

## Oponentský posudek disertační práce doktorandského studia

„Studie chování  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^3\text{H}$  v okolí jaderné elektrárny Temelín“

Mgr. Diana Ivanovová

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., v.v.i. Praha (dále VÚV)

Cílem Disertační práce (dále DP) Mgr. Ivanovové bylo komplexní zpracování výskytu a chování radionuklidů tvořících residuální kontaminaci vodního prostředí (povrchová voda, říční sedimenty, vodní rostliny a ryby) v okolí ČEZ, a.s. Jaderná elektrárna Temelín (dále ETE) za více než dvacet let (od roku 1986), a tak posoudit vliv této elektrárny na hydrosféru. Mgr. Ivanovová přitom vycházela z výsledků výzkumných úkolů řešených VÚV - Státní úkol N 03-331-867, Projekty VaV/510/1/96 a VaV/640/8/03, na nichž se sama od roku 2000 podílela (viz. 11 odborných presentací a publikací, kde je autorkou, či spoluautorkou).

Pozornost byla věnována radioekologicky a radiologicky významným, dlouhodobým radionuklidům  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ , které se nacházejí v hydrosféře především jako následek jaderných pokusů a havárie JE v Černobyli, a dále tritiu, které představuje více než 95% obsahu radionuklidů v kapalných výpustech ETE za normálního provozu.

Hodnocení se zaměřilo na časoprostorové změny obsahu/aktivity radionuklidů v uvedených složkách hydrosféry, na základní radioekologické charakteristiky, pomocí kterých lze hodnotit dlouhodobé vlivy ETE. Nyní podrobněji k jednotlivým kapitolám DP.

Ve druhé kapitole jsou prezentovány charakteristiky sledovaných radionuklidů  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^3\text{H}$  – jejich vznik, fyzikální a chemické vlastnosti, ovlivňující jejich chování v hydrosféře<sup>1</sup>.

Kapitola 3 je věnována zdrojům  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^3\text{H}$  v životním prostředí – a to přirozeným procesům ( $^3\text{H}$ ), testům jaderných zbraní, havárii JE v Černobyli a provozu jaderných zařízení (závody na přepracování paliva, JE, sklady a úložiště radioaktivních odpadů).

Ve 4. kapitole je stručně, ale výstižně popsáno chování radionuklidů v hydrosféře (sorpce a desorpce na suspendované látky, následná sedimentace, resuspenzace, srážení), příjem  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  živými organismy hydrosféry a časové změně jejich koncentrace (na základě poločasu radioaktivní přeměny a ekologického poločasu ubývání).

Pátá kapitola je věnována charakteristice ETE se zaměřením na vodní hospodářství JE (výpusti do vodotečí, koncentrační, bilanční a limitní vodohospodářské a radiační úrovně, množství vypouštěných odpadních vod).

Z textu úvodních pěti kapitol je zřejmé, že autorka se velmi dobře orientuje v dané problematice a je seznámena jak s odbornou literaturou, tak legislativními požadavky v dané oblasti.

Šestá kapitola je věnována samotným metodikám, kdy autorka nejprve uvádí, které složky, kde, kdy a kým byly roku 1990 sledovány. Pozornost je věnována odběrům a přípravě vzorků a metodikám vlastního stanovení  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^3\text{H}$ . Metodiky zahrnují výpočty:

- objemových a hmotnostních aktivit, včetně výpočtů MDA,
- roční bilance aktivity radionuklidů v daném říčním profilu,
- bilance aktivity radionuklidů v daném profilu vztažené k celkové aktivitě radionuklidu v daném povodí,
- roční záchyt radionuklidů ve vodní nádrži Orlik,
- roční bilance nerozpuštěných látek v daném říčním profilu.

<sup>1</sup> Náplní odst. 2. 3. je spíše radiologický význam sledovaných radionuklidů.

Jak odběry, tak metodiky stanovení radionuklidů zpravidla vycházejí z příslušných norem ČSN, ČSN ISO, či metodik akreditovaných laboratoří.

Jádro práce tvoří kapitoly 7. a 8. věnované výsledkům a diskusi. K výsledkům charakterizujících *vývoj objemové aktivity radionuklidů v povrchových vodách* ( $a_v$ ), lze říci – z dlouhodobého hlediska významný pokles  $^{137}\text{Cs}$  (méně již  $^{90}\text{Sr}$ ) zejména „černobylského“ původu není překvapivý; to, že se měří i hodnoty pod MDA rovněž nepřekvapí - je to dáno citlivostí metody a vodohospodářskými poměry v daném profilu a dobou odběru. V případě „ovlivněných“ profilů závisí na tom, kdy došlo k vypuštění nádrží z JE a kdy se odebíralo. Tento problém by měl být předmětem dalších analýz – snažit se neměřit „nuly“, ale sledovat harmonogram výпустí a tomu přizpůsobit místo a dobu odběru. Autorka práce s kolegou Hanslíkem již první kroky v tomto směru podnikli (Ivanovová, D., Hanslík, E. Optimalizace monitoringu kapalných výпустí z jaderné elektrárny Temelín, Bezpečnost jaderné energie, 2009, roč. 17, č. 1/2, s. 29-36).

V této souvislosti bych se rád zeptal, proč nebyl (obr. 12 až 23) učiněn pokus vyhodnotit vývoj/trend objemové aktivity  $^{137}\text{Cs}$  ( $a_{v,\text{Cs}}$ ) a  $^{90}\text{Sr}$  ( $a_{v,\text{Sr}}$ ) jednou, složenou funkcí za celé sledované období (při dnešních možnostech výpočetní techniky by to nebyl problém), když stejně autorka uvažuje z ekologického hlediska tří, příp. dvou složkovou exponenciální závislost (str. 23).

Jelikož jsou presentovány trendy objemové aktivity od roku 1990, je zřejmé že rychlejší pokles aktivity  $a_{v,\text{Cs}}$  v 90-tém a dalších ještě 2- 3 letech je dán distribucí „černobylského“ cesia (u stroncia byly poměry jiné s ohledem na to, že množství  $^{90}\text{Sr}$  uvolněné při „černobylské“ havárii bylo o několik řádů nižší než v případě  $^{137}\text{Cs}$ ). V této souvislosti bych si dovilil poznámku, že hodnota  $T_{\text{ekol}}$  pro  $^{90}\text{Sr}$  v profilu Hněvkovice zřejmě neodpovídá realitě, ale spíše je problém v modelu (velmi malý pokles zřejmě ještě  $^{90}\text{Sr}$  z jaderných výbuchů – „černobylské“ Sr se neprojeví).

Z tab. 6 a 7 vyplývá, že doposud lze očekávat spíše rozdíly v ekologických trendech mezi přítoky do VN než v důsledku vypustí JE. Zajímavé bude sledovat charakter dlouhodobého kontinuálního přísunu tritia z JE. Ale to je otázka dalšího sledování a výběru vhodných profilů. Vždyť sledování tritia z výпустí JE je, kromě jiného, i vhodným indikátorem radiační situace pro případ „havarijních“ úniků.

Pokud jde o vývoj *hmotnostních aktivit v sedimentech* ( $a_m$ ) platí v podstatě totéž, co pro objemové aktivity. Nebudu opakovat, co jsem uvedl výše – považoval bych za rozumné provést proklad jednou složenou funkcí - je to patrné zejména v případě  $^{90}\text{Sr}$  (obr. 37 – z malého počtu hodnot v tak širokém časovém období lze těžko usuzovat na trendy).

Pokud jde o *hmotnostní aktivity v rybách* – to, že pro fázi F2 ( $^{137}\text{Cs}$ ) a celé období pro  $^{90}\text{Sr}$  byly zjištěny velmi podobné efektivní i ekologické poločasy potvrzuje výše zmíněný předpoklad, že by bylo vhodné použít u cesia více složkovou funkci (fyzikální pokles a ekologický pokles - „černobylský“ a „z výbuchů“). I distribuce hmotnostních aktivit v rostlinách lze interpretovat podobně.

Velká pozornost je v DP věnována hodnocení *bilance aktivity* sledovaných radionuklidů ve vztahu k vlivu ETE a VN Orlík. Rovněž je třeba vyzdvihnout snahu autorky DP ocenit *koncentrační faktory* v rostlinách a rybách, jakož i *distribuční koeficienty* voda – sediment pro  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ . K metodice výpočtu nemám připomínky, snad pouze, že by bylo vhodné u některých statistik, kdy se uvádějí průměrné hodnoty dané veličiny (např. roční bilance aktivity, distribuční koeficienty), uvést i směrodatnou odchylku průměru, a komentovat odlehlou hodnotu (např. obr. 50, Tab. 14), když rozpětí hodnot je vyšší než řád.

Zajímavé jsou poměry depozice radionuklidů a její odhad, pokud by se vzala v úvahu jen radioaktivní přeměna – jsou podobné pro oba radionuklidy ( $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ ), což dokumentují i obr. 52 a 54.

Pokles  $CF_{137Cs}$  v letech 1986 – 90 (obr. 57) je dán zřejmě rychlejším úbytkem „černobylského“ cesia v tomto období.

Z jakého počtu vzorků v jednom časovém období se stanovil  $CF_{Sr90}$  (viz. bod - rok 2003 - na obr. 59) – proč tak odlehlá hodnota?

K vývoji ročních koncentrací nerozpuštěných látek (obr. 62) mám dotaz – prudký nárůst po roce 2002 (dokumentovaný i jejich vysokým záchytem v roce 2002 - obr. 63) zřejmě ovlivnily povodně v roce 2002 (obr. 43 až 45), či byl jiný důvod?

Má autorka vysvětlení, proč parametry  $CF_{137CsK}$  a  $CF_{90SrCa}$  mají tak rozdílné rozpětí (v případě druhého faktoru více než řádové), i když jsou počítány stejnou metodou a roční průměrné koncentrace  $K^+$  a  $Ca^{2+}$  mají podobný charakter?

V kapitole 8 – „Diskuse“ autorka shrnuje presentované výsledky analýz provedených v DP pro jednotlivé sledované složky hydrosféry (distribuce objemových, hmotnostních aktivit<sup>2</sup> v čase, bilance) a porovnává je s dostupnými literárními odkazy. Lze konstatovat, že autorka prokázala nejen schopnost práce s odbornou literaturou (v DP je citováno 95 reprezentativních literárních pramenů), ale sama se výrazně na publikování v dané oblasti podílela (je citováno 11 prací, u nichž je uvedena buď jako první autorkou, či spoluautorka). Přitom je třeba vyzdvihnout, že v DP presentované výsledky za ČR jsou srovnatelné s literárními údaji v lokalitách odpovídajících úrovni „černobylského spadu“, což svědčí o vhodnosti a správnosti použitých metod měření i hodnocení získaných dat. K této části práce nemám z odborného hlediska připomínky.

Některé obrázky presentované v diskusi (obr. 66 až 69) opakují obrázky z kap. „Výsledky“ (12 – 14, 16 – 20 a 23), některé jsou jinou formou hodnocení dat (za jiné časové intervaly) než je uvedeno v části „Výsledky“. Autorka zřejmě respektovala časové intervaly odběrů v primárních datech. Zdá se mi, že volba těchto (v diskusi presentovaných) časových intervalů je v případě  $^{137}Cs$  a  $^{90}Sr$  vhodnější, bližší realitě (viz. podobnost efektivních poločasů pro  $^{137}Cs$  po roce 1990 pro různé složky - profily, sedimenty, ryby, rostliny - tab. 16, 17, obr. 72, 74).

Souhrnně lze říci – dopad jaderné havárie v Černobylu v roce 1986 se projevil v ČR zejména u  $^{137}Cs$  (kterého bylo při této havárii uvolněno mnohem více než  $^{90}Sr$ ), takže bylo možno v jednotlivých složkách hydrosféry v případě tohoto radionuklidu pozorovat rychlejší pokles objemových/hmotnostních aktivit zejména v období 1986 – 1990.

I když se to očekávalo, důležité je potvrzení, že několikaletý provoz ETE se neprojevil ve zvýšení obsahu AAŠP (kromě tritia) ve vodotečích. Pokud jde o  $^3T$ , i zde naměřené hodnoty odpovídají očekávaným (vycházejícím z typu a výkonu jaderného zdroje). Nicméně bych rád upozornil na konstatování autorky DP, že roční bilance  $^3T$  v profilu Vltava Hladná se příliš neshodují s údaji provozovatele ETE na rozdíl od dlouhodobého průměru. Toto zjištění sice není neočekávané, ale mělo by podporovat snahu propojit časy vypouštění nádrží odpadních vod v ETE s dobou odběru povrchových vod na jednotlivých profilech - a to s cílem získat relevantní data pro hodnocení možných úniků radionuklidů do vodotečí za mimořádné situace, kdy tritium nám k tomu nyní může sloužit jako vhodný „marker“ pro získání takových dat.

Ještě poznámka k rozdílu efektivních poločasů hmotnostní aktivity  $^{137}Cs$  a  $^{90}Sr$  v sedimentech (obr.70) a k (v DP konstatované) vysoké koncentraci  $^{137}Cs$  ve VN Orlické v srovnání s s průměrem pro ČR (str. 82). Jak je zřejmé z obr. 70, hmotnostní aktivita  $^{137}Cs$  v sedimentech ve VN Orlické od roku 1990 klesá s efektivním poločasem kolem 6 let - na rozdíl od hmotnostní aktivity  $^{90}Sr$ , pro které byl stanoven efektivní poločas kolem 26 let (blízký fyzikálnímu poločasu radioaktivní přeměny). Přitom, z obr. 70 je zřejmé, že pokles hmotnostní aktivity  $^{137}Cs$  po roce 2001 je zřejmě již výrazně pomalejší a rovněž průměrná

<sup>2</sup> Není zřejmé, proč zde jsou objemové/hmotnostní aktivity nazývány „koncentracemi“.

koncentrace  $^{137}\text{Cs}$  v tomto období bude bližší průměru v ČR. Bylo by zajímavé v další fázi výzkumu porovnat „zatížení“ VN Orlik a jiných vodních nádrží ČR ve vztahu k nerovnoměrné kontaminaci půdy „černobylským“  $^{137}\text{Cs}$  na území státu, což se mohlo projevit i na obsahu  $^{137}\text{Cs}$  v jednotlivých nádržích (různé příjmy z jejich přítoků).

Se závěry uvedenými v DDP souhlasím, jsou shrnutím presentovaných a diskutovaných výsledků.

Z formálního hlediska - práce je vhodně uspořádána, z hlediska jazykového na velmi dobré úrovni, vhodně tabelárně (17 tabulek) a graficky (75 obrázků, grafů a schémat) dokumentována.

Čtenář má trochu problém s používáním písmena „c“ ve vztazích 22 až 30 v různé velikosti a významu (někdy nejednoznačně – např. roční průměrná objemová aktivita  $\text{Cs}^{137}$  v období F4 na str. 41<sup>2f</sup> a 41<sup>5f</sup>). Pro objemovou a hmotnostní aktivitu by se např. mohly používat standardní symboly  $a_{\text{vCs}}$ ,  $a_{\text{mCs}}$ ; pro MDA ve formě  $a_{\text{vCs}}(\text{MDA})$ , apod.

V případě černobílé verze práce (v publikacích) u některých obrázků (obr. 62, 64) nemusí být jednoduchá orientace ve výsledcích, i když z textu to lze nakonec vyčíst.

Nerozumím záporným znaménkům u hodnot veličiny  $\lambda_{\text{ef}}$  tab. 6 a dalších. Jde-li o nárůst koncentrace (u tritia v ovlivněných tocích – obr. 28, 29), vztah (27) by bylo možno použít, v případě, že  $C_0$  bude rostoucí funkcí času, charakterizující přísun radionuklidu od zdroje (JE), což by asi bylo možné zhruba ocenit pomocí dat uvedených na obr. 28 a 29 a dat z neovlivněných profilů.

Pokud jde o citované literární prameny i vlastní autorčiny publikace a presentace – odpovídají, jak již jsem uvedl požadavkům na DP.

#### **Závěr:**

S ohledem na výše uvedené, mohu konstatovat, že disertační práce Mgr. Diany IVANOVÉ „Studie chování  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^3\text{H}$  v okolí jaderné elektrárny Temelín“ **splnila stanovený cíl**, potvrdila nejen odbornou způsobilost autora vykonávat vědecko-výzkumnou činnost – orientovat se v odborné literatuře v dané oblasti, zvládnout ne jednoduché experimenty, ale tyto experimenty vyhodnotit a výsledky publikovat.

Práce shrnuje a vyhodnocuje obsáhlé soubory vlastních dat a dat získaných kolegy ve složkách hydrosféry v okolí jaderné elektrárny Temelín. Bylo by vhodné, kdyby v rámci obhajoby DP její autorka vyjádřila svou představu/názor o dalším sledování složek hydrosféry, zejména s ohledem na plánovanou výstavbu dvou nových bloků v lokalitě ETE. Mám na mysli programy monitorování z hlediska jejich efektivit (sledování dopadů ETE, tritium jako indikátor dynamiky změn, apod.).

Závěrem - **doporučuji připustit** doktorandskou disertační práci Mgr. Diany Ivanovové obhajobě a **udělit** ji hodnost PhD.

V Praze 4.8.2010

  
Ing. Zdeněk Prouza, CSc.