

Ing. Lenka Štrbářová, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a.s., Most

Možnosti radionuklidových stopovacích zkoušek při průzkumu těsnosti nádrží a směru proudění vod v podmínkách SHP

Möglichkeiten der Radionuklid-Tracer-Tests bei Untersuchung der Dichtigkeit von Sammelbecken und bei Ermittlung der Strömungsrichtung von Gewässern im nordböhmisches Braunkohlenrevier

Dieser Beitrag erörtert die Möglichkeiten der Radionuklid-Tracer-Tests bei Untersuchung der hydrogeologischen Parameter, z. B. der Geschwindigkeit und Strömungsrichtung vom Untertagewasser. Es sind hier die allgemeinen Grundsätze für die Auswahl einer geeigneten Tracermethode beschrieben, eine größere Aufmerksamkeit ist der Verwendung der Radionuklide als Tracer und insbesondere der Anwendung von Tritium, einschließlich der Auswahl des Detektionssystems gewidmet. Kurz gefasst sind auch die gesetzlichen Voraussetzungen zur Durchführung der Radionuklid-Tracer-Tests. Die Verwendbarkeit der Radionuklid-Tracer-Tests im nordböhmisches Braunkohlenrevier belegen zwei Beispiele: der Kommunikationstest zwischen dem Vorspeicher der Grubenwasser-Reinigungsanlage und dem Pumpenschacht Emerán auf dem Tagebau Bílina und die Ermittlung der Strömungsrichtung der Wasser-Leckage aus dem Wasserbecken Benedikt bei Most.

Possibilities of radio-nuclide tracing examinations at the tightness of tanks and water flowing direction survey in the SHP conditions

The article deals with possibilities of tracing examinations at the hydrogeological parameters prospecting, as speed and flowing direction of underground waters. General principles of tracing method choice have been described here; extended attention has been dedicated to using radionuclides like tracers and, in particular, use of tritium, including choice of a detection system. Legislative presumptions of radionuclide tracing examinations have been mentioned in a refer. Utility of tracing examinations in SHP conditions has been demonstrated by documentation in two

examples: the first one is a communication exam between the pondage reserve of mine waters effluent treatment plant and pumping hole Emerán in Bílina stone-pit, finding out the direction of water escape from the reservoir Benedikt at Most is the second one.

Возможности радионуклидных выслеживающих испытаний при поисках плотности водохранилищ и направлений течения вод в условиях Северочешского бурогоугольного бассейна

Статья обсуждает возможности испытаний выслеживания при исследовании гидро-геологических параметров, например скорости и направления течения подземных вод. Описываются здесь общие причины выбора метода выслеживания, внимание уделяется использованию радионуклидов в качестве выслеживателей, а именно применению трития, включительно выбора детекционной системы. Вкратце приводятся правовые предпосылки применения радионуклидных испытаний. Степень использования выслеживающих испытаний в условиях Северочешского бурогоугольного бассейна документируется двумя примерами: испытание коммуникации между буферным водохранилищем станции очистки шахтных вод и водоподъемным стволом Эмеран на угольном разрезе Билина, обнаружение направления утечки воды из водохранилища Бенедикт в окрестностях города Мост.

Možnosti radionuklidových stopovacích zkoušek při průzkumu těsnosti nádrží a směru proudění vod v podmínkách SHP

Článek pojednává o možnostech stopovacích zkoušek při zkoumání hydrogeologických parametrů, např. rychlosti a směru proudění podzemních

vod. Jsou zde popsány obecné zásady výběru stopovací metody, větší pozornost je věnována využití radionuklidů jako stopovačů a zejména pak použití tritia, včetně výběru detekčního systému. Ve stručnosti jsou zmíněny legislativní předpoklady radionuklidových stopovacích zkoušek. Využitelnost stopovacích zkoušek

v podmínkách SHP dokumentují dva příklady: komunikační zkouška mezi vyrovnávací nádrží čistírny důlních vod a čerpací jámou Emerán na lomu Bílina a zjišťování směru úniku vody z vodní nádrže Benedikt u Mostu.

Úvod

Voda je nevyhnutelnou životní potřebou celé biosféry, jedním z nejdůležitějších faktorů, vstupujících do průmyslu a zemědělství. Extenzivní využívání zdrojů všech surovin včetně vody je na ústupu, proto hydrogeologie (1) jako vědní obor, který se zabývá původem, výskytem, pohybem, fyzikálními a chemickými vlastnostmi podzemních vod, je postavena před nutností řešit střety zájmů různých odvětví hospodářství a s tím rostoucí požadavky na kvalitu a kvantitu informací. Voda působí jako transportní činitel a to nejen v dopravě, nýbrž i při přenosu nejrůznějších látek, které vznikají na zemi přírodními pochody i lidskou činností a které mají často škodlivý vliv na zdraví lidí, zvířat nebo rostlin. Mnoho současných úkolů hydrogeologie je proto spjato s řešením problémů znečištění podzemní vody a životního prostředí průmyslovou a zemědělskou činností, těžbou nerostných surovin, energetikou, haváriemi a dalšími příčinami. S tím zároveň roste význam přesného určení směru a rychlosti proudění vod stopovacími zkouškami.

Nové poznatky v jaderné fyzice, chemii a v elektronice vytvořily podmínky pro využití nuklidů v celé řadě přírodních a technických věd. V hydrogeologii začíná intenzivní rozvoj využití nuklidů pro stopovací měření hlavně zásluhou Münnicha (2) v padesátých letech. Významnou úlohu při širším uplatnění těchto metod, jejich šíření a rozvoji sehrála zejména Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA) se sídlem ve Vídni, pořádáním pravidelných sympózií. U nás jsou první zmínky o využití radioizotopů při stopovacích zkouškách z roku 1956. Drábek (3) provedl pokus o určení spojitosti povrchových vod říčky Luciny s hlubinnými vodami na dole Zárubek v OKR s použitím roztoku jodidu sodného značeného radioizotopem J 131. Výsledek zkoušky byl negativní. Tím byly položeny základy pro využití radionuklidů jako stopovačů v hydrogeologii i v severočeské hnědouhelné pánvi.

Obecné zásady výběru stopovací metody

S úlohami stanovení rychlosti podzemní vody se setkáváme nejčastěji při průzkumu v krasových hydrogeologických strukturách, dále v puklinově propustných horninách a méně často v průlinově propustných horninách. Úkolem bývá např. zjistit původ vody pramenních vývěrů určených k vodohospodářskému využití (zejména je-li podezření na možné znečištění vody ze zemského povrchu), spojitost krasových vodních cest při speleologickém průzkumu, dále pak cesty, kterými uniká voda z přehradních nádrží, nebo kterými proniká voda do důlních děl apod.

Pro stanovení směru a rychlosti proudění podzemní vody, popřípadě pro prokázání komunikace vod mezi dvěma či více místy, se používá stopovací měření

pomocí fyzikálních, chemických, barevných, biologických nebo radioaktivních stopovačů. Stopovačem je látka, která se dá ve vodě zjistit ve velikém zředění, a podle níž se dá pohyb vody sledovat. Měření se koná mezi místy vsaku a předpokládanými místy vývěru, nebo mezi studnami či vrty, které musí ležet ve směru proudění. V místě vsaku (nebo vrtu či studně) je přidán do vody roztok indikátoru a v pravidelných intervalech zjišťována jeho přítomnost v místech předpokládaného směru proudění. Protože hydraulický charakter pohybu podzemní vody v různém horninovém prostředí se může navzájem velmi lišit, je třeba při přípravě předem zvážit účel měření a hydrogeologické poměry zkoumaného prostředí a podle toho zvolit vhodný indikátor a způsob provedení zkoušky. Nejpoužívanější indikátory jsou např.:

1. plováky a suspendované látky (kousky dřeva, korku, piliny, spory aj.) mohou být použity v krasových tocích na krátkou vzdálenost
2. bakterie, které se ve vodě rychle rozmnožují, jsou neškodné a nápadné svou barvou (*B. violaceus*, *B. prodigiosus*, *B. rubrus* aj.) mohou být použity jen ve zkrasovatělých a silně rozpukaných horninách se zejícími puklinami
3. roztoky barviv (např. fluorescein, uranin – barva je stálá jen v zásaditém prostředí)
4. roztoky solí, které se dají snadno zjistit titrací (chlorid sodný, dichroman sodný) nebo fyzikálně měřením vodivosti vody (chlorid sodný) nebo spektrálně (chlorid lithný), při použití solí je třeba uvážit, že specificky těžší roztok klesá proti ostatní vodě a že se šíří i difusí. Soli se používá v prostředí s průlinovou, puklinovou a krasovou propustností
5. látky zjistitelné čichem (fenol, chlorfenol, jejich použití je omezeno na místa, kde chuť a zápach nemohou znehodnotit pitnou vodu)
6. radionuklidy, které mohou být stanoveny radiometricky ve velmi nízkých koncentracích, používá se radionuklidů s krátkým poločasem rozpadu v rozpustné formě (viz tab.1)

Vlastní výběr stopovače se řídí především následujícími pravidly: měl by být chemicky stabilní, dobře rozpustný ve vodě, vykazovat minimální ztráty v důsledku afinity k prostředí (v praxi jsou známy případy, že vlivem sorpce chemických stopovacích látek na horninu nebo chemickou reakcí se cestou stopovací látka ztratí), snadno stanovitelný, pokud možno levně dostupný a měl by vyhovovat po hygienicko-zdravotnické stránce. Vždy je třeba uvážit, aby přínos použité metody převyšoval nad případnými negativními vlivy.

Použití radionuklidů

Každé stopovací měření musí být posuzováno individuálně, je třeba uvážit zejména charakter a vlastnosti filtračního prostředí, pravděpodobné trvání experimentu, vzdálenost, na kterou chceme stopovací látku aplikovat. Radioaktivní stopovací látky svými vlastnostmi odstraňují některé nedostatky klasických stopovacích látek. Zvažovat je třeba i výhody a nevýhody použití radionuklidů. Za výhody je třeba považovat následující skutečnosti:

- radiace není ovlivněná fyzikálně-chemickými podmínkami a vlastnostmi hydrogeologického prostředí, jako jsou teplota, tlak, acidita, barva apod.
- umožňují relativně lehkou a přesnou detekci

- mají vysokou detekční citlivost i pro extrémně nízké koncentrace
- jednou z nejdůležitějších vlastností je radioaktivní přeměna. Při široké škále radionuklidů je důležité zvolit pro konkrétní dobu trvání experimentu radionuklid s vhodným poločasem rozpadu. V úvahu je třeba brát i časový interval mezi dvěma experimenty
- radioaktivní nuklidy mohou být součástí různých organických a anorganických látek, které jsou ve vodě lehko rozpustné, což umožňuje, aby se stopovací látka pohybovala stejnou rychlostí jako voda
- podle konkrétních podmínek, zejména litologického charakteru prostředí je možné zvolit takový stopovač, který má v daném případě minimální afinitu k prostředí, kterým prochází

Mezi nevýhody patří:

- skutečné nebo psychologické nebezpečí, jako důsledek použití „radioaktivních“ látek
- při výběru stopovacích látek s krátkým poločasem rozpadu je nevyhnutelné jejich použití bezprostředně po výrobě, což komplikuje výzkumnou činnost hlavně v odlehlých oblastech.

Výběr vhodného radionuklidu

Stopovací látka musí vyhovovat také chemickými vlastnostmi. Základním požadavkem je co nejmenší afinita k danému geologickému prostředí. Je všeobecně známo, že ztráty indikátoru sorpcí se zvětšují se zvětšováním povrchu částic prostředí a také závisí na jeho mineralogickém složení. Sorpce se bude zvětšovat se zvyšováním množství jílovitých příměsí, zejména montmorillonitu. Nejnížší sorpci má křemen. Z dostupných radionuklidů se ^3H nesorbuje vůbec, ^{83}Br , ^{131}I a ^{24}Na jen v malé míře, zatímco ^{32}P velmi silně. Sorpci je možno snížit pomocí nosiče – neaktivní látky stejného složení jako je radioaktivní stopovací látka. K zemině se tyto látky chovají stejně jako radionuklid, což znamená, že pomáhají částečně snížit sorpční ztráty, jelikož se v sorbovaném množství nachází radionuklid v menším podílu. Jednotlivé radionuklidy charakterizuje následující tabulka.

Tabulka 1

Indikátor	poločas rozpadu	chemická sloučenina
Sodík ^{24}Na	15,06 h	chlorid sodný
fosfor ^{32}P	14,30 d	kyselina fosforečná fosforečnan amonný
síra ^{35}S	87,10 d	síran sodný
brom ^{82}Br	35,6 h	bromid amonný, sodný
rubidium ^{86}Rb	19,5 d	chlorid rubidný
jod ^{131}I	8,14 d	jodid sodný
jod ^{125}I	60 d	
tritium ^3H (T)	12,3 roků	tritiovaná voda HTO
ytrium ^{90}Y	64,2 h	chelatonový komplex
Chrom ^{51}Cr	27,8 d	chelatonový komplex
Ruthenium ^{106}Ru	366,6 d	dinitrodinitrátionitrosilrut henium
Krypton ^{85}Kr	10,6 roků	

Množství aplikovaného radionuklidu závisí všeobecně na citlivosti detekčního přístroje a na množství vody, ve které bude stopovací látka rozředěná. V případě, že je třeba značkovat podzemní vodu pomocí vrtu, se musí vzít v úvahu množství vody ve vrtu a potom také možný rozptyl označené vody na filtrační dráze směrem k detekčnímu vrtu. Stanovení ředění je třeba zvážit podle konkrétních podmínek. Často nelze z objektivních důvodů určit dostatečně přesně množství vody, ve kterém se bude stopovací látka rozpouštět. Za těchto podmínek velmi záleží na důkladné znalosti hydrogeologických poměrů oblasti, ve které se pokus uskutečňuje, a na zkušenostech hydrogeologa.

Při výběru vhodného radionuklidu je nutno kromě obecných kritérií pro výběr stopovače zvážit i další otázky. Jde zejména o výběr a dostupnost určitého detekčního systému.

Použití tritia

Problematika použití tritia bude rozebrána podrobněji z důvodu jeho využití nejen pro stopovací měření (např. dále uvedené příklady), ale i při určování stáří vod. Postupy zjišťování stáří podzemních vod jsou nad rámec tohoto článku.

Nuklidy tritia emitují částice beta, jejichž energie je mimořádně nízká. Odpovídající dolet elektronů je tak malý, že detekovat tritium je možné pouze speciálními detekčními metodami a přístroji. Důležité konstanty, charakterizující tritium, jsou uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2

Typ rozpadu	${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \beta^- + 18.6 \text{ keV}$
Poločas rozpadu	$12,262 \pm 0,004$ roků
Maximální energie β částic	18,6 keV
Střední energie β částic	$5,73 \pm 0,03$ keV
Maximální dolet elektronů ve vzduchu	0,6 cm
Střední dolet elektronů ve vzduchu	0,05 cm
Maximální dolet elektronů ve vodě	0,0009 cm

Detekční systém

Poměrně velká citlivost detekčních přístrojů umožňuje sledovat radioaktivní látky v tak nízkých koncentracích, v jakých by se klasické stopovací látky nedaly zjistit, nebo by jejich přítomnost nebyla jistá. Právě citlivost detekčních metod umožnila širší aplikaci radionuklidů v hydrogeologii. Vzhledem k velmi malému doletu beta částic tritia není možné používat detektory, ve kterých musí detekované záření pronikat do citlivého objemu detektoru přes obal. Je třeba používat metodu vnitřní detekce, při které se vzorek zavede přímo do pracovního objemu detektoru. Vhodný je kapalinový scintilační detektor.

Legislativa

Pokud není stopovač neškodný (např. některé radioaktivní nebo chemické stopovače), je třeba, aby zkoušky prováděli odborní pracovníci, kteří jsou držiteli platného oprávnění.

Legislativa, týkající se použití radionuklidů pro stopovací měření, vychází z atomového zákona (zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření) č.18/1997 Sb. a s ním souvisejících vyhlášek, zejména vyhláškou č.184/1997 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o požadavcích na zajištění radiační ochrany a ze zákona o vodách (vodní zákon) č. 183/1973 Sb. a s ním souvisejících právních předpisů, zejména nařízení vlády České republiky č. 171/1992 Sb., kterým se stanoví ukazatele přípustného stupně znečištění vod (4).

Ve smyslu výše uvedených zákonů a vyhlášek jsou stopovače otevřenými zářiči a pro jejich vypouštění do vod je třeba povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Řídit práce se zdroji ionizujícího záření mohou pouze fyzické osoby, jejichž znalost zásad a postupů radiační ochrany byla ověřena odbornou zkušební komisí a kterým bylo Státním úřadem pro jadernou bezpečnost vydáno oprávnění k dané činnosti.

Možnosti využití radionuklidových stopovacích zkoušek v podmínkách SHP lze dokumentovat následujícími příklady:

1. Komunikační zkouška mezi vyrovnávací nádrží čistírny důlních vod a čerpací jámou Emerán na lomu Bílina (5).

V dubnu 1999 byla provedena komunikační zkouška, mající za cíl ověření možného úniku vody z vyrovnávací nádrže ČDV do čerpací jámy Emerán a kvantifikování tohoto množství v poměru k čerpanému množství. Jáma Emerán byla vyhloubena v letech 1992 až 1993 (náhradou za chodbu Emerán) jako odvodňovací dílo ke sběru stařinových vod z bývalého hlubinného dolu Mír. Vyrovnávací nádrže jsou dvě a je do nich čerpána voda z jámy Emerán. Obě nádrže, které byly vybudovány v roce 1989, jsou od sebe odděleny sypanou hrází o šířce cca 10 m. Jelikož nebylo možné v průběhu komunikační zkoušky vyřadit z provozu obě vyrovnávací nádrže, byla pro aplikaci stopovače tritia (obr. 2), po dohodě s odpovědným pracovníkem dolu Bílina, určena severní nádrž, která leží blíže k jámě Emerán (vzdušnou čarou cca 70 m). Místem odběru bylo stanoveno výtlačné potrubí z jámy Emerán. Pro kontrolní odběr vody z označené nádrže bylo stanoveno místo v polovině nádrže u sypané hráze (obr. 1). Intervaly odběru vzorků byly podřízeny intervalům zapnutí výtlačného čerpadla, zpočátku byly několikahodinové, později dvoudenní.

Pro komunikační zkoušku byla použita tritiovaná voda o celkové aktivitě 17 GBq. Stopovač byl aplikován u západního okraje nádrže. Pro zajištění optimálního rozmíchání stopovací látky byla po dobu 4,5 hod. čerpána voda z jámy Emerán pouze do této nádrže. Následně pak byl v rozdělovacím objektu přesměrován odtok vody do druhé nádrže, aby nedocházelo k dalšímu ředění označené vody. Analýza vzorků vody byla provedena na přístroji Liquid Scintillation Counter Wallac Rackbeta Spectral. Výsledné aktivity byly vypočteny z hodnot pulsů za sekundu, které jsou přímým výstupem scintilačního počítače, porovnáním se standardem o známé aktivitě. Jako scintilační roztok byl použit Ready gel od firmy Beckmann Instruments Inc. USA, který byl mísen se vzorkem v poměru 3 : 2.



Obr. 1 Emeránské nádrže, foto ing. Josef Halíř



Obr. 2 Značení vody odpálením tritiové ampule, foto ing. Josef Halíř

Vodní nádrž Benedikt u Mostu (6)

Komunikační zkouška trvala 21 dní. Za tuto dobu bylo odebráno a následně analyzováno celkem 27 vzorků vody (17 z jámy Emerán, 8 z označené nádrže a 2 kontrolní vzorky ze sousední vyrovnávací nádrže pro ověření těsnosti sypané hráze). Po celé sledované období nepřesáhl průsak vody z označené vyrovnávací nádrže 1% z celkového čerpaného množství z jámy Emerán. Aktivita v označené vyrovnávací nádrži klesla v průběhu 21 dnů zhruba na polovinu původní hodnoty. Toto snížení může být důsledkem pomalého vyrovnávání aktivit v celém objemu nádrže včetně bahnitého dna, avšak na výsledky komunikační zkoušky nemělo vliv.

Komunikace vody mezi nádrží a jámou Emerán ani mezi oběma vyrovnávacími nádržemi se nepotvrdila.

2. Vodní nádrž Benedikt u Mostu (6)

Lokalita Benedikt se nachází jihovýchodně od Mostu u obce Vtelno a od roku 1974 je využívána jako rekreační oblast s vodní plochou. Původně zde byl povrchový důl Benedikt, který byl rekultivován do podoby malé vodní nádrže. K napuštění a pro dotaci sloužila voda z řeky Ohře. Poté co byl zjištěn únik vody z nádrže byla v roce 1997, na základě požadavku Městského úřadu v Mostě, navržena a provedena stopovací komunikační zkouška. Nutno podotknout, že komunikační zkouška byla pouze jednou z celé řady prací provedených v rámci řešení tohoto úkolu.

Na lokalitě Benedikt byly provedeny Výzkumným ústavem pro hnědé uhlí již tři komunikační zkoušky. První v letech 1973 až 1974, druhá v roce 1996 a třetí v roce 1997.

První komunikační zkouška měla ověřit těsnost hráze nádrže. Jako stopovače bylo použito tritium. Jeho aktivita v nádrži nepřekročila pětinu hodnoty povolené pro vodárenské toky. Odběrových míst bylo šest a dále pak byly jednorázově odebrány vzorky vody ze tří dalších míst. Obsah tritia byl sledován po dobu čtyř měsíců. Stopovací zkouškou bylo zjištěno, že dochází k průsakům vody z nádrže, ale množství prosakující vody není takové, aby zapříčinilo podstatné zvýšení hladiny podzemních vod v obci Vtelno.

Druhá komunikační zkouška byla provedena z důvodu zjištění směru proudění vody z nádrže Benedikt. Jako stopovač bylo opět použito tritium a jeho aktivita se po rozmíchání v nádrži pohybovala přibližně na úrovni poloviny povolené hodnoty pro vodárenské toky. Odběry vody byly prováděny jednak z nádrže a dále ze sedmi vrtů v počátečním intervalu 6 hodin, pak po 12 hodinách a později byl interval ještě prodloužen. Během dvacetidenní stopovací zkoušky nedosáhly naměřené hodnoty aktivity tritia v jednotlivých vrtech ani hodnoty 5%, která by prokazatelně potvrdila únik vody z nádrže přes hráz. Tím byla vyloučena možnost existence přímé komunikační cesty vody z nádrže přes hráz, jakou by mohla být např. trhлина.

Třetí komunikační zkouška měla prokazatelně zjistit směr úniku vody z nádrže. Celkem bylo stanoveno čtrnáct odběrových míst, která se povětšinou překrývají s odběrovými místy použitými při první a druhé komunikační zkoušce. Zbytková aktivita tritia v nádrži (z předchozí zkoušky) byla dostatečně vysoká na to, aby nebylo nutno přistupovat k další aplikaci stopovače. Celkem bylo odebráno a vyhodnoceno pět sérií vzorků s časovým intervalem jeden měsíc. Stopovač byl ve významném množství nalezen ve čtyřech odběrových místech a jeho aktivita se postupně ustálila na těchto

místech na hodnotách 70%, 60%, 30% a 8% hodnoty aktivity v nádrži. Na těchto místech lze považovat komunikaci za prokázanou. Skutečnost, že všechna tato místa jsou téměř v jedné linii, potvrzuje, že tudy vede hlavní směr úniku vody z nádrže.

Závěr

Cílem článku bylo upozornit na v poslední době trochu opomíjenou možnost zjištění hydrogeologických parametrů proudění podzemních vod. Radioaktivita umělých radionuklidů umožňuje sledovat jejich pohyb ve zvodnělém prostředí. Poměrně velká citlivost detekčních přístrojů umožňuje sledovat radioaktivní látky v tak nízkých koncentracích, v jakých by se nedaly klasické stopovače zjistit. Právě citlivost detekčních přístrojů umožnila širší aplikaci radionuklidů v hydrogeologii. Změna fyzikálních vlastností označené vody vlivem aplikace radionuklidu jako stopovací látky je zanedbatelná. Přidávaný radionuklid nezpůsobuje tedy prakticky žádnou změnu v pohybu vody ve vztahu k pohybu vody před jejím označením stopovací látkou. Použití tritia jako radioaktivního stopovače se jeví jako optimální jak z hlediska dopadu na životní prostředí (použití nízkých aktivit, nízká energie emitovaného β^- záření), tak z hlediska ekonomického, kdy je třeba také vyzdvihnout přínos plynoucí ze znalosti směru a rychlosti proudění podzemních vod.

Z dosavadních zkušeností s použitím radionuklidů vyplývá, že nejefektivněji se nuklidová metoda využívá jako doplňková metoda ke klasickým hydrogeologickým metodám. Je tak možno ověřit některé výsledky, správnost interpretace určitých jevů a často odstranit jejich nejednoznačnou interpretaci.

Literatura

1. Šilar J. a kol.: Všeobecná hydrogeologie, Karolinum Praha 1992
2. Pospíšil P., Hulla J., Šáro Š.: Využití nuklidů v hydrogeologii, SNTL Praha 1981
3. Drábek V.: Hydrogeologický průzkum hlubinných vod OKR, VVVÚ Radvanice, výroční zpráva 1956 v Jirkovský R.: Použití přirozené a umělé radioaktivity v geologii, hornictví a úpravnictví, Práce, Praha 1959
4. Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) č. 18/1997 Sb. a související vyhlášky, Zákon č.138/1973 Sb. o vodách a s ním související vyhlášky
5. Halíř J.:Komunikační zkouška mezi vyrovnávací nádrží ČDV a čerpací jámou Emerán na lomu Bílina, odborný posudek VÚHU, a.s., Most, 1999
6. Halíř J.: Hydrogeologická studie vodní nádrže Benedikt u Mostu, výzkumná zpráva VÚHU, a.s., Most, 1997