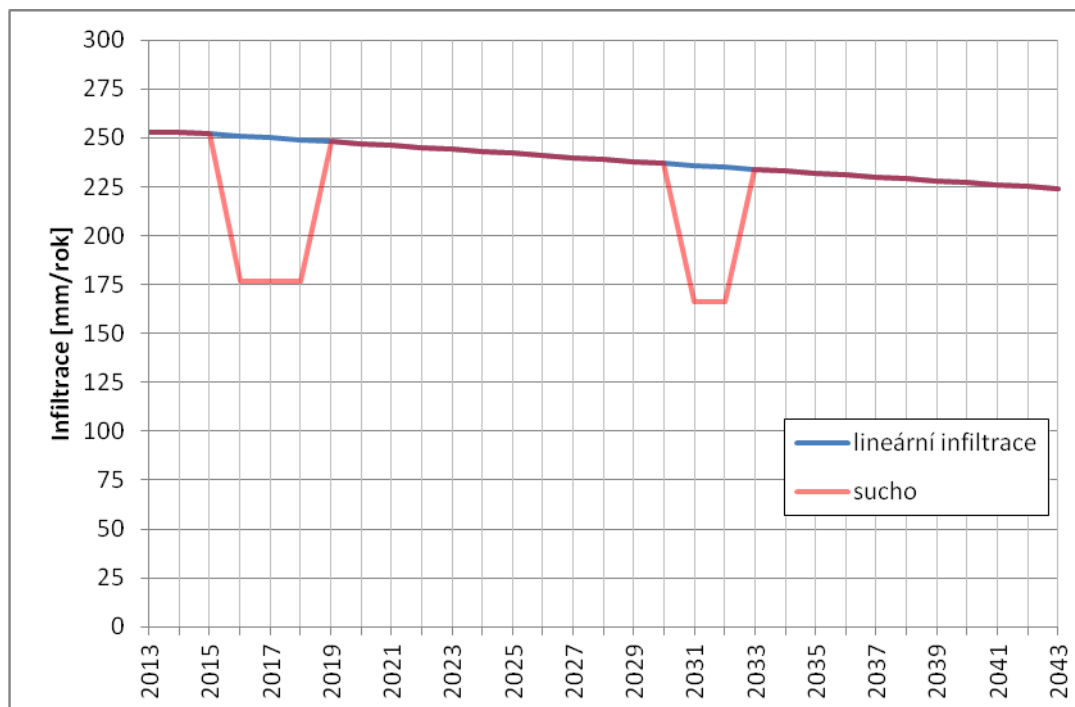
3.2 Modelové scénáře

Modelové scénáře jsou výsledky z implementace scénářů klimatické změny a odběrů vody pomocí modelu proudění podzemních vod. Celkem bylo propočítáváno 15 scénářů, které můžeme zařadit do tří skupin (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**):

Tab. 3: Přehled tří skupin klimatických a odběrových scénářů zpracovaných modelem proudění podzemních vod

Skupina	Obsah scénářů
1	varianty odběrů při nezměněné tvorbě nové podzemní vody (stacionární stav)
2	varianty odběrů při klesající tvorbě nové podzemní vody do roku 2043
3	varianty odběrů při klesající tvorbě nové podzemní vody do roku 2043 se dvěma začleněnými obdobími sucha

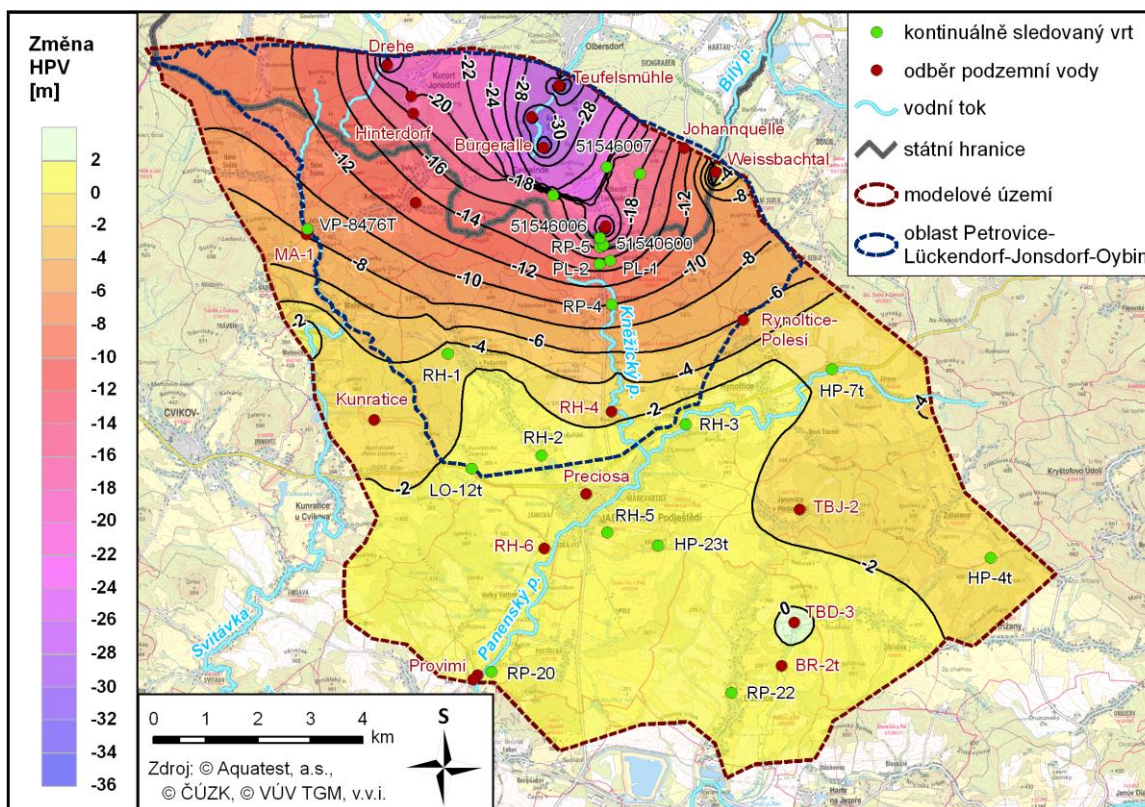
Ohledně změn klimatu se ve scénářích vychází z toho, že v důsledku promítnuté změny klimatu bude v budoucnu klesat tvorba nové podzemní vody a budou narůstat období sucha. Při praktické aplikaci scénářů se předpokládalo, že tvorba nové podzemní vody bude do roku 2043 lineárně klesat o 1 mm za rok. Navíc byla začleněna dvě období sucha, která jsou co do svého rozsahu srovnatelná s obdobími sucha pozorovanými v minulosti. Na následujícím obrázku jsou tyto úvahy znázorněny graficky.



Obr. 10: Předpoklad tvorby nové podzemní vody (infiltrace) pro simulace změny klimatu a období sucha v modelových scénářích

Modelové scénáře byly vytvářeny na základě různých variant odběrů vody, povolených množství, reálně odebíraných množství, s minimálními odběry (až po odběry nulové) a se zvýšenými odběry.

Na základě modelování jednotlivých scénářů byly vypracovány diferenční mapy, na nichž jsou zobrazeny dopady příslušného scénáře v porovnání s výchozím stavem. Jako srovnávací stav byly stanoveny hladiny podzemních vod při konstantní průměrné tvorbě nové podzemní vody s hodnotou 232 mm/rok a reálná odběrová množství modelované oblasti roku 2012 (CZ: 27,3 l/s; D: 58,0 l/s). Negativní odchylky odpovídají snížení hladiny podzemní vody v porovnání s výchozím stavem. Na následujícím obrázku je jako příklad zobrazen jeden z výsledků vypočtených scénářů.



Obr. 11: Pokles hladiny podzemní vody ve zvodni 2+3 při odběrech odpovídajícím povoleným odběrům a při maximálním klimatickém suchu v roce 2043 v porovnání s výchozím stavem (2012)

Jak je vidět z obrázku, vliv odběrů vody odpovídající povolenému množství z modelované oblasti (CZ: 35,7 l/s, D: 179,3 l/s), včetně poklesu infiltrace na 202 mm/rok a dvou období sucha; v roce 2043 by tyto odběry vedly k poklesu hladiny podzemních vod na severu oblasti ve zvodni 2+3 až o 2-30 metrů oproti současnému stavu.

Principiálně platí i pro scénáře, že odrážejí aktuální stav prací v oblasti tvorby modelů proudění podzemních vod a jsou tak adekvátně zatíženy existujícími nejistotami.

4 Syntéza

V následujícím textu jsou dílčí výsledky shrnuty a interpretovány z hlediska cílů této strategie.

V modelech proudění podzemních vod (Vaněk, 2014) byl zkoumán hlavně vliv odběrů vody na hladiny podzemních vod. K popsání režimu podzemních vod a složitých interakcí přírodní a klimaticky podmíněné dynamiky podzemních vod, dlouhé doby infiltrace a antropogenního vlivu odběru podzemních vod byl zpracován trojrozměrný transienční model proudění podzemních vod. Model je postaven na numerických algoritmech, které napodobují přirozené procesy dynamiky podzemní vody v souladu s fyzikálními zákony. K tomu bylo třeba stanovit nejdůležitější hydraulické okrajové podmínky, které byly implementovány do modelu. Základem modelu proudění je nový geologický a hydrogeologický strukturální model, který byl zpracován pro celkovou zájmovou oblast na základě prací VOIGT ET AL. (2013); G.E.O.S. (2014). Všechny geologické vrstvy byly spojeny do hydrogeologických kolektorů a poloizolátorů. Pro správnou interpretaci hydraulických okrajových podmínek bylo rozhodující přiřazení vodárenských objektů k příslušným zvodním.

Z dostupných poznatků o dynamice podzemních vod vyplývá, že proudění podzemních vod ovlivňují jak přirozené, tak antropogenní příčiny, tedy odběry vody. Na severu zájmové oblasti přirozená dynamika podzemních vod nepřevažuje nad vlivem odběrů.

Doposud ale nebylo možné s konečnou platností poznatky o dynamice podzemních vod v jednotlivých zvodních uzavřít. Pro definitivní objasnění pozorované dynamiky podzemních vod by však bylo nutné provést další průzkumy.

Vycházíme-li ze závislosti hladin podzemních vod na vývoji srážek, pak se střídání víceletých mokrých a suchých období odráží na vývojových liniích tlumeně a s víceletým zpožděním, což je způsobeno velkou vzdáleností mezi úrovní terénu a hladinou podzemní vody.

Při aktuálních hydrologických podmínkách a při současných odběrech lze odvodit, že vodní zdroje v zájmové oblasti nejsou ohroženy. Model proudění ale ukazuje přeshraniční vliv na přirozenou dynamiku podzemních vod způsobený odběry na saské straně.

Kromě toho je možné dle výsledků modelu proudění předpokládat, že v zájmovém území se projevuje hydrogeologické rozhraní, které probíhá přibližně v podél státní hranice. Hlavní přirozený směr toku podzemní vody v zájmové oblasti ve zvodni 2+3 je převážně nasměrován na jih k Panenskému potoku, tedy na českou stranu. Na severu, na saské straně v úzkém pásu se směr toku obrací na jihovýchod k údolí Bílého potoka, případně i k severu přes lužickou poruchu.

Dalším významným aspektem ochrany zdrojů podzemních vod, je posouzení citlivosti celého systému v souvislosti s předpovídanou změnou klimatu. Systém podzemních vod by mohl reagovat na změnu klimatu citlivě. Kvůli velkým vzdálenostem mezi úrovní terénu a úrovní hladin podzemních vod je v první fázi třeba počítat se zmírněnou a opožděnou reakcí.

Aktuálně vychází pro Sasko krátkodobě až střednědobě kompenzace narůstajícího odparu v důsledku stoupajících teplot zvýšenými letními srážkami. Dlouhodobě ale dojde k přechodu k mnohem sušším poměrům způsobeným hlavně nižšími letními srážkami (LfULG, 2014).

Protože nejvyšší možný obsah vlhkosti ve vzduchu stoupá s tím, jak stoupá teplota, dá se předpokládat, že může dojít ke zvyšování intenzity a zkracování doby trvání srážkových událostí, srážky v létě mohou mít pak častěji přivalový charakter. To může vést ke zvýšení povrchového odtoku.

Zvyšující se teplota způsobí zvyšování evapotranspirace a změny v rozdělení srážek. Kvůli zvýšení odparu především ve vegetační periodě a kvůli změně v rozložení srážek, ale i v důsledku změny poměru pevných a kapalných srážek v zimě, je možné počítat se snížením tvorby nové podzemní vody. Tento pokles tvorby nové podzemní vody byl zohledněn i v modelových scénářích (viz kap. 3.2). Podle aktuálních saských podkladů je předpokládán dlouhodobý pokles tvorby nové podzemní vody o 20-30 % (<http://www.wasserhaushaltportal.sachsen.de>). V modelu proudění podzemních vod zpracovaném v rámci projektu GRACE je pro prognózní modelové scénáře zavedeno snížení infiltrace o 1 mm/rok.

Pokud se klimatické změny na zdroje podzemních vod projeví a zvýší se potřeba užívání vody, může nastat situace, že vodní zdroje nebudou potřebě vody stačit.

Pokles hladin podzemních vod v pozorovacích vrtech v období 1983–1993 byl způsoben jak vysokými odběry podzemní vody, tak i vývojem srážek (změnami infiltrace).

Pohyb hladin podzemních vod ve velké míře závisí na klimatu a na jeho periodických víceletých změnách, vlhkých a suchých fázích. Kromě toho se projevily vysoké odběry podzemních vod na saské straně v letech 1981-1991, které silně přeshraničně ovlivnily dynamiku podzemních vod, takže pravděpodobně došlo k ohrožení statických zásob podzemních vod.

Celkový efekt (nárůst hladin a pak prudký pokles) byl, kromě vývoje odběrů, navíc způsoben předcházejícím velmi vlhkým obdobím (1980–1981), kdy hladiny stouply a naopak následnými suchými obdobími (1985, 1990 - 1991), která měla za následek výrazné poklesy hladin podzemních vod na dlouhodobě pozorovaných vrtech. K významnému snížení odběrů podzemních vod došlo po roce 1991.

Po roce 1995, kdy už se vliv snížení odběrů podzemní vody projevil, lze zaznamenané kolísání hladin připsat zejména kolísání infiltrace (srážek), neboť odběry podzemních vod jsou od této doby na obou stranách relativně stabilní.

V letech 2007-2012 byly roční srážkové úhrny nadprůměrné. Odběry podzemních vod v saské části zájmové oblasti po roce 2000 jsou stabilní, nebo mírně rostou. Odběry na české straně jsou podstatně nižší a stabilní. Stav hladin je stabilizovaný.

Za aktuálních hydrologických podmínek a při současných odběrových množstvích, která jsou na saské straně výrazně pod povolenými odběry vody, je možné vyloučit ohrožení zdrojů podzemních vod v důsledku užívání vody. Vliv obou faktorů, tedy odběrů vody a srážek, na kolísání hladin podzemních vod je zhruba rovnocenný.

Při změně rámcových hydrologických podmínek v důsledku změny klimatu je však nutné prověřovat jak statické, tak i obnovitelné zásoby podzemních vod z hlediska jejich využívání, aby se zabránilo nadměrnému užívání zdrojů.

Na tomto pozadí by se měl dále rozvíjet model proudění podzemních vod v rámci dalších projektů, aby byly tyto aspekty zohledněny. V tomto kontextu by měla být pozornost zaměřena i na další zkoumání vzájemného působení mezi vodním režimem a ekosystémy. Rozhodující jsou změny režimu půdní vody podmíněné změnami klimatu, kde je snížení celkové dotace vody adekvátně provázeno úbytkem disponibilní vody pro rostliny.

5 Vodohospodářská strategie

5.1 Cíl strategie

Cílem této strategie je na základě výsledků projektu a jejich interpretace odvodit a navrhnout dlouhodobá opatření v oblasti ochrany podzemních vod. Podzemní voda má být chráněna jako součást přírodního systému v rámci vodního režimu krajiny a zároveň má být zachována její vodohospodářská využitelnost pro regionální zásobování vodou. Pouze při úzké vzájemné souhře zachování přírodních funkcí na straně jedné a šetrného vodohospodářského užívání podzemní vody na straně druhé je možné udržet dobrý kvantitativní stav útvarů podzemních vod dle Rámcové směrnice EU pro vodní politiku, resp. tento dobrý stav dlouhodobě zachovat.

V následujících kapitolách jsou navrženy postupy a opatření k naplnění těchto požadavků. Výsledky projektu ukazují, že současné užívání vody ještě nepřetěžuje vodní bilanci v daném území. Strategie se proto vztahuje k dlouhodobým opatřením.

5.2 Opatření pro dlouhodobou ochranu podzemních vod

Zachování přírodních podmínek

Zachování přírodních podmínek je usnadněno díky statutu ochrany přírody uplatňovanému v převažující části zájmového území. Zájmové území je v relativně přirozeném stavu, je pokryto lesy, přímé antropogenní zásahy jsou minimální, kromě odběrů vody pro účely zásobování vodou. Přírodní režim, a tím i vodní režim v zájmovém území rovněž podléhají změnám klimatu.

Aby bylo možné zajistit trvale udržitelné využívání zdrojů, neměly by odběry podzemní vody překračovat tvorbu nové podzemní vody.

Navrhují se následující dlouhodobá opatření:

Krajina a půda

- Opatření v oblasti péče o les a změnu lesní skladby ve prospěch přirozené vegetace přizpůsobené klimatu a dané lokalitě,
- průběžný kontakt a výměna informací ohledně lesnických a opatření ochrany přírody s dopadem na vodní bilanci,
- tvorba modelů půdního vodního režimu – zlepšení pochopení systému půdního vodního režimu a jeho procesů i jeho ovlivnění změnami klimatu.

Vodohospodářská opatření

- Prověření a úprava aktuálně platného vodoprávního povolení k užívání podzemních vod na saské straně tak, aby bylo v souladu s reálným odebíraným množstvím (tato reálná odebíraná množství jsou podstatně nižší než množství povolená),
- upřesnění statických a dynamických zásob podzemních vod v celé oblasti,
- upřesnění obnovujících se disponibilních zásob pro jímací území (ev. nové vymezení ochranných pásem),
- podchycení a průběžná evidence všech užívání podzemních vod v daném území - tzn. pravidelné inventury všech odběrů vody včetně odběrových množství, aby byl zajištěn průběžný přehled o veškerých odběrech v území,

- přezkoumávání, aktualizace prognóz potřeby vody a porovnání s disponibilními zásobami, případná aktualizace vodoprávních povolení,
- odvození minimálních hladin podzemních vod, při jejichž podkročení je nutné zavést opatření
- Pokračování v tvorbě modelů proudění podzemních vod a jejich rozšíření,
- získání poznatků o vsakování vody v nenasycené zóně pískovců po opuštění půdní zóny,
- propojení modelů půdního vodního režimu, proudění povrchových vod a proudění podzemních vod,
- zpřesnění či nové stanovení obnovující se disponibilní zásoby podzemních vod,
- další vývoj modelů směrem k vytvoření prognostických nástrojů pro vodohospodářské plánování.

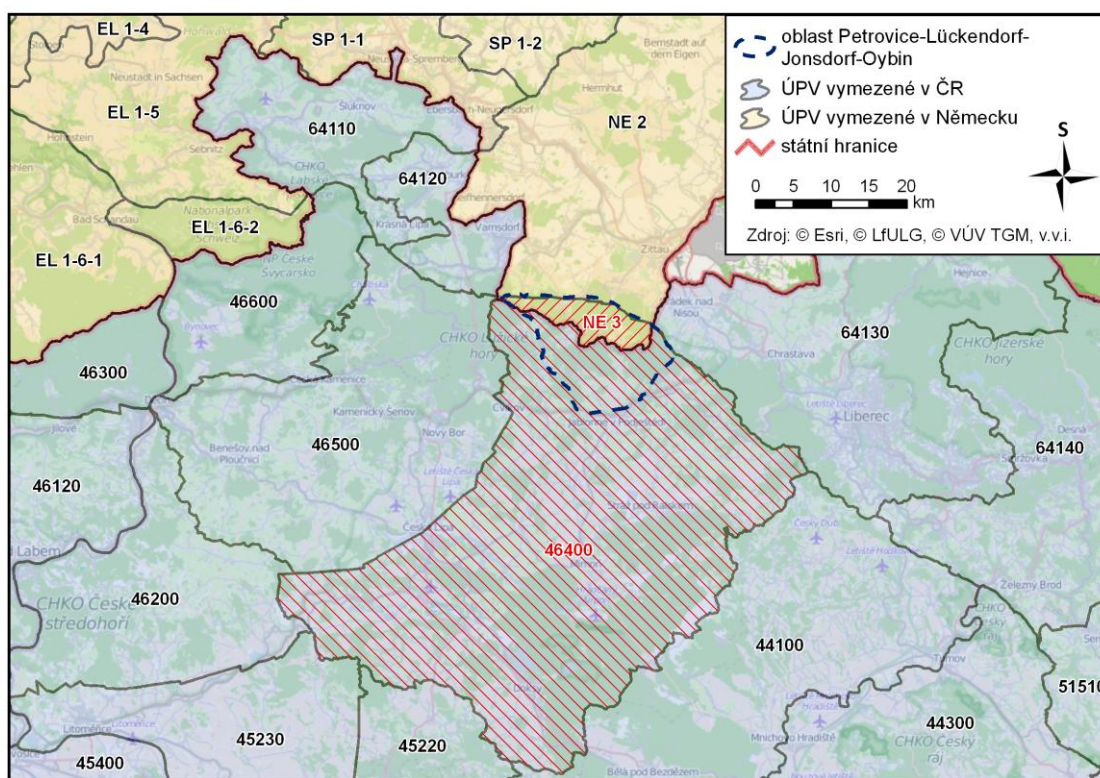
5.3 Realizace Rámcové směrnice EU

Pro realizaci Rámcové směrnice EU pro vodní politiku se v jednotlivých obdobích provádějí aktualizace plánů povodí a programů opatření na bázi hodnocení kvantitativního stavu. Toto se děje pro českou a saskou stranu zvlášť, protože doposud nebyly vymezeny společné útvary podzemních vod.

Nynější vymezení vodního útvaru podzemních vod na saské straně vychází z hydrogeologických podkladů (lužické poruchy).

Vymezení útvary podzemních vod na české straně je daleko rozsáhlejší v souladu s hydrogeologickými podmínkami, jsou zde plochy, na kterých by mohlo dojít k přeshraničnímu ovlivnění vodárenskými odběry, ale zahrnuje i velké oblasti, které nesouvisí s přeshraničním vodárenským ovlivněním.

Názvy útvary a hodnocení kvantitativního stavu uvádí tabulka 4.



Obr. 12: Stávající vymezení vodních útvarů podzemních vod

Tab. 4: Hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod

Č.	Název vodního útvaru	Kvantitativní stav	
		v 1. plánovacím cyklu	v roce 2014
46400	Křída Horní Ploučnice	vyhovující	vyhovující
NE3			vyhovující

Hlavní přirozený směr toku podzemní vody v zájmové oblasti ve zvodni 2+3 je převážně nasměrován na jih k Panenskému potoku, tedy na českou stranu. Na severu, na saské straně v úzkém pásu se směr toku stáčí na jihovýchod k hraničnímu vodnímu toku Bílý potok/Weißbach, případně i k severu přes lužickou poruchu.

Při hydrologických podmínkách a odběrech, které odpovídají současnému stavu (2012), na severu zájmové oblasti, kde je přeshraniční ovlivnění v důsledku odběrů podzemních vod zřetelné, proudí podzemní vody podél státních hranic. Z tohoto důvodu aktuálně česká ani saská strana nepovažují za nutné vymezit společný přeshraniční útvar podzemních vod. Určitá hydraulická propojení ale existují; ta mohou způsobit, že specifické situace v odběrech vody způsobí změny proudění a zvýší přeshraniční vliv odběrů na hladiny podzemních vod. Proto by se vodohospodářská opatření v území měla provádět po vzájemném odsouhlasení postupu. To znamená, že i v budoucnu bude nutné:

- Úzké projednání příslušných národních plánů povodí a programů opatření s ohledem na množství podzemních vod,
- pravidelná výměna informací a společné vyhodnocování výsledků monitoringu.

5.4 Přeshraniční spolupráce

Opatření v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin mohou být daleko pružnější, než u útvarů podzemních vod, například mohou reagovat na období sucha snížením povolených odběrů, opravy a změny monitorovacích vrtů, povolení vyšších odběrů na omezené období při výpadku jiných zdrojů, atp.

Na základě výsledků modelu proudění podzemních vod byl zvážen dosah možných vlivů odběrů vody a bylo navrženo koordinovat zde ochranu vodních zdrojů.

V oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin se monitoring zaměří na specifické parametry nebo indikátory (hladiny určitých vrtů, množství odebírané vody, srážky, pozorování pramenů, ev. cyklické aktualizace modelů proudění).

Monitoring a opatření se zaměřují na nejvíce vodárenskými odběry ovlivněný kolektor 2+3.

Na základě získaných poznatků by měla přeshraniční spolupráce pokračovat i v budoucnu. V tomto rámci navrhujeme následující opatření:

- Zachovat monitoring podzemní vody v příhraničí pomocí pozorovacích vrtů,
- každoroční výměna českých a německých údajů z monitoringu (klíma, povrchové vody, podzemní vody),
- výměna odborných informací při setkáních odborníků,

- průběžné předávání zpráv ke stavu podzemních vod (ev. k útvarům podzemních vod) Stálému výboru Sasko-Česko-německé komise pro hraniční vody,
- pokračování ve spolupráci v rámci dalších projektů.

5.5 Monitoring

Pro další pozorování a průzkum dynamiky podzemních vod a upřesnění hydrogeologických modelů vod je nezbytně nutné pokračovat v monitoringu klimatologických a hydrologických veličin a modely dále rozvíjet. Níže jsou uvedeny veličiny, které mají být monitorovány.

Klimatologické a hydrologické veličiny

- Klima – klimatologické veličiny na klimatických stanicích při zohlednění zvláštností lokálního klimatu (ev. podrobné časové rozložení srážek),
- povrchové vody – hydrologické veličiny, průtoky/stavy vody na měrných profilech na tocích,
- podzemní voda – hladiny podzemních vod v reprezentativních pozorovacích vrtech,
- prameny – vydatnost pramenů a kvalita vody na reprezentativních pramenech.

Monitoring musí zásadně stavět na stávajících sítích měření. Na základě poznatků získaných v rámci projektu se navrhuje měřicí síť částečně rozšířit. Navrhujeme tato opatření:

Udržování kompletnosti a kontinuity datových řad z klimatických stanic, které charakterizují dané území, pokračování v provozování a rozšíření měřicí sítě pozorování podzemních vod včetně pramenů:

Česká část zájmového území:

- Stanovení reprezentativní měřicí sítě pro pozorování hladin podzemních vod (příp. zahuštění měřicí sítě, zřízení nových pozorovacích vrtů),
- kontrola funkčnosti pozorovacích vrtů v měřicí síti (karotáž vrtů),
- reaktivizace pozorovacích vrtů, kvůli návaznému sledování již existujícího vývoje hladin podzemních vod,
- adekvátní dokumentace kmenových dat pozorovacích vrtů,
- stanovení měsíčního turnusu měření nebo instalace automatických datových záznamníků,
- výběr reprezentativních pozorovacích vrtů pro přehledné pozorování kvality podzemní vody k podchycení vývoje kvality podzemní vody a pro hydrogeochemická hodnocení v rámci dalších průzkumů dynamiky podzemních vod.

Saská část zájmového území:

- Pokračování v provozování měřicí sítě k pozorování hladin podzemní vody, případně její rozšíření,
- pravidelná kontrola funkčnosti pozorovacích vrtů (karotáž pozorovacích vrtů),
- zapojení reprezentativních pramenů do měřicí sítě s měsíčním stanovením vydatnosti,
- výběr reprezentativních pozorovacích vrtů pro přehledné pozorování kvality podzemní vody k podchycení vývoje kvality podzemní vody a pro hydrogeochemická hodnocení v rámci dalších průzkumů dynamiky podzemních vod.

Pokračování a rozšíření pozorování průtoků povrchových vod:

Česká část zájmového území:

- Pokračování v pozorování průtoků na Panenském potoce.

- výhledově naplánovat rozšíření počtu měrných profilů pro povrchové vody (hodnocení interakce mezi podzemní a povrchovou vodou).

Saská část zájmového území:

- pozorování průtoků Weißbach,
- příprava hodnocení interakce mezi podzemní a povrchovou vodou.

6 Závěry a výhled

Realizace projektu GRACE umožnila provedení rozsáhlé rešerše údajů a literatury, jejich shromáždění a vyhodnocení. Díky společné přeshraniční práci, a to hlavně díky práci na modelech proudění podzemních vod, odhadech stáří podzemních vod pomocí izotopů, sledování vývoje vydatnosti pramenů a monitorování fauny podzemních vod, došlo k zintenzivnění česko-německé spolupráce v této oblasti. Uskutečnila se čilá výměna odborných informací k použitým metodám, k jejich aplikaci a k interpretaci výsledků projektu. Na základě předložených výsledků bylo možné přinést první odpovědi na otázky týkající se příčin silně klesajících hladin podzemních vod.

Významné poklesy hladin v letech 1983-93 byly způsobeny souběhem vlivu vysokých odběrů a předchozích srážkově chudých až suchých let.

Při hydrologických podmínkách a odběrech, které odpovídají současnému stavu (2012) nejsou české a saské odběry navzájem ovlivněny a je možno vyloučit ohrožení zdrojů podzemních vod v důsledku užívání vody; přeshraniční ovlivnění dynamiky podzemních vod je nízké.

Hlavní přirozený směr toku podzemní vody ve vodárensky využívaném kolektoru směřuje na jih k Panenskému potoku, tedy na českou stranu. Na severu, na saské straně v úzkém pásu se směr toku stáčí na jihovýchod k hraničnímu vodnímu toku Bílý potok/Weißbach, lokálně i k severu.

Modelová simulace dlouhodobého vlivu klimatické změny a suchých období ale ukazuje, že je třeba počítat se značnými důsledky těchto faktorů na vodní režim, a tím i na vodní zdroje podzemních vod.

Pomocí tohoto projektu bylo dosaženo podstatného zvýšení poznatků směřujících k šetrnému a udržitelnému užívání přírodních vodních zdrojů pro zásobování pitnou vodou. Přesto je třeba konstatovat, že dynamiku podzemních vod a hydrologické a hydrogeologické procesy, které ji určují, ještě nebylo možné definitivně a kompletně osvětlit. Především všechny komplexní geologické, resp. hydrogeologické podmínky se zdejšími zvláštnostmi, spočívajícími ve značné vzdálenosti mezi hladinou podzemní vody a úrovní terénu, vyžadují další zkoumání. I tvorba modelů proudění podzemních vod ještě vykazuje značné nejistoty. V projektu nebyl při posuzování zahrnut půdní režim včetně vlivu klimatických změn na něj. S pomocí provedených analýz klimatických údajů a klimatických projekcí globálních klimatických modelů však bylo možné popsat obecné trendy. Regionální vlivy v zájmovém území by měly být předmětem dalšího zkoumání, a to s použitím modelů s podrobnějším rozlišením.

Proto by měly být v návaznosti na předkládané výsledky pomocí následných projektů realizovány podrobnější průzkumy zahrnující rozšířené území, které by měly zredukovat stávající nejistoty. Důležité je přitom vylepšení geologických a hydrogeologických poznatků, a to především z oblasti prostorového rozsahu kolektorů a izolátorů a jejich hydraulických vlastností. Je také zapotřebí zlepšit naše porozumění hydraulickým procesům probíhajícím v nenasycené zóně pískovců. V návaznosti na to by pak bylo možné přizpůsobit model proudění podzemních vod s ohledem na hydrogeologický model, parametrizaci modelových vrstev a okrajové podmínky. Toto by umožnilo provést zpřesnění výsledků modelu především ve vztahu k zobrazení hydrodynamiky, ke struktuře podzemních rozvodů a k vlivům odběrů podzemních vod.

Kromě toho by bylo dobré provést další průzkumy stáří podzemních vod s použitím izotopů, to by bylo užitečné jak pro objasnění procesů infiltrace, tak i pro zpřesnění modelu proudění. V této souvislosti by měla být pozornost zaměřena na výběr vhodných izotopů a na adekvátní metody vyhodnocení.

V oblasti charakterizace celkového vodního režimu, zjišťování zásoby dostupné podzemní vody a odhadu vlivu klimatu na celý systém bychom měli usilovat o regionální klimatické projekce, o tvorbu modelů k půdnímu vodnímu režimu a o propojení klimatických projekcí, modelů vodního režimu a modelů proudění vody. Tyto modelové studie mají potenciál k tomu, aby přispěly k ochraně vodních zdrojů a k trvale udržitelnému využívání těchto zdrojů.

7 Literatura

ALVARADO ET AL. (2013)

CLAUSIUS (1850)

ČHMÚ (2012). *Roční úhrny srážek na měřicí stanici Mařenice za období 1983 – 2012.* © ČHMÚ, 2012.

DWD (2010). *Roční úhrny srážek na měřicí stanici Kurort Jonsdorf za období 1983 – 2010.* © DWD, 2010.

ECKHARDT, P. (2013): Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha 62 stran.

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (1997): Gutachten zur Entwicklung und Prognose der Grundwasserdynamik im Gebiet Hinterhermsdorf (Landkreis Sächsische Schweiz) und Hřensko (Tschechische Republik). – Gutachten im Auftrag des Staatlich Umweltfachamtes Radebeul (unveröffentlicht), Bearbeiter: H. P. Mibus, P. Szymczak; 48 S. + Anl.

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (1998): Übersichtsbegutachtung des Grundwasserdargebots und dessen Nutzung im Zittauer Gebirge unter Berücksichtigung der Grundwassernutzungen auf tschechischen Gebiet. Bearbeiter H. P. Mibus, T. Schirner, J.U. Mibus; 68 S. + Anl.

G.E.O.S. FREIBERG INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2014): Entwicklung zweier 3D-Modelle hydrogeologischer Körper im sächsisch-böhmischen Grenzgebiet im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht im Auftrag des LfULG (unveröffentlicht), Bearbeiter: R. Kahnt, R. Löser, A. D. Gabriel, D. Hermann, S. Renker, M. Helbig, A. Kutzke; 115 S. + Anl.

GUTJAHR, S., BORK, J., SCHMIDT, S. I. & H. J. HAHN (2013): Efficiency of sampling invertebrates in groundwater habitats. – *Limnologica* 43: 43-48.

HAHN, H. J.; BURGHARDT, D.; D. MATZKE & A. FUCHS (2013): Grenzüberschreitende ökologische Bewertung des Grundwassers durch die Erfassung der Grundwasserfauna sowie die Bestimmung stabiler Isotopen im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht im Auftrag des LfULG (unveröffentlicht), 40 S. + Anl.

HEIS VÚV – HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM (2014). Odběry podzemních vod pro lidskou spotřebu > 500 m³ / měsíc nebo 6 000 m³ / rok; data od státních podniků Povodí a VÚV TGM, v.v.i., za období 1981–2013.

HERČÍK, F., Z. HERRMANN & J. VALEČKA (2003): Hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin. – Czech Geological Survey, Prague; 91 p.

KALINOVÁ, M., BÖHM, A. K., ECKHARDT, P., BÖRKE, P., MARTÍNKOVÁ, M., ŠIMEK, P., SCHULZ, C., BÍLÝ, M., KOUBKOVÁ, L. (2014) Zdroje podzemních vod na česko-saském pomezí, II. Oblast Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet, II. Gebiet Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, VÚV TGM, v.v.i., Praha ISBN 978-80-87402-31-3.

LFULG (HRSG.) (2014): Kompendium Klima. Sachsen im Klimawandel. – 156 S.

MANNSFELD, K. & H. RICHTER (HRSG.) (1995): Naturräume in Sachsen. – Forschungen zur Deutschen Landeskunde. Bd. 238, 228 S., Trier.

- MARTÍNKOVÁ, M. (2014)** Vliv klimatické změny na celkovou vodnost oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch a oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, Studie vlivu klimatu, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha 34 stran.
- MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., V. HAVLENA & J. WEISS (1983)**: Geologie der ČSSR I – Böhmisches Massiv. – Státní pedagogické nakladatelství v Praze, 1. Auflage; 333 S.
- PÄLCHEN, W. & H. WALTER (HRSG.) (2008)**: Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart; 537 S.
- 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.
- ŠIMEK, P. (2014)** Stáří a míšení podzemních vod, Oblast 2: Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin, závěrečná zpráva Studie, MS VÚV TGM, v.v.i., Praha, 105 s., 11 příloh.
- SMUL (HRSG.) (2008)**: Sachsen im Klimawandel. Eine Analyse. – Dresden, 211 S.
- STEDING D. (1998)**: Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen. 1 : 50 000. Blatt Zittau. – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie, Freiberg, 1. Auflage.
- STEIN, H., GRIEBLER, C., BERKHOFF, S. E., MATZKE, D., FUCHS, A. & HAHN, H. J. (2012)**: Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems. - Nature Scientific Reports 2, 673, DOI: 10.1038/srep00673.
- TOLASZ, R., BRÁZDIL, R., BULÍŘ, O., ET AL. (2007)**: Atlas podnebí Česka (kartografický dokument). – 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav; Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 255 S. + Anl.
- VALEČKA, J. (1999)**: Geologická mapa ČR. List 02-24 Nový Bor. Měřítko 1 : 50 000. – sestavil a vydal Český geologický ústav Praha.
- VEB HYDROGEOLOGIE (1976)**: Hydrogeologisches Projekt. Detailerkundung Lückendorf. Bericht zum Grund- und Ausführungsprojekt, Dresden. – 41 S. + Anl., unveröffentlicht.
- VEB HYDROGEOLOGIE (1978a)**: Hydrogeologischer Bericht. Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung. DE Lückendorf. Dresden. – 58 S. + Anl., unveröffentlicht.
- VEB HYDROGEOLOGIE (1978b)**: Hydrogeologischer Bericht. Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung, Vorerkundung Jonsdorf. Freiberg. – 56 S. + Anl., unveröffentlicht.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. & PAPÁČ, V. (2010)**: Fauna vodných biotopov Belianskej Jaskyne. Acta Carsologica Slovaca, 48, 1, 59 – 82.
- VOIGT, T., J. FRANKE & S. FRANKE (2013)**: Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischen Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht, im Auftrag des LfULG (unveröffentlicht), 42 S. + Anl.