

Vývoj autonomního zařízení pro dlouhodobé sledování radonu ve vodě jako indikátoru podmořských vývěřů podzemní vody

Jan Kameník^{1,2}, Henrieta Dulaiova¹, James Babinec³, James Jolly³, Mario Williamson³

¹ Department of Geology and Geophysics, University of Hawaii.

² Ústav jaderné fyziky AVČR, v.v.i., Řež

³ School of Ocean and Earth Science and Technology, Engineering Support Facility, University of Hawaii

Dlouhodobé trendy podmořských vývěřů podzemní vody (SGD, z angl. Submarine Groundwater Discharge) jsou ovlivňovány změnami v terestrických a oceánských hnacích mechanismech. Mohou to být přílivové, denní a sezónní změny, některé procesy se mění v cyklu několika roků nebo desetiletí¹. Bylo ukázáno, že pro dlouhodobé monitorování změn SGD je jeden z vhodných indikátorů koncentrace ²²²Rn ve vodě². V etablované metodě pro studium SGD je ²²²Rn ve vodě stanovován měřením záření alfa krátkodobých produktů přeměny po jeho extrakci z vody ve výměníku RAD-Aqua (Durringe, Inc.). Tento postup je pro dlouhodobé monitorování SGD možné použít jen v případech, kdy je v monitorovaném stanovišti možné zajistit zdroj energie, především pro kontinuální pumpování vody do výměníku. Aktivní pumpování vody se nepoužívá u výměníku Water Probe (Durringe, Inc.), který ²²²Rn z vody extrahuje pomocí polopropustné membrány, časová odezva tohoto výměníku je ale pomalá pro zachycení změn SGD v důsledku přílivových jevů. Obsah ²²²Rn ve vodě je také možné sledovat měřením záření gama izotopů ²¹⁴Pb ($T_{1/2}$ 26,8 min) a ²¹⁴Bi ($T_{1/2}$ 19,9 min). Stanovení obsahu radonu z takového měření závisí na stupni ustanovení radioaktivní rovnováhy³. Spektrometry záření gama pro takový účel mohou být vybaveny scintilačním NaI(Tl)⁴⁻⁷ nebo polovodičovým HPGe⁸ detektorem, který může být umístěn přímo ve vodě. Tento příspěvek shrnuje konstrukci a testování autonomního zařízení navrženého pro dlouhodobé monitorování SGD měřením záření gama v odloučených lokalitách bez zdroje elektrické energie. Zařízení bylo po zkonstruování nazváno SGD Sniffer.

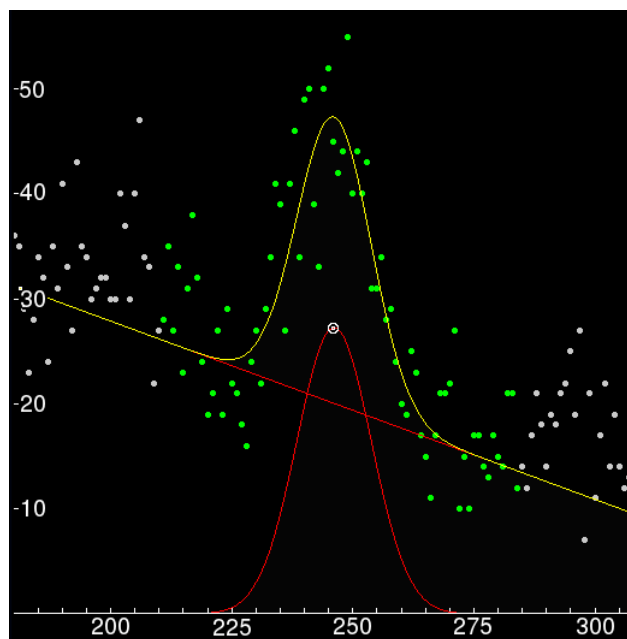
Popis zařízení SGD Sniffer

Jako měřicí jednotka byl použit scintilační detektor s krystalem NaI(Tl) ve tvaru válce o průměru a výšce 7,6 cm připevněným k fotonásobiči (Alpha Spectra, Inc.), který byl připojen k mnohokanálovému analyzátoru s digitálním vyhodnocením signálu digiBASE™ (Ametek, Inc.). Analyzátor byl připojen k USB rozhraní počítače PC/104 Cool RoadRunner LX-800 (LiPPERT by ADLINK), který byl vybaven operačním systémem GNU/Linux. Analyzátor byl ovládán pomocí knihovny libdbaserh, která byla vytvořena pro účely této práce modifikací knihovny libdbase⁹ vyvinuté pro starší verzi analyzátoru a zpřístupněné se zdrojovými kódy v jazyce C pod licencí GNU GPL.

Systém byl napájen pomocí čtyř Li-on baterií BA95HC-FL (OceanServer Technology, Inc.), které byly nabíjeny řídicím modulem MP-08S (OceanServer Technology, Inc.) a čtyřmi solárními panely GSP-30 (Ganz Eco-Energy). Detekční systém spolu s řídicím počítačem byl umístěn do vodotěsného krytu z materiálu Delrin (tloušťka stěny 1cm), vyrobeného v dílnách SOEST Havajské univerzity. Kryt byl před uzavřením vyplněn plynným dusíkem pro omezení kondenzace vlhkosti a upevněn vodorovně uprostřed konstrukce svařené z hliníkových L profilů o čtvercové podstavě s délkou strany 105 cm a výškou 69 cm. Ke konstrukci byly připevněny také solární panely, pouzdro s bateriemi a dva válcové plováky dlouhé 66 cm. Při umístění konstrukce na vodu byl detektor ponořen 0,3 m pod hladinou.

SGD Sniffer umožňuje kontinuální načítání spekter a jejich uložení v nastavených intervalech do paměti počítače. Při inspekci zařízení je možné spektra přenést do počítače operátora pomocí speciálního rozhraní. V jednotlivých souborech jsou zaznamenány datum a čas začátku a konce měření, výpis obsahu všech 1024 kanálů analyzátoru a základní diagnostické parametry měřicího a napájecího systému.

Pro hromadné zpracování spekter byl vytvořen skript v jazyce perl. Pomocí programu Fityk¹⁰ byla vyhodnocena plocha linek gama proložení oblastí zájmu Gaussovou funkcí po odečtení Comptonova kontinua aproximovaného lineární závislostí, jak je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1 Vyhodnocení plochy linky gama o energii 609 keV od izotopu ^{214}Bi pomocí programu Fityk¹⁰. Znáznorněna je závislost obsahu kanálu na jeho čísle (doba načítání 30 min).

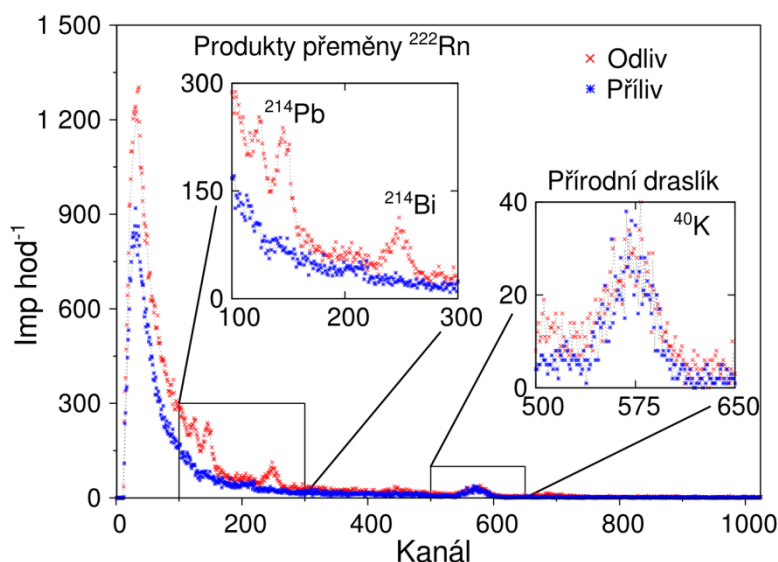
Výsledky a diskuse

Zařízení SGD Sniffer bylo navrženo pro dlouhodobé monitorování SGD v odlehlých oblastech bez možnosti připojení k vnějšímu zdroji elektrické energie. Z důvodu nižších nároků na elektrickou energii byl použit pro stanovení ^{214}Bi (produkt přeměny ^{222}Rn) ve vodě scintilační detektor s kompaktním mnohakanálovým analyzátozem. Pro omezení kolísání energetické kalibrace měřicího systému, například v důsledku změn teploty, byl analyzátoz stabilizován interní funkcí měřením linky 1461 keV od izotopu ^{40}K v mořské vodě. Pro využití zkušeností s nastavením dlouhodobého bezobslužného režimu měření byl ovládací počítač vybaven operačním systémem GNU/Linux, který však není výrobcem analyzátozu podporován. Kock a Nilsson⁹ vytvořili a zpřístupnili balík knihoven libdbase pro ovládání analyzátozu digiBASE pomocí počítače se systémem GNU/Linux. Jak se později ukázalo, náš analyzátoz byl vylepšený model označovaný výrobcem písmeny RH, a s knihovnamy libdbase nekomunikoval. Úpravou zdrojových kódů metodou pokus-omyl (dokumentace komunikace analyzátozu s počítačem není výrobcem zveřejněna) se podařilo získat funkční balík nazvaný libdbaserh, který bylo možné použít k řízení měření našeho analyzátozu. Jako zdroj elektrické energie pro SGD Sniffer sloužily fotovoltaické solární panely a baterie, jejichž plná kapacita byla navržena pro dvacetidenní provoz bez dobíjení. Pro úsporu elektrické energie byl řídicí

počítač nakonfigurován tak, že kromě doby nutné pro uložení spektra a spuštění nového měření byl v režimu spánku.

Vodotěsný kryt detektoru byl vyroben z polyformaldehydu označeného komerčním názvem Delrin. Pro odhad zeslabení záření gama o energii 609 keV izotopu ^{214}Bi stěnou krytu byl použit kalibrační zářič ^{137}Cs s linkou gama o blízké energii (662 keV). Bylo zjištěno, že 1 cm materiálu Delrin způsobí zeslabení přibližně o 10%. Tato hodnota byla ve shodě s vypočteným zeslabením 11 % stanoveným pro 1 cm tlustou vrstvu bakelitu (materiál o podobné hustotě jako Delrin) a záření gama o energii 600 keV.

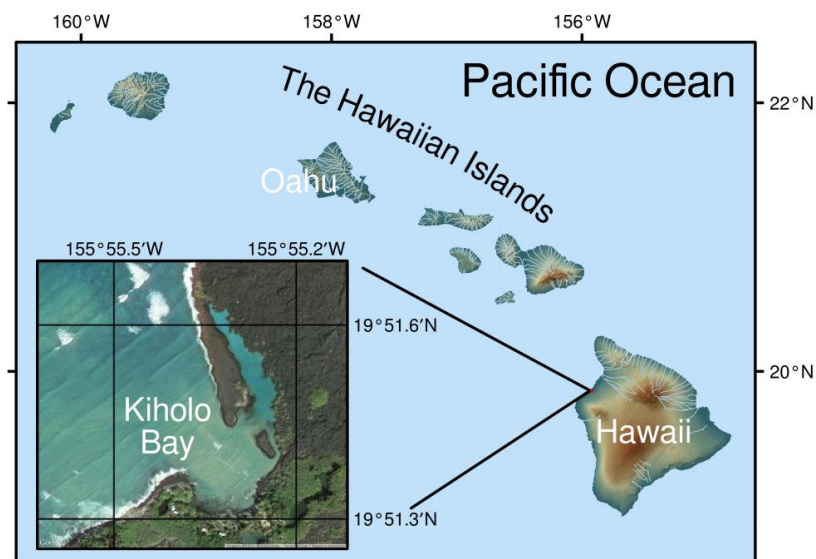
Před zkompletováním zařízení byl proveden test detektoru v lokalitě Black Point blízko Honolulu. Detektor byl upevněn na člunu asi 20 m od pobřeží a ponořen ve vodotěsném obalu do mořské vody v místě se známým vývěrem SGD. Spektra naměřená při odlivu a přílivu znázorněná na Obr. 2 potvrzují použitelnost navrženého způsobu měření. Izotopy ^{214}Bi a ^{214}Pb jako produkty přeměny ^{222}Rn ve vodě byly dobře detekovány při odlivu, při přílivu jejich koncentrace poklesla pod detekční mez. V případě měření záření gama o energii 1461 keV od izotopu ^{40}K rozdíl mezi přílivem a odlivem pozorován nebyl. Buď nedošlo k výrazné změně slanosti vody, nebo přispíval do měření při odlivu částečně také ^{40}K obsažený v materiálu dna (při odlivu byl detektor cca 40 cm ode dna).



Obr. 2 Spektra záření gama získaná při testu detektoru ponořeného do mořské vody v lokalitě Black Point na jižním pobřeží ostrova Oahu v Havajském souostroví.

Dlouhodobý provoz SGD Snifferu (ukládání spekter, nabíjení baterií, apd.) byl úspěšně ověřen při měsíčním provozu v kanálu s pomalu proudící povrchovou vodou na severovýchodní straně ostrova Oahu. Protože v povrchové vodě bylo jen malé množství rozpuštěného draslíku, nefungovala funkce stabilizace energetické kalibrace. Při použití v takovém prostředí by proto bylo vhodné k detektoru umístit kalibrační zářič, například malé množství draselné soli.

První skutečné dlouhodobé nasazení SGD Snifferu proběhlo v zátocě Kiholo Bay na severozápadním pobřeží ostrova Hawaii v Havajském souostroví (Obr. 3) v rámci dlouhodobého projektu studující SGD v této oblasti. Dulaiova se spolupracovníky³ uvádí první výsledky získané v této lokalitě během devítiměsíčního provozu.



Obr. 3 Mapa znázorňující polohu zátoky Kiholo Bay na ostrově Hawaii v Havajském souostroví, kde byl v roce 2014 umístěn SGD Sniffer³.

Tato studie byla podpořena v rámci programu National Science Foundation Hawai'i EPSCoR (číslo projektu EPS-0903833) a National Science Foundation grantu RAPID (RAPID OCE-1137412). V práci uvedené názory, zjištění a závěry nemusí vyjadřovat oficiální stanoviska podporujících organizací.

1. Gonnee M.E., Charette M.A., *Envir. Sci. Tech.* 48 (2014) 14178-14185.
2. Kim G., Hwang D.H., *Geophys. Res. Lett.* 29 (2002) 23-1-4.
3. Dulaiova H., et al., Autonomous long-term gamma-spectrometric monitoring of submarine groundwater discharge in Hawaii, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2015, submitted.
4. Povinec P.P., et al., *Cont. Shelf Res.* 26 (2006) 874-884.
5. Tsabaris C., et al., *Appl. Radiat. Isotopes* 66 (2008) 1419-1426.
6. Tsabaris C. et al., *Greece. J. Environ. Radioactiv.* 108 (2012) 50-59.
7. Zafir H., et al., *Radiat. Meas.* 44 (2009) 193-198.
8. Povinec P.P., Osvath I., Baxter M.S., *Appl. Radiat. Isotopes* 47 (1996) 1127-1133.
9. Kock P., Nilsson J., Libdbase verze 0.2, Free C library for (USB) Ortec digiBASE access from Linux userspace, <http://sourceforge.net/projects/libdbase/> (přistoupeno 27.2.2012).
10. Wojdyr M., *J. Appl. Crystallogr.* 43 (2010) 1126-1128.

Development of an autonomous device for long-term monitoring of ²²²Rn in water as the tracer for submarine groundwater discharge

Jan Kamenik^{1,2}, Henrieta Dulaiova¹, James Babinec³, James Jolly³, Mario Williamson³

¹ Department of Geology and Geophysics, University of Hawaii.

² Nuclear Physics Institute, The Czech Academy of Sciences, Řež

³ School of Ocean and Earth Science and Technology, Engineering Support Facility, University of Hawaii

An autonomous device SGD Sniffer was developed for a long-term monitoring of submarine groundwater discharge (SGD). The device is equipped by a scintillation detector NaI(Tl) with a multichannel analyzer. The measurement is controlled by an embedded PC. The device is powered by batteries charged by photovoltaic panels and could be used in a remote area without any additional power source. The device detects gamma-lines from ²¹⁴Pb, a grand-grand daughter of ²²²Rn. The gamma-ray spectra are saved as text files and contain also basic diagnostic parameters for the analyzer and batteries. A script for batch processing of the spectra was developed for determination of peak areas.