

SLEDOVÁNÍ RADIOAKTIVNÍCH LÁTEK V OKOLÍ JADERNÉ ELEKTRárny TEMELÍN NA PŘíKLADU RADIODESIA

Výzkumu výskytu a chování přírodních a umělých radionuklidů v životním prostředí ovlivněném jaderným palivovým cyklem je celosvětově věnována významná pozornost. V podmínkách České republiky jde o vliv těžby a zpracování uranových rud (přírodní radionuklid), provozu jaderných elektráren a skladování vyhořelého paliva a vliv reziduálního znečištění po atmosférických testech jaderných zbraní a jaderné havárii v Černobylu v minulém století (umělé radionuklid). Výskyt takto uvolněných radioaktivních látek do prostředí přetrvává a je třeba znát jejich úroveň k možnému hodnocení vlivů nových zdrojů znečištění, zejména jaderných elektráren. Trendy změn koncentrací radioaktivních látek jsou pomalé a k jejich poznání je třeba cílené sledování. Potenciální zdroje znečištění jsou lokalizovány na málovodných tocích v osídlené krajině.

Hodnocení pozadí (nulového bodu) a následně vlivu provozu Jaderné elektrárny (JE) Temelín na hydrosféru je zahrnuto v řadě projektů. V rámci řešení výzkumného záměru je hlavní pozornost zaměřena na vývoj pozadí umělých radionuklidů, jejich distribuci a chování v hydrosféře. Pozadí umělých radionuklidů v širším okolí JE Temelín představují radioaktivní látky (zejména tritium, stroncium 90 a cesium 137) pocházející z atmosférické depozice po testech jaderných zbraní a havárii jaderného reaktoru v Černobylu. V příspěvku jsou shrnutý výsledky dlouhodobého sledování na příkladu radioizotopu cesia v hydrosféře v okolí JE Temelín.

Pro zjištění referenčního stavu výskytu přírodních a umělých radionuklidů a pro hodnocení vlivu JE Temelín byly odebrány vzorky povrchových vod, sedimentů a ryb nad i pod zaústěním odpadních vod z JE Temelín. Odběr a předúprava vzorků a následné stanovení radionuklidů byly prováděny podle příslušných norem a doporučení (ČSN EN 25667-1 a 2, ČSN ISO 5667-3 až 16, ČSN ISO 10703). Referenční radiologická laboratoř VÚV T.G.M., v.v.i., má Osvědčení o správné činnosti laboratoře vydané ASLAB Střediskem pro posuzování způsobilosti laboratoří na základě úspěšného posouzení skupinou nezávislých expertů. Měřidla jsou pravidelně ověřována v souladu s požadavky zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, u Českého metrologického institutu, Inspektorátu pro ionizující záření Praha. Laboratoř se zúčastňuje mezikulturního porovnávání zkoušek.

V povrchových vodách bylo hodnoceno cesium 137 ve veškerých látkách, tj. v rozpuštěné a nerozpustěné formě celkem. Z hodnocení vývoje objemových aktivit cesia 137 ve vzorcích povrchových vod odebraných v období 1990–2008 vyplývá, že dochází k postupnému poklesu objemových aktivit cesia 137. Pro popis závislosti koncentrace umělých radio-

nuklidů na čase se ukázala jako vhodná rovnice kinetiky 1. řádu. Tento trend byl původně hodnocen za celé období sledování. Rovnice kinetiky 1. řádu pro příklad cesia 137 má tvar

$$\ln c_{137\text{Cs}} = -\lambda_{\text{ef}} \cdot t + q,$$

kde

$c_{137\text{Cs}}$ je objemová aktivita cesia 137 ve veškerých látkách ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$),

λ_{ef} – efektivní (pozorovaná) rychlostní konstanta poklesu objemové aktivity cesia 137 zahrnující fyzikální přeměnovou konstantu cesia 137 (λ) a ekologickou rychlostní konstantu (λ_{ek}) pro cesium 137, $\lambda_{\text{ef}} = \lambda + \lambda_{\text{ek}} (\text{r}^{-1})$,

t – čas (r),

q – objemová aktivita cesia 137 při zahájení sledování ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$).

Za celé období sledování (1990–2008) bylo pozorováno zpomalování rychlosti ubývání objemové aktivity cesia 137, a proto byl zvlášť hodnocen vývoj koncentrace cesia 137 za období 1990–1994 a zvlášť za období 1995–2008. Příklady pro profil odběru technologických vod Vltava-Hněvkovice a profil pod zaústěním odpadních vod JE Temelín, resp. na vyústění z vodní nádrže (VN) Orlík, Vltava-Solenice,

jsou uvedeny na obr. 1. Na ose y je uveden přirozený logaritmus objemové aktivity cesia 137 v Bq.m^{-3} a na ose x čas ($t = 0$ odpovídá začátku sledování v roce 1990). Hodnoty menší než minimální detekovatelná aktivita (MDA) byly započteny na úrovni 0,5 MDA.

Z hodnocení trendu poklesu koncentrace cesia 137 byly vypočteny efektivní a ekologický poločas

$$T_{ef} = \frac{\ln 2}{\lambda_{ef}}; \quad \frac{1}{T_{ekol}} = \frac{1}{T_{ef}} - \frac{1}{T},$$

kde

T_{ef} je efektivní poločas (r),

λ_{ef} – efektivní (pozorovaná) rychlostní konstanta poklesu objemové aktivity cesia 137 (r^{-1}),

T_{ekol} – ekologický poločas (r),

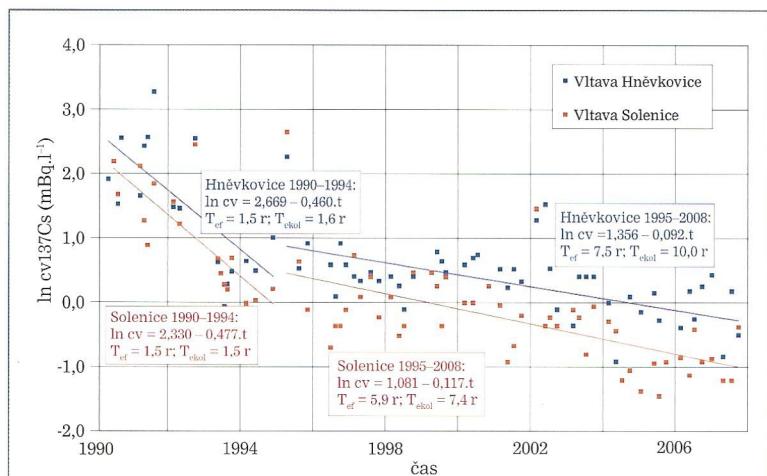
T – fyzikální poločas (r).

V profilu Vltava-Hněvkovice byl vypočten za období 1990–1994 efektivní poločas ubývání $T_{ef} = 1,5$ r a ekologický $T_{ek} = 1,6$ r. Za období 1995–2008 byl vypočten $T_{ef} = 7,5$ r a $T_{ek} = 10,6$ r. Podobně v profilu Vltava-Solenice byl za období 1990–1994 vypočten efektivní poločas ubývání $T_{ef} = 1,5$ r a ekologický shodně $T_{ek} = 1,5$ r. Za období 1995–2008 to bylo $T_{ef} = 5,9$ r a $T_{ek} = 7,4$ r. Podobný trend poklesu objemové aktivity cesia 137 byl pozorován také ve vodě ostatních neovlivněných přítoků do VN Orlík – Lužnice a Otavy. Z těchto výsledků vyplývá, že trend poklesu a výskyt významně nižších objemových aktivit cesia 137 v profilu pod VN Orlík, Vltava-Solenice, trvá i v období, kdy již dochází k vypouštění odpadních vod z JE

Temelín. Skutečností však je, že vypouštěná množství konkrétních umělých radionuklidů s výjimkou tritia jsou velmi nízká, vesměs pod mezí detekce.

Ríční dnové sedimenty byly sledovány ve 4 až 7 odběrových místech na řece Vltavě v úseku Týn nad Vltavou až hráz VN Orlík a na hlavních přítocích před zaústěním do VN Orlík – Lužnice a Otavy s četností 1x ročně, a to z vrstvy 0–10 cm. Zrnitost odebraných vzorků byla vesměs menší než 2 mm. V sedimentech byl kromě cesia 137 hodnocen i jeho izotop 134. Vývoj ročních průměrných hmotnostních aktivit cesia 137 a cesia 134, vztažených na sušinu při 105 °C, v ln-normálních souřadnicích ve sledovaných profilech za celé období sledování 1990–2008 je uveden na obr. 2. Sledované profily pro odběr sedimentů zahrnují jak místa později neovlivněná provozem JE Temelín, zejména přítoky do VN Orlík, tak místa potenciálně ovlivňovaná, tj. profily ve VN Orlík pod zaústěním odpadních vod v profilu Vltava-Kořensko. Výsledky za celé období sledování jsou dále hodnoceny souhrnně, protože i výsledky sledování za období 2001–2008 je možné pokládat za prakticky neovlivněné zkušební provozem 1. a 2. bloku JE Temelín. Důvodem jsou velmi nízké aktivity cesia 137 vypouštěného s odpadními vodami JE Temelín ve srovnání s reziduální kontaminací sedimentů.

Z obr. 2 je zřejmé, že obdobně jako v případě vody dochází i u dnových sedimentů k poklesu hmotnostních aktivit radioizotopů cesia, pro jehož popis vyhovuje rovnice pro kine-



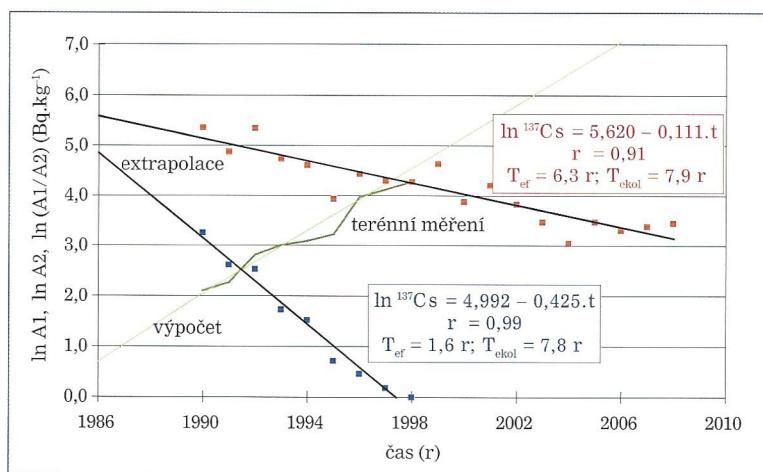
Obr. 1. Vývoj objemové aktivity cesia 137 na příkladech profilů Vltava-Hněvkovice a Vltava-Solenice

tiku 1. řádu, nebylo však pozorováno zpomalení rychlosti ubývání jejich hmotnostní aktivity. V případě cesia 137 efektivní poločas ubývání T_{ef} za období 1990–2008 byl 6,3 r a ekologický T_{ek} 7,9 r. V případě cesia 134 byly hmotnostní aktivity vesměs pod mezí detekce od roku 1999. Z těchto důvodů bylo hodnocení trendu ukončeno v roce 1998. Efektivní polo-

ve srovnání s jeho reziduálním obsahem ve vodě a zejména v sedimentech, není možné ani obsah cesia 137 v rybách přičítat vlivu JE Temelín.

Z výsledků soustavného sledování obsahu cesia 137 ve Vltavě pod zaústěním odpadních vod z JE Temelín vyplývá, že není možné

Obr. 2. Vývoj ročních průměrných hmotnostních aktivit cesia 137 a cesia 134 za období 1990–2008



čas ubývání T_{ef} za období 1990–1998 byl 1,6 r, ekologický poločas T_{ek} byl pro toto období 7,8 r. Hodnoty teoreticky vypočtených podílů hmotnostních aktivit cesia 137/cesia 134 na základě poměru při havárii v Černobylu 2/1 dobře souhlasily s hodnotami vypočtenými na základě terénního měření v okolí JE Temelín do roku 1998.

Dále byl sledován výskyt a chování cesia 137 v rybách. Vzorky ryb byly odebírány z VN Orlík a přítoků. Vývoj hmotnostních aktivit cesia 137 je zobrazena na obr. 3. Podobně jako v případě vzorků vody a sedimentů byla pro pokles hmotnostních aktivit cesia 137 v rybách použita rovnice kinetiky 1. řádu. Při společném hodnocení výsledků stanovení ve všech vzorcích (v dravých a nedravých rybách) byla vyhodnocena rychlejší fáze ubývání po havárii v Černobylu v roce 1986 až do roku 1990 charakterizovaná efektivním poločasem ubývání $T_{ef} = 1,0$ r (ekologický poločas T_{ek} v tomto období byl 1,1 r). V dalším období 1994–2008 již byla rychlosť ubývání výrazně pomalejší a efektivní a ekologický poločas byl 6,3 r, resp. 7,9 r. Vzhledem k tomu, že při provozu JE Temelín byla vypuštěna mnohem menší aktivita cesia 137 s odpadními vodami

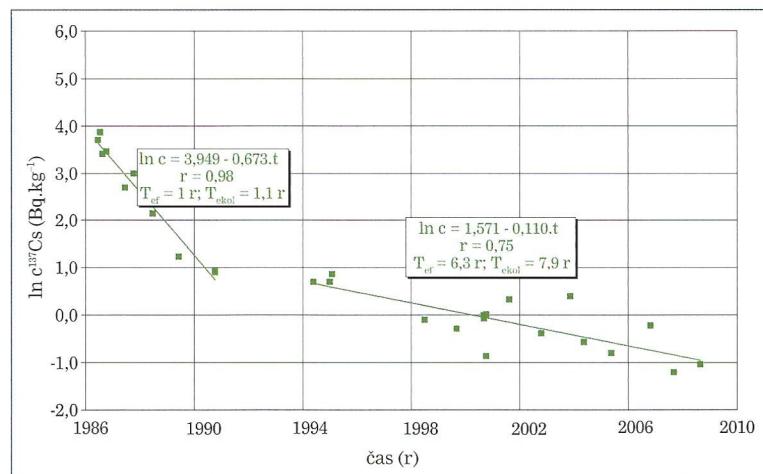
detekovat vliv odpadních vod v tomto ukazateli, resp. že případný vliv vypouštěných odpadních vod je zcela překryt stávajícím „pozadím“. Podobné závěry je možné odvodit pro stroncium 90, ostatní aktivační a štěpné produkty s výjimkou tritia nebyly detekovány. Tritium je jediný radioaktivní ukazatel, který je možné spolehlivě detekovat pod zaústěním odpadních vod z JE Temelín. Obecně je možné konstatovat, že jsou dodržovány požadavky nařízení vlády č. 61/2003 Sb. v platném znění, resp. Výroku KÚ, 2007, a to ve všech sledovaných radioaktivních i neroadioaktivních ukazatelích.

Souhrnně lze konstatovat, že obsah umělých radionuklidů cesia 137 a stroncia 90 v hydro-sféře nad a pod zaústěním odpadních vod z JE Temelín představuje hlavně reziduální znečištění z atmosférického spadu po testech jaderných zbraní a havárii jaderného reaktoru v Černobylu. Vývoj objemových aktivit těchto radionuklidů má sestupný trend a zjištované objemové aktivity ve vodě se přibližují mezím detekce i při zpracování velkoobjemových vzorků 50 l. Vliv JE Temelín na obsah těchto a dalších aktivačních a štěpných produktů, s výjimkou tritia, nebyl detekován.

Vlivy tritia vypouštěného s odpadními vodami JE Temelín jsou měřitelné, ale roční průměrné objemové aktivity ve Vltavě odpovídají prognózním výpočtům vypouštění tritia na úrovni ročního limitu (66 TBq) a pro tzv. zabezpečený a průměrný průtok vody.

V návaznosti na uvažovanou dostavbu nové-

ho jaderného zdroje v lokalitě Temelín se ukazuje jako potřebné pokračovat ve sledování a hodnocení vývoje ukazatelů radioaktivních a neradioaktivních látek v odebírané surové vodě, ve vypouštěných odpadních vodách a ve Vltavě pod jejich zaústěním, a to pro zajištění referenčního stavu zahrnujícího reziduální kontaminaci i vliv provozu JE Temelín.



Obr. 3. Vývoj hmotnostních aktivit cesia 137 ve vzorcích ryb

Získané poznatky jsou průběžně publikovány:

Hanslík, E., Ivanovová, D., Brtvová, M., Kalinová, E., Sedlářová, B., Šimonek, P. a Vaněček, I. Sledování a hodnocení kvalitativních a kvantitativních parametrů vody a dnových sedimentů ve vybraných profilech toků a ve vybraných nádržích. In Sborník konference Hodnocení vlivů jaderné elektrárny Temelín na životní prostředí, MŽP Praha, JU České Budějovice, Zemědělská fakulta, České Budějovice, 2004, s. 81–88.

Hanslík, E., Jedináková-Křížová, V., Ivanovová, D., Kalinová, E., Sedlářová B., and Šimonek, P. Observed half-lives of ^{3}H , ^{90}Sr and ^{137}Cs in hydrosphere in the Vltava River basin (Bohemia). *Journal of Environmental Radioactivity*, 2005, 81, s. 307–320.

Juranová, E., Hanslík, E., Ivanovová, D. Změny hodnot ukazatelů látek ve vodním hospodářství Jaderné elektrárny Temelín. In Punčochář, P., Geller, W. et al. 12. Magdeburkský seminář o ochraně vod, Rámcová směrnice

o vodách (WFD). Český Krumlov, 10. 10. 2006. Praha : Podvodí Vltavy, státní podnik, 2006, s. 185.

Hanslík, E., Ivanovová, D., and Kluganostová, M. Balances of suspended matter and radionuclides in inflow and outflow waters of Orlík Reservoir, Vltava River (Czech Republic). In Strand, P. and Brown, J. Torun Jolle International Conference on Radioecology and Environmental Radiactivity, Oral & Oral Postrer Presentation Proceedings Part 2. Bergen, Norsko, 15. 6. 2008. Osteras, Norsko: Norwegian Radiation Protection Authority, 2008, s. 136–139. ISBN 978-82-90362-25-1.

Hanslík, E., Ivanovová, D., Juranová, E., Šimonek, P., and Jedináková-Křížová, V. Monitoring and assessment of radionuclide discharges from Temelín Nuclear Power Plant into the Vltava River (Czech Republic). *Journal of Environmental Radioactivity*, 100 (2009), 2009, s. 131–138.

Kontakt:

Mgr. Diana Ivanovová, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
Podbabská 30, 160 00 Praha 6, tel.: 220 197 335, e-mail: diana_ivanovova@vuv.cz
Ing. Eduard Hanslík, CSc., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
Podbabská 30, 160 00 Praha 6, tel.: 220 197 269, e-mail: eduard_hanslik@vuv.cz