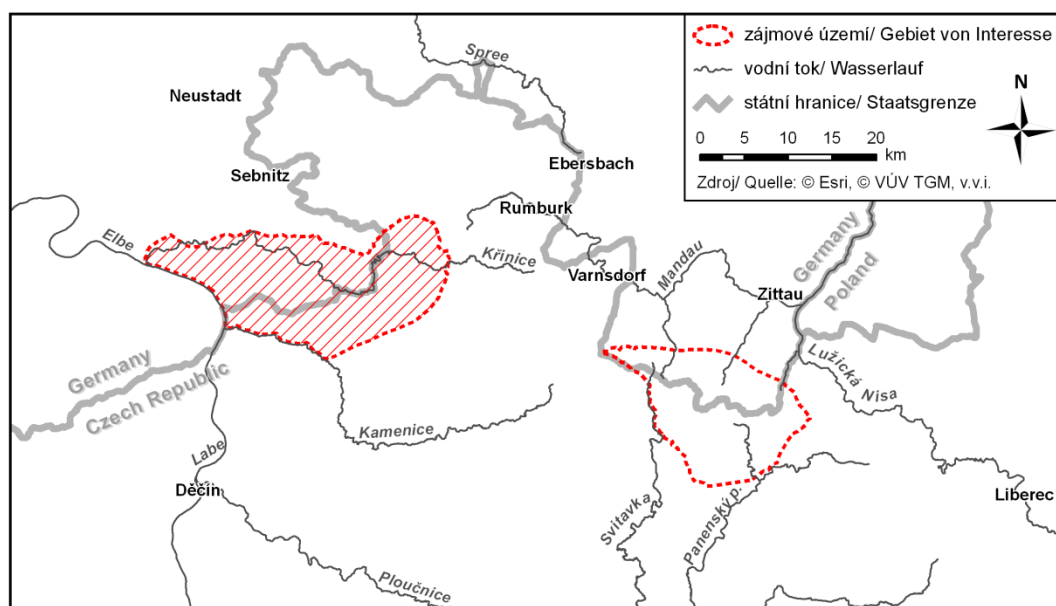


Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Hřensko- Křinice/Kirnitzsch



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 Hřensko- Křinice/Kirnitzsch

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

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Freistaat
SACHSEN

Praha / Drážďany, Květen 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. Anna-Katharina Böhm, Dr. Peter Börke, Carsten Schulz

Překlady: Ing. Libuše Punčochářová a Gabriele Großert

Anotace

Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch 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	12
2.6	Vývoj hladin podzemních vod	13
2.7	Využívání vodních zdrojů	14
2.8	Povrchové toky	16
2.9	Fauna podzemních vod	18
3	Výsledky modelu proudění podzemních vod	20
3.1	Model proudění podzemních vod	20
3.2	Modelové scénáře	22
4	Syntéza	25
5	Vodohospodářská strategie	28
5.1	Cíl strategie	28
5.2	Opatření pro dlouhodobou ochranu podzemních vod	28
5.3	Realizace Rámcové směrnice EU	29
5.4	Přeshraniční spolupráce	30
5.5	Monitoring	31
6	Závěry a výhled	33
7	Literatura	35

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 Chřibská (zdroj: ČHMÚ) a Lichtenhain-Mittelndorf (zdroj: DWD).....	12
Obr. 6: Porovnání vybraných linií vývoje hladin podzemních vod v turonské zvodni (2, resp. 2+3) na českých a saských pozorovacích vrtech (roční průměry).....	13
Obr. 7: Příklad reakce hladiny podzemních vod na průběh srážek v údolí Křinice (RaKliDa Sachsen), sumy srážek za kalendářní roky a vývoj hladin podzemních vod na pozorovacím vrtu 50516010 Quenenwiese (turonská zvoďeň).....	14
Obr. 8: Vývoj odebíraného množství podzemních vod z jímacího území Hřensko a jímání Kirnitzschtal (Wasserwerk Endlerkuppe).....	15
Obr. 9: Průměrné roční průtoky v profilu Kirnitzschtal v období 1912-2013 (hydrologické roky) včetně tříletého klouzavého průměru a vloženého polynomu	17
Obr. 10: Průtoky Kamenice v profilu Hřensko (1975-2009) a Křinice v profilu Kirnitzschtal (1912-2013).....	18
Obr. 11: Hydroizohypsy a pole proudění dle nakalibrovaného modelu ve zvodni 3, resp. 2+3	20
Obr. 12: Výřez z geologické mapy pro saskou část zájmového území s polohou žíly v lokalitě Zeughaus (zvýrazněno červeným oválem), zdroj: geologická mapa Saska 1:50.000, LfULG	21
Obr. 13: Poklesy hladin podzemních vod ve zvodni 3 jako důsledek odběrů podzemní vody	22
Obr. 14: Předpoklad tvorby nové podzemní vody (infiltrace) pro simulace změny klimatu a období sucha v modelových scénářích.....	23
Obr. 15: Pokles hladiny podzemní vody ve zvodni 3 při odběrech odpovídajících maximu povolených odběrů a při maximálním klimatickém suchu v roce 2043 v porovnání s výchozím stavem (2012)	24
Obr. 16: Stávající vymezení útvarů podzemních vod.....	30

Seznam tabulek

Tab. 1: Geologický a hydrogeologický přehled v zájmovém území podle: VOIGT ET AL. (2013), G.E.O.S. (2014) A HERČÍK ET AL. (2003).....	9
Tab. 2: Přepočtený 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.....	22
Tab. 4: Hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod	29

1 Úvod

Jak česká, tak německá strana využívají k zásobování obyvatelstva vodní zdroje podzemních vod v oblasti Hřensko - Křinice/Kirnitzsch.

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 Hřensko-Křinice/Kirnitzsch byl v povodí vodních toků Křinice/Kirnitzsch a Kamenice v křídových pískovcích zaznamenán v letech 1985-95 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 byl VÚV TGM, v.v.i., projektovým partnerem byl LfULG. Práce na projektu probíhaly v období listopad 2011 až březen 2015.

Projekt je zaměřen na objasnění příčin klesání hladin podzemních vod. Kromě jiného je úkolem projektu návrh společné Strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Hřensko - Křinice/Kirnitzsch 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.

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 Grenzbereich 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, 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 – Kirnitzschtal (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 Hřensko-Křinice/Kirnitzsch je obdobně zpracována Společná strategie ochrany zdrojů podzemních vod v oblasti Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin.

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 - I. oblast Hřensko - Křinice/Kirnitzsch a na internetových stránkách projektu na adrese www.gracecz.cz.

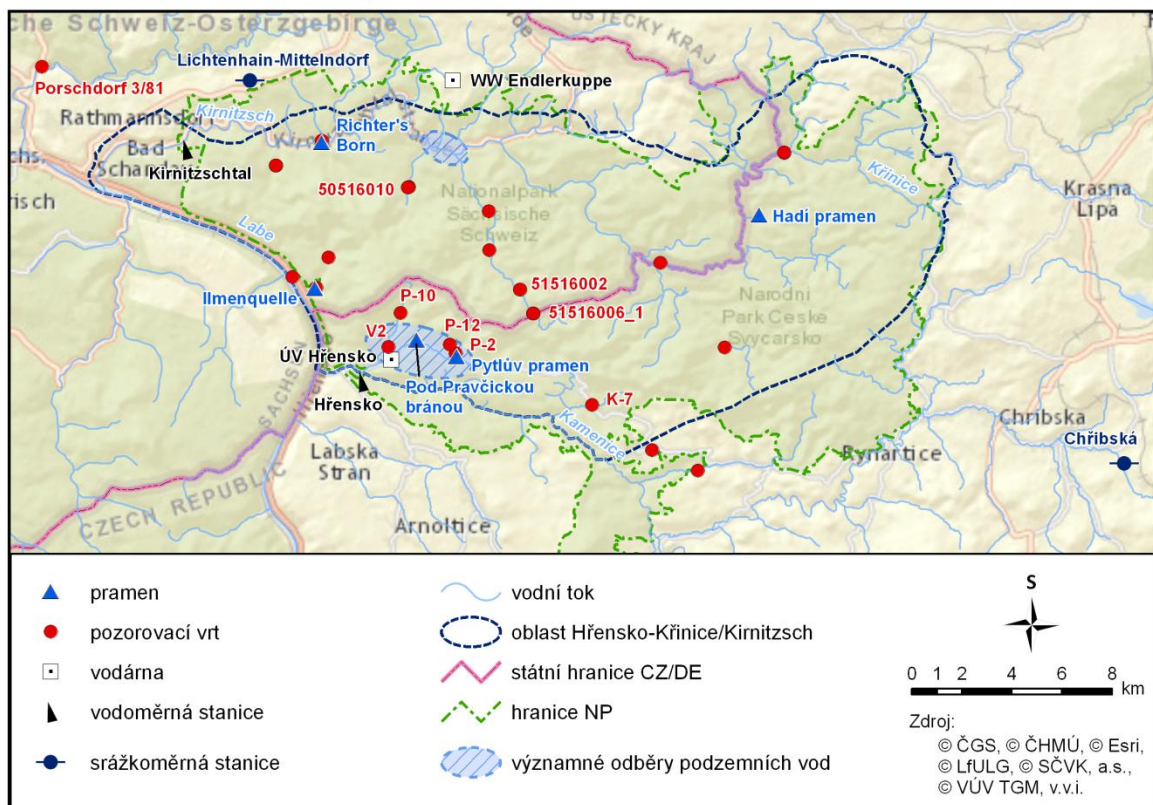
Návrh Strategie je konzultován s širší skupinou odborníků a bude k dispozici pro státní a veřejnou správu. Následně bude návrh Strategie předložen Stálému výboru Sasko-Česko-německé komise pro hraniční vody.

2 Charakteristika oblasti a výsledky

2.1 Vymezení zájmové oblasti

Zájmová oblast je vymezena přeshraničně. Větší část vymezeného území leží v Národních parcích České Švýcarsko a Saské Švýcarsko. Západní hranici tvoří řeka Labe, jihozápadní hranici řeka Kamenice, na severu je oblast vymezena lužickou poruchou. Zájmová oblast zahrnuje zejména obce Hřensko, Doubice, Hinterhermsdorf a Bad Schandau.

Zájmová oblast byla vymezena podle hydrogeologických resp. hydrologických hledisek. Na německém území zahrnuje útvary podzemních vod EL 1-6-2 Kirnitzsch, na české straně severní část útvaru podzemních vod 46600 – Křída Dolní Kamenice a Křinice. Zájmová oblast zabírá plochu cca 128 km².



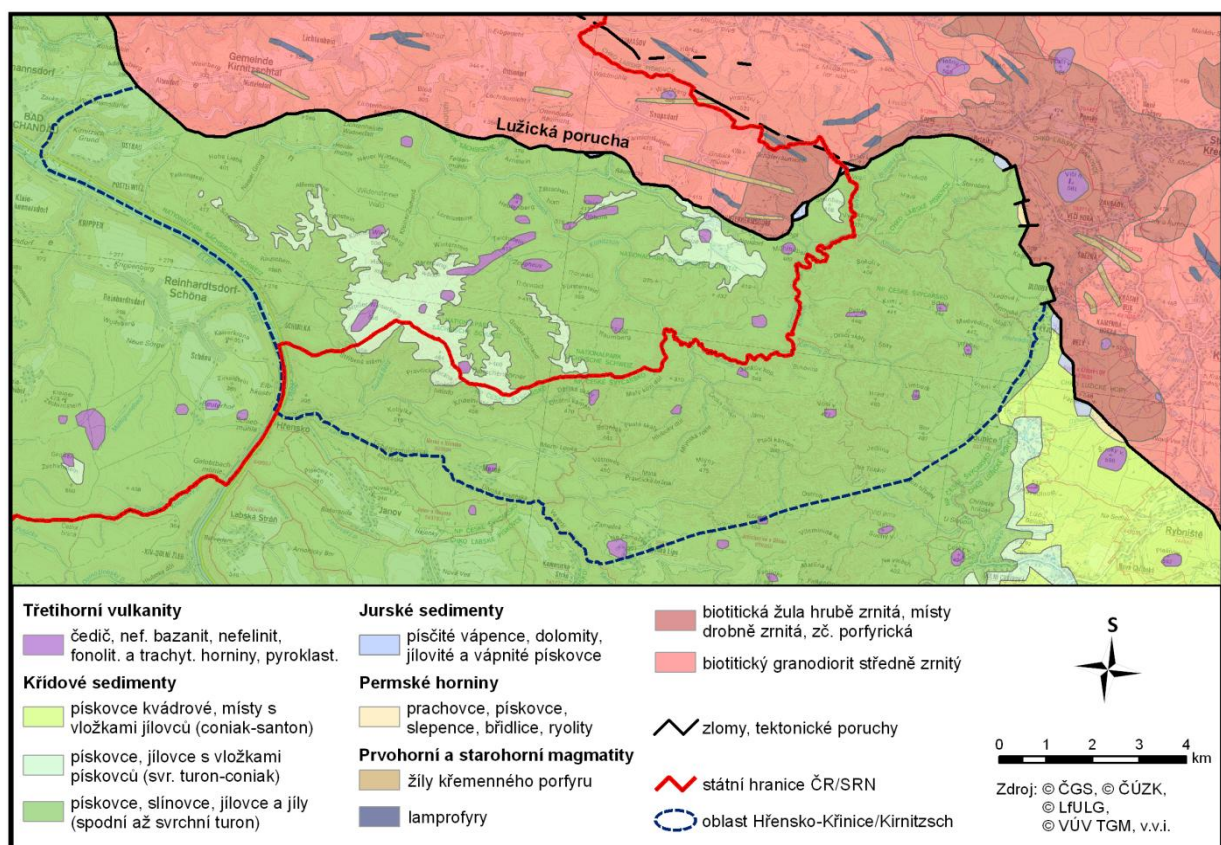
Obr. 2: Vymezení zájmové oblasti

Zájmová oblast je specifická tím, že jsou zde hluboce zaříznutá údolí vodních toků Labe, Křinice a Kamenice a jejích přítoků. Vzhledem k různé protierozní odolnosti a výskytu puklin erodovaných pískovců se mezi údolími vytvořily stolové hory a skalní města (MANNSFELD & RICHTER, 1995). Mezi významné dominanty patří na saském území skalní stěny Schrammsteine, Affensteine a Thorwalder Wände, na českém území například Stříbrné stěny a skalní stěny v okolí Pravčické brány. V zájmové oblasti se projevuje výraznější vliv oceánského klimatu (SMUL, 2008; TOLASZ ET AL., 2007). Zájmová oblast leží na návětrné straně Hornolužické pahorkatiny, kde dochází k zadržování srážek, takže zde roční úhrny srážek dosahují až přes 900 mm. Hluboko zaříznutá kaňonovitá údolí jsou chladnější a vlhčí než intenzivněji prosluněné, a tím i teplejší a sušší náhorní plochy, skalní stěny a vrcholová plata (MANNSFELD & RICHTER, 1995).

Povrch je tvořen většinou málo mocnými kvarterními sedimenty, například svahovými sutěmi. Na plochách, kde došlo k zarovnávaní terénu (např. náhorní plošina Ostroh u Vysoké Lípy), jsou vytvořeny pleistocenní spraše, v údolích řek pak holocenní nivní sedimenty. Tomu v zájmovém území odpovídá i zastoupení druhů půd. Celkově dominují podzoly, částečně i hnědozemě. Z jemnozrnných nivních sedimentů se vytvářejí nivní půdy. Ojedinele se vytvořily rašeliny. Zájmové území je převážně zalesněné, přičemž přirozená lesní společenstva jsou často silně ovlivněna lesnickou činností.

2.2 Geologie a hydrogeologie

Oblast Hřensko–Křinice/Kirnitzsch 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 zaujímá 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, jsou relativně homogenní. Křídové pískovce jsou tvořené převážně hrubozrnnými a středně zrnitými pískovci, liší se pouze obsahem jílovitého/křemitého pojiva a jílových proplásků (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Podloží křídů tvoří pevné horniny krystalinika (TONNDORF, 2000; MÍSAŘ ET AL., 1983).

Severní 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 více než 500 metrů nad pískovce. V průběhu přesmyku se okraje

pískovcového souvrství ohnuly (VOIGT ET AL., 2013). Celý komplex hornin je lokálně prorážen terciárními vulkanity, které tvoří vrcholové části některých významných elevací (například vrchol nejvyšší hory zájmové oblasti Grosser Winterberg). Povrch je tvořen většinou málo mocnými kvartérními sedimenty, jako jsou svahoviny, spraše, fluviální písky a nivní sedimenty (VOIGT ET AL., 2013), v kvartérních sedimentech se lokálně vytváří mělká zvodně (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 čtyři zvodně (viz tab.1).

Tab. 1: Geologický a hydrogeologický přehled v zájmovém území podle: VOIGT ET AL. (2013), G.E.O.S. (2014) A HERČÍK ET AL. (2003)

Geologie				Hydrogeologie	
Stratigrafie	Litostratigrafie D	Formace D	Souvrství CZ	Terminologie D	Terminologie CZ
Kvartér				kolektor 1	mělký kolektor
Coniac	pískovec e	Schrammsteinská	Teplické	kolektor 2	kolektor BC
	mezizóna δ_2				
	pískovec d	Postelwitzká	Jizerské	kolektor 2+3	
	mezizóna γ_3				
	pískovec c				
	pískovec b				
	pískovec a_3				
	pískovec a_2				
	opuky lamarcki				
	pískovec a_1				
pískovce labiatus	Schmilkská	Bělohorské	kolektor 3		
opuky labiatus	Briesnitzká.		izolátor 3/4	izolátor A/BC	
Cenoman	zóna plenus	Dölschenschká	Perucko-korycanské	kolektor 4	kolektor A
	pískovce spodního kvádru	Oberhäslichská			

Nejhlubší samostatnou zvodně tvoří pískovce cenomanu (HERČÍK ET AL., 2003; VOIGT ET AL., 2013). Tato zvodně není v současnosti vodohospodářsky využívána. Nad ní, na bázi turonu je vyvinut regionální izolátor. Hlavní zvodně s mocností až cca 500 metrů leží v pískovcích turonu a lokálně i coniacu. Ta je pouze v západní části zájmového území rozdělena izolátorem do dvou zvodně (G.E.O.S., 1997; VOIGT ET AL., 2013). V oblasti lužické poruchy jsou zvodně přinejmenším parciálně hydraulicky propojené (HERČÍK ET AL., 2003).

Kvůli velkoplošnému rozšíření a vysoké propustnosti turonské zvodně v zájmovém území vykazuje tato zvodně nejvyšší hodnoty ve tvorbě 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.

Saská část zájmové oblasti je co do výskytu pramenů poměrně chudá, což souvisí s převahou dobře propustných pískovců. Pověšinou se jedná o sestupné puklinové prameny s velmi malou vydatností (MIBUS, 1974), resp. o vrstevné prameny se střední vydatností.

Celkově bylo v zájmové oblasti a jejím bezprostředním okolí nalezeno 162 pramenů, z toho 52 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. Je typické, že u značné části menších pramenů zájmové oblasti dochází během letních měsíců k vysychání.

Prameny navázané na výše položené zvodně (např. schrammsteinská a horní postelwitzká formace v Sasku či teplické souvrství v Čechách) vyvěrají v podobě sestupných puklinových pramenů (MIBUS, 1974). Tyto prameny vykazují velmi malou vydatnost pod 0,1 l/s, která ještě klesá v létě nebo v obdobích sucha, kdy mohou i vysychat. K takovýmto pramenům patří např. Wurzelborn u Schmilky nebo Seufzerbörnel pod Schrammsteinem.

Prameny se stabilní vyšší vydatností jsou na saské straně: Ilmenquelle v osadě Schmilka a Spaltenquelle v Bad Schandau. Na českém území se vydatných pramenů nachází větší množství, nejvydatnější jsou prameny Koutského potoka, pramen Pod Pravčickou bránou a prameny v údolí Suché Bělé. Část těchto pramenů vystupuje nad izolátorem, který je vytvořen v západní části zájmové oblasti mezi 2. a 3. zvodní.

Jen některé prameny jsou využívány k zásobování obyvatel pitnou vodou. Jedná se v české části například o pramen Pod Pravčickou bránou a Pytlův pramen, které jsou využívány v rámci jímacího území Hřensko. V německé části je například využívána část pramene Ilmenquelle v obci Schmilka.

Na základě toho, že na saské straně nebyly prováděny reprezentativní dlouholetá měření vydatnosti, nelze zde hodnotit vliv změněných přírodních podmínek (klimatu) na vydatnost pramenů. Na české straně se předpokládá, že vydatnost většího počtu pramenů v těsné blízkosti jímacího území Hřensko byla ovlivňována v důsledku odběrů. Tím došlo například k vyschnutí Panenského pramene (DOUDĚROVÁ, 1986).

2.4 Stáří a míšení podzemních vod

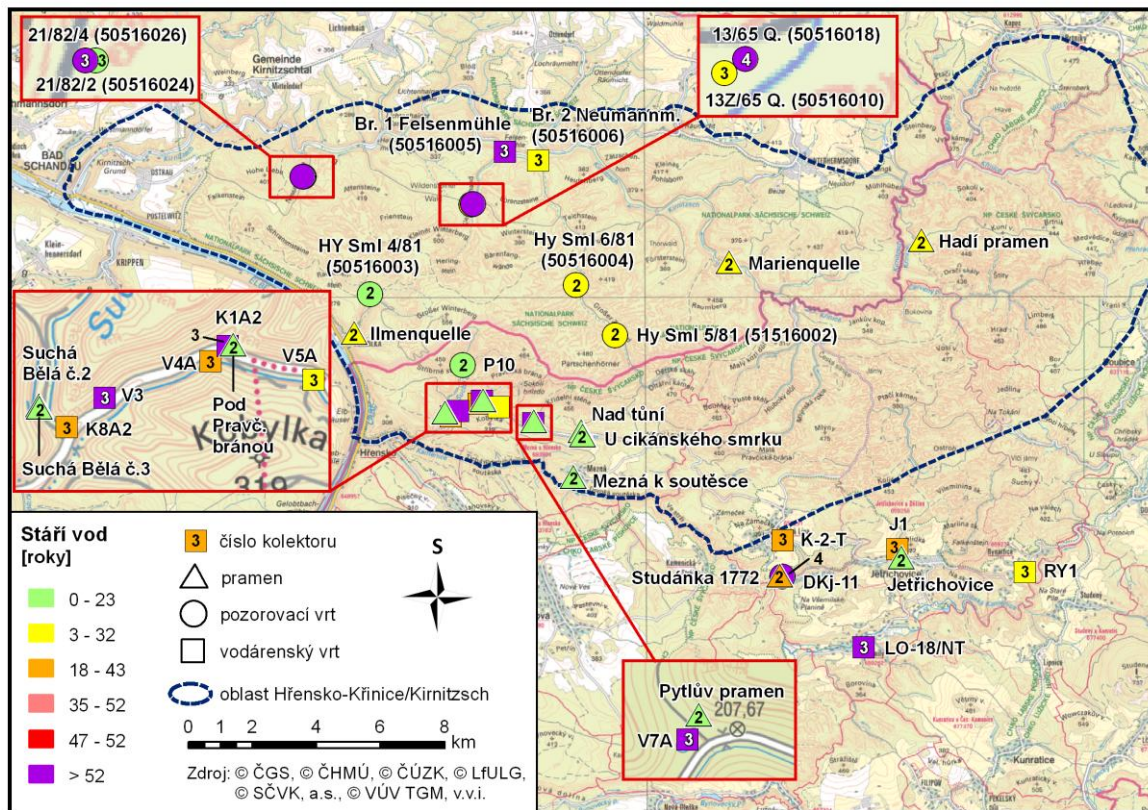
Ke zjišťování stáří a míšení podzemních vod byly provedeny izotopové analýzy (s použitím izotopů deuteria (^2H), kyslíku 18 (^{18}O), tritia (^3H) a tritia-hélia).

Analýzy stabilních izotopů deuteria (^2H) a kyslíku 18 (^{18}O) ukázaly, že nedochází k žádným přímým a krátkodobým vnosům srážkové vody do vod podzemních. 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 odhadnout a dobu setrvání vody v podzemí. V tabulce 2 jsou tyto poznatky shrnuty.

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

Pozorovací vrt/ pramen	Podíl srážek [%]	Doba setrvání
50512760 Lichtenhain, Richter's Born	97	krátká
51512002 Schmilka, Ilmenquelle	48	střední
Porsdorf, 3/81o	56	střední
50516011 Brunnen Zeughaus	68	krátká-střední
KV-H1 pump well	60	krátká-střední
50516024 Schmilka, Nasser Grund, Hy Sca 21/82/2	84	krátká
51516003 5/66, Schmilka, Wismut, Arteser	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)

Principiálně je třeba pro interpretaci stáří vod v této oblasti zohlednit dva procesy: Stáří vody se zvyšuje jednak s dobou setrvání vody v nenasycené zóně pískovců, které mají mimo údolí Křinice a Kamenice mocnost mezi 20 až 200 metrů, a hlavně se stoupajícím zdržením v nasycené zóně a s přibývajícím hloubkou zvodně (G.E.O.S., 1997).

Z mapy je zřejmé, že směrem od horních k dolním patřům zvodně, resp. s rostoucí hloubkou ve zvodni stoupá stáří vody. Ve zvodni svrchního turonu jsou mladé vody (0-32 let). Ve zvodni spodního turonu dominují starší vody se stářím 18 až přes 50 let. Z cenomanské (nejhlubší) zvodně byly odebrány vzorky vody (z pozorovacího vrtu 50516018 Quenenwiese a vrtu DKj-11), jejichž stáří činilo více než 50 let.

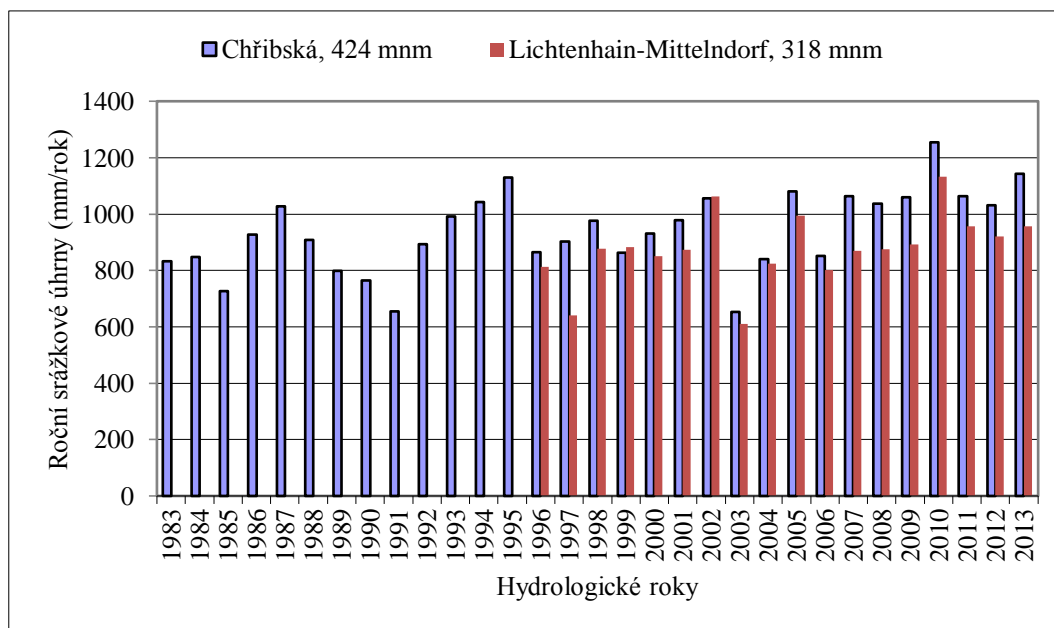
Pro vyhodnocení stáří vody je důležité, aby byla zahrnuta vzdálenost hladiny podzemní vody od úrovně terénu, resp. poloha otevřených úseků výstroje pozorovacích vrtů či poloha pramenů v terénu. Nejnižší stáří vod 0-23 let často korespondují s velmi malými hloubkami do 30 m pod terémem, nebo byla tato 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 jsou 6,5 až 8,0°C, úhrny srážek okolo 900 mm (MANNSFELD & RICHTER, 1995). Na Obr. 5 jsou uvedeny roční srážkové úhrny na měřicích stanicích Chřibská (CZ) a Lichtenhain-Mittelndorf (D).



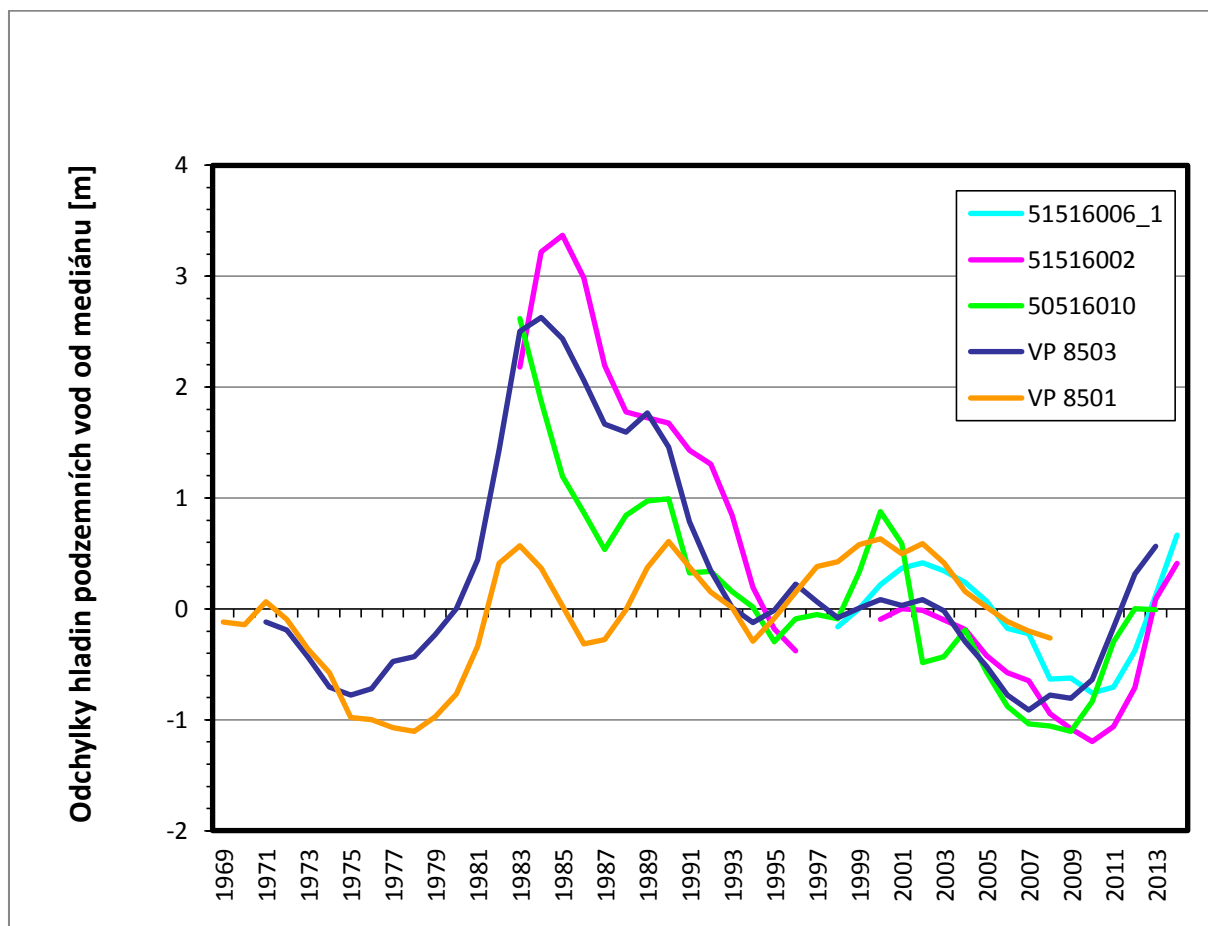
Obr. 5: Roční úhrny srážek na měřicích stanicích Chřibská (zdroj: ČHMÚ) a Lichtenhain-Mittelndorf (zdroj: DWD)

Ani u jedné ze stanic nelze identifikovat jednoznačnou tendenci ve vývoji srážek. Dobře znatelná je však periodicita 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 promrznání půd), tím je voda ze srážek z povodí odvedena a nepřispívá k infiltraci.

2.6 Vývoj hladin podzemních vod

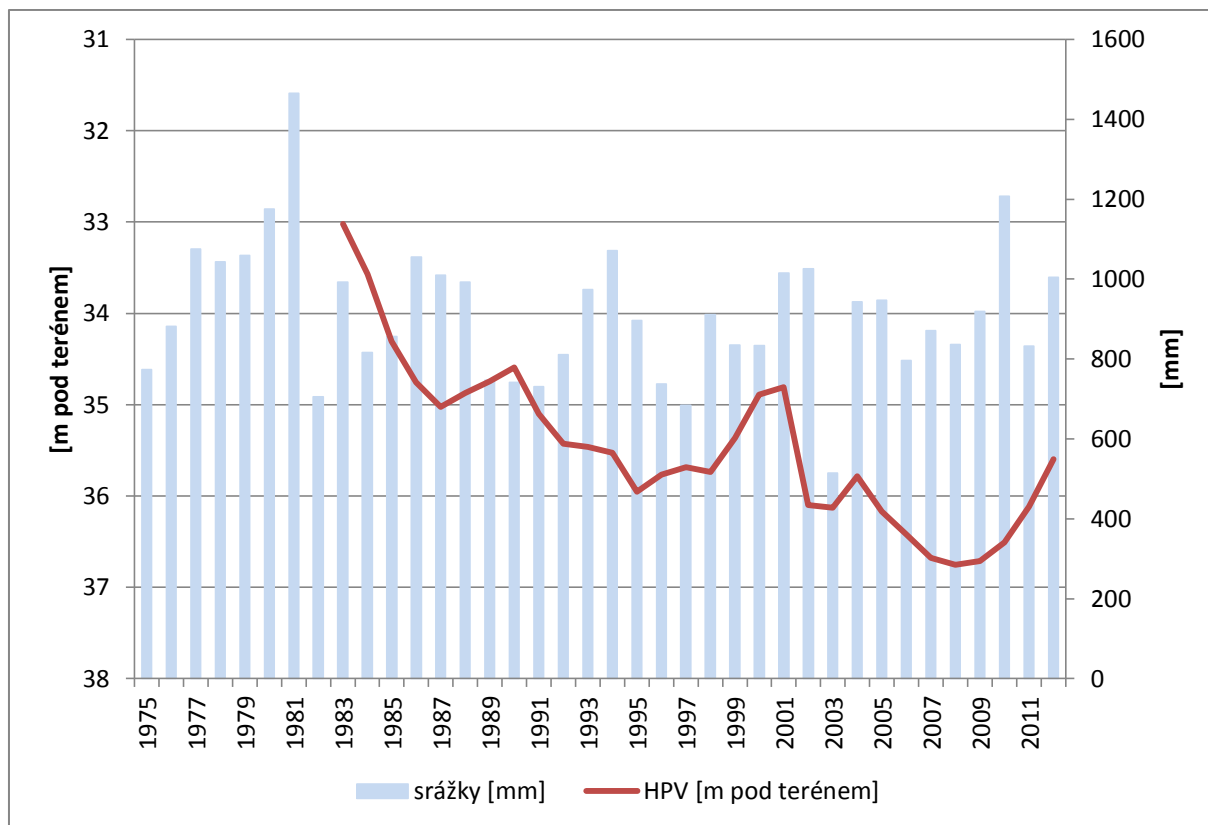
Od osmdesátých let minulého století byly pozorovány jak na českých, tak i na saských pozorovacích vrtech určených pro měření podzemních vod v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch poklesy hladin podzemních vod. Tento vývoj je pro vybrané vrty zobrazen na následujícím obrázku. Na některých vrtech byly hladiny podzemních vod soustavně sledovány již od 70. let minulého století.



Obr. 6: Porovnání vybraných linií vývoje hladin podzemních vod v turonské zvodni (2, resp. 2+3) 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). Nápadné je také to, že prezentovaný vzor kolísání hladin nacházíme i ve zvodni 4, ačkoliv je v zájmovém území celoplošně překryta izolátorem (MIBUS, 2008).

Principiálně můžeme pozorovat závislost vývoje hladin podzemních vod na srážkách, a tím i na tvorbě nové podzemní vody (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



Obr. 7: Příklad reakce hladiny podzemních vod na průběh srážek v údolí Křinice (RaKliDa¹ Sachsen), sumy srážek za kalendářní roky a vývoj hladin podzemních vod na pozorovacím vrtu 50516010 Quenenwiese (turonská zvoděň)

Obrázek ukazuje, že maxima a minima tvorby nové podzemní vody se významně odrážejí na hladinách podzemní vody. Kvůli velkým vzdálenostem hladin podzemní vody od úrovně terénu (od 20 do 100 metrů) je reakci možné pozorovat až se zpožděním 3 až 5 let (G.E.O.S., 1997; DITTRICH & PARTNER, 2002). To znamená, že s touto časovou prodlevou se fáze suchých a vlhkých meteorologických období mohou odrážet na hladinách podzemních vod. Při interpretaci je však třeba zohlednit i variabilitu srážek, teploty a vegetace v průběhu roku.

V minulých 5 letech se častěji vyskytovaly vlhké roky (2009, 2010, 2012 a 2013) s nadprůměrnými ročními srážkovými úhrny a s vlhkým počasím v obdobích tvorby nové podzemní vody, tedy mezi říjnem a březnem. Tím došlo ke stabilizaci hladin podzemních vod. Výchozí úroveň hladin z roku 1983 však přesto dosud nebylo dosaženo. Nakolik se odrazí vliv velmi suchého podzimu 2013 a zimy 2013/14 na hladinách podzemních vod, to momentálně ještě není možné říct.

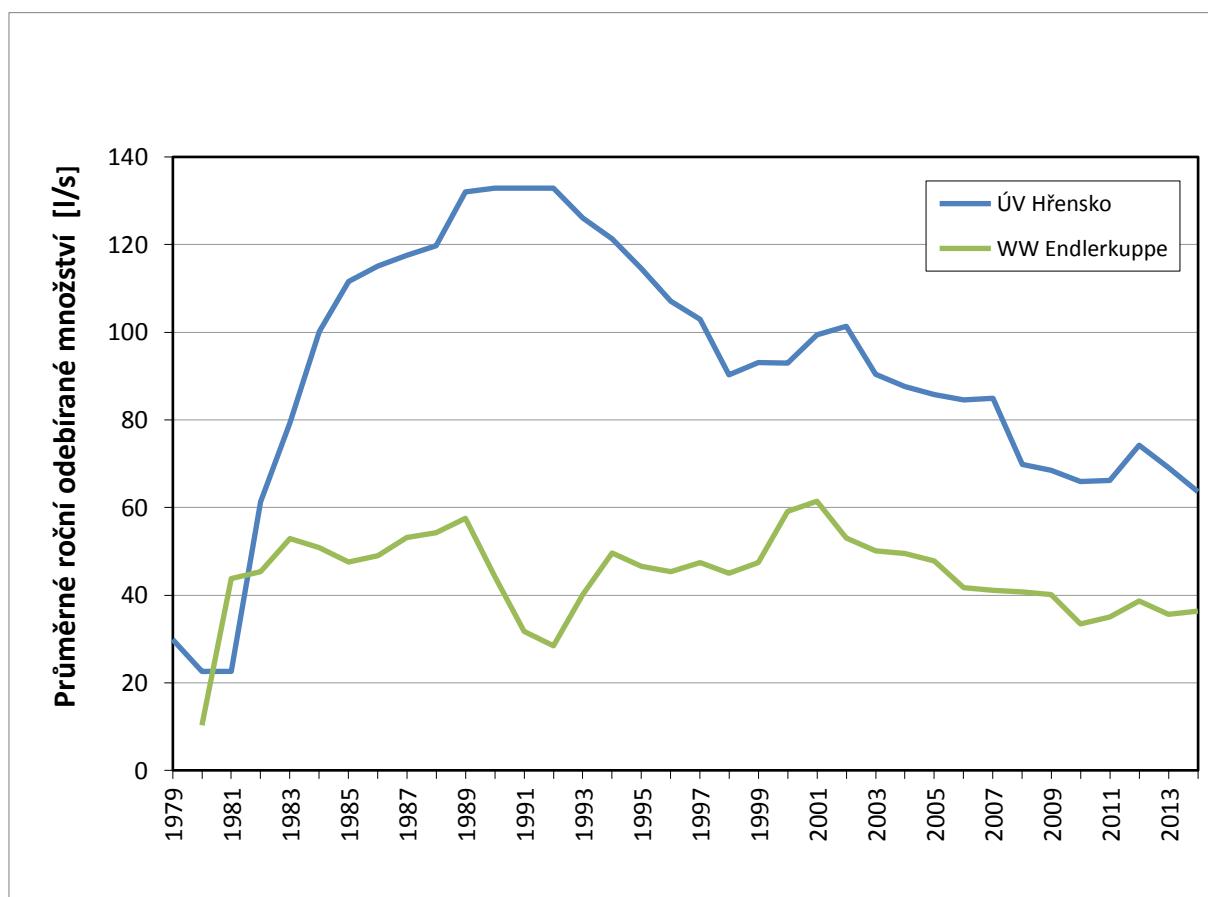
2.7 Využívání vodních zdrojů

V oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch 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. Vodohospodářské průzkumy byly provedeny zejména v sedmdesátých letech, využívání pro potřeby zásobování pitnou vodou začalo v osmdesátých letech minulého století. Saská strana odebírá vodu hlavně ze dvou vrtaných studní v údolí Křinice.

¹ RaKliDA...Rasterklimadaten

Na české straně je odebírána podzemní voda zejména z jímacího území Hřensko v povodí Kamenice. Umožňují to mocné kolektory v křídových pískovcích turonského stáří. Převažující část pitné vody se získává čerpáním z hlavního turonského kolektoru a jen menší část pochází z jímání pramenů.

Z jímacího území Hřensko je odebírána voda z šesti vrtaných studní (kolektor 3) a dvou pramenů (kolektor 2). V úpravě vody Hřensko, kterou provozuje akciová společnost Severočeské vodovody a kanalizace, a.s. (SČVK), se u této podzemní vody díky její vysoké kvalitě provádí pouze úprava pH, tvrdosti a dezinfekce. Úpravna dodává pitnou vodu do Severočeské vodárenské soustavy, zejména je touto vodou zásobováno Děčínsko. Významnější odběry podzemních vod pro zásobování pitnou vodou tu byly zahájeny v šedesátých letech minulého století a postupně narůstaly. Nejvyšší odběry podzemních vod probíhaly v osmdesátých letech a začátkem devadesátých let dvacátého století (Obr. 8), tehdy dosáhlo odebírané množství až cca 130 l/s. V posledních dvaceti letech odběry postupně významně klesaly, v současnosti je odebíráno okolo 70 l/s (PAČL & HRKALOVÁ, 2010), údaje vycházejí z vodohospodářské bilance (HEIS VÚV). Vodoprávní povolení umožňuje odběr v ročním průměru 103 l/s.



Obr. 8: Vývoj odebíraného množství podzemních vod z jímacího území Hřensko a jímání Kirnitzschtal (Wasserwerk Endlerkuppe)

Odběry podzemních vod z dalších jímacích území na české straně jsou řádově nižší, je odebírána podzemní voda pro místní spotřebu v úrovni maximálně desetin litru za sekundu. Takovéto odběry jsou například u Vysoké Lípy nebo u obce Mezná (HEIS VÚV, 2014).

Na saské straně zájmového území probíhá nejvýznamnější jímání podzemní vody pro vodárnu Endlerkuppe. Vodárna samotná se nachází na náhorní plošině jižně od obce Ottendorf nad údolím Křinice. Vodárna odebírá vodu ze dvou hlubokých vrtaných studní Neumannmühle (kolektor 2+3) a Felsenmühle (kolektor 2+3), které se nacházejí v údolí Křinice. Z obou studní se odebraná voda čerpá potrubím do vodárny. I zde je tato voda díky své dobré kvalitě pouze mírně upravována. Provozovatel této vodárny a obou hlubokých studní, společnost ENSO (Energie Sachsen Ost AG), přečerpává tuto vodu do sdruženého vodárenského systému vodáren Gottleuba a Endlerkuppe a přispívá tak k zásobování oblasti Saského Švýcarska pitnou vodou. Z obou hlubinných studní je na základě vodoprávního povolení z roku 1975 možné odebírat průměrné roční množství 69,4 l/s. Jak je vidět na obrázku výše, máme k dispozici údaje o množstvích čerpané vody od roku 1980. Největší množství podzemní vody (okolo 60 l/s) bylo odebíráno v letech 2000 a 2001, v současnosti jsou odběry nižší, většinou představují 35 až 40 l/s.

Další větší odběr vody představovalo jímání vody v Bad Schandau studnami Ostrau a studnou a pramenem Bad Schandau na dolním toku Křinice. Tento odběr vody byl v roce 2005 trvale ukončen a dnes slouží pouze jako vodárenské zařízení pro případ havárie (WAVE, 2008). Kromě toho existují na saské straně drobné odběry zásobující vodou jednotlivé domy apod., ty však nejsou kvůli velmi malým množstvím čerpané vody relevantní. V osadě Schmilka se část vody z pramene Ilmenquelle používá pro zásobování obyvatel pitnou vodou.

Česká i saská strana využívají vodní zdroje podzemních vod v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch na základě vodoprávních povolení; v současné době reálně odebíraná množství vody jsou podstatně nižší než množství povolená.

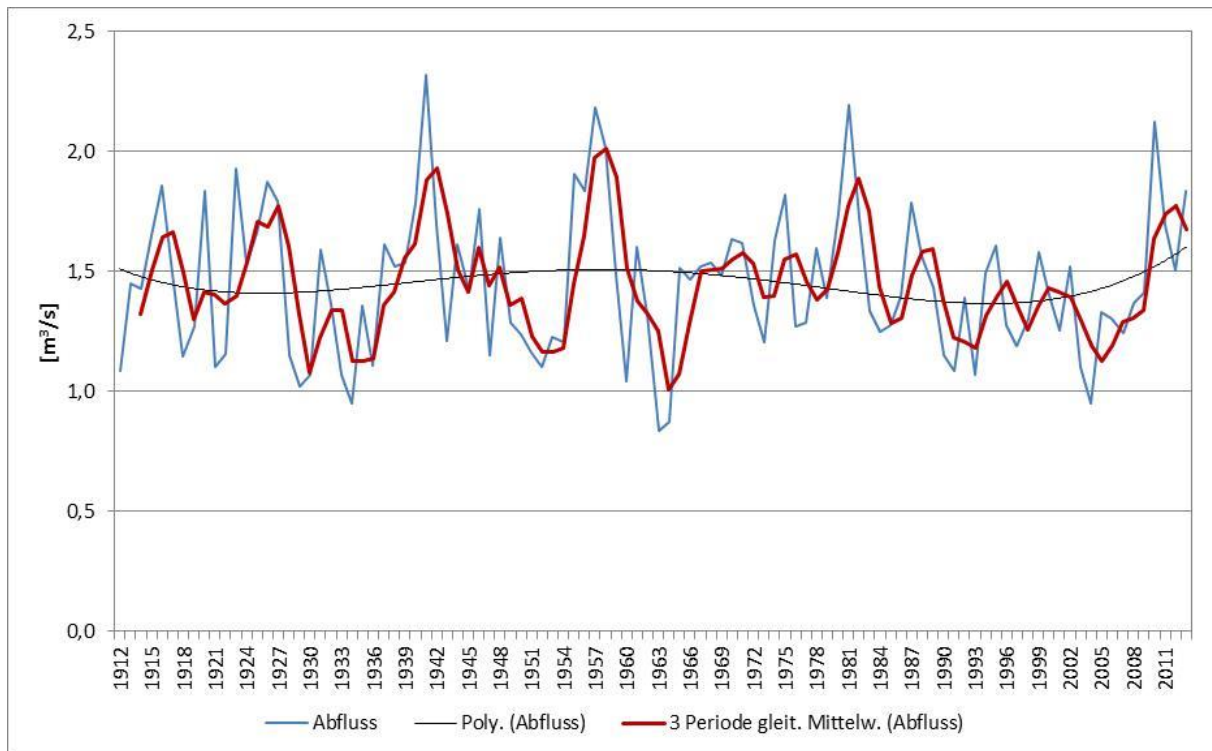
2.8 Povrchové toky

Zájmová oblast leží v povodí vodních toků Kamenice a Křinice, což jsou pravostranné přítoky Labe. Oblast je tak odvodňována hlavně těmito povrchovými toky a jejich přítoky jakož i přímo hlavním recipientem, tedy Labem.

Na základě dobré propustnosti pískovců srážkové vody velmi rychle prosakují do podloží, což se odráží na velmi malé hustotě povrchových toků se stabilním průtokem. Převažující část zájmové oblasti má nízké průtoky a zformovaná suchá údolí (např. Großer Zschand, Suchá Kamenice), kde povrchová voda teče jen po tání sněhu nebo v průběhu déle trvajících deštivých období (MIBUS, 1968). Vedle přírodních vodních toků zde existuje několik rybníčků a umělých nádrží nebo jsou vybudované stupně zadržující vodu.

Průtoky resp. vodní stavy Křinice jsou před ústím do Labe na saské straně dlouhodobě sledovány v profilech Buschmühle (od hydrologického roku 1970) a Kirnitzschtal (od hydrologického roku 1912). Na české straně jsou průtoky Kamenice dlouhodobě monitorovány v profilu Hřensko. Rozloha povodí Křinice činí 157 km², povodí Kamenice přibližně 216 km². Podzemní voda pochází ze zvodní v zájmové oblasti, které jsou v hydraulickém kontaktu s povrchovými vodami. Kolektory jsou odvodňovány hluboko zařízenými údolími Křinice a Kamenice. Na vodním toku Křinice se střídají úseky, kde povrchové vody infiltrují do vod podzemních a úseky, kde povrchové vody jsou napájeny podzemní vodou.

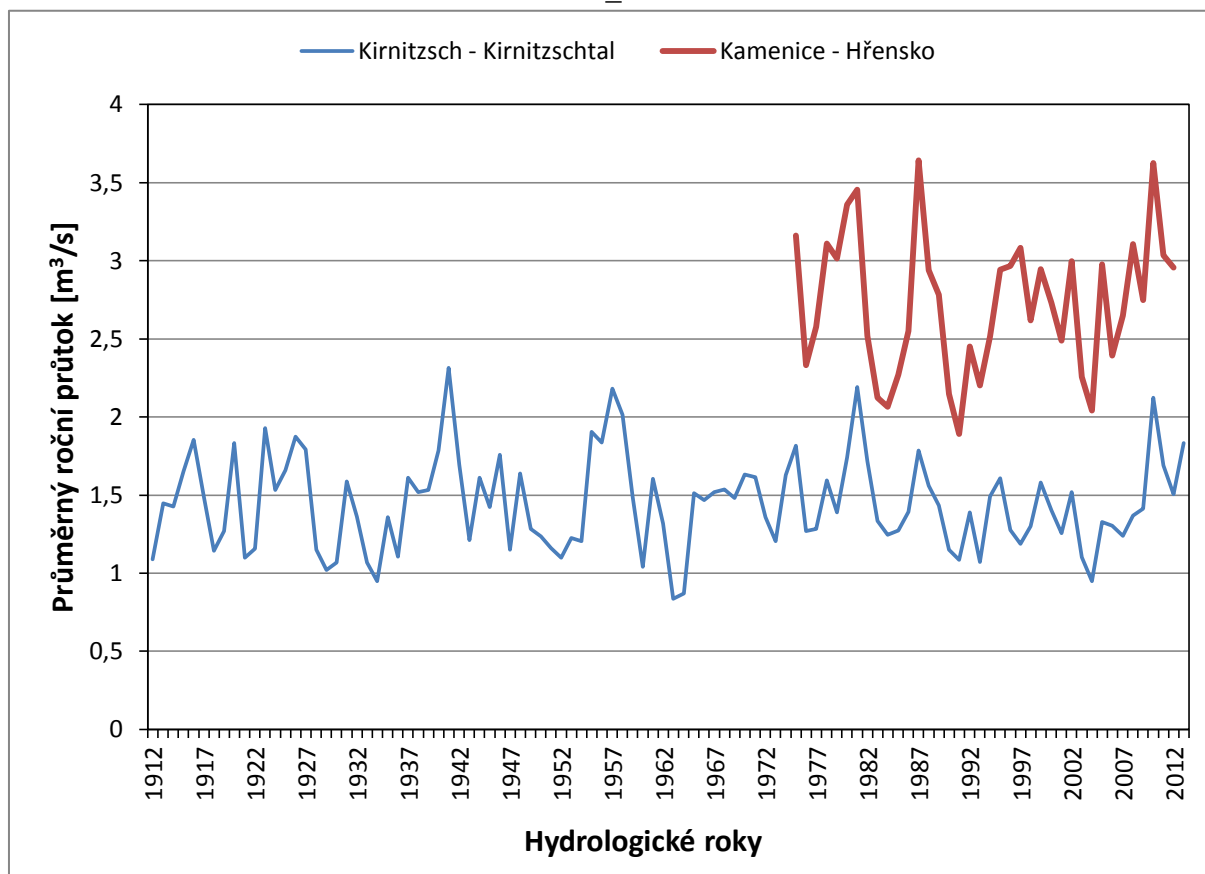
Vývoj průtoků v profilu Kirnitzschtal nevykazuje v celém období 1912 - 2013 jednoznačný trend, v sledovaném období se střídaly fáze s nižšími a vyššími průtoky, což je zřejmé z následujícího obrázku.



Obr. 9: Průměrné roční průtoky v profilu Kirnitzschtal v období 1912-2013 (hydrologické roky) včetně tříletého klouzavého průměru a vloženého polynomu

Od první poloviny osmdesátých let minulého století do roku 2008 je zjevná fáze klesajících průtoků, poté je zaznamenán výrazný nárůst, který souvisí především s povodňovými roky 2010 a 2013 a s velmi vlhkým rokem 2012. Nápadné je to, že v posledních 15 letech bylo zaznamenáno zvýšení četnosti extrémních událostí, v jejichž průběhu byly také zaznamenány minimální průtoky a maximální průtoky na vodoměrné stanici.

Z porovnání průtoků Křinice a Kamenice vyplývá, že průměrné průtoky Křinice činí cca $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, průměrné průtoky Kamenice okolo $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (viz graf dole), přičemž povodí Křinice je téměř o čtvrtinu menší než povodí Kamenice.



Obr. 10: Průtoky Kamenice v profilu Hřensko (1975-2009) a Křinice v profilu Kirnitzschtal (1912-2013)

Z průběhu průtoků Kamenice je zřejmé, že minimální roční průtok v Kamenici byl zaznamenán v roce 1991, kdy vrcholily odběry podzemních vod v jímací oblasti Hřensko. V období nejvyšších odběrů se mohly odběry vody v jímacím území Hřensko projevit tak, že ovlivnily nejen hladiny podzemních vod, ale i minimální průtoky v Kamenici.

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).

Z celkem 23 zkoumaných lokalit v zájmovém území bylo 9 lokalit osídleno, z toho bylo 5 pozorovacích vrtů, 2 prameny (SRN: Richters Born, Ilmenquelle) a 2 šachtové studny (CZ: KV-H1 studna v Kyjově, SRN: stará studna Zeughaus). Celkově je osídlení pozorovacích vrtů možné považovat za nízké, nálezy zde byly chudé druhově i co do počtu jedinců a poukazovaly na nevhodné životní podmínky (stresové lokality) (HAHN ET AL., 2013). Pouze

jeden pozorovací vrt na západním okraji zájmové oblasti vykazoval druhově chudou, ale velmi stabilní, typickou faunu podzemních vod (HAHN ET AL., 2013). Celkem se vyskytly jen dva ze zjištěných 10 pravých druhů podzemních vod výlučně v podzemní vodě vrtů, všechny ostatní se vyskytovaly i na pramenech (HAHN ET AL., 2013).

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.

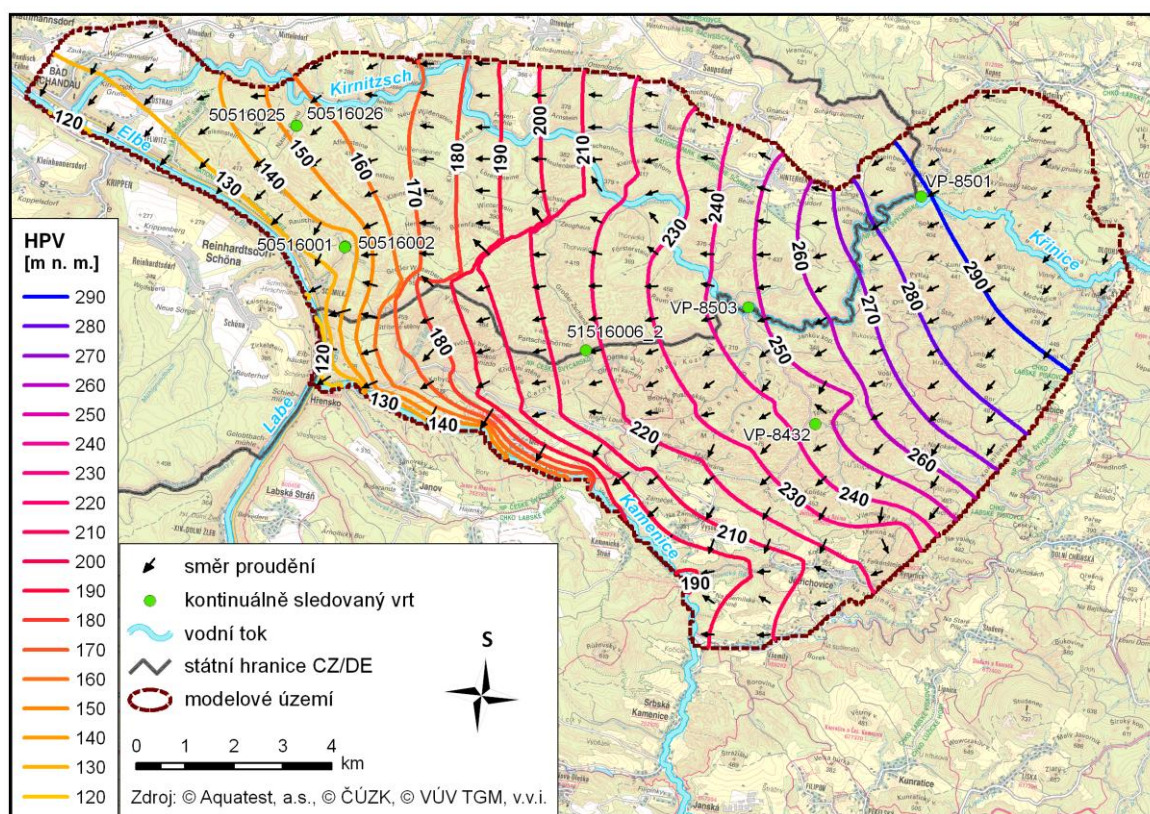
Závěrem je možno konstatovat, že pozorovací vrty v zájmovém území jsou nevhodné pro průzkum fauny podzemních vod. Hlavně jejich velká hloubka a špatný stav s sebou přináší jejich velmi malé osídlení faunou (HAHN ET AL., 2013). Je otázkou nakolik odpovídají poměry ve vrtech realitě horninového prostředí.

3 Výsledky modelu proudění podzemních vod

3.1 Model proudění podzemních vod

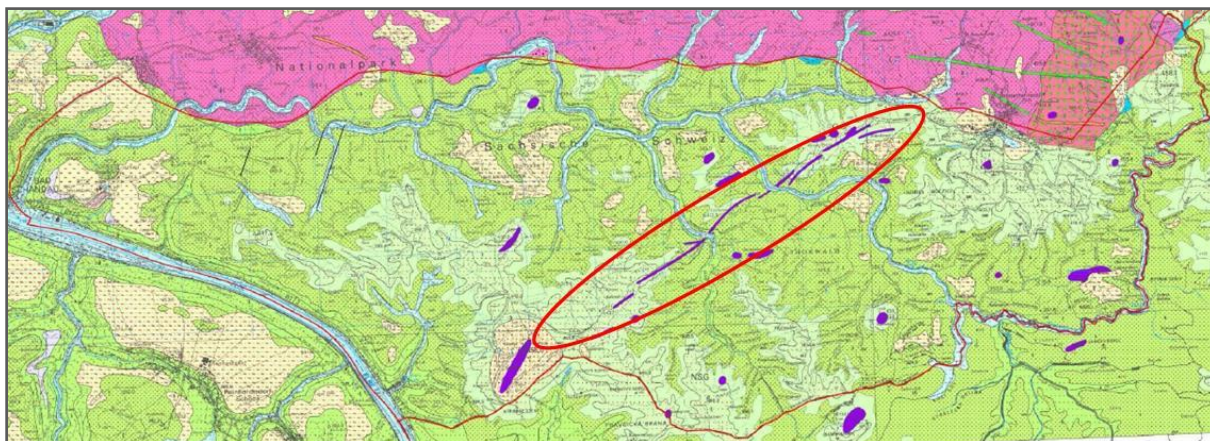
Model proudění podzemních vod (NOL, 2014) pro toto zájmové území byl vytvořen začleněním geologického, resp. hydrogeologického modelu pro saské území a na základě odpovídajících údajů pro území české. Jeden z výstupů hydrogeologického modelu je zobrazen v tabulce 1. Modelové zvodně modelu proudění podzemních vod odpovídají reálně existujícím zvodním tabulky 1. Pro modelové území je podstatné, že má ve své západní části čtyři zvodně, zatímco v části východní zvodně tři.

Prvním významným výsledkem tvorby přeshraničního modelu proudění podzemních vod je namodelování volné hladiny podzemní vody a směr jejího proudění v jednotlivých zvodních. Na obr. 11 je jako příklad zobrazeno pole proudění ve zvodni 3, resp. 2+3.



Obr. 11: Hydroizohypsy a pole proudění dle nakalibrovaného modelu ve zvodni 3, resp. 2+3

Z tohoto obrázku je zřejmé, že směr toku podzemní vody ve zvodni 3 je převážně nasměřován na hlavní vodoteč, Labe. V horní až střední části povodí je tok podzemní vody modifikován Křinicí a Kamenicí. Dále zde na dynamiku proudění vody ve zvodních působí vliv žíly v lokalitě Zeughaus (viz. kap. 2.1.2 a obr. 12). Na obr. 11 je tento fakt zřejmý na konvergenci hydroizohyps.

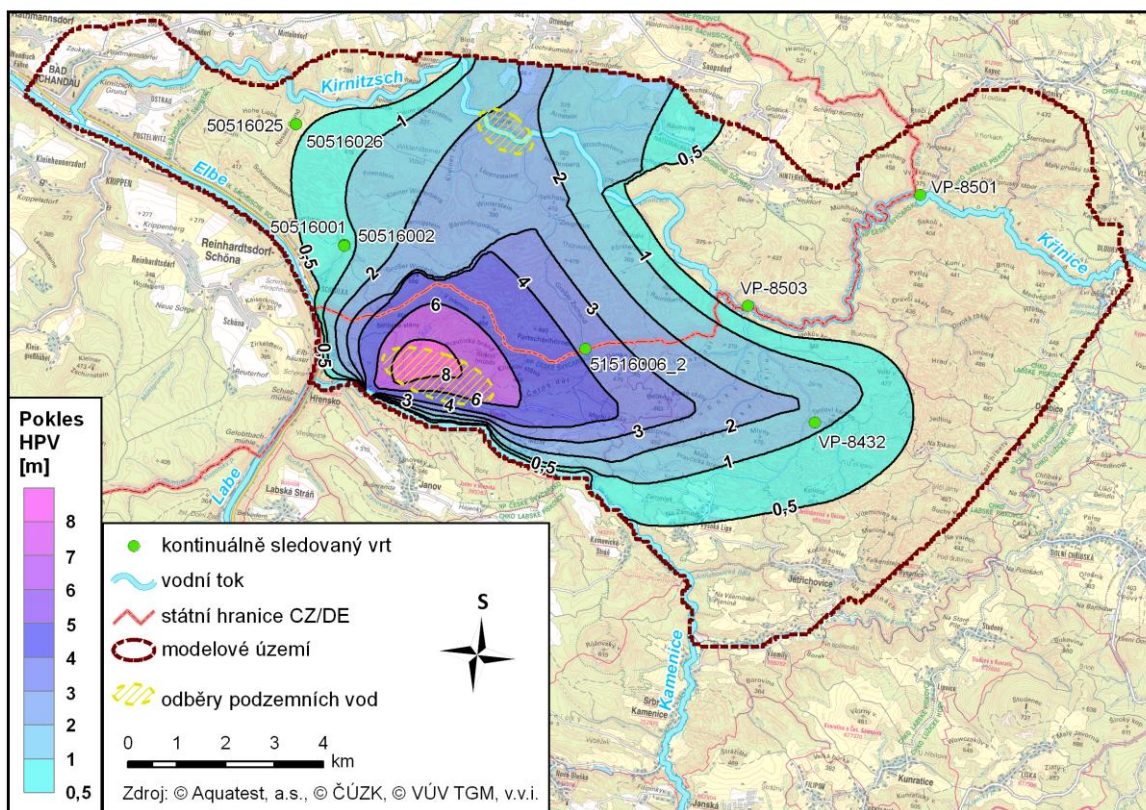


Obr. 12: Výřez z geologické mapy pro saskou část zájmového území s polohou žíly v lokalitě Zeughaus (zvýrazněno červeným oválem), zdroj: geologická mapa Saska 1:50.000, LFULG

Je možné vycházet z toho, že tato čedičová žíla je ze značné části tvořena jílem vzniklým zvětráním (G.E.O.S., 1997; TU BERLÍN, 2012). Nízká propustnost čedičové žíly vede k přesměrování toku podzemní vody směrem na jih, jihozápad a severovýchod.

Na základě modelu proudění ve zvodni 3 je zjevné, že podzemní rozvodí probíhá přibližně v oblasti státní hranice. To platí i pro zvodně 2 v oblasti oddělení obou turonských zvodní. 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 je možné vypočítat depresní kužely vyplývající z užívání vody. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny poklesy hladin ve zvodni 3 při množství podzemní vody odčerpáném v roce 2012.



Obr. 13: Poklesy hladin podzemních vod ve zvodni 3 jako důsledek odběrů podzemní vody

Na české straně je zobrazena velká deprese ve zvodni 3 v oblasti vodárenských odběrů. Na saském území probíhají odběry vody ze studní Felsenmühle a Neumannmühle. Dle v současnosti známých skutečností je možné vycházet z toho, že sběrné území obou studní je geologicky vymezeno na severu lužickou poruchou (izolátor) a na jihu zeughauskou žílou a hydraulicky vymezeno ve východním a západním směru, možná je i infiltrace vody z Křinice. Díky těmto poměrům se depresní kužel vytváří pouze lokálně, v okruhu několika stovek metrů okolo obou studní (VEB HYDROGEOLOGIE, 1977).

3.2 Modelové scénáře

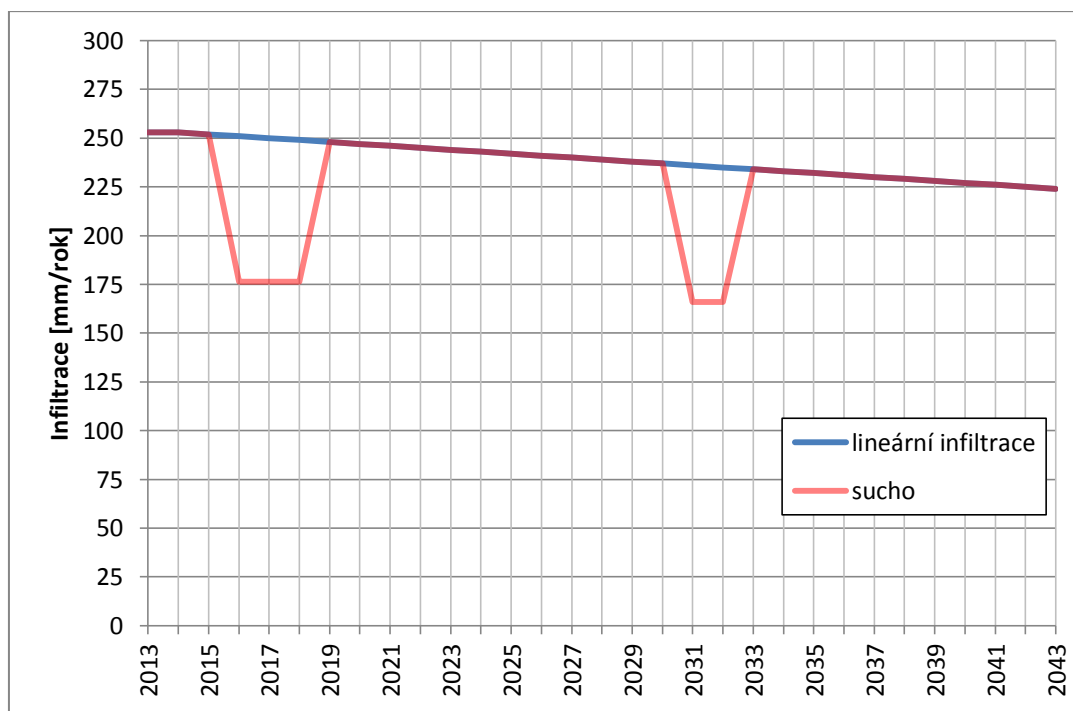
Modelové scénáře jsou výsledky z implementace scénářů klimatické změny a odběrů vody pomocí modelu proudění podzemních vod. Celkem bylo propočítáváno 15 scénářů, které můžeme zařadit do tří skupin (viz Tab. 3):

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

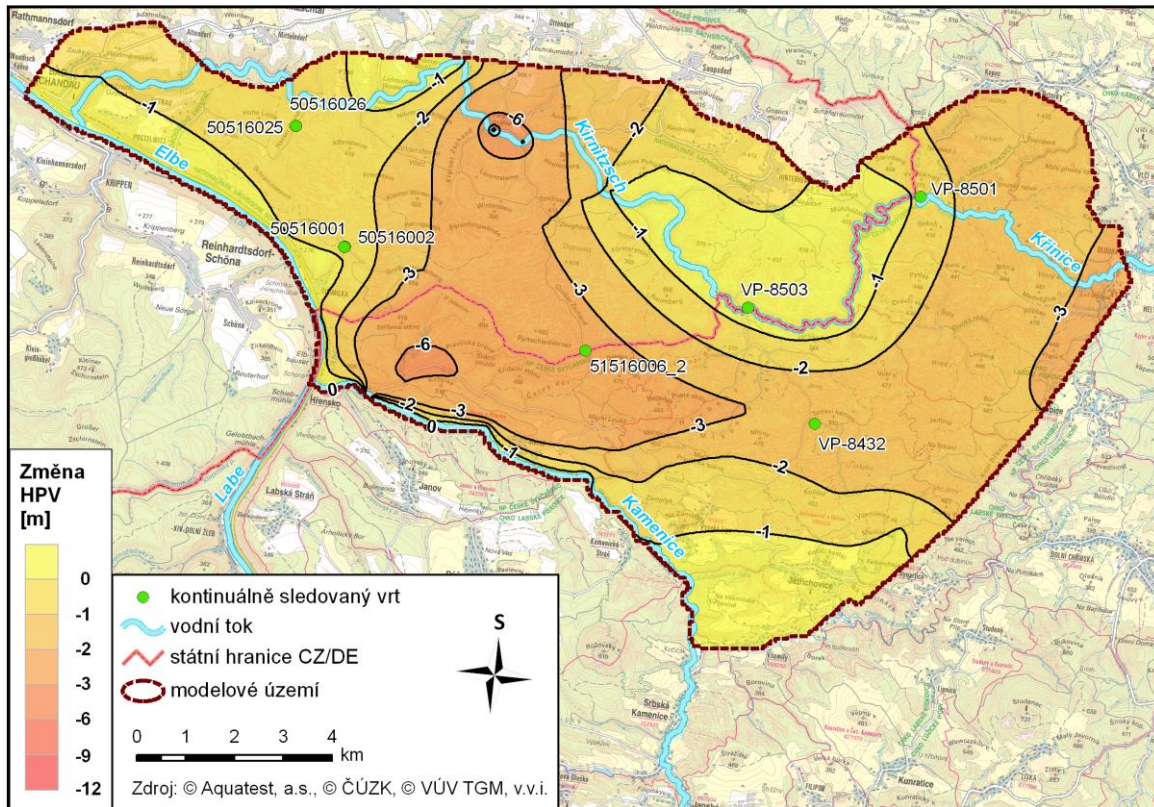
2043 lineárně klesat o 1 mm za rok. Navíc byla začleněna dvě období sucha, která jsou co do svého rozsahu srovnatelná s obdobími sucha pozorovanými v minulosti. Na následujícím obrázku jsou tyto úvahy znázorněny graficky.



Obr. 14: 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 253 mm/r a reálná odběrová množství roku 2012 (CZ: 74,3 l/s; D: 38,7 l/s). Negativní odchylky odpovídají snížení hladiny podzemní vody v porovnání s výchozím stavem. Na následujícím obrázku je jako příklad zobrazen jeden výsledek z propočtů ke scénářům.



Obr. 15: Pokles hladiny podzemní vody ve zvodni 3 při odběrech odpovídajících maximu povolených odběrů 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 pro vodárnu Hřensko a povolenému množství odebíranému v údolí Křinice, včetně poklesu infiltrace na 224 mm/rok a dvou období sucha; v roce 2043 by tyto odběry vedly k poklesu hladiny podzemních vod ve zvodni 3 až o 6 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. Z dostupných poznatků o dynamice podzemních vod vyplývá, že proudění podzemních vod ovlivňují jak přirozené, tak antropogenní příčiny, tedy odběry vody.

Doposud ale nebylo možné s konečnou platností dynamiku podzemních vod v jednotlivých zvodních uzavřít. Příčinou nejistot jsou především velké vzdálenosti hladin podzemních vod od úrovně terénu a značné kolísání hladin. Existují interpretace pozorovaného vývoje hladin podzemních vod hlavně od G.E.O.S. (1997) a Dittrich & Partner (2002), které vycházejí z toho, že kolísání hladin podzemních vod je třeba vidět jako adekvátní reakci na tvorbu nové podzemní vody.

Pro přirozenou příčinu poklesu hladin podzemních vod hovoří analogie vývoje těchto hladin. Analogický průběh je možno pozorovat mezi všemi zvodněmi zájmového území. Hlavně stejný průběh vývoje hladin v nevyužívané cenomanské zvodni v porovnání s nadložní zvodní turonskou je významnou indicií pro přirozené příčiny změn.

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.

Pro definitivní objasnění pozorované dynamiky podzemních vod by však bylo nutné provést další průzkumy-

V modelech proudění podzemních vod (NOL, 2014) byl zkoumán hlavně vliv odběrů vody na hladiny podzemních vod; ve středu zájmové oblasti a ve vodárensky využívaných kolektorech přirozená dynamika podzemních vod nepřevažuje nad vlivem odběrů; v ostatních (okrajových) částech zájmového území a v nevyužívaných kolektorech (cenoman) se vliv odběrů neprojevuje, dynamiku podzemních vod budou ovlivňovat přírodní podmínky (srážky a změny klimatu). 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 (RÖSNER ET AL., 2008). Pro správnou interpretaci hydraulických okrajových podmínek bylo rozhodující přiřazení vodárenských objektů k příslušným zvodním.

Vodárna Kirnitzschtal odebírá vodu prostřednictvím dvou hlubinných studní ze zvodní 2 a 3, ale tvorba nové podzemní vody může být v tomto místě dotována i vodou z Křinice (G.E.O.S., 1997). Celkově však byly v odběrové oblasti pozorovány pouze poměrně malé, ale příkré depresní kužely (VEB HYDROGEOLOGIE, 1977; G.E.O.S., 2007). Přímé ovlivnění sousedního pozorovacího vrtu odběry nebylo pozorováno.

U jímacího území Hřensko vede stávající rozdělení turonské zvodně k tomu, že využívané prameny je třeba přiřadit ke zvodni 2 a studny ke zvodni 3. K propojení ve sdružené zvodni 2+3 dochází podle G.E.O.S. (2014) východně od odběrových objektů. K ovlivnění

podzemních vod v důsledku odběrů v jímacím území Hřensko může docházet zejména ve zvodni 3, kde je voda aktivně odčerpávána. I u odběrů vody v jímacím území Hřensko je vliv odběrů vody na zónu v blízkosti jímání vody omezený, jak dokládají obě úrovně hladin P2 a P12 v blízkosti vodárenských odběrů.

Kromě toho bylo možné dle výsledků modelu proudění ukázat, že v zájmovém území se vytváří podzemní rozvodnice, která probíhá přibližně v podél státní hranice. Za současných podmínek existují dva souběžné oddělené proudy podzemních vod, resp. oddělené útvary podzemních vod.

Kromě toho je možné pro vodárnu Kirnitzschtal vymezit vlastní vodárenskou sběrnou oblast, ohraničenou na severu lužickou poruchou, na jihu slabě propustnou žílou lokality Zeughaus, na východě a západě pak hydraulicky (VEB HYDROGEOLOGIE, 1977). Tyto jímací objekty jsou zeughauskou žílou odstíněny od hydraulických vlivů z jižního směru, resp. za současných podmínek vliv saských odběrů na české území není významný; je možno vyloučit ovlivnění dynamiky podzemních vod na českém území odběry vody na saské straně.

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 přívalový 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.wasserhaushaltsportal.sachsen.de>). V modelu proudění podzemních vod zpracovaném v rámci projektu GRACE je pro prognózní modelové scénáře zavedeno snížení infiltrace o 1 mm/rok.

Pokles hladin podzemních vod v pozorovacích vrtech v období 1985–1995 byl způsoben jak vysokými odběry podzemní vody, tak i vývojem srážek (změnami infiltrace). 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. Vliv obou faktorů, tedy odběrů vody a srážek, na kolísání hladin podzemních

vod je ve středu území zhruba rovnocenný. 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.

Za aktuálních hydrologických podmínek a při současných odběrových množstvích, která jsou výrazně pod povolenými odběry vody, je možné vyloučit ohrožení zdrojů podzemních vod v důsledku užívání vody.

Při změněných rámcových hydrologických podmínkách 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 národních parků. Kvůli převážně velkým vzdálenostem mezi úrovní terénu a úrovní hladiny podzemní vody neměl systém podzemních vod, a nebude mít ani v budoucnu, žádný významný vliv na většinu ekosystémových procesů a funkcí především u flóry a fauny (viz i G.E.O.S., 1997; DITTRICH & PARTNER, 2002). Rozhodující jsou změny režimu půdní vody podmíněné změnami klimatu, kde je snížení celkové dotace vody adekvátně provázáno 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

Pro zajištění dlouhodobé ochrany podzemních vod i trvale udržitelného užívání vodních zdrojů je nutné zachovat dlouhodobě stávající přírodní podmínky.

Zachování přírodních podmínek je usnadněno díky statutem 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:

Půdní vodní režim:

→ Opatření ke zlepšení stavu vědomostí:

- Tvorba modelů půdního vodního režimu – zlepšení pochopení systému půdního vodního režimu a jeho procesů i jeho ovlivnění změnami klimatu.

→ Ochrana přírody/lesnická opatření:

- Opatření v oblasti péče a rozvoje – opatření v oblasti péče o les a změny lesní skladby ve prospěch přirozené, klimatu a dané lokality přizpůsobené vegetace v souladu s cíli ochrany přírody obou Národních parků,
- průběžný kontakt a výměna informací se správami Národních parků ohledně lesnických a ochranných opatření s dopadem na vodní bilanci.

Podzemních vody:

→ Opatření ke zlepšení stavu vědomostí:

- Pokračování v tvorbě modelů proudění podzemních vod a jejich rozšíření,

- získání poznatků ke vsakování vody v nenasycené zóně pískovců po opuštění půdní zóny,
- propojení modelů k půdnímu vodnímu režimu, k proudění povrchových vod a k proudění podzemních vod,
- zpřesnění či nové stanovení obnovující se disponibilní zásoby podzemních vod,
- další vývoj modelů směrem k vytvoření prognostických nástrojů pro vodohospodářské plánování.

→ 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 Hřensko a jímání vodárny Endlerkuppe (ev. nové vymezení ochranných pásem),
- podchycení a průběžná evidence všech užívání podzemních vod na 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.

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) a nejsou zde velké plochy, na kterých by mohlo dojít k přeshraničnímu ovlivnění vodárenskými odběry.

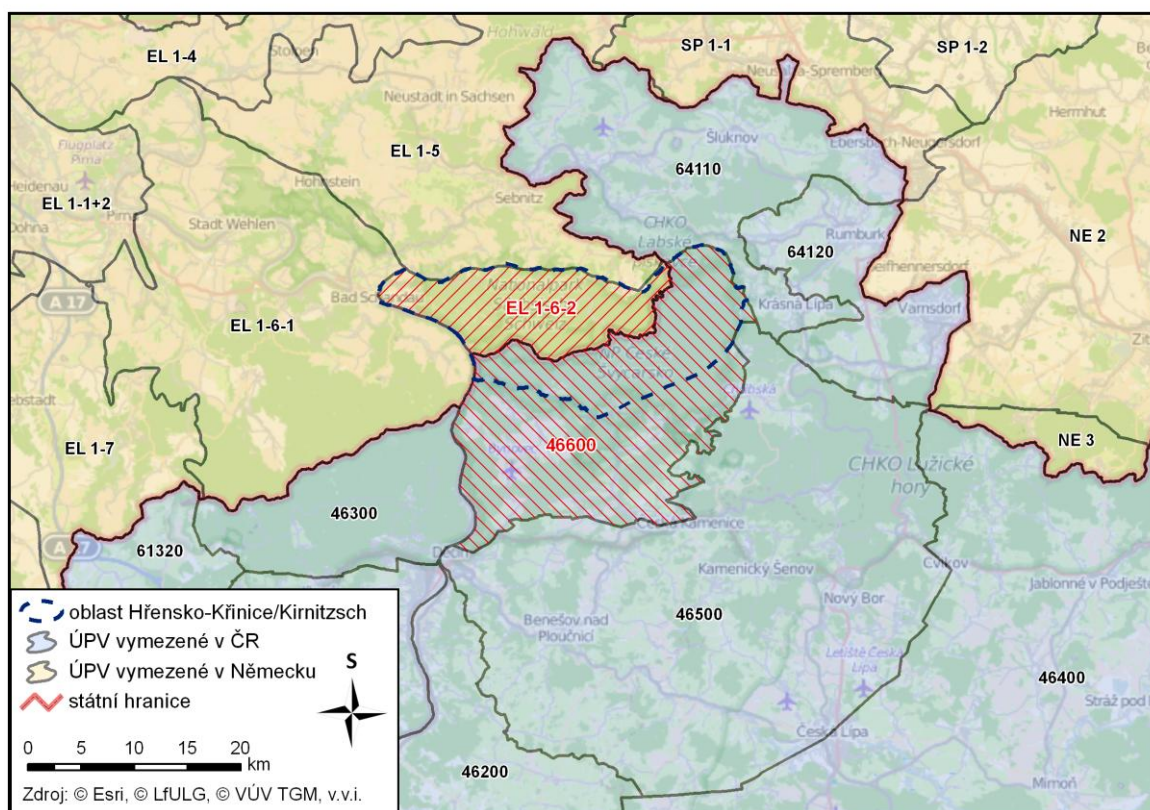
Vymezení útvaru podzemních vod na české straně je daleko rozsáhlejší v souladu s hydrogeologickými podmínkami a zahrnuje velké oblasti, které nesouvisí s přeshraničním vodárenským ovlivněním (obr. 16).

Názvy útvarů a hodnocení kvantitativního stavu uvádí tabulka 4.

Tab. 4: Hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod

Č.	Název vodního útvaru	Kvantitativní stav	
		v 1. plánovacím cyklu	v roce 2014
46600	Křída Dolní Kamenice a Křinice	vyhovující	vyhovující
EL 1-6-2	Kirnitzsch	nevyhovující	vyhovující

Obr. 16: Stávající vymezení útvarů podzemních vod



Z výsledků modelování proudění podzemních vod je zřejmé, že na území na obou stranách státní hranice existují relativně oddělené proudy podzemní vody, takže spojení útvarů podzemních vod na české a saské straně není v současné době nutné. Určitá hydraulická propojení ale existují; ta mohou způsobit, že specifické situace v odběrech vody způsobí změny proudění a přeshraniční vliv odběrů na hladiny podzemních vod. Proto by se obhospodařování v území mělo dít 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

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 (např. vrt 50516009 – Zeughausstraße, 51516002 – Großer Zschand, Hickelhöhle, 51516006 – Großer Zschand – na saské straně a na české straně VP 8503 a VP 8432),
- 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. 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 Česko-saského Švýcarska (ev. podrobné časové rozložení srážek),
- povrchové vody – hydrologické veličiny, průtoky/stavy vody na měrných profilech na tocích (ev. podélné profily průtoků v kombinaci s teplotou),
- 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, např. pozorovací vrt P2),
- reaktivizace pozorovacích vrtů (např. Dkp22, Dkp26, Dkp27 K9), které byly z měřicí sítě vyňaty v roce 2001, 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 o jeden pozorovací vrt v oblasti ústí údolí Großer Zschand,
- 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 Kamenice v profilu Hřensko,

- rozšíření počtu měrných profilů pro povrchové vody na Kamenici, Křinici a vyústění Dlouhé Bělé do Kamenice pro zjištění stavů vody z pohledu odběrů (hodnocení interakce mezi podzemní a povrchovou vodou).

Saská část zájmového území:

- pokračování v pozorování průtoků na Křinici na hladinoměrech Buschmühle a Kirnitschtal,
- příprava průtokového profilu na Křinici pod vodárnou Kirnitschtal k měření průtoku z pohledu odběrů (diferenční měření k hladinoměru Buschmühle, 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 projektu bylo možné přinést první odpovědi na otázky týkající se příčin silně klesajících hladin podzemních vod.

Významné poklesy hladin v letech 1985-95 byly způsobeny souběhem vlivu vysokých odběrů a 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; na dynamiku podzemních vod mají převažující vliv přírodní (klimatické) vlivy, odběry vody mají na hladiny podzemních vod podružný nebo lokální účinek. Přeshraniční ovlivnění dynamiky podzemních vod je nízké; proudění podzemních vod ve vodárensky využívaném kolektoru směřuje od východu na západ a stáčí se na české straně ke Kamenici a na saské straně ke Křinici a k Labi.

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 geohydraulické 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 našem 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 rozvodí a k vlivům odběrů podzemních vod.

Kromě toho je vhodné provést další průzkumy stáří podzemních vod s použitím izotopů, které by byly užitečné jak pro objasnění procesů, 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

ČHMÚ (2014). *Roční úhrny srážek na měřicí stanici Chřibská za období 1983 – 2014.* © ČHMÚ, 2014.

DOUDĚROVÁ, A. (1986): Hřensko RM III řešení problematiky podzemních vod Křinice–Kamenice. – Stavební geologie Praha, MS ČGS – Geofond pod P030297, 31 s.

DWD (2012). *Roční úhrny srážek na měřicí stanici Lichtenhain-Mittelndorf za období 1996 – 2012.* © DWD, 2012.

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.

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 (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 1979–2014.

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, I. Oblast Hřensko-Křinice/Kirnitzsch, Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet, I. Gebiet Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch, VÚV TGM, v.v.i., Praha ISBN 978-80-87402-30-6.

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.

MIBUS, H.-P. (1968): Beitrag zur Kenntnis der Geologie des Elbsandsteingebirges unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse. – Dissertation, Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften, TU Dresden, 208 S. + Anl.

- MIBUS, H.-P. (1974):** Die Quellen des Elbsandsteingebirges und ihre hydrogeologischen Voraussetzungen. – In: Geographische Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik, Arbeitskreis Sächsische Schweiz, Berichte des Arbeitskreises Sächsische Schweiz (4): 99-112.
- MIBUS, H.-P. (2008):** Das Grundwasser im Elbsandsteingebirge. – Mitteilungsheft des Arbeitskreises Sächsische Schweiz im Landesverein Sächsischer Heimatschutz e. V., Hf. 7: 3-18.
- MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., V. HAVLENA & J. WEISS (1983):** Geologie der ČSSR I – Böhmisches Massiv. – Státní pedagogické nakladatelství v Praze, 1. Auflage; 333 S.
- NOL, O. (2014)** Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch, zpráva za 2. etapu, AQUATEST, a.s., Praha, květen 2014.
- PAČL, A. & HRKALOVÁ, M. (2010)** Hydrogeologické práce v oblasti Hřensko–Křinice/Kirnitzsch. Závěrečná zpráva za období 2009/2010. MS Aquatest, a. s., Praha, 127 s.
- PÄLCHEN, W. & H. WALTER (HRSG.) (2008):** Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart; 537 S.
- RÖSNER ET AL., (2008)**
- SACHSEN.DE (2014)** Wasser, Wasserwirtschaft.
<<http://www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de>>
- 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).
- SMUL (HRSG.) (2008):** Sachsen im Klimawandel. Eine Analyse. – Dresden, 211 S.
- SPOLEČNĚ VYUŽÍVANÉ PODZEMNÍ VODY NA ČESKO-SASKÉM POMEZÍ (GRACE).**
<www.gracecz.cz>
- 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.
- TONNDORF, H. (2000):** Die Uranlagerstätte Königstein. Bergbaumonographie. – Schriftenreihe Bergbau in Sachsen, Bd. 7. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sächsisches Oberbergamt (Hrsg.), 208 S., Dresden.
- TU BERLIN (2012):** Bericht zum interdisziplinären geotechnologischen Projekt. – Abschlussbericht, Geotechnologisches Projekt vom 27.04.-01.05.2012, Elbsandsteingebirge, Fachbereich Angewandte Geowissenschaften, TU Berlin. Unveröffentlicht. – 256 S.
- VEB HYDROGEOLOGIE (1977):** Hydrogeologischer Bericht. Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung. DE Sebnitz. Unveröffentlicht. – 49 S. + Anl.
- VOIGT, T., J. FRANKE & S. FRANKE (2013):** Grundlagen für ein geologisch-tektonisches Modell der Kreideablagerungen im Sächsisch-Böhmischem Grenzbereich im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE. – Abschlussbericht, im Auftrag des LfULG (unveröffentlicht), 42 S. + Anl.
- WAVE (2008):** WAsserVErsorgung 2008 – Datenbank Planung/ Abrechnung der öffentlichen Versorgung, LfULG.