

Problematika starých podzemních vod v hydrogeologických rajonech 4410 Jizerská křída pravobřežní a 4522 Křída Liběchovky a Pšovky

JAKUB MAREŠ, MARTIN SLAVÍK, JOSEF VOJTĚCH DATEL

Klíčová slova: podzemní voda — česká křídová pánev — zdroj pitné vody — datování — tritium — kvantifikace zdrojů vody — ochrana povrchových a podzemních vod — konceptuální model

ABSTRAKT

Článek přibližuje projekt Technologické agentury ČR, který se zabývá problematikou starých podzemních vod v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522. Cílem příspěvku je na základě rešerše předchozích prací podat stručnou hydrogeologickou charakteristiku zájmové oblasti, představit dosavadní výsledky po prvním roce řešení projektu a popsat nejistoty stávajících informací. Staré podzemní vody, jež mají zanedbatelné koncentrace tritia, se dají považovat za strategický zdroj, protože jsou méně náchylné k současné kontaminaci. Za účelem kvantifikace využitelného množství těchto vod je pravidelně měřena vydatnost pramenů s nízkou koncentrací tritia. Zároveň byly odebrány vzorky vody z nejvýznamnějších vodárenských zařízení v oblasti. U nich je zjišťováno chemické složení a aktivita tritia a změřeny byly i fyzikálně-chemické parametry. Na základě známých průběhů hladin, litologie a naměřených hodnot byl nastíněn koncepční model proudění této staré vody, který bude s využitím nově získaných poznatků v průběhu projektu nadále ověřován a doplňován. Vzhledem k relativně nízké konduktivitě starých vod se dá očekávat, že se voda infiltrovala v místech bez výchozů vápnatých pískovců, jelikož rozpuštěný karbonát by konduktivitu výrazně zvyšoval. Proto předpokládáme infiltraci v okolí Bezdězu, kde jsou výchozy křemenných pískovců. Odtud voda proudí směrem k pramenům a jímacím objektům, kde se navíc – zejména ve spodních částech blíže k významným drenážním oblastem (vodní tok Jizery, resp. Labe) – může ředit přetokovou vodou z cenomanského kolektoru. Přesto se v oblasti vyskytují místa, která nejsou plně v souladu s tímto předpokladem, a původ těchto vod je také předmětem dalšího výzkumu. Následující fáze projektu se zaměří na detailní analýzu stárí vod pomocí dalších stopovačů, jako jsou freony nebo SF₆. Tyto informace povedou k lepšímu pochopení proudění v nejvýznamnější hydrogeologické struktuře v České republice.

ÚVOD

Česká republika je poměrně bohatá na zdroje podzemní vody. Většina jímané vody má krátkou dobu oběhu (typicky první desítky let). Při potenciální katastrofické události velkého rozsahu nemohou tyto malé vodárenské zdroje sloužit pro zásobování pitnou ani užitkovou vodou.

Fosilní vody, odříznuté od současného hydrologického cyklu, mají obvykle nízkou kvalitu a limitované zásoby, protože se nedoplňují. V části české křídové pánve však existují také aktivně proudící vody s dobou zdržení nejméně 70 let a v některých případech i výrazně více, na což upozornil projekt „*Rebalance zásob podzemních vod*“ [1, 2]. Tyto vody s relativně delší střední dobou zdržení nadále v příspěvku nazýváme „staré vody“. Jmenovitě jde o dva křídové hydrogeologické rajony 4410 Jizerská křída pravobřežní a 4522 Křída Liběchovky a Pšovky.

Tento článek informuje o zpracování hydrogeologické problematiky těchto částí české křídové pánve v rámci projektu č. SS06010268 „*Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522*“.

V rámci projektu bude oblast detailně charakterizována z hydrogeologického hlediska. O těchto vodách existuje relativně malý počet informací, často se jedná o odborné odhady, které je třeba ověřit. Ačkoli jde o významnou akumulaci kvalitních podzemních vod – v oblasti jsou např. významná jímací území Řepín a Bělá –, dosavadní analýzy pocházejí jen z několika pramenů. Nejistoty jsou i kolem využitelného množství těchto vod a místa jejich infiltrace. Cílem projektu je tyto nejistoty odstranit a vyřešit. V současné fázi jsou o zájmové oblasti shromážděny dostupné literární a datové zdroje a je prováděn terénní sběr dat a vzorkování pro již probíhající či dokončené hydrochemické a tritiové analýzy podzemní vody. Cílem článku je na základě rešerše předchozích prací podat stručnou hydrogeologickou charakteristiku zájmové oblasti, představit dílčí výsledky z měření průtoků a odběru vzorků a popsat aktuální nejistoty stávajících informací.

POPIS OBLASTI A METODIKA

Pro získání ucelené představy současného stavu poznání o zájmové oblasti byly doposud shromážděny dostupné relevantní informační zdroje. Jde o stratigrafické korelační řezy, hydraulické modely proudění podzemní vody, hydrochemické rozborů a výsledky datování podzemní vody. V rešeršní části příspěvku představujeme základní koncept proudění podzemní vody zformulovaný v předchozím projektu „*Rebalance zásob podzemních vod*“ [1,2], který bude následně v rámci projektu – s využitím nově získaných dat a poznatků – ověřen, kriticky zhodnocen, případně doplněn či změněn.

Na základě rešerše literatury, archivních dat tritiových analýz [1–3] a měření termometrie [4] byly vybrány objekty (prameny, vrty) pro vzorkování a monitoring (hydrochemické analýzy, datovací techniky, vydatnost).

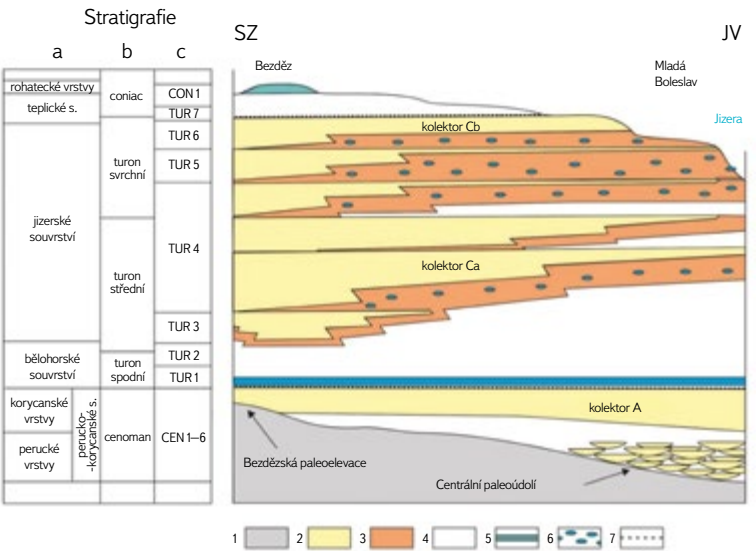
Základní geologická a hydrogeologická charakteristika
zájmové oblasti

V tomto oddíle je pro zájmovou oblast (obr. 1) popsána základní geologie a hydrogeologie. Území spadá zčásti do hydrogeologického rajonu 4410 (Jizerská křída pravobřežní), který tvoří přechodní facii mezi většinou písčitým vývojem na ZSZ od Jizery a převážně jílovitým vývojem na VJV od Jizery. Je zde významný výskyt vápnitých a kvádrových pískovců středního až svrchního turonu jizerského souvrství [5, 6]. Druhým hydrogeologickým rajonem v oblasti je 4522 (Křída Liběchovky a Pšovky), který je také hydrogeologicky nejvýznamnějším kolektorem jizerského souvrství, jež se směrem nahoru zhrubuje z vápnitých prachovců a slínovců až po hrubozrnné kvádrové pískovce s polohami slepenců [2]. Třetím rajonem v oblasti je 4720 Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe. Z hydrogeologického hlediska však nemusí jít o izolovaný rajon a může docházet k přetokům z horních rajonů do spodního a obráceně skrze izolátory či poloizolátory [7].

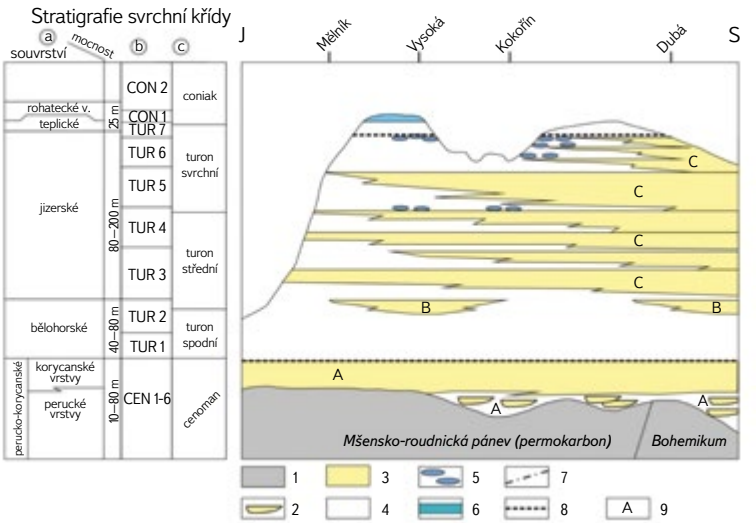


Obr. 1. Mapa zájmové oblasti s vyznačením obou rajonů (červené hranice). V mapě jsou tenkými černými úsečkami znázorněny linie řezů zobrazených na obr. 5 a 6. Upraveno podle mapy.geology.cz
Fig. 1. Map of the area of interest showing the two hydrogeological regions (red borders). The map shows the cross sections (thin black lines) depicted in Figs. 5 and 6. Adapted from mapy.geology.cz

V zájmové oblasti je litostratigraficky vyčleňováno (od nejstarších) perucko-korycanské, bělohorské, jizerské, teplické souvrství a rohatecké vrstvy, a to stář cenoman až coniac. Mladší křídová souvrství se nezachovala. Stratigrafii zájmové oblasti rajonu 4410 v řezu od SZ (Bezděz) k JV (Mladá Boleslav, Jizera) dobře dokumentuje obr. 2, na kterém je uvedeno stratigrafické schéma dle litostratigrafie (souvrství), chronostratigrafie (stář) a genetické stratigrafie [8]. Na obr. 2 jsou taktéž vymezeny kolektory A (cenoman) a C (turon) s rozdělením na subkolektory Ca a Cb (v některých pracích je ještě uváděn i subkolektor Cc [1, 4]). Stratigrafii v rajonu 4522 dobře dokumentuje řez od J k S na obr. 3.



Obr. 2. Stratigrafické schéma a kolektory rajonu 4410 aplikovatelné pro zájmovou oblast. 1 – Horniny podloží křídý; 2 – Pískovce křemenné; 3 – Pískovce vápnité; 4 – Slínovce, jílovce, prachovce; 5 – Mikritické vápence; 6 – Konkrecionální polohy vápenců; 7 – Glaukoniticko-fosfátový horizont na erozivní ploše; a – litostratigrafie [9]; b – chronostratigrafie; c – genetická stratigrafie [8]. Převzato z [1]
Fig. 2. Stratigraphy and aquifers of region 4410. 1 – Cretaceous bedrock; 2 – Quartz sandstone; 3 – Calcareous sandstone; 4 – Marlstone, siltstone, claystone; 5 – Micrite limestone; 6 – Concretion limestone; 7 – Glauconite-phosphate horizon; a – lithostratigraphy [9]; b – chronostratigraphy; c – genetic stratigraphy [8]. Modified after [1]



Obr. 3. Stratigrafické schéma a kolektory rajonu 4522. 1 – Horniny podloží křídý; 2 – Pískovce ve výplni fluvialních koryt; 3 – Pískovce; 4 – Prachovce, jílovce, slínovce; 5 – Polohy vápenců; 6 – Silicifikované slínovce; 7 – Významné tektonické zóny; 8 – Glaukoniticko-fosfátový horizont na erozivní ploše; 9 – Označení kolektoru podzemních vod; a – litostratigrafie [9]; b – genetická stratigrafie [8]; c – chronostratigrafie. Převzato z [2]
Fig. 3. Stratigraphy and aquifers of region 4522. 1 – Cretaceous bedrock; 2 – Fluvial channel sandstone; 3 – Sandstone; 4 – Marlstone, siltstone, claystone; 5 – Limestone; 6 – Silicified claystones; 7 – Tectonic zones; 8 – Glauconite-phosphate horizon; 9 – Aquifers. a – lithostratigraphy [9]; b – genetic stratigraphy [8]; c – chronostratigraphy. Modified after [2]

Perucko-korycanské souvrství (střední až svrchní cenoman) není litologicky homogenní a reprezentuje klastické sedimenty fluvialních, estuarinních a mořských sedimentačních režimů. Z hydrogeologického hlediska jsou důležité mořské křemenné pískovce, jež zde tvoří bazální kolektor označovaný jako A. Jde většinou o napjatý kolektor, který vystupuje na povrch pouze v úzkém pásu podél lužického zlomu. Voda se do něj infiltruje buď přímo v místech výstupu na povrch, nebo přetokem ze svrchnějších kolektorů. Generelní směr proudění vody je od lužického zlomu JJZ směrem k Labi, kde se voda drénuje. Mocnost souvrství je proměnlivá, okolo Bezdězu 10–15 m a směrem k S a JV narůstá.

Bělohorské souvrství (spodní až střední turon, genetická stratigrafie TUR1 a TUR2) bylo v rámci projektu „*Rebalance zásob podzemních vod*“ vymezeno jako pelitický interval (slínovce, prachovité slínovce, vápnité prachovce) v rajonu 4410 s mocností 80–120 m. Pelity jsou interpretovány jako hydrogeologický izolátor A/C [9]. V rajonu 4522 je bělohorské souvrství tvořeno převážně slínovci, na S vápnitými prachovci až prachovci; na povrch vychází pouze v údolí Liběchovky na SZ rajonu 4522 [2].

Hranice mezi bělohorským a nadložním jizerským souvrstvím je konvenčně kladena do úrovně prvního výskytu vápnitých pískovců s polohami konkrecionálních vápenců. Jizerské souvrství (střední až svrchní turon, TUR3 až TUR6) je v zájmové oblasti vyvinuto převážně v křemenných pískovcích a jílovito-vápnitých pískovcích, je plošně nejrozsáhlejší a představuje vodohospodářsky velmi důležitý kolektor podzemních vod označovaný jako kolektor C. Ten je ovšem poměrně rozštěpen a tvoří několik progradčních cyklů TUR3 až TUR6, rozdělených do subkolektorů Ca, Cb, Cc [8]. Toto štěpení je patrnější na V, zatímco na Z rajonu 4410 je jizerské souvrství tvořeno v celé mocnosti téměř výhradně křemennými pískovci kolektoru C (obr. 2). U hranice s rajonem 4521 (na JZ oblasti) se ve spodní části kolektoru C (pod TUR3) vyskytuje v rajonu 4410 anomální vývoj dvou až tří ostře omezených vrstev hrubozrnných pískovců o mocnosti 10–30 m, což zvyšuje celkovou mocnost kolektoru až o 50 m. V rámci celé pánve jde přitom o ojedinělý jev. Báze TUR5 má zvýšené obsahy karbonátu a tvoří regionální izolátor v rámci kolektoru C, přičemž nad izolátorem se místy tvoří zavěšené zvodně. Celková mocnost jizerského souvrství v JZ části rajonu 4410 je okolo 200 m, na SSV se postupně snižuje. V rajonu 4522 je ve spodních až 80 m jizerské souvrství v aleuropelitickém vývoji označované jako izolátor A/C, směrem na sever se tato mocnost snižuje na 10 m a narůstá postupně mocnost křemenných pískovců. V pramenné oblasti Liběchovky je mocnost jizerského souvrství 170 m [2].

Teplické souvrství (svrchní turon až coniac) v izolovaných výskytech překrývá jizerské souvrství v relikttech u Bukovna, Bezdězu a Bakova nad Jizerou. V rajonu 4410 tvoří tmavošedé vápnité jílovce s mocností do 25 m. V horním Pojizeří nebyly zaznamenány rohatecké vrstvy, v okolí Bezdězu se nacházejí jílovité sedimenty označované jako teplické a brezenské souvrství nečleněné. V rajonu 4522 tvoří teplické souvrství velmi omezené relikt prachovců a vápnitých prachovců.

Tektonická deformace oblasti je minimální, s výjimkou S části u lužické zlomové zóny. Obecně jsou křídové vrstvy porušeny zlomovými systémy směru SZ-JV, SSV-JJZ až SV-JZ. V oblasti jižně od Dubé a v okolí Housky se pravděpodobně nachází zlomové porušení na několik oddělených ker. Západní část rajonu 4410 je uložena téměř subhorizontálně, směrem na V s přechodem do mírně ukloněné křídové kry k V a JV. Skrze sedimenty pronikají izolovaná tělesa alkalických vulkanitů, např. Malý a Velký Bezděz.

V zájmovém území se nacházejí dva významné hydrogeologické kolektory: kolektor A (perucko-korycanské souvrství) a kolektor C (jizerské souvrství, dělen na Ca, Cb, Cc). Lokálně se v údolí Strenického potoka vyskytuje i kolektor BC, přecházející laterálně do izolátoru.

Z vodohospodářského hlediska je nejvýznamnější kolektor C, navázaný na pískovce jizerského souvrství, pokrývající skoro celé území rajonu 4410 s výjimkou jeho SZ a J okraje. Zvodněná mocnost kolektoru C je nejvyšší v Z části (170–190 m) a směrem k okrajům rajonu 4410 klesá. Propustnost kolektoru je puklinově-průlinová, obecně směrem k V klesá [1].

Pouhé dělení na kolektory A, C a izolátor B však může být dle aktuálních poznatků příliš zjednodušující [8]. Např. kolektor C je ve skutečnosti ve východní části rajonu 4410 rozdělen polohami prachovců a vápenců na minimálně dva až tři subkolektory Ca, Cb, Cc [1, 8], přičemž bazální artéský subkolektor Ca hydrogeologicky komunikuje s povrchem jen vrty či nevýznamnými netěsnostmi artéského stropu, zatímco střední subkolektor Cb má volnou hladinu a je drénován do povrchových toků. Subkolektor Cc má nesouvislé zvodnění a jde o zavěšenou zvodeň. Tato poměrně složitá situace se projevuje např. tím, že na pravém břehu Jizery je různá úroveň hladiny podzemní vody v závislosti na hloubce vrtů, ačkoli se ve všech případech jedná o „kolektor C“. Mělké vrty (do 50 m) do sekvence TUR5 a TUR6 (subkolektor Cb) mají hladiny blízko terénu, spojené s kvartérním kolektorem jizerských teras. Oproti tomu hluboké vrty (100–150 m) do TUR4 (subkolektor Ca) vykazují hladiny o 5–7 m nad úrovní mělkých vrtů. I když je převážná část oběhu podzemních vod navázána pravděpodobně na subkolektor Cb, v jižní části rajonu 4410 je proudění významné jen v TUR 4 [1]. Tuto značnou prostorovou proměnlivost je tedy třeba zvažovat a rozlišovat, pakliže hovoříme o „kolektoru C“. Schematické geologické řezy na obr. 2 a 3 navíc naznačují, že kolektor C je rozdělen do 5–7 pískovcových vrstev, tudíž těchto subkolektorů může být často ještě více než tři.

Podle archivních analýz tritia [1–3] lze vody s nízkou aktivitou tritia nalézt především v J části rajonu 4410 (jižně od Bělé), a to jak v pramenech, tak ve vrtech. Prameny v povodí Strenického potoka měly hodnoty pod 2 TU, vrty pak pod 1 TU. V povodí Bělé byly nízké hodnoty tritia zjištěny v okolí bělských papíren (2,7 TU), Mukařova a Mnichova Hradiště (pod 4 TU). Dle těchto hodnot (s uvážením doby měření okolo roku 2014 a postupného rozpadu tritia) se jedná o objekty se směsí mladé vody s vodou infiltrovanou před rokem 1950. Obecně jde především o objekty v povodí Strenického potoka (celková vydatnost objektů cca 150 l/s) a Bělé (vydatnost cca 50 l/s). Naopak vyšší hodnoty aktivity tritia (5–7 TU) jsou běžné pro prameny v S a V části rajonu, ale vyskytují se i v povodí Bělé.

V rajonu 4522 v povodí Liběchovky byla aktivita tritia podle archivních analýz velmi proměnlivá od 0,9 do 9,2 TU, ovšem bez vztahu k poloze v povodí. V okolí Nedamova na horní Liběchovce byla zjištěna nízká aktivita tritia v pramenech (pod 4 TU). Pramen s nižší hodnotou tritiové aktivity se nachází také na dolní Liběchovce v Liběchově (Boží voda). V horní části povodí Pšovky byla tritiová aktivita v pramenech okolo 4–6 TU. Nízkou aktivitu tritia měl však pramen Stříbrník (> 10 l/s; 2,8 TU). Nižší aktivitu měly i některé jímání vrty v horní části Řepínského dolu [2, 3]. V tomto rajonu tak část objektů vykazovala značnou střední dobu zdržení s převahou vod infiltrovaných před rokem 1950. Dle archivních ojedinělých analýz pomocí dalších environmentálních stopovačů (radiouhlík, freony, SF₆) se střední doba zdržení vod v oblasti horní Liběchovky a Pšovky pohybuje v řádu vyšších desítek let až přes 100 let. Celkový průtok vod dlouhého oběhu v celé zájmové oblasti byl odhadnut na nejméně 250 l/s [2].

Měření fyzikálně-chemických parametrů a odběr vzorků pro analýzy tritia

Za účelem ověření vydatnosti starých vod bylo v roce 2023 odebráno 11 vzorků pro analýzu přítomnosti tritia ze sledovaných profilů na pramenech, Strenickém potoce a z dalších pramenů. V roce 2024 byla vzorkována největší jímací území. Ve spolupráci s VaK Mladá Boleslav byly odebrány všechny jímání vrty s vyšší vydatností v povodí Bělé (11 vzorků). Tyto vrty jímají celkově asi 140 l/s a minimálně u části vod je podle nízké mineralizace a výjimečně dobré jakosti pravděpodobné, že jde o staré vody. Ve spolupráci s Vodárnami Kladno – Mělník byly odebrány všechny používané vrty v jímacím území Řepínský důl (41 vzorků). Celkové současné jímání je přibližně 300 l/s a starší studie ukazují, že by se mohlo v některých objektech jednat o staré vody [1, 2]. U všech vzorkovaných objektů byly v terénu v průtočné cele bez kontaktu s atmosférou měřeny fyzikálně-chemické parametry vody – konduktivita, teplota, pH, oxidačně-redukční

potenciál a koncentrace rozpuštěného kyslíku. U části vzorků bylo analyzováno chemické složení. Vzorky určené ke zjišťování aktivity tritia jsou v současné době analyzovány. Sledované objekty jsou uvedeny na mapě v obr. 4.



Obr. 4. Mapa sledovaných objektů (Zdroj: cukz.cz)

Fig. 4. Map of monitored sites (Based on cukz.cz)

Měření průtoků

Během prvního půlroku řešení projektu bylo na základě archivních dat o koncentracích tritia vytipováno deset míst pro monitoring průtoku. Vybraná místa reprezentují prameny s nízkou aktivitou tritia, a tedy vyšším stářím, a dva profily na Strenickém potoce, jež vymezují meziúsek dotovaný výhradně prameny s nízkou aktivitou tritia. Zhruba v měsíčním intervalu byl měřen průtok, a to buď metodou ředění pomocí NaCl s automatickým záznamem konduktivity z použitých konduktometrů WTW, nebo výpočtem z času plnění nádoby o známém objemu. První lokalita monitoringu je na Strenickém potoce v Krnsku před ústím do Jizery. Strenický potok je z většiny dotován základním odtokem z hlubších zón kolektoru C, příp. B, a jeho průtok je relativně stálý v čase. Jde o hlavní tok drénující oblasti s prameny s dlouhou střední dobou zdržení na základě starších analýz aktivity tritia. Během návštěv je tu prováděno měření průtoku metodou ředění za pomoci NaCl.

Druhá lokalita je Strenický potok u obce Cetno, která se nachází nad dvěma prameny vod s nízkou koncentrací tritia. Zde je průtok měřen nárazově metodou ředění. Třetí lokalita je výtok z vodárny u obce Cetno. Tato voda má dle předchozích analýz taktéž nízkou aktivitu tritia. Průtok je tu měřen nárazově metodou ředění. Čtvrtá lokalita je pramen PP0230 monitorovaný v současnosti ČHMÚ v obci Podkován. Tento pramen je jeden z vydatných zdrojů v prameništi Podkován s nízkou aktivitou tritia. Vydatnost prameniště dosahuje za vyšších stavů i 100 l/s. Průtok je tady počítán z času plnění nádoby o známém objemu. Pátá lokalita je Strenický potok nad Podkováňským prameništěm. Při znalosti průtoku Strenického potoka nad a pod prameništěm (rozdíl průtoku z lokalit 1 a 5) je možné určit celkovou vydatnost vod s nízkou koncentrací tritia na Strenickém potoce. Zde je měřen průtok metodou ředění. Šestá lokalitou je Velký pramen v Podkováňském prameništi. Jde o nejvydatnější zdroj v prameništi. Nachází se tu historický přepad ČHMÚ (v minulosti sledován jako PP00229), který však již ČHMÚ nemonitoruje. V rámci projektu je tady průtok měřen metodou ředění.

Sedmá lokalita se nachází u vodního toku Rokytky v blízkosti Bělé pod Bezdězem. Je to oblast s hojným výskytem pramenů, z nichž jeden – pramen Klokočka – má velmi nízkou aktivitu tritia. Průtok je tu počítán z času plnění nádoby o známém objemu. Osmá lokalita je drobný pramen s nízkým obsahem

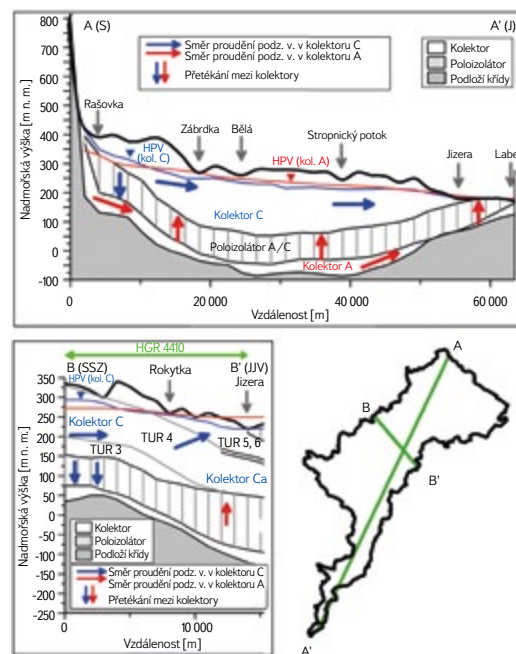
tritia u obce Nedamov na horní Liběchovce. Zde je průtok také počítán z času plnění nádoby o známém objemu. Devátá lokalita je pramenný vodní tok s nízkým obsahem tritia u obce Nedamov na horní Liběchovce. Průtok je měřen nárazově metodou ředění. Desátou lokalitou je pramen Stříbrník poblíž Vojtěchova v Kokořínském dole u Pšovky, který se částečně jímá jako zdroj pitné vody. Tady je průtok na přepadu prameniště počítán z času plnění nádoby o známém objemu a k němu je třeba přičíst jímání množství vody.

VÝSLEDKY

Rešeršní popis současného pohledu na proudění podzemní vody

V tomto rešeršním oddíle popisujeme současný pohled na proudění podzemní vody v zájmové oblasti tak, jak vyplývá z dostupných informačních zdrojů. Tento koncept proudění bude v rámci projektu „Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522“ s využitím nových dat kriticky zhodnocen.

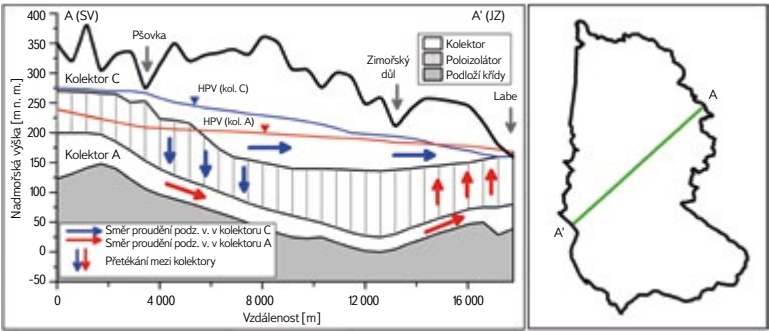
Zkoumané rajony byly podrobně popsány v rámci projektů „Hydrogeologická syntéza české křídové pánve“ [10] a „Rebalance zásob podzemních vod“ [1, 2]. Na jejich základě lze rámcově za oblasti dotace podzemní vody označit oblasti volné hladiny v celém zájmovém území. K nejvyšší dotaci podzemních vod v rajonu 4410 ovšem dochází v horních částech povodí v S, případně SZ části rajonu, kde je také vyšší specifický základní odtok oproti jižním částem. Proudění podzemní vody je následně určeno tokem Jizery s vlivem nehomogenit prostředí a jímání podzemní vody. Pro kolektor A platí, že infiltrace je jen na S podél lužické poruchy, k drenáži dochází podél Labe. Drenáž kolektoru C je zprostředkována do říční sítě (obr. 5), za úplnou drenáž lze považovat pouze oblast Jizery převážně na J v prostoru Sojovic a Čachovic. Dále drenáž probíhá v údolích Zábrdky, Mohelky, Malé Mohelky, Rokytky, Bělé a Strenického potoka. Dílčí odvodnění je zprostředkováno častými a vydatnými puklinovými prameny, zejména v místech křížení zlomů dvou směrů či zlomů křížujících údolí Jizery a jejich přítoků [11, 1].



Obr. 5. Proudění podzemní vody v rajonu 4410, řez S-J (nahore) a SSZ-JJV (vlevo dole) s vyznačením linie obou řezů (vpravo dole). Upraveno dle [1]

Fig. 5. Groundwater flow in region 4410; cross section N-S (top) and NNW-SSE (bottom left) with line markings of both cross sections (bottom right). Modified after [1]

V rajonu 4522 je dotace podzemní vody v celé oblasti, dominantní infiltrace je na S až SV rajonu. Podzemní voda dále proudí směrem k JZ, ve V části rajonu přitéká podzemní voda ze sousedního rajonu 4521 (169 l/s podzemní vody přitéká a 83 l/s z rajonu 4522 odtéká [2]). K drenáži podzemní vody dochází v dolní části Pšovky, na Liběchovce a tokem Labe přes kvartérní štěrkopísky [2; obr. 6]. Od SV k JZ se v rajonu 4522 redukuje mocnost kolektoru C [2], což má za následek velký nárůst průtoku v dolních částech toku Liběchovky a četná prameniště. V různých místech horního toku Pšovky a Liběchovky také vyvěrají významné prameny. To naznačuje přítok starých vod jímáných v Řepínském dole ze SV.



Obr. 6. Proudění podzemní vody v rajonu 4522 v SV-JZ řezu. Upraveno dle [2]
Fig. 6. Groundwater flow in region 4522; cross section NE-SW. Modified after [2]

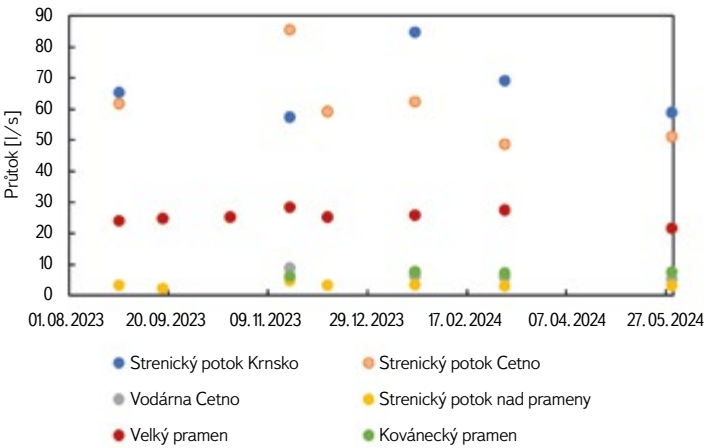
Maximální propustnost hornin je v oblasti drenážních bází, minimální je v meziříčních oblastech, kde jsou nejvyšší mocnosti kolektorů. To naznačuje důležitou roli puklinových systémů v tomto území, nejvíce je propustnost ovlivněna na křížení puklinových pásem směry SZ-JV a SSV-JJZ [1]. Na těchto kříženích dochází často k vývěru pramenů, např. v údolí Bělé.

Na SZ rajonu 4410 převažuje propustnost puklinová s významným podílem průlinové propustnosti, směrem k J klesá podíl průlinové propustnosti kvůli přechodu do vápnitofilovitých, slinitých a vápnitých pískovců. Mezi Košateckým potokem a Bělou pod Bezdězem, kde jsou polohy kolektoru C s kvádrovými pískovci o mocnosti až 80 m, je propustnost kolektorů C průlinově-puklinová. V oblastech bez kvádrových pískovců je propustnost kolektorů C téměř výhradně puklinová s vysokou transmisivitou (např. v povodí Bělé s jímácím územím pro Mladou Boleslav), naznačující velký vliv puklin na proudění. Ve výše položených oblastech mezi Pšovkou a Liběchovkou dochází k tvorbě zavěšených zvodní [2], jež dokumentují prameny a studánky (např. Nedvěži).

Měření průtoků

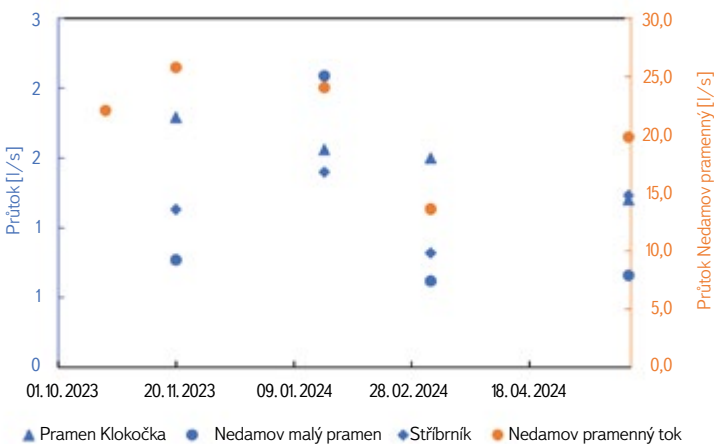
Výsledky měření v oblasti Strenického potoka jsou znázorněny na obr. 7. Přestože jde o poměrně krátké sledované období, je zde vidět, že průtok je relativně stálý v čase (kolísání méně než 1 : 2), což značí, že prameny nereagují na aktuální srážky. To naznačuje delší oběh vody, což je v souladu s předchozím tvrzením, že se jedná o staré vody [1]. Sledování vydatnosti pramenů je zásadní pro kvantifikaci dynamických zdrojů těchto starých vod. Doposud nebyla tato vydatnost na většině zmíněných profilů monitorována.

Průtok na první lokalitě na Strenickém potoce v Krnsku se pohybuje v rozsahu od 58 do 85 l/s. Tyto průtoky jsou relativně nízké vůči archivním měřením z minulosti, která ukazovala průtok přes 100 l/s. Strenický potok u obce Cetno má průtok v rozsahu od 49 do 86 l/s. Výtok z vodárny u obce Cetno má průtok od 5 do 9 l/s. Kovánecký pramen má rozsah průtoků od 6 do 8 l/s. Strenický potok nad Podkovářským prameništěm má průtoky pouze mezi 2 a 5 l/s, zatímco Velký pramen od 22 do 28 l/s. Z toho je patrné, že většina vody ve Strenickém potoce pochází z Podkovářského prameniště. Celková vydatnost staré vody v této oblasti je přibližně 65 l/s.



Obr. 7. Výsledky měření průtoku v povodí Strenického potoka
Fig. 7. Discharge measurement in the Strenický potok basin

Výsledky měření průtoků z okolí Rokytky a Kokořínska jsou vidět na obr. 8. Průtok pramene Klokočka se pohybuje okolo 1,5 l/s. Průtok pramenného toku u obce Nedamov dosahuje 14 až 26 l/s. Vydatnost pramene v obci Nedamov činí od 0,5 do 2 l/s a pramene Stříbrník okolo 1 l/s.



Obr. 8. Výsledky měření průtoku na prameni Klokočka a v povodí Pšovky a Liběchovky
Fig. 8. Discharge measurement from Klokočka spring and the Pšovka and Liběchovka basins

Fyzikálně-chemické parametry

Naměřené fyzikálně-chemické parametry uvádí tab. 1. Konduktivita v jímácím území Bělá je nižší než v Řepínském dole. Zatímco v Bělé se pohybuje od 425 do 636 $\mu\text{S}/\text{cm}$, v Řepínském dole je od 498 do 844 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Podle měření Kůrkové [4] má voda pocházející čistě z kvádrových pískovců konduktivitu od 100 do 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, zato voda z vápnitých pískovců má konduktivitu od 400 do 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Voda ve všech měřených objektech tedy pravděpodobně byla alespoň po nějakou dobu v kontaktu s vápnitými pískovci. Teplota podzemní vody je v obou oblastech podobná, od 9,2 do 11,2 $^{\circ}\text{C}$. Všechny sledované objekty mají neutrální pH zhruba 7,2. Některé zdroje mají koncentraci rozpuštěného kyslíku $< 1 \text{ mg}/\text{l}$, což značí anoxické prostředí. Častější výskyt těchto vod je v Řepínském dole. Oxidačně-redukční potenciál měřený kalomelovou elektrodou se pohybuje od -143 do +293 mV. Korelace mezi oxidačně-redukčním

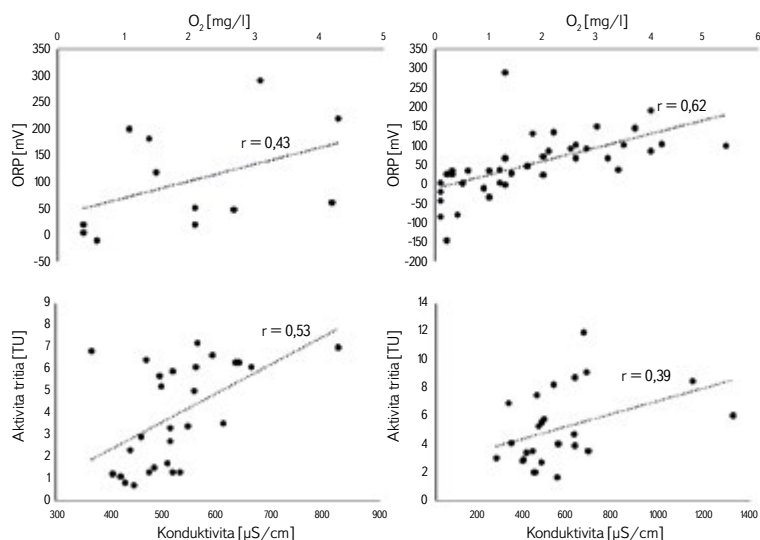
Tab. 1. Naměřené chemické vlastnosti vzorkovaných objektů. Pořadí objektů je v každém jímacím území řazeno od nejnižší po nejvyšší nadmořskou výšku jímacího objektu. Q značí vydatnost (odběr) pro vodárenské využití, v případě pramene Klokočka průměrný průtok

Tab. 1. Chemical properties of sampled sites. The order of the sites in each catchment area is arranged from lowermost to uppermost altitude. Q is abstraction from wells for water supply; for Klokočka spring it is average discharge

	Konduktivita [μS/cm]	T [°C]	O ₂ [mg/l]	pH	Oxidačně-redukční potenciál [mV]	Q [l/s]
Bělá						
KL 4	480	10,3	0,6	7,2	-9	12
KL 1a	447	11,2	0,4	7,3	5	13
KL 16	425	10,8	1,4	7,3	182	20
KL 12	482	10,3	1,5	7,2	119	30
KL 11	507	9,9	1,1	7,2	200	30
KL 10	636	10,3	0,4	7,2	21	25
VMB1	477	9,4	3,1	7,3	293	
KL 7	439	10,5	2,1	7,3	52	28
KL 8	495	9,6	4,2	7,2	63	24
KL 3	579	9,3	2,7	7,2	49	~1
KL 9	477	10,9	2,1	7,2	21	~2
Pramen Klokočka	464	9,2	4,3	7,2	221	1,5
Řepínský důl						
PŠ2	728	10,5	2,1	7,2	87	16
PŠ3	778	10,7	0,2	7,2	-143	
PŠ3A	744	10,8	0,3	7,2	36	7
DV1	695	10,6	2,5	7,2	94	26
DV2	699	9,9	2,2	7,2	137	7
DV14	684	10,5	2,2	7,3	135	12
PŠ5	683	10,4	3,7	7,3	147	54
PŠ5A	687	10,5	3,0	7,3	151	11
DV13	754	9,7	1,3	7,2	292	
S9	686	9,2	0,3	7,2	29	
S10	680	10,3	2,6	7,1	104	12
S4	707	10,6	3,5	7,2	104	41
S1	708	10,5	5,4	7,2	102	20

	Konduktivita [μS/cm]	T [°C]	O ₂ [mg/l]	pH	Oxidačně-redukční potenciál [mV]	Q [l/s]
Ř2 (Z)	703	10,6	4,0	7,2	194	31
Ř2 (V)	694	10,5	1,8	7,2	134	14
S11	717	10,4	4,2	7,2	105	14
S13	759	10,2	3,2	7,2	70	12
S14	803	10,1	2,8	7,2	95	7
S15	837	10,3	2,6	7,1	70	9
S16	844	10,5	3,4	7,1	40	3
S25	769	10,5	1,7	7,2	48	3
S26	751	10,2	2,0	7,1	74	4
S27	728	10,7	0,5	7,2	2	2
DV15	710	11,1	0,1	7,2	-40	8
S28	685	10,7	0,1	7,2	5	5
S29	649	10,3	0,2	7,2	27	13
S30	640	10,4	0,5	7,1	5	8
Ř8A	550	10,4	0,1	7,2	-17	18
Ř8	643	10,7	1,3	7,1	69	3
S20	621	10,3	1,0	7,2	36	16
S21	620	10,2	2,0	7,2	26	
S22	599	10,1	1,2	7,2	40	5
S23	646	10,0	1,4	7,3	31	3
DV17	573	10,3	0,6	7,3	36	9
S7	571	10,3	0,4	7,2	-78	3
S19	498	11,0	0,1	7,2	-83	3
DV5	603	10,5	1,2	7,2	4	6
S8	551	10,6	1,0	7,3	-31	3
DV6	618	10,4	1,3	7,2	0	
Z2	875	11,0	4,0	7,2	88	1
DV7	593	10,6	0,9	7,3	-9	5

potenciálem a rozpuštěným kyslíkem byla $r = 0,57$ (0,43 pro Bělou, resp. 0,62 pro Řepínský důl), což značí střední míru závislosti. Rozsah uvedených konduktivit je v rámci hodnot uvedených pro ostatní objekty ve zbylých částech studovaných rajonů [1, 2].



Obr. 9. Vztahy mezi oxidačně-redukčním potenciálem a množstvím rozpuštěného kyslíku pro jímací území Bělá (vlevo nahoře) a Řepínský důl (vpravo nahoře). Vztahy mezi aktivitou tritia a konduktivitou pro prameny v rajonu 4410 (vlevo dole) a v rajonu 4522 (vpravo dole)

Fig. 9. Relationships between redox potential and amount of dissolved oxygen for Bělá (top left) and Řepínský důl (top right). Relationships between tritium activity and conductivity for springs in region 4410 (bottom left) and region 4522 (bottom right)

DISKUZE

Ve výsledkové části byla popsána stávající představa o proudění podzemní vody v zájmové oblasti tak, jak byla formulována v předchozích pracích [zejména 1, 2, 10] na základě strukturních a hydrogeologických údajů, doplněných o informace z chemismu a kolísání hladin podzemní vody. Jde o základní výsledky analýzy oběhu podzemní vody v zájmové oblasti, které významně přispěly k chápání hydrogeologie regionu.

Přesto v kontextu nízkotritiových vod zbývá řada otázek, na které současné modely nejsou schopny dát odpověď, a je zde řada nesrovnalostí či v některých případech i protichůdných informací. Předchozí analýzy tritia pocházejí jen z omezeného množství objektů, jež zájmovou strukturu odvodňují a které mohou být směsí jak vod starých, tak mlčích mladších vod. Nejistoty jsou i ohledně využitelného množství těchto vod a zejména území, kde se tyto vody tvoří (tedy kde je jejich infiltrační území). Je proto nezbytné stávající konceptuální model proudění ověřit, doplnit a s využitím nových poznatků případně upravit.

Není známo místo infiltrace těchto starých vod. Při odhadovaném průtoku 250–300 l/s (odhad celkové vydatnosti starých vod dle [1, 2]) a infiltraci před rokem 1950 je však pro zadržení této vody nutné počítat s objemem porů nejméně $6 \times 10^8 \text{ m}^3$, což při pórovitosti pískovců cca 10–30 % odpovídá objemu 2–7 km^3 křídových hornin. Objem křídových hornin v zájmové oblasti je vyšší, tudíž předpokládaný objem proudového systému starých vod i infiltrace do křídových hornin jsou realistické.

Za účelem zodpovězení výše popsaných otázek byly v průběhu prvního roku fungování projektu z vybraných objektů odebrány vzorky na analýzu tritia, která – s využitím poměrně malých finančních prostředků – pomůže zprvu rozlišit vodu starou (s nízkými až nulovými hodnotami aktivity tritia) od vody mladé (s vyšší aktivitou tritia, naznačující původ vody infiltrované po roce 1950). Následně bude na

základě četných tritiových analýz vybráno menší množství objektů (vrty, prameny) pro finančně náročnější, avšak přesnější datovací metody např. s využitím radiouhlíku, freonů, SF_6 , ^{85}Kr a ^{39}Ar .

Geologické řezy Uličného et al. [8] poprvé umožnily určit, na které genetické sekvence jsou vázány prameny a jaké horniny jsou vysoce propustné. Podle poloh propustných hornin (zejména pískovců) je tak dobře možné ověřovat hypotézy, které litologie tvoří propustné kolektory, kde může docházet k infiltraci vody atd. Jak ovšem poukazuje Kůrková [4], kolektory vymezené dle těchto řezů nemusí tvořit čistý pískovec, ale mohou obsahovat i vápnité vrstvy. Tyto vrstvy vápnitého tmelu mohou být mocné jen první decimetry, zatímco velkou většinu mocnosti kolektoru tvoří křemenný pískovec [12]; i tyto tenké vrstvy však mohou stačit ke zvýšení konduktivity vody.

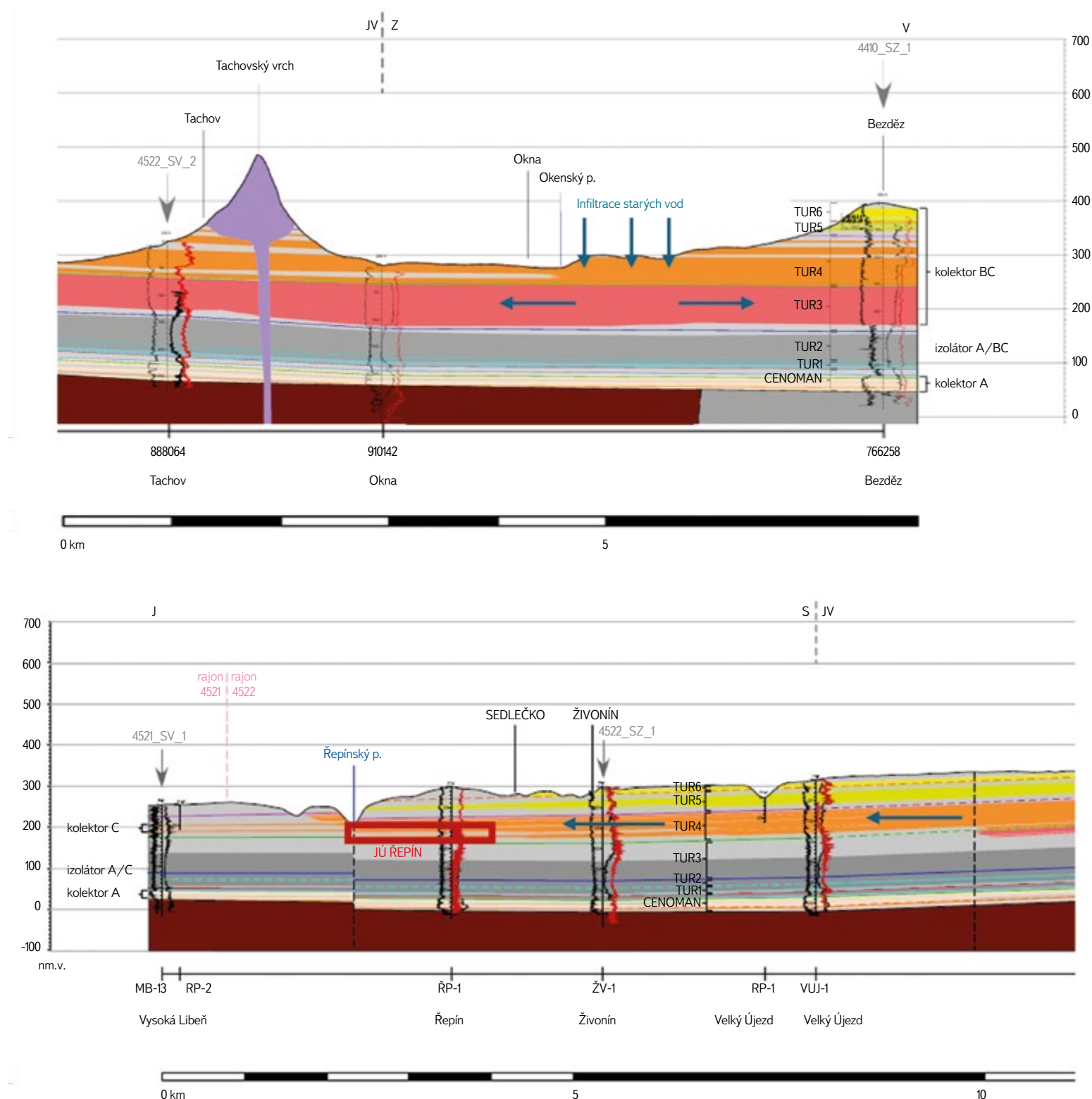
Při pohledu na již dříve naměřená data z pramenů [1, 2, 4] lze vypočítat slabý trend, kdy s rostoucí aktivitou tritia narůstá konduktivita (obr. 9), tedy voda s delší dobou oběhu má spíše nižší konduktivitu. Pro hydrogeologický rajon 4410 je korelace mezi aktivitou tritia a konduktivitou $r = 0,53$, přičemž prameny s aktivitou tritia pod 3 TU mají průměrnou konduktivitu 468 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medián 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$), zatímco prameny s aktivitou nad 3 TU průměr 564 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medián 558 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Pro hydrogeologický rajon 4522 je korelace $r = 0,39$ a prameny s aktivitou pod 3 TU mají konduktivitu v průměru 419 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medián 433 $\mu\text{S}/\text{cm}$), zatímco prameny nad 3 TU mají konduktivitu v průměru 596 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (medián 535 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Pro rajon 4410 se dle Studentova t-testu (hladina významnosti 0,05) jedná o statisticky významný rozdíl ve velikosti konduktivity mezi prameny s aktivitou tritia pod 3 a nad 3 TU.

V povodí Bělé se vyskytují prameny jak s nízkou, tak vysokou konduktivitou, poukazující na drenáž dvou různých vod o odlišném složení, a podle odlišných aktivit tritia i stáří (J. Bruthans, nepublikováno). V tomto kontextu budou ověřovány i hodnoty tritia a konduktivity na nově odebraných jímávacích vrtech v Bělé a Řepínském dole, neboť není zcela jasné, zda voda jímávaná v těchto jímávacích územích je výhradně vodou s původem v turonském kolektoru C, anebo zda nejde – alespoň zčásti na některých jímávacích objektech – o přetok z cenomanského kolektoru A. Vody s nízkou aktivitou tritia, a tím dlouhou dobou oběhu, mohou mít původ i v lokálně vyvinutém kolektoru BC (TUR3 a TUR4) u Strenického potoka. V následujících oddílech diskutujeme možné cesty proudění těchto vod.

Pravděpodobné cesty proudění podzemní vody pro rajon 4522

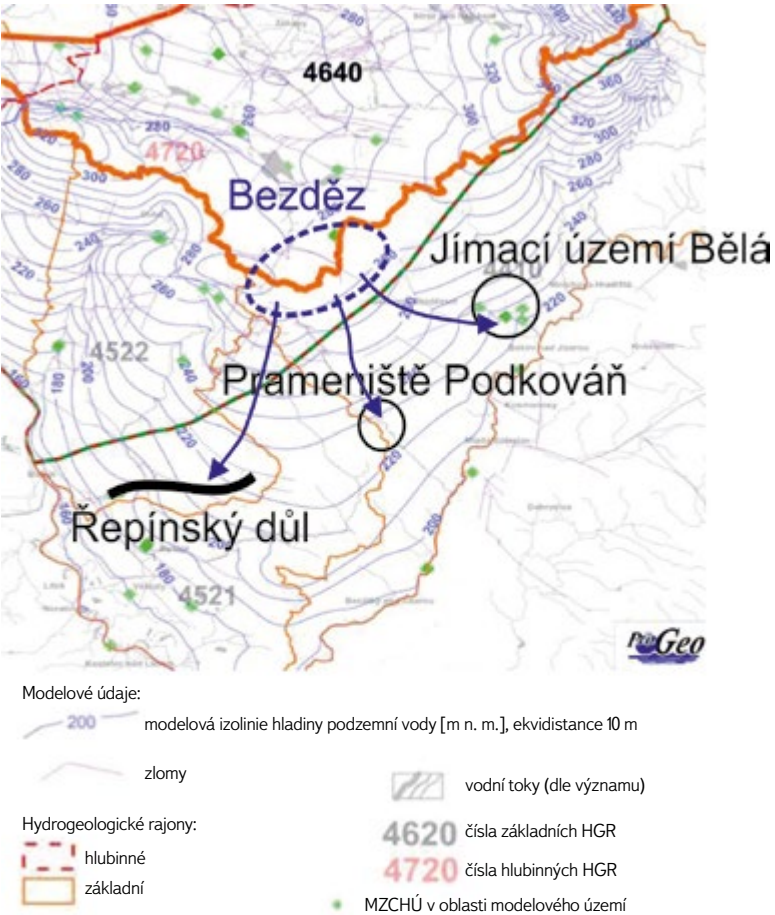
Stará voda v Řepínském dole vykazuje relativně nižší konduktivitu, tudíž se neinfiltrovala přes nenasycenou zónu s obsahem vápnitých pískovců, ale pouze skrze křemenné pískovce. Jako pravděpodobná oblast infiltrace se jeví okolí Bezdězu, kde jsou výchozy křemenného pískovce spojeného kolektoru TUR3 a TUR4 [8; obr. 10], a kde se navíc dle izolinií hladin podzemní vody infiltrační oblast může nacházet, protože hladina podzemní vody je zde mnohem výše než v drenážních oblastech starých vod [2; obr. 11]. Tato voda by následně z východu obtékala elevaci báze kolektoru C a četné zlomy mezi Dubou a Mšenem (zlomové porušení jižně od Dubé) a poté se stáčela JZ směrem do Řepínského dolu (obr. 11). Směrem k Řepíenskému dolu křemenné pískovce TUR3 a TUR4 postupně přecházejí do vápnitých pískovců. To může způsobit navýšení konduktivity vody v Řepínském dole na hodnoty od 400 do 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tab. 1), což značí vodu z křemenných pískovců, která prošla vápnitými polohami [4].

Dalším možným zdrojem je přetok vody z cenomanu. Jak je patrné z obr. 6, v oblasti Řepínského dolu (zejména v jeho spodních částech) nastává i při neovlivněných hladinách změna situace, kdy již podle tohoto schématu dochází k přetoku cenomanské vody z kolektoru A skrze poloizolátor A/C do kolektoru C. Pokud by však k přetoku cenomanské vody ve spodních částech jímacího území skutečně docházelo, lze zde očekávat změnu fyzikálně-chemických parametrů, jako je např. snížení množství rozpuštěného kyslíku a snížení redox potenciálu, což však z tab. 1 není patrné. Datování vody z těchto jímávacích vrtů tak může tento předpoklad dále podpořit, či vyvrátit.



Obr. 10. Nahoře – Geologický řez okolí Bezdězu se spojitými kolektory TUR4 a TUR3, s naznačením možných směrů proudění vody (modré šipky), směr Z-V. Dole – Geologický řez od Kokořinského dolu k jímacímu území Řepín (červený obdélník) s naznačením možných směrů proudění vody (modré šipky). Upraveno dle [8]

Fig. 10. Top – Geological cross section of the Bezděz area with continuous collectors TUR4 and TUR3, indicating the possible directions of water flow (blue arrows), direction W-E. Bottom – Geological cross-section from Kokořinský důl to the Řepín catchment area (red rectangle) with an indication of possible water flow directions (blue arrows). Modified after [8]



Obr. 11. Modelové izolinie hladiny podzemní vody modelu společnosti PROGEO, s. r. o., s vyznačením pravděpodobného místa infiltrace nízkotritiových vod (modrý ovál) a směrem proudění (modré šipky). Upraveno dle [1]
Fig. 11. Model isolines of the groundwater level from a model from PROGEO, s. r. o., with marking of the probable location of infiltration of low-tritium waters (blue oval) and the direction of water flow (blue arrows). Modified after [1]

Zároveň vyvstává otázka, odkud se bere stará voda z pramene Stříbrník a v prameništi u Nedamova, jelikož dle známých průběhů hladin se v těchto oblastech hladina v kolektoru A nachází níže než v kolektoru C (obr. 6, obr. 11), tudíž by zde

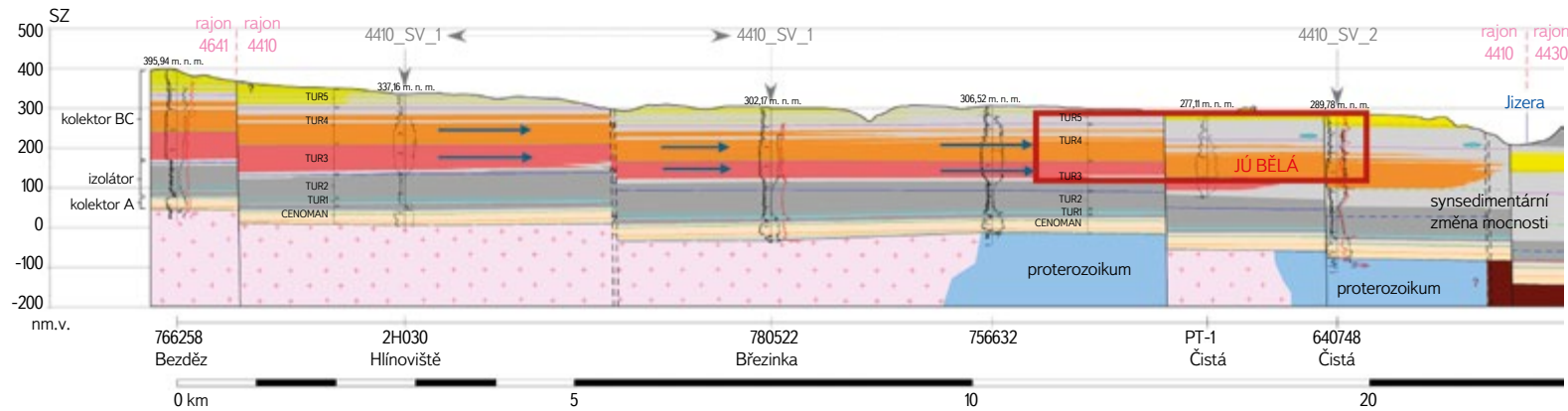
nemělo docházet k přetoku z cenomanského kolektoru. Přitom izohypsy kolektoru C (TUR4) v obr. 11 nejsou ovlivněny tektonickými poruchami, což je v rozporu s prostorovou proměnlivostí propustnosti hornin ovlivněnou nejvíce křížením puklinových pásem, na něž jsou často navázány pramenité vývěry [1, 2]. Zůstává tak otevřenou otázkou, zda kupř. v oblasti pramene Stříbrník nemůže lokálně docházet k přetokům vody z cenomanu po puklinách.

Pravděpodobné cesty proudění podzemní vody pro rajon 4410

Na základě současných poznatků je možné předpokládat, že stará voda pramenící na Strenickém potoce a jímaná v Bělé přišla do kontaktu s vápnatými polohami pouze po omezenou dobu [4], čili se infiltrovala v místech křemenných pískovců. Oblast infiltrace tak opět i pro povodí Bělé může být v okolí Bezdězu, kde se na povrch dostávají výchozy křemenného pískovce TUR4. Infiltrovaná voda by se dále pohybovala spojeným kolektorem TUR4 a TUR3 a na povrch by se dostávala podél zlomů či v místech vyznívání těchto kolektorů (obr. 12). Další možností je přetok z cenomanu, který dle obr. 5 má v oblasti jímacího území Bělá hladinu podzemní vody na velmi podobné úrovni jako kolektor C, a dle [7] dokonce vyšší.

ZÁVĚR

Cílem představeného projektu je upřesnit a kvantifikovat zdroje vody v rajonech 4410 a 4522, která dle předchozích prací může mít dobu zdržení nejméně 70 let a v některých případech i výrazně více. Místo infiltrace této staré vody je pravděpodobně v okolí Bezdězu, kde jsou výchozy pískovců bez karbonátového tmelu. Tato stará voda pak následně proudí spojeným kolektorem TUR3 a TUR4. Při dané vydatnosti pramenů zaujímají pískovce dostatečný objem pro její akumulaci a dobu zdržení. Za účelem kvantifikace dynamických zdrojů těchto vod probíhá monitoring průtoků na vybraných tocích a pramenech s nízkou koncentrací tritia. Všechny monitorované objekty vykazují stabilitu průtoku v čase, což značí delší oběh bez vlivu lokálních meteorologických podmínek. Vybrané objekty využívané pro hromadné zásobování byly ověřovány za účelem zjištění stáří vody na základě aktivity tritia. Podle výsledků budou vybrány objekty, u nichž dojde ke zpřesnění stáří na základě analýzy freonů, SF₆ a dalších datovacích technik. Projekt v tuto chvíli vstupuje do druhého roku řešení. Dále je plánováno průběžné vyhodnocování nově získaných hydrochemických, vodohospodářských a hydrogeologických dat, tvorba příslušných map, řezů a návržení vodárenského využití



Obr. 12. Geologický řez od Bezdězu směrem k jímacímu území Bělá (červený obdélník), s naznačením možných směrů proudění vody (modré šipky). Upraveno dle [8]
Fig. 12. Geological cross-section from Bezděz towards the Bělá catchment area (red rectangle), with indications of possible water flow directions (blue arrows). Modified after [8]

zdrojů a ochrany hydrogeologické struktury. Detailní průzkum hydrogeologie oblasti povede k aktualizaci konceptuálního modelu proudění vody v obou rajonech, zejména s ohledem na původ vody dlouhého oběhu.

Poděkování

Autoři článku děkují J. Bruthansovi za konzultaci konceptuálního modelu proudění a za pomoc při vzorkování a měření průtoků. Výzkum v rámci projektu č. S506010268 „Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522“ je spolufinancován Technologickou agenturou České republiky.

Literatura

- [1] KŮRKOVÁ, I. et al. *Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva, Příloha č. 2/31, Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4410 – Jizerská křída pravoběžná*. Praha: Česká geologická služba, 2016.
- [2] KŮRKOVÁ, I., BURDA, J. et al. *Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva, Příloha č. 2/35, Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4522 – Křída Liběchovky a Pšovky*. Praha: Česká geologická služba, 2016.
- [3] BRUTHANS, J., KŮRKOVÁ, I., GRUNDLOCH, J., CHURÁČKOVÁ, Z., SLAVÍK, M., KADLECOVÁ, R. *Střední doba zdržení v detailně hodnocených rajonech. Projekt Rebilance zásob podzemních vod, část aktivity 8*. Praha: Česká geologická služba, 2015.
- [4] KŮRKOVÁ, I. *Charakter proudění podzemní vody v silně propustných sedimentech v západní části České křídové pánve. Doktorská disertační práce*. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2023.
- [5] KLEIN, V. *Stratigrafie a litologie svrchní křídly mezi Jizerou a Labem. Sborník geologických věd. Geologie*. 1966, 11, s. 49–76.
- [6] VALEČKA, J. *Paleogeografie a litofaciální vývoj severozápadní části české křídové pánve. Sborník geologických věd. Geologie*. 1979, 33, s. 47–81.
- [7] ČEPÁK, J. et al. *Závěrečná zpráva o vyhledávacím hydrogeologickém průzkumu v povodí Klokochy a Bělé. Vodní zdroje*. Praha, 1970.
- [8] ULICHÝ, D., ŠPIČÁKOVÁ, L., CAJZ, V., HRONEC, L. *Podklady pro prostorový model hydrogeologicky významných stratigrafických rozhraní ve vybraných hydrogeologických rajonech. Závěrečná zpráva*. Praha: Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i., 2015.
- [9] ČECH, S., KLEIN, V., KRÍŽ, J., VALEČKA, J. *Revision of the Upper Cretaceous Stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin. Věstník Ústředního ústavu geologického*. 1980, 55(5), s. 277–296.
- [10] HERČÍK, F., NAKLÁDAL, V. *Hydrogeologická syntéza české křídové pánve – Bilanční celek 3*. Praha: Stavební geologie, n. p., 1987.
- [11] HERČÍK, F., VALEČKA, J. *Hydrogeologie české křídové pánve*. Praha: Český geologický ústav, 1999.
- [12] NÁDASKAVY, R., ČECH, S., VALEČKA, J., JANKOVSKÝ, F., PINTÉR, L., ADAMOVIČ, J., ZELENKOVÁ-TRUBAČOVÁ, A. *Závěrečná zpráva průzkumného geologického vrtu 4521_B Kluky*. Praha: Česká geologická služba, 2015.

Autoři

Mgr. Jakub Mareš¹

✉ maresj15@natur.cuni.cz

ORCID: 0000-0002-7190-8214

Mgr. Martin Slavík Ph.D.¹

✉ martin.slavik@natur.cuni.cz

ORCID: 0000-0002-8920-9980

RNDr. Josef Vojtěch Datel Ph.D.²

✉ josef.datel@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1451-0135

¹Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2024.07.003

ISSN 0322-8916 © 2024 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

OLD GROUNDWATER IN HYDROGEOLOGICAL REGIONS 4410 AND 4522

MAREŠ, J.¹; SLAVÍK, M.¹; DATEL, J. V.²

¹Faculty of Science, Charles University, Prague

²T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: groundwater — Bohemian Cretaceous basin — source of drinking water — dating — tritium — quantification of water sources — protection of surface water and groundwater — conceptual model

The article presents the project of the Technology Agency of the Czech Republic dealing with the hydrogeology of old waters in hydrogeological regions 4410 and 4522. The aim of the paper is to present a brief hydrogeological characterization of the area of interest, to present the results after the first year of the project and to describe the uncertainties of the existing information. Old groundwaters, that have negligible concentrations of tritium, can be considered a strategic resource because they are less susceptible to current contamination. In order to quantify the usable amount of these waters, the discharge of springs with low tritium concentrations is measured regularly. At the same time, water samples have been taken from the most important waterworks in the area. The chemical composition and tritium activity of these waters are determined and physico-chemical parameters have been measured. On the basis of the known groundwater level patterns, lithology and measured values, a conceptual model of the flow pattern of this old water was outlined, which will be further verified and supplemented during the course of the project using the newly acquired knowledge. Due to the relatively low conductivity of the old groundwater, it is expected that the water would have infiltrated in areas where there are no outcrops of calcareous sandstones, as bicarbonates would increase the conductivity significantly. For this reason, we assume that the water infiltrates near Bezděz, where there are outcrops of quartz sandstone. From there, the water flows to springs and waterworks, where, especially in the lower parts closer to the drainage areas (the Jizera and Elbe rivers), it can be further mixed with the overflow water from the Cenomanian aquifer. Nevertheless, there are places in the area that are not fully consistent with this assumption, and the origin of these groundwaters is also the subject of further research. The next phase of the project will focus on a detailed analysis of the age of the waters using other tracers such as freons or SF₆. This information will lead to a better understanding of the groundwater flow in the most important hydrogeological structure in the Czech Republic.