

„Přeshraniční ekologické hodnocení podzemní vody pomocí zjištění fauny podzemních vod a stanovení stabilních izotopů v rámci projektu GRACE Cíle 3“ Shrnutí nejdůležitějších výsledků

Předkládaná studie byla vypracována v rámci přeshraničního projektu „Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)“ v letech 2012 a 2013. Hlavním partnerem projektu je Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., partnerem projektu je Saský zemský úřad pro životní prostředí, zemědělství a geologii (*Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – LfULG*).

Gestorem této studie je německý partner projektu. Vypracování studie zadal LfULG Institutu ekologie podzemních vod (*Institut für Grundwasserökologie – IGÖ GmbH*) a Technické univerzitě Drážďany, Institutu pro hospodaření s podzemními vodami (*TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft*). Český hlavní partner projektu umožnil přístup k českým vrtům a pramenům.

Cíle a úkoly studie: Cílem tohoto dílčího projektu byla přeshraniční ekologická charakterizace podzemních vod v zájmových oblastech Hřensko–Křinice/ Kirnitzsch (Česko-saské Švýcarsko) a Petrovice–Lückendorf–Jonsdorf–Oybin (Lužické hory). Dále byla zkoumána fauna podzemních vod (stygofauna¹), jakož i vlastnosti podzemní vody a stabilní izotopy ¹⁸O, ²H.

Autoři studie:

koordinace/ fauna:

PD Dr. Hans Jürgen Hahn
Dr. Dirk Matzke
Dr. Andreas Fuchs
Institut pro ekologii podzemních vod, GmbH (*Institut für Grundwasserökologie IGÖ GmbH*) při univerzitě
Fortstr. 7
D-76829 Landau/Pfalz

vlastnosti a izotopy:

Dr. Diana Burghardt
Technická univerzita Drážďany (*Technische Universität Dresden*)
fakulta životního prostředí (*Fakultät Umweltwissenschaften*)
Institut pro hospodaření s podzemními vodami (*Institut für Grundwasserwirtschaft*)
01062 Dresden

Poznámka:

V tomto resumé bylo provedeno shrnutí originálních pasáží textu závěrečné zprávy. Autory těchto poznatků jsou výše uvedení autoři této studie.

¹ Stygofauna (stygobionti) – živočichové, kteří žijí převážně či výlučně v podzemních vodách.

Terénní a laboratorní práce

Odběr vzorků se uskutečnil ve čtyřech odběrových termínech, a to 09–11/2012; 01/2013, 04/2013 a 07/2013. Byly přitom zkoumány hydrogeologické vrty a prameny reprezentativní pro danou oblast. Vzorky pro výskyt fauny ve vrtech byly odebírány pomocí síťových sběračů, resp. sítěk pro odběry na pramenech. Podzemní voda vrtů byla vzorkována reprezentativně za využití ponorného motorového čerpadla, to znamená, že vzorek byl odebrán až po ustálení směrných parametrů čerpané podzemní vody (hodnota pH, vodivost, obsah kyslíku). Vycházíme tedy z toho, že z vrtu byla odčerpána stávající stagnující voda a že vzorek reprezentuje podzemní vodu cirkulující ve zvodni, takže je bez vlivů způsobených samotným vrtem. Na některých vzorkovacích místech nebyl tento způsob odběru vzorku možný, takže byl z daného vrtu či studně odebrán jeden čerpaný vzorek stojaté vody. Tyto vzorky nejsou reprezentativní (ovlivnění měřicí stanicí), a lze je proto hodnotit pouze omezeně. U pramenů byly odebrány vzorky vytékající vody. Dále byl v každé ze zájmových oblastí nainstalován jeden sběrač srážkové vody, ze kterého byly po dobu jednoho roku měsíčně odebírány vzorky, abychom zjistili obsahy stabilních izotopů ve srážkách daného území. To je důležité, protože obsahy stabilních izotopů ve srážkách zájmového území slouží jako vztažné referenční hodnoty pro vyhodnocení obsahu stabilních izotopů v podzemních vodách. Kromě toho obsah stabilních izotopů ve srážkách podléhá i územně sezonním odchylkám podle ročních období, což je rovněž důležité pro vyhodnocení analyzovaných poměrů stabilních izotopů v podzemní vodě.

Vzorky fauny byly v laboratoři předtříděny a byl určen řád, čeleď či druh jednotlivých živočichů. U vzorků vody bylo pomocí iontové chromatografie analyzováno jejich složení. Stabilní izotopy byly stanoveny hmotnostním spektrometrem.

Výsledky hydrochemických analýz podzemní vody

V zájmovém území Česko-saského Švýcarska byly nalezeny převážně prosté vody s převahou iontů alkalických zemin a hydrogenuhličitanu. Při velmi malých koncentracích hydrogenuhličitanu byly obecně naměřeny hodnoty pH i kolem pH 6 nebo nižší, což ukazuje na to, že horniny kolektoru jsou celkově chudé na uhličitany. Zčásti byly na měřicích stanicích podzemních vod a na pramenech naměřeny hodnoty pH i od pH 4,6 do pH 5. V Českém Švýcarsku je možné vody klasifikovat jako zemitoalkalické s vyšším obsahem alkálií, převážně hydrogenuhličitanové. Je však třeba zohlednit to, že zde byly z vrtů a studní odebrány a následně analyzovány pouze nereprezentativní vzorky stojaté vody. V této souvislosti vykazovala studna „B1-KV-H-pump well“ při prvním kole odběru vzorků podstatně vyšší obsahy hydrogenuhličitanů než při kole třetím a čtvrtém. Mohlo to být způsobeno zvýšenou mikrobiální aktivitou ve stojaté vodě a v mezikružním prostoru studny, protože se z ní zjevně předtím dlouhou dobu neodčerpávalo.

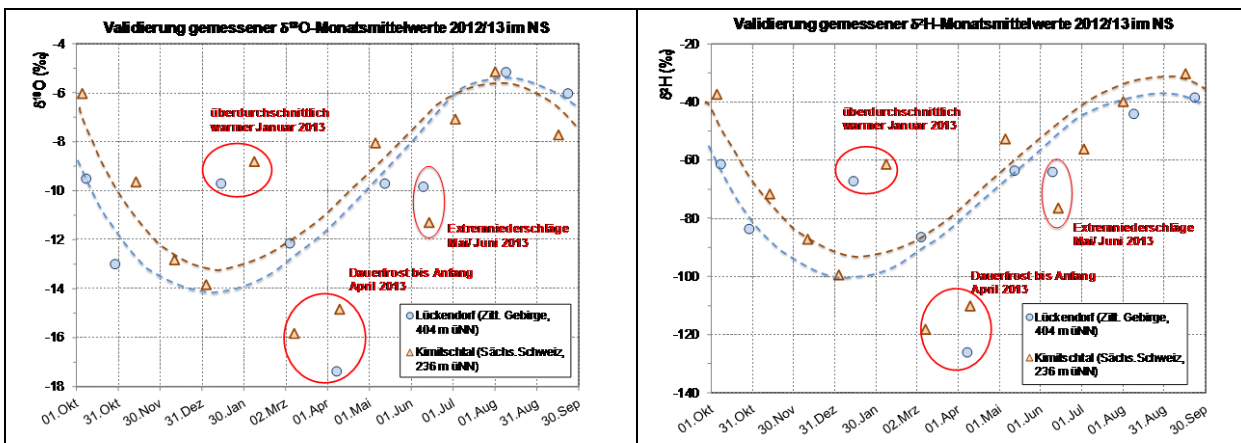
V zájmovém území Lužické hory je možné vody ze studní společnosti SOWAG, resp. Městských služeb Zittau (*Stadtwerke Zittau*) klasifikovat jako „zemitoalkalické vody s vyšším obsahem alkálií, převážně sulfatické“, stojaté vody z měřicí stanice v oblasti Petrovice pak jako „převážně hydrogenuhličitanové“. Chemismus vod z pramenů je silně závislý na jejich vydatnosti a na jejich příslušnosti k jednotlivým zvodním. Voda z pramene König-Johann-Quelle (vydatnost: 43 m³/h) je velmi slabě mineralizovaná a lze ji klasifikovat jako „převážně sulfatickou, normálně zemitoalkalickou“ vodu. S obsahy HCO₃⁻ cca 10 mg/l (a pH 6) je tato voda velmi slabě pufrovaná. Oproti tomu voda z pramene Scheibenborn (vydatnost: 0,8 m³/h) s cca 214 mg HCO₃/l, resp. s pH 7,5 je velmi dobře pufrovaná. Tento pramen, nacházející se v lese a obklopený četnými stopami po pohybu zvěře, však vykazoval obsahy dusičnanů cca 10 mg/l, které by mohly souviset přinejmenším s podílem mladší vody (s kratší dobou zdržení).

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Zpracování ročních období u stabilních izotopů z měření srážek

Jak již bylo zmíněno, obsahy stabilních izotopů v lokálních srážkách a jejich průběh v rámci jednotlivých ročních období jsou velmi důležité, protože jsou referenčními veličinami pro vyhodnocení poměrů u stabilních izotopů v podzemních vodách. Proto byly vyhodnoceny obsahy izotopů zjištěné ze vzorků srážek a byly ověřeny z hlediska jejich reprezentativnosti. Jelikož v každé z obou zájmových oblastí bylo možné analyzovat měsíční vzorky srážek pouze pro jedno roční období, bylo nutné očistit získané řady od silně vybočujících hodnot, tedy od srážkových událostí netypických pro dané roční období. Obrázek 1 ukazuje, že tři, resp. čtyři termíny odběru vzorků nebyly reprezentativní. Lednové, dubnové/květnové srážky se tak v důsledku neobvykle mírných, resp. nízkých teplot výrazně odlišují od srážkových signatur $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ typických pro toto roční období. Izotopové signatury extrémních srážkových událostí v období odběru vzorků květen–červen 2013 se rovněž výrazně odlišují od hodnot typických pro toto roční období. Po identifikaci těchto silně vybočujících hodnot bylo možné adekvátně zkorigovat roční průměry lokálních srážek, takže pak mohly být použity jako vstupní hodnoty pro následující výpočty míšení.



Obr. 1: Identifikace silně vybočujících hodnot (pod- / nadprůměrné signatury $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$) pro zjištění ročních průběhů pro $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ ve srážkách zájmových oblastí

Validierung gemessener $\delta^{18}\text{O}$ -Monatsmittelwerte 2012/13 im NS = validace naměřených průměrných měsíčních hodnot $\delta^{18}\text{O}$ 2012/13 ve srážkách

überdurchschnittlich warmer Januar 2013 = nadprůměrně teplý leden 2013

Extremniederschläge Mai/Juni 2013 = extrémní srážky květen/červen 2013

Dauerfrost bis Anfang April 2013 = mráz trvající do začátku dubna 2013

Porovnání průběhových křivek srážek, vod z pramenů a podzemních vod

Roční průběhové křivky izotopů ve srážkách očistěné od silně vybočujících hodnot, které byly vytvořeny přizpůsobením polynomických regresních křivek 3. stupně, bylo nyní možné použít pro porovnání s průběhovými křivkami $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ pramenů, pozorovacích vrtů a vodárenských studní (obr. 2 a 3).

Obdobné amplitudy sezonních odchylek $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ jako u srážkových vod se neobjevují v žádném pozorovacím vrtu nebo studni. To poukazuje na to, že zde neexistuje žádný přímý vliv srážkových vod.

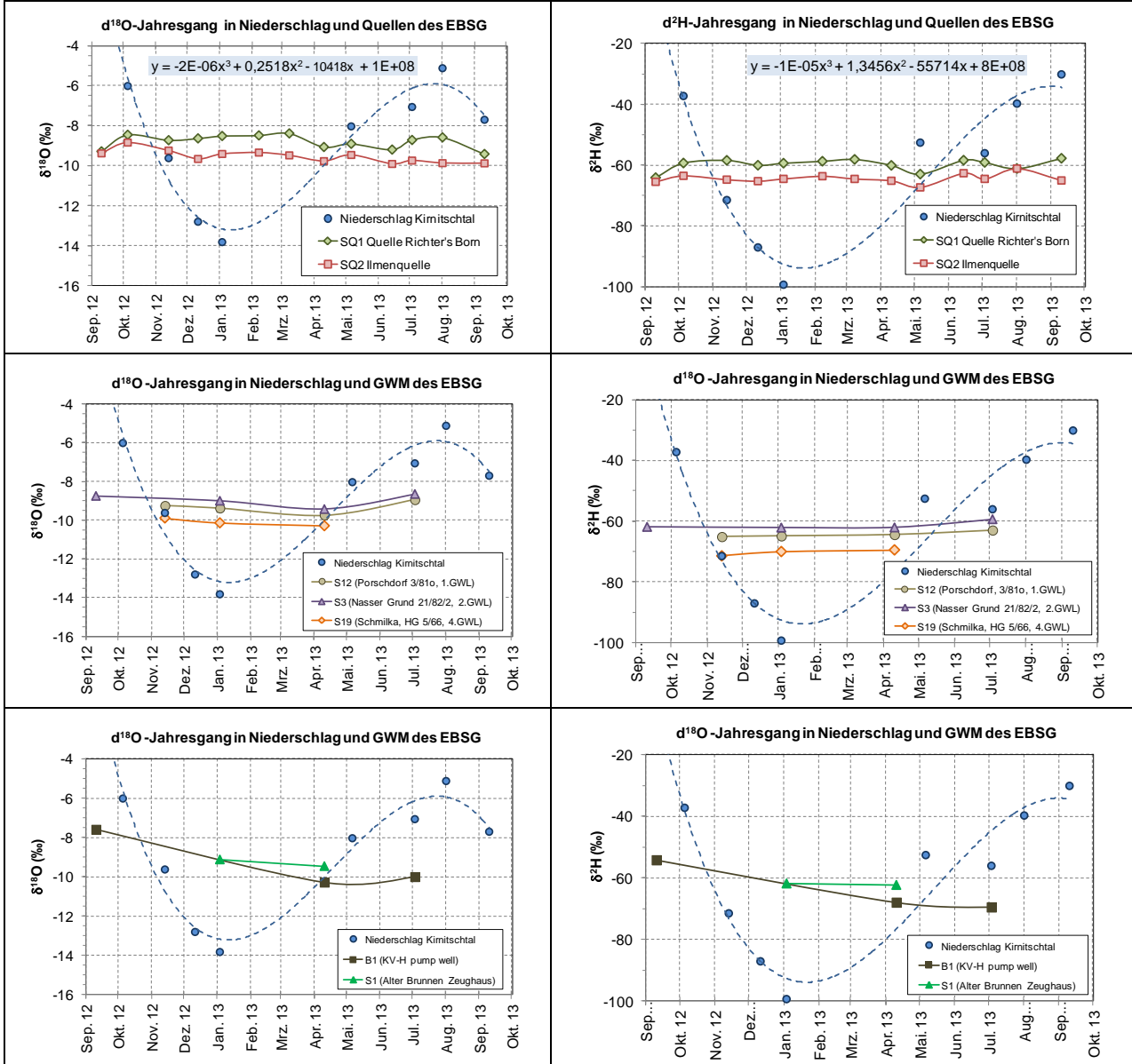
Vývoj $\delta^{18}\text{O}$ u pramenů obou zájmových oblastí rovněž nevykazuje žádnou jednoznačnou amplitudu, která by umožňovala pomýšlet na souvislost s krátkodobým vnosem srážkové vody.

Tato pozorování umožňují závěr, že u signatur izotopů podzemních vod a vod z pramenů (viz obr. 2 a 3) dochází k „vyhlazení“ přimíšením starší/hlubší vody s velmi malými obsahy ^{18}O a ^2H . Dále je třeba vzít

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

v úvahu, že signatura stabilních izotopů vykazuje vysokou prostorovou variabilitu, která může v rámci relativně velkého území, kde dochází k tvorbě nové podzemní vody, popřípadě vést i k lokálním efektům.

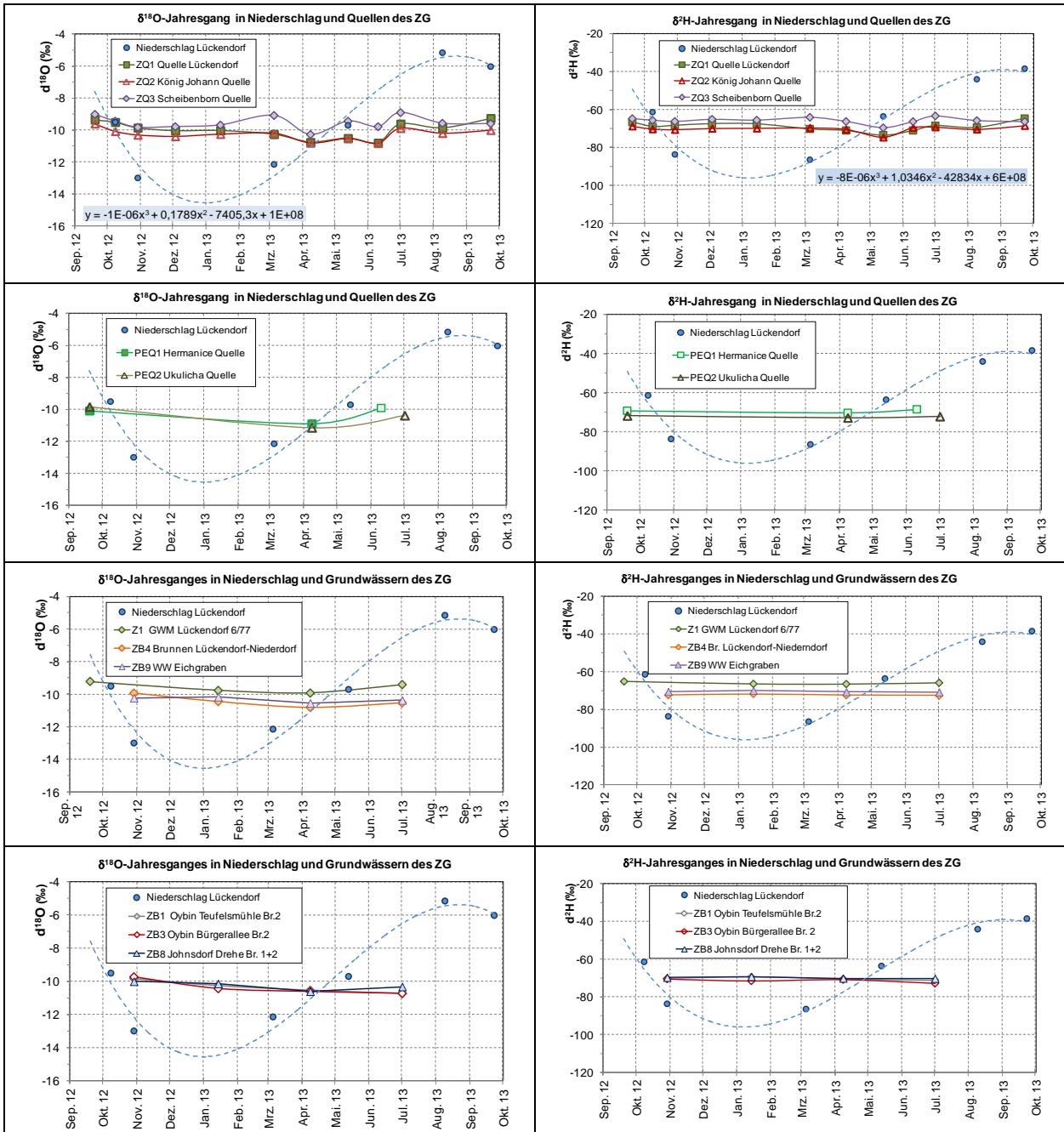


Obr. 2: Porovnání signatur izotopů d^{18}O a d^2H u srážek (korigovaná roční průběhová křivka měsíčních vzorků) a vzorků vod z pramenů a podzemních vod pro zájmovou oblast Česko-saské Švýcarsko

d^{18}O - Jahresgang im Niederschlag und GWM des EBSG = roční průběhová křivka d^{18}O ve srážkách a na měřicích stanicích podzemních vod EBSG

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)



Obr. 3: Porovnání signatur $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ u srážek (korigovaná roční průběhová křivka měsíčních vzorků) a vzorků vod z pramenů a z podzemních vod pro zájmovou oblast Lužické hory

Zjištění podílu srážkové vody ve vodách pramenů a v podzemních vodách

V dalším kroku hodnocení měly být vypočteny podíly srážkové vody v podzemních vodách a ve vodách z pramenů. Za tímto účelem byl proveden dvoukomponentní výpočet míšení. Tento postup je založen na hypotéze, že se podzemní vody skládají vždy z jednoho podílu (faktor f_1) komponenty srážková voda

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

(vstupní signál 1) a z jednoho podílu (faktor f2) komponenty hluboká, starší podzemní voda (vstupní signál 2).

Jako vstupní signál 1 byly definovány příslušné korigované roční průměry izotopových signatur srážek, jako vstupní signál 2 podzemní voda, resp. voda z pramenů s nejvíce negativním poměrem $\delta^{18}\text{O}$, resp. $\delta^2\text{H}$ (tab. 1).

Tab. 1: Vstupní signály pro výpočet míšení ke zjištění podílu srážkové vody ve vodách z pramenů a v podzemních vodách

Zájmová oblast	Lužické hory		Česko-saské Švýcarsko	
definice signálu	vstup. signál 1:	vstup. signál 2:	vstup. signál 1:	vstup. signál 2:
místo odběru (měř.st.)	korig. roč. průměr srážek	PEQ2 pramen Ukulica	korig. roč. prům. srážek	S19 Schmilka, HG 5/66
$\rho^{18}\text{O}$	-9,3‰	-10,5‰	-8,8‰	-10,1‰
$\rho^2\text{H}$	-63,0‰	-72,3‰	-59,2‰	-70,3‰

Zájmová oblast	Lužické hory		Česko-saské Švýcarsko	
Definice signálu	vstup. signál 1:	vstup. signál 2:	vstup. signál 1:	vstup. signál 2:
Místo odběru (měř. st.)	korig. roč. průměr srážek	PEQ2 pramen Ukulica	korig. roč. průměr srážek	S19 Schmilka, HG 5/66
$\delta^{18}\text{O}$	-9,3 ‰	-10,5 ‰	-8,8 ‰	-10,1 ‰
$\delta^2\text{H}$	-63,0 ‰	-72,3 ‰	-59,2 ‰	-70,3 ‰

V zájmové oblasti Česko-saské Švýcarsko jsou obzvláště nápadné vysoké podíly srážek ve vzorcích pramenu Richters Born a měřicí stanice Nasser Grund, což poukazuje na větší zkratovité proudění/pukliny v pískovci, resp. na polohu pramene/měřicí stanice v horní části zvodně s velkou mocností. Pro měřicí stanici Nasser Grund bylo kromě toho výsledkem geofyzikálních analýz zjištění, že chybí izolace mezikružního prostoru vrtu v hloubce mezi 6 a 10 m pod terénem. Tato okolnost by mohla rovněž vysvětlovat vysoký podíl srážek, protože v důsledku chybějící izolace zřejmě může srážková voda pronikat přímo do pozorovacího vrtu. U pramene Ilmenquelle se naopak zdá, že obsahuje s podílem srážek 47 % relativně velké podíly hlubinné vody. V zájmovém území Lužické hory obsahují studny Městských služeb Zittau a společnosti SOWAG téměř výlučně hlubinnou podzemní vodu, která vykazuje delší doby setrvání, takže je dobře chráněna před povrchovými vlivy. Výjimky zde představují vrt Lückendorf 6/77 a pramen Scheibenborn, které jsou se svými podíly srážek 70 % a 68 % srovnatelné s výše uvedeným pramenem a vrtem v Česko-saském Švýcarsku, když jsou díky své vysoké poloze ve zvodni a eventuální větší rozpukanosti pískovce pravděpodobně v intenzivnějším kontaktu se srážkovou vodou. Přehled vypočtených podílů srážkové vody, teoretické polohy oblastí tvorby nové podzemní vody (výška terénu) a tendence doby setrvání podzemní vody u měřicích stanic a pramenů obou zájmových oblastí je možno nalézt v tabulce 2. Velmi zajímavé jsou např. oblasti tvorby nové podzemní vody vypočítané z izotopových signatur, zde vyjádřené formou jejich výškové polohy v terénu. Tento výsledek velmi dobře koresponduje s hydrogeologickými poznatky pro obě zájmové oblasti. Tak je např. oblast tvorby nové podzemní vody pro měřicí stanici „Arteser Schmilka, WISMUT“ reprezentována výškovým údajem 719 m n. m. Tato měřicí stanice leží v Česko-saském Švýcarsku charakteristickým etážovitou strukturou (vertikální sled vícero zvodní a izolátorů), a to na pravém břehu Labe v nejhlubší (cenomanské) zvodni.

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Tab. 2: Přehled zjištěných poměrů pro stabilní izotopy, vypočtené podíly srážek, vypočtenou polohu oblastí tvorby nové podzemní vody (terénní výška) a tendenci doby setrvání podzemní vody

Místo odběru -Biotop	Název měř. stanice	Naměřené hodnoty				z $\tau^{18}\text{O}$ a $\tau^2\text{H}$ vypočtený prům. podíl srážek	z $\tau^{18}\text{O}$ a $\tau^2\text{H}$ výška oblastí tvorby nové (m n m.)	Tendence prům. doba setrvání podz. vody
		$d^{18}\text{O}$ (‰)	STABW	$d^2\text{H}$ (‰)	STABW			
Zájmové oblasti Česko-saské Švýcarsko								
SQ1-3	Lichtenhain, Quelle Richter's Born	-8,8	0,3	-59,8	1,9	97%	253 m ü NN	krátká
SQ2-3	Schmilka, Ilmenquelle	-9,5	0,3	-64,5	1,5	48%	488 m ü NN	střední
S12-2	Porschdorf, 3/81 o	-9,3	0,3	-64,4	1,0	56%	449 m ü NN	střední
S1-1	Alter Brunnen Zeughaus (SW)	-9,3	0,2	-63,9	0,3	68%	389 m ü NN	krátká-střední
B1-1	KV-H1 pump well (SW)	-9,3	1,5	-62,1	8,4	60%	430 m ü NN	krátká-střední
S3-2	Schmilka, Nasser Grund, Hy Sca21/82/2	-9,0	0,3	-61,4	1,3	84%	317 m ü NN	krátká
S19-2	Arteser Schmilka, WISMUT (51516003)	-10,1	0,2	-70,3	1,0	Def.Sign.2: 0% NS	719 m ü NN	dlouhá
Zájmové oblasti Lužické hory								
ZQ1-3	Quelle Lückendorf	-10,0	0,5	-69,0	2,3	37%	668 m ü NN	střední-dlouhá
ZQ2-3	König-Johann-Quelle	-10,3	0,4	-70,1	1,6	19%	742 m ü NN	dlouhá
ZQ3-3	Scheibenborn-Quelle	-9,5	0,4	-65,8	1,5	73%	518 m ü NN	krátká-střední
Z1-2	Lückendorf 6/77	-9,6	0,3	-66,0	0,6	70%	530 m ü NN	krátká-střední
ZB1-2	Oybin Teufelsmühle Br. 2	-10,3	0,4	-70,3	0,7	15%	760 m ü NN	dlouhá
ZB3-2	Oybin Bürgerallee Br.2	-10,4	0,5	-71,4	1,0	7%	793 m ü NN	dlouhá
ZB4-2	Lückendorf-Niederdorf	-10,4	0,5	-72,3	0,4	1%	821 m ü NN	dlouhá
ZB8-2	Johnsdorf 'Drehe 1+2'	-10,3	0,3	-69,9	0,5	20%	738 m ü NN	dlouhá
ZB9-2	WW Eichgraben 'Fass. Weißbachtal 1-16'	-10,3	0,2	-70,5	0,4	15%	762 m ü NN	dlouhá
PEQ1-3	Heřmanice pramen	-10,3	0,5	-69,4	0,9	22%	730 m ü NN	dlouhá
PEQ2-3	U kulicha pramen B	-10,4	0,5	-72,1	0,6	Def.Sign.2: 0% NS	824 m ü NN	dlouhá

Obecně k nálezům fauny

Důležitým výsledkem studie bylo – jako předpoklad pro další vyhodnocení – to, že prameny a podzemní vody v zájmové oblasti jsou osídleny živočichy s rozdílnou intenzitou. Z hlediska skladby živočichů byla nalezená společenstva typická pro prameny a podzemní vody širší geologické oblasti (STEIN ET AL., 2012). Detailní seznam druhů a taxativní klasifikace každé osídlené lokality, včetně poměru mezi stygobionty a ubikvitárními živočichy, byl realizován ve formě profilových listů.

I další nálezy z velké části potvrzují výsledky prvních kol odběru vzorků. Osídlení vrtů živočichy se ukázalo i po ukončení odběrů vzorků nadále jako početně nízké. Jen v osmi z 29 hydrogeologických vrtů vzorkovaných na faunu byli nalezeni živočichové, z toho dvě lokality ležely v oblasti Lužických hor. V téměř

všech živočichy osídlených vrtech bylo druhové složení i počet jedinců velmi chudé a poukázvalo na nevhodné životní podmínky ve vrtech. (Vrty je třeba chápat nikoli jako životní prostředí fauny podzemních vod, nýbrž pouze jako místo, kam se mohou tyto živočichové příležitostně dostat a kde je možno jejich vzorky získat.) Jedině vrty Lückendorf a Porsdorf vykázaly sice druhově chudou, ale velmi stálou, typickou faunu podzemních vod (*Graeteriella unisetigera*, tři druhy blešivců – Amphipoda). Pouze dva z deseti zjištěných pravých druhů podzemních vod, a sice *Graeteriella unisetigera* a *Cran-gonyx subterraneus*, byly exkluzivně nalezeny v hydrogeologických vrtech. Všichni ostatní se vyskytli i ve vývěrech pramenů. Nejvíce rozšířenými druhy byli stygobionti *Diacyclops langoidoides* a v jiných oblastech vzácný *Niphargellus nollii*.

Celkem bylo v rámci tohoto průzkumu nalezeno 31 druhů, z toho 10 stygobiontů. V Labských pískovcích (Česko-saské Švýcarsko) bylo nalezeno 15 druhů, z toho 6 exkluzivně pro tuto oblast. V Lužických horách bylo nalezeno celkem 25 druhů, z toho 15 exkluzivně. Zajímavý je mimo jiného nálezy velmi vzácného blešivce *Niphargellus arndti* v obou dílčích oblastech, a to jak v jednom prameni, tak i v podzemní vodě.

Větší druhová bohatost Lužických hor může mít především metodické důvody a může souviset s tím, že zde byly odběry vzorků prováděny převážně u pramenů. Ty byly všechny dobře až velmi dobře osídleny, čímž se výrazně odlišovaly od většiny vrtů podzemních vod. Stejně jako v hydrogeologických vrtech, i osídlení mnoha pramenů bylo značně ovlivněno stygobionty, přesto měla fauna jednotlivých pramenů spíše charakter povrchových vod.

Souvislosti mezi faunou a hydrochemií

Dosavadní nálezy, ať už chemické či nálezy fauny, poukazují na to, že na výsledky má velký vliv právě individuální stav hydrogeologických vrtů. Řídké a nestabilní osídlení vrtů může vysokou měrou souviset s jejich špatným stavem. Mnohé z vrtů jsou zanesené jemným kalem, zkorodované nebo zaokrované – to jsou poměry, které platí za nevhodné pro osídlení faunou, a nedají se tam proto očekávat smysluplné korelace s parametry jinými než stresovými. Výrazný je rovněž rozdíl mezi vrty dobře osídlenými a vrty na faunu chudými. Pro další vyhodnocování proto byly prameny a hydrogeologické vrty spolu se studnami (stojatá voda) posuzovány zvlášť.

Celkově nebyly mezi faunou a biotickými parametry nalezeny téměř žádné souvislosti, např. mezi podíly stygobiontů a koncentrací kyslíku (tab. 2). To je typické pro společenstva živých organismů podzemních vod, jež mohou trvale přežívat již při 1 mg/l kyslíku. Také absence korelací s dalšími hydrochemickými parametry je typická (HAHN, 2006).

Tabulka 3 ukazuje korelace mezi podíly stygobiontů, tedy pravých živočichů podzemních vod, a různými ekologickými parametry. Zde si hned všimneme toho, že ve stojaté vodě vrtů neexistují kromě množství sedimentu žádné korelace s faunou. Množství sedimentu pak překvapivě pozitivně koreluje s *podílem* stygobiontů ve fauně. Všechny ostatní veličiny fauny, především počty jedinců a druhů, vykazují negativní souvislost s množstvím sedimentu.

S přibývajícím množstvím sedimentu tedy klesá hustota osídlení a druhová bohatost. Nejspíše přežijí za takovýchto okolností ještě praví živočichové podzemních vod, ovšem v klesajícím počtu. Hned za faktorem „množství sedimentu“ stojí především okr a jemný kal: okr a jemný kal jsou považovány za sedimenty nevhodné pro život živočichů (GUTJAHR ET AL., 2013). Hlavně ubikvitární organismy stály v negativní korelaci s okry ($r = -0,394$ až $-0,653$, $p < 0,05$, nezobrazeno). Podobně tomu bylo s jemným kalem klasifikovaným obdobně jako nevhodný pro osídlení organismy. Ani v pramenech nebyly nalezeny žádné souvislosti mezi substrátem a osídlením živočichy.

Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)

Tab. 3: Souvislosti mezi podíly stygobiontů (%) a různými ekologickými parametry (Spearmanův korelační test)

Anteile Stygobionter (%)					
	Niederschlags- anteil [NS] (%)	Anzahl Tiere, gesamt	SIMPER-Fauna	O ₂ (mg/l)	Sediment (ml)
Alle Proben	r = 0,510 p = 0,002 n = 35	r = -0,296 p = 0,068 n = 39	r = 0,448 p = 0,004 n = 39	r = -0,234 p = 0,158 n = 38	r = 0,205 p = ,253 n = 33
GW-Messtellen	r = 0,208 p = 0,516 n = 12	r = -0,326 p = 0,217 n = 16	0,229 p = 0,394 n = 16	r = 0,165 p = 0,557 n = 15	r = 0,690 p = 0,013 n = 12
Quellen	r = 0,499 p = 0,015 n = 23	r = -0,048 p = 0,828 n = 23	r = 0,599 p = 0,003 n = 23	r = 0,218 p = 0,317 n = 23	r = 0,218 p = 0,317 n = 23

Anteile Stygobionter = podíly stygobiontů

alle Proben = všechny vzorky

GW-Messtellen = měřicí stanice podzemních vod

Quellen = prameny

Niederschlagsanteil = podíl srážek

Anteil Tiere, gesamt = podíl živočichů, celkem

Dále existuje pozitivní souvislost mezi stabilitou fauny měřicích stanic (podobnost podle SIMPERa) a podílem fauny podzemních vod. Podobnost podle SIMPERa stojí současně v negativní korelaci vůči podílům druhů ubikvitárních živočichů, formám nikoli vázaným na podzemní vody. To znamená, že lokality se stabilní faunou jsou osídleny převážně druhy podzemních vod, oproti tomu nestabilní jsou osídleny organismy pro podzemní vody cizími. Biotopy podzemních vod jsou považovány za stabilní (GIBERT & DEHARVENG, 2002), v důsledku čehož zde také lze očekávat stabilní společenstvo s přednostním výskytem druhů podzemních vod.

Dosavadní výsledky ukazují, že hydrogeologické vrty jsou živočichy osídleny co do počtu jedinců i druhů podstatně řídkěji než prameny. Zda v podstatě absentující osídlení vzorkovaných podzemních vod Lužických hor živočichy odpovídá skutečným poměrům, není příliš jasné. Významným důvodem pro absenci fauny v mnoha měřicích stanicích se zdá být jejich špatný stav (viz výše). Především zanesení okrem je považováno za velmi nepříznivé pro osídlení faunou. Další příčinou by mohla být hloubka vrtů, která je především v Lužických horách značná.

I když není fauna pramenů reprezentativní pro podzemní vody určitého regionu (MATZKE, 2006), přesto ukazují nálezy této studie, že minimálně podpovrchová podzemní voda je živočichy dobře osídlena. Současně tyto nálezy podporují domněnku, že absence živočichů v mnoha měřicích stanicích podzemních vod neodráží skutečné poměry, nýbrž že původ těchto výpadků má zřejmě metodické kořeny.

Nálezy po ukončení odběru vzorků a vyhodnocení umožňují usuzovat na to, že zjištěná společenstva jsou typická pro podzemní vody a prameny saských „středohorských“ regionů. Stejně jako v jiných regionech se zdá být i zde osídlení živočichy ovlivněno intenzitou vstupu povrchových vod.

Celkem bylo zjištěno 31 druhů živočichů, z toho 10 pravých druhů podzemních vod. Rozdíly ve fauně mezi oběma zájmovými oblastmi, především absence živočichů ve většině hydrogeologických vrtů v Lužických horách, mají zřejmě spíše metodické příčiny než příčiny související s daným přírodním prostorem. Fauna je, obdobně jako chemické složení ovlivněna typem vrtu, především ale individuální lokalitou. Určitou roli přitom může hrát především neoptimální stav mnoha hydrogeologických vrtů.

Parametry fauny se v mnohých ohledech překrývaly s údaji odborné literatury. Povšimnutí si zasluhují především korelace mezi izotopy a faunou, i když se pozorované souvislosti momentálně dají jen obtížně vysvětlit. Vykreslují se zde zajímavé perspektivy pro bioindikaci podzemních vod, zjištění, jehož další sledování by se vyplatilo.

Další podrobnější ekologické průzkumy k hydrologii zájmových oblastí by se měly intenzivněji zaměřit hlavně na prameny. Fauna pramenů je významně stáležší a druhově bohatší než fauna hydrogeologických vrtů, korelace mezi faunou a biotickými parametry jsou zde mnohem silnější.

Závěry

V rámci projektu GRACE byly poprvé ve dvou přeshraničních česko-saských oblastech provedeny průzkumy fauny podzemních vod v hydrogeologických vrtech a pramenech. Tím také bylo poprvé provedeno ekologické hodnocení podzemních vod a pramenů s pomocí nástroje bioindikace. Získané poznatky ohledně silné závislosti mezi charakterem, resp. stavem odběrové lokality a jejím osídlením živočichy umožňují formulovat důležitá metodická upozornění pro výběr reprezentativních odběrových lokalit pro budoucí zkoumání fauny podzemních vod, což jde nad rámec přímého přínosu pro projekt GRACE.

Existující osídlení podzemní vody živočichy a zčásti velmi dobré a bohaté osídlení pramenů živočichy ukazují na principiálně dobré životní podmínky pro faunu podzemních vod v podzemní vodě obou zájmových oblastí, a tedy na dobrou kvalitu podzemní vody.

Výsledky průzkumů jakosti podzemní vody vedou k aktualizaci stavu poznatků v této oblasti poznání. Rozšiřují tak souhrn již existujících údajů k jakosti a vlastnostem podzemní vody, které jsou k dispozici pro hodnocení.

Stabilní izotopy ^{18}O a ^2H byly pro dané zájmové oblasti stanovovány poprvé. Přinášejí poznatky k dynamice a míšení podzemních vod uvnitř i mezi různými kolektory ve sledovaných oblastech. Jsou tak důležitou součástí pro porozumění systémovému hydrogeologickému a geohydraulickému režimu zájmových oblastí.

Literatura

GIBERT, J. & DEHARVENG, L. (2002) Subterranean Ecosystems: A truncated functional Biodiversity. *BioScience*, 52, 6, 473–481.

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

HAHN, H.J. (2006) A first approach to a quantitative ecological assessment of groundwater habitats. The GW-Fauna-Index. *Limnologica*, 36 (2): 119–137.

MATZKE, D. (2006) Průzkumy k chování fauny podzemních vod na plochách starých ekologických zátěží s předchozím porovnáním různých technik sběru. Disertace Universita Koblenz-Landau, 229 s.

MIBUS, H.P. (2008) Podzemní voda v Labských pískovcích. Brožura se sděleními pracovní skupiny Saské Švýcarsko v zemském spolku Sächsischer Heimatschutz e. V.; sešit 7: 3–18.

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.