

Miloš H r u b ý, VÚHU

Stopovací zkoušky podzemních vod v SHR s radioaktivním ^{131}I

Význam radioaktivních látek v hydrogeologii v posledních letech neustále roste. S jejich pomocí se daří rychle a objektivně řešit problémy, kterými voda komplikuje báňskou činnost. Nejrozšířenější oblast využití radioaktivního záření v hydrogeologii tvoří stopovací zkoušky, zjišťující podzemní komunikace vody. Právě zde se prokázala užitečnost radioaktivity, kdy při řešení vážných situací velmi rychle a přesné stanovení přítomnosti stopovače prostřednictvím ionizujícího záření umožňuje hydrogeologům získat potřebné objektivní informace.

Nejvýhodnějším radionuklidem ke sledování pohybu vod je tritium, které jako izotop vodíku podává věrné informace o sledované vodě. V oblasti severočeské hnědouhelné pánve je však v současné době používání tritiované vody podstatně omezeno. V laboratoři užitě jaderné fyziky VÚHU byla vypracována metodika stanovení velmi nízkého obsahu tritia ve vodě a nyní se na základě měření přirozeného obsahu tritia provádí datování podzemních vod a v SHR je tímto způsobem sledován celkový režim vod.

V řadě problémů bylo nutno přejít k použití jiného radionuklidu. Při provádění lokálních stopovacích zkoušek, kdy je očekávána rychlá komunikace, se k značení vody začal používat jód ^{131}I .

Jód ^{131}I je při stopovací zkoušce používán ve formě vodného roztoku jodidu sodného. Jako nejvhodnější způsob označení se ukázalo rozstřelení ampulky s radioaktivní látkou pomocí rozbušky. Při značení velkého objemu, např. vodní nádrže, je voda promíchána pomocí trhaviny. V případě, že jde o značení podzemní vody prostřednictvím vrtu je v některých případech účelné zalít vrt dostatečným množstvím vody a stopovač z vrtu rychle vytlačit.

Krátký poločas rozpadu (193 hodin), který je sice výhodný z hygienického hlediska a umožňuje opakování zkoušky, však spolu s obvyklým značným ředěním v podzemní vodě vyžaduje zvládnutí stanovení nízkých koncentrací ^{131}I . Z tohoto důvodu je dávana přednost odběru vzor-

ků před terénním měřením a přítomnost stopovače je stanovena laboratorně buď detekcí doprovodného gama záření pomocí scintilační sondy se studnicovým krystalem NaI(Tl) ve spojení s jednokanálovým spektrometrem firmy ACEC, nebo je měření prováděno na spektrometru SL-30 firmy Intertechnique a detekuje se beta záření pomocí kapalného scintilátoru SLD-30 (Spolana Neratovice), nebo PCSTM Solubilizer (Amersham) přímo míchaného se vzorkovou vodou. V případě velmi nízké koncentrace stopovače je zvyšována citlivost měření obohacováním vzorků srážením jodu dusičnanem stříbrným a při vyhodnocování výsledků jsou aplikovány statistické testy (např. je zjišťována shoda mezi soubory hodnot měření nulového vzorku a vzorku sledované vody pomocí Kolmogorovova-Smirnovova testu). Negativní výsledek stopovací zkoušky však ještě neznamená popření existence komunikace. Může dojít ke snížení koncentrace stopovače pod mez detekovatelnosti, např. neočekávaně velkým zředěním v podzemní vodě, při průsaku horninou je nebezpečí adsorpce stopovače iontovou výměnou, nebo je komunikace příliš dlouhá a neodpovídá jí poločas rozpadu radionuklidu.

Stopovací zkoušky s jódem 131 pomohly při řešení některých důležitých báňsko-hydrogeologických problémů v SHR. Jedním z nich je sanace průvalových míst na dolech Viktorin a Döllinger.

Koncem minulého století došlo na hlubinných dolech Viktorin a Döllinger k průvalům puklinových vod z teplického porfyru. Následky průvalů byly katastrofální - negativně ovlivnily hydraulický tlak porfyrových vod a zavinily zapadnutí teplických termálních pramenů pod úroveň terénu. Zároveň vždy způsobily zatopení hlubinných dolů v osec-ko-duchcovské pánvi.

Pro zajištění provozu dolů a z důvodů ochrany termálních vod byl na dolech Viktorin a Döllinger vybudován v okolí průvalových míst ochranný hrázový systém a byla zřízena vodotěžná jáma Döllinger, která udržovala hladinu porfyrových vod na kótě 192,5 m n.m. Během let se však stav hrázového systému značně zhoršil (v dole Viktorin stoupily průsaky z hrází uzavírajících průvalová místa z původních 1,2 l.s⁻¹ na 28 l.s⁻¹) a jelikož v této oblasti již skončila hlubinná těžba a další

udržování zastavených dolů je finančně náročné, byly započaty práce na definitivním utěsnění průvalových míst.

V první fázi byla prováděna sanace na dole Viktorin. Při hydrogeologickém průzkumu byly vybudovány čtyři vrty - V1 a V2 v místě komory č.984, V3 v místě komory č.963 a V4 do stařin. U průvalové komory č.963 byl k dispozici pozorovací vrt B z roku 1895. Při provádění vrtů byla uskutečněna řada měření, které opatřovala informace o poloze vrtu a o směru a rychlosti proudění podzemních vod.

První měření ověřovalo funkci pozorovacího vrtu B. Po označení vody ve vrtu však stopovač nebyl u hrází pozorován a usoudilo se proto na možné ucpání vrtu. Vrt byl pročistěn a opakované měření ukázalo, že průsak vody z průvalové komory 963 přes hrázový systém je velice rychlý - u hráze č. 14 se stopovač objevil za 7 minut, u hráze č. 7 za 15 minut po označení, u hráze č. 9 pozorován nebyl.

Dalšími stopovacími zkouškami byl kontrolován postup prací na vrtu V1, který byl vrtán v místě komory 984.

V hloubce 67 m byl výsledek negativní - vodní horizont nespojil s výtoky z hrází v dole.

Při dosažení komory 984 byla ověřena poloha vrtu - byla potvrzena spojitost vody ve vrtu s výtoky z hrází č. 7 (22 minut) a č. 12 (20 minut).

V hloubce 110 m byla zjištěna puklina v porfyru. Po injekci jódu 131 do vody v puklině byl průchod stopovače sledován v komoře 984 prostřednictvím vrtu V2 (vrt V1 byl v místě komory utěsněn), v komoře 963 prostřednictvím vrtu B a u hrází v dole. Radioaktivní jód se objevil ve všech místech - v komoře 984 za 40 minut, v komoře 963 za 47 minut, ve výtocích z hrází č. 7 a č. 12 za 70 minut a č. 14 za 65 minut. Stopovací zkouška tak potvrdila, že byla zastižena puklina, která napájí obě průvalová místa.

Budování vrtu V1 bylo také využito ke zjištění současného stavu uhelného pilíře mezi průvalovými komorami. Prostřednictvím vrtu V1 (v hloubce 74 m) byla voda v komoře 984 označena jódem 131 a současně byla v komoře 963 prostřednictvím vrtu B označena voda kobaltem 60. Výsledky měření ukázaly, že ¹³¹I se objevil u hrází č. 7 a 12 a ⁶⁰Co u

hrází č. 7 a 14. To znamená, že stopovač se dostal pouze do výtoků z chodeb ústících do příslušné komory a uhelný pilíř tedy má malou propustnost a není vážně narušen.

Obdobné stopovací zkoušky byly prováděny při budování vrtů V2, V3 i V4. Byla jimi ověřována poloha vrtů a mj. také sledováno, zda při vrtném průzkumu nedochází ke kritickým změnám v geologické struktuře průvalových míst.

Ve stopovacích zkouškách se pokračovalo i během prací na utěšňování průvalových míst injektážními vrty, kdy sledování prodloužení doby průchodu ^{131}I z porfyrové pukliny do komor a výtoků v dole Viktorin umožnilo kontrolu stavu sanačních prací.

Po ukončení průzkumných prací na dole Viktorin se přešlo na nedaleké průvalové místo na dole Döllinger. Nejdříve byl opět přezkoušen stav dosavadního utěsnění. Pozorovacím vrtem Pegel byl do místa průvalu vpraven jód ^{131}I a byla zjišťována doba průsaku porfyrových vod přes zdivo hráze do vodoměrné jámy Pegel. Doba průchodu stopovače byla velice krátká, trvala 5,5 minuty, což signalizovalo nepříliš dobrý stav hráze.

V rámci hydrogeologického průzkumu byly vybudovány vrty D1 a D2. Vrtem D2 se podařilo v hloubce 92,7 až 93,6 m zachytit poměrně velkou puklinu v porfyru. Pro sanační práce bylo zapotřebí zjistit, jestli voda z této pukliny napájí průvalové místo. Voda v puklině byla pomocí vrtu D2 označena jodem ^{131}I , vrtem Pegel pak byly odebírány vzorky vody z průvalového místa a zároveň byl sledován výskyt stopovače ve vodotěžné jámě Döllinger. V průběhu stopovací zkoušky bylo průvalové místo odvodňováno do vodotěžné jámy, aby byl zaručen hydraulický spád. Výsledkem stopovací zkoušky bylo zjištění, že radioaktivní jód prošel průvalovým místem za 13,03 hodiny po injekci, a tedy potvrzení spojitosti pukliny s průvalovým místem.

Radioaktivní látky tak zjišťováním směru a rychlosti proudění porfyrových vod v oblasti průvalových míst na dolech Viktorin a Döllinger přispěly k získání chybějících informací pro konečnou sanaci.

Porfyrovými vodami se zabývala také stopovací zkouška prováděná na vrtu A4 v Teplicích, která měla prověřit možnost existence příměsí

vody z vrtu A4 do termálního pramene Pravřídlo.

U vrtu A4 pravděpodobně došlo při navrtávání křemenného porfyru k porušení těsnosti báze křídý, a protože byly v křídových slínovcích zjištěny mělké obzory podzemní vody s volnou hladinou, vzniklo u vrtu A4 podezření na unikání křídových vod do porfyru a jejich případné příměsi do Pravřídla. Pravřídlo je od vrtu A4 vzdáleno přibližně 97 m.

Voda ve vrtu A4 byla proto označena jódem ^{131}I v hloubce 30 m (vrt byl hluboký 40 m, mezi 30-tí a 40-tí m byly pažnice perforované). Pro zatlačení stopovače do porfyrové vody byl k dispozici pouze vodovod, který byl vzhledem k malému průtoku vrtu zaléván nepřetržitě po dobu pěti hodin a zatlačení nebylo jednorázové. Tím ovšem došlo ke zředění koncentrace stopovače postupným vymýváním z vrtu. Stopovací zkouška byla provedena za neustálého čerpání vody z Pravřídla. Vzorky byly odebírány z hlavního výtlačného řádu, pro kontrolu bylo také změněno několik vzorků z tzv. studené termy (oblast příměsí chladné vody do pramene). Voda z vrtu A4 označená ^{131}I se za uvedených podmínek objevila v Pravřídle za 7,5 hodiny, zároveň byl stopovač zjištěn i ve studené termě. To tedy znamená, že k příměsím z vrtu dochází buď v oblasti studené termy nebo níže. Stopovací zkouška tak potvrdila komunikaci z vrtu A4 do lázeňského pramene Pravřídlo.

V LUJF jsou pomocí jódu ^{131}I řešeny problémy, při nichž doba průsaku nepřesahuje šestnáct dní, při měření delších komunikací je nutno kompenzovat rozpad jader jódu použitím vysoké aktivity ^{131}I , což znamená podstatný vzrůst nákladů, a v těchto případech je efektivnější použít jiný radionuklid (^{51}Cr nebo ^{124}Sb). Jako příklady zjišťování dlouhodobého průsaku je možno uvést stopovací zkoušky provedené na dole Zdeněk Nejedly a na Kyjické vodní nádrži.

Na dole Zdeněk Nejedly v Komořanech se uvažovalo o vytěžení uhelných zásob uložených v ochranných pilířích pod Hutním potokem. Mocnost nadloží by však při těžbě činila 50 m a bylo nutno zhodnotit nebezpečí možnosti průvalu vod Hutního potoka do důlních děl. K posouzení tohoto problému byla provedena stopovací zkouška, která ověřovala současné průsaky z vodní nádrže ležící v bezprostřední blízkosti Hutního potoka. Nádrž vznikla poklesem horniny při zavalení komor, obsahuje pět až

deset tisíc m^3 vody a je doplňována průsaky z potoka.

Voda v nádrži byla označena jódem ^{131}I tak, že specifická aktivita stopovače v nádrži činila $0,7 \text{ Bq ml}^{-1}$. V dole Zd. Nejedlý byly odebrány vzorky z průsaků v chodbách 2109/01 a 2109/02, vedoucích k zavaleným komorám pod nádrží, a z výtoků ve zdi 312. Pro nízkou koncentraci stopovače bylo prováděno srážení jódu dusičnanem stříbrným z jednoho litru vzorku. Zjistilo se, že jód se objevil ve všech třech sledovaných místech za sedm dní po označení. To je poměrně krátká doba i když uvážíme, že v tomto případě je propustnost horniny zvýšena porušením vrstev při poklesu, a při případném rubání pod Hutním potokem bude nutné zajistit těžbu proti průvalu potoka do dolu.

Kyjická vodní nádrž leží v předpolí velkolomu Jan Šverma a slouží k ochraně lomu před povrchovými vodami. Hladina vody v nádrži je udržována na kótě 262,0 m n.m. a objem vody činí $9\,000 \text{ m}^3$. Protože zde by bylo možno zvýšením hráze zvětšit objem akumulované vody, byla Kyjická nádrž brána do úvahy při hledání náhrady za Dřínovskou nádrž. Bylo však nutno vyřešit otázku, zda v případě trvalého zvýšení hladiny nedojde k výrazným průsakům z nádrže, které by ohrozily provoz v blízkém lomu Šverma.

Problém byl řešen stopovací zkouškou. Hladina vody v nádrži byla zvýšena na 265,0 m n.m., tím byl objem vody zvýšen na $109\,000 \text{ m}^3$. Označení nádrže radioaktivním jódem bylo provedeno rozstřelením ampulí rozmístěných napříč nádrží, specifická aktivita stopovače v nádrži byla po označení $0,2 \text{ Bq ml}^{-1}$. Eventuální průsaky byly zjišťovány v odvodňovacích vrtech vybudovaných při bočním svahu lomu Šverma mezi nádrží a lomem, nejkratší vzdálenost mezi nádrží a vrty činila 100 m. Také v tomto případě bylo nutno obohacovat vzorky srážením, v některých případech až z patnácti litrů vzorkové vody. V odvodňovacích vrtech byla přítomnost stopovače zjištěna za 4 dny po označení, tím se prokázalo, že dno přehrady je propustné a k zamezení průsaků by bylo nutno celé dno utěsnit.

Uvedené stopovací zkoušky se ^{131}I jako stopovačem ukazují, jak využívání radioaktivních látek umožňuje hydrogeologům získat objektivní informace o směru a rychlosti proudění podzemních vod, které by ji-

nými způsoby nebyly tak snadno dosažitelné.

Stopovací zkoušky s jódem ^{131}I nelze samozřejmě použít pro všechny problémy. Mají své omezení, daná poločasem rozpadu a adsorpcí jódu při průsaku horninou, a proto je v dalším rozvoji stopovacích zkoušek v SHR nezbytné využívat i jiné radionuklidy.

Recenzoval: Ing. Pavel Trýzna

S h r n u t í

Stopovací zkoušky podzemních vod v SHR s radioaktivním ^{131}I

Laboratoř užitě jaderné fyziky VÚHU zjišťuje mj. směry a rychlosti proudění podzemních vod v SHR pomocí stopovacích zkoušek, využívajících radioaktivní ^{131}I jako stopovače. Výsledky zkoušek poskytují hydrogeologům objektivní podklady pro řešení báňských problémů.

Р е з ю м е

Опыт изучения грунтовых вод бассейна СББ путем их мечения радиоактивным индикатором ^{131}I

Работники лаборатории прикладной ядерной физики н.-иссл. института ВУГУ, г. Мост изучают пути и скорости перемещения грунтовой воды на территории бассейна СББ с помощью ^{131}I в качестве радиоактивного индикатора. Результаты этих измерений служат гидрогеологам-специалистам объективной базой для решения конкретных горнотехнических задач.

