

# Nakládání s radioaktivním odpadem vznikajícím na jaderných elektrárnách v České republice

***Ing. Eva Popelová PhD., Ing. František Huptych, ENERGOPROJEKT PRAHA s.r.o.,  
(eva.popelova@egp.cz)***

## **Souhrn**

*Při provozu jaderné elektrárny (JE) vznikají v omezené míře kapalné, pevné a plynné radioaktivní odpady (RAO). Tyto jsou zpracovávány tak, aby jejich objem byl minimalizován (kapalný a pevný RAO), popř. jsou vyčištěny a vypuštěny do životního prostředí (plynné výpusti).*

*Zpracování kontaminovaných kapalných médií je vedeno snahou koncentrovat aktivitu do co nejmenšího objemu. Tím na jedné straně vzniká relativně malý objem média obsahující vyšší koncentraci radionuklidů a na druhé straně relativně velký objem vyčištěného kapalného média k dalšímu použití, ev. vypuštění do životního prostředí. Zpracovaný a upravený kapalný RAO se ukládá do úložiště RAO Dukovany v licencovaných obalových souborech (OS) o objemu 200 l. Pevné odpady vznikající v kontrolovaném pásmu JE jsou shromažďovány na sběrných místech odpadu a jsou dále zpracovávány a upravovány tak, aby pevný RAO splňoval požadavky Podmínek přijatelnosti specifikovaných v příloze Limit a podmínek ÚRAO Dukovany. Filozofie zpracování plyných RAO je založena na odloučení radioaktivních látek z kontaminovaných vzdušín filtrací a zředěním kontaminantů na úroveň vypustitelnou do životního prostředí.*

***Klíčová slova:*** jaderná elektrárna, radioaktivní odpad, nakládání s RAO, zpracování, úprava,

*nuclear power plant, radioactive waste, radioactive waste management, treatment, conditioning*

## **Nakládání s RAO**

Pod pojmem nakládání s radioaktivním odpadem se dle zákona č. 263/2016Sb., v platném znění (atomový zákon), rozumí všechny činnosti, které souvisí se shromažďováním, tříděním, zpracováním, úpravou, skladováním a ukládáním radioaktivního odpadu. Cílem nakládání s RAO je minimalizace radioaktivních odpadů a upravení do formy, která splňuje podmínky přijatelnosti pro bezpečné uložení v úložišti RAO. Nízkoaktivní RAO z provozu JE v České republice je ukládán v ÚRAO Dukovany, které provozuje Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO).

## **Zdrojové členy RAO**

Hlavní zdroje kapalného RAO, který vzniká při provozu JE, jsou jak primární zdrojové členy, tzn. média kontaminovaná aktivitou chladiva primárního okruhu (I.O), voda/chladivo I.O, kontaminovaná radionuklidy z aktivace chladicí vody a chemických příměsí k regulaci vodního režimu I.O., štěpnými produkty a aktivovanými korozními produkty a nečistotami, tak i sekundární (odvozené) zdrojové členy, a to voda bazénu skladování vyhořelého paliva, kontaminovaná převážně štěpnými produkty a voda sekundárního okruhu (II.O – parogenerátor (PG) a kondenzátor), aktivovaná průnikem vody I.O netěsnostmi v PG.

Základním zdrojem aktivity plyných médií je kontaminovaná voda I.O včetně ostatních návazných technologických systémů. Dalším zdrojem je vzduch aktivovaný v šachtě reaktoru a do atmosféry místností kontrolovaného pásma JE se aktivita dostává za normálního provozu z technologických zařízení jak plynovými netěsnostmi (zanedbatelné), tak v důsledku odparů z úniků kapalných médií. Zdroje plyných radioaktivních odpadů je možno podle jejich původu rozdělit do následujících skupin: systém odplyňování chladiva I.O, plynné úniky ze zařízení I.O, velkoobjemové nádrže kapalných RAO, odvzdušnění II.O, popř. i vzduch se systému sušení OS (s VJP).

Pevný RAO vzniká v závislosti na provozním režimu reaktoru, a to zejména během pravidelných odstávek, při údržbářských a úklidových pracích, dekontaminaci zařízení a místností apod. Zdrojem kontaminace různých předmětů (oděvů, ochranných pomůcek, vadných dále nepoužitelných součástí

zařízení atd.) je kontakt s aktivními médii – především vodou primární části JE, často zprostředkovaný depozitem kontaminace na površích zařízení. Kromě toho vzniká pevný RAO při periodické výměně filtračních vložek aktivních vzduchotechnických systémů a dále vznikají aktivované předměty (aktivovaná měřicí čidla a kazety svědečných vzorků).

### **Kapalný RAO**

Systémy pro nakládání s kapalnými odpady jsou na JE většinou tvořeny třemi základními a vzájemně navazujícími podsystemy. Jedná se o sběr a zpracování odpadních vod, na které navazují podsystemy sběru a skladování kapalných RAO (koncentrát, kaly, sorbenty) a systém úpravy kapalných radioaktivních odpadů.

Zpracování kontaminovaných kapalných médií je vedeno snahou koncentrovat aktivitu do co nejmenšího objemu. Tím na jedné straně vzniká relativně malý objem média, které můžeme označit jako RAO a na druhé straně relativně velký objem dekontaminovaného média k dalšímu použití, ev. vypuštění. Jako metody zpracování radioaktivních vod jsou na EDU (Jaderná elektrárna Dukovany) a ETE (Jaderná elektrárna Temelín), obdobně jako na jiných JE, zvoleny ověřené postupy mechanické a ionexové filtrace, sorpce, sedimentace, odstředování a odpařování.

Při sběru jsou odpadní vody jsou sváděny tzv. speciální kanalizací a shromažďovány ve sběrných nádržích, odkud jsou přečerpávány do sedimentační nádrže. V nádržích těžší částice a příměsi sedimentují a odsazená voda prochází přes přepážku do přepadové nádrže. Po dosažení stanovené úrovně hladiny v přepadové nádrži se zapíná čerpadlo, které čerpá vodu přes dvojici mechanických filtrů do nádrží systému skladování odpadních vod. Ze skladovacích nádrží jsou vody čerpány do podsystemu odparek, kde dochází k odpaření odpadních vod a vzniká malé množství radioaktivního koncentrátu a velké množství kondenzátu. Radioaktivní koncentrát je přečerpán do skladovacích nádrží kapalného RAO, kondenzát může být, po následném přečištění (na ionexových filtrech), vrácen na použití na JE nebo je shromažďován v kontrolních nádržích. Náplně ionexových filtrů, které jsou součástí čistících systémů kapalných odpadů, jsou v pravidelných intervalech měněny nebo regenerovány (na základě ověření účinnosti funkce filtrů).

Úprava kapalného RAO spočívá v imobilizaci RAO v solifikační matici. Pro radioaktivní koncentrát je používána metoda tzv. bitumenace, kde je jako matrice používán bitumen (asfalt). Nahřátý koncentrát a roztavený bitumen jsou čerpadly dávkovány do filmové rotorové odparky, kde pohybem rotoru dochází k dokonalému promísení obou médií a odpaření vody v tenké filmové vrstvě na stěnách pláště a produkt vytéká do ukládacího obalového souboru, kterým je 200 l ocelový sud. Zavíčkovaný sud je krátkodobě uložen v operativním skladu, je zkontrolován, charakterizován (musí splňovat podmínky přijatelnosti pro bezpečné uložení) a následně převezen k finálnímu uložení do úložiště radioaktivního odpadu (ÚRAO) Dukovany. Znehodnocené sorbenty a kaly jsou zpevňovány do geopolymerové aluminosilikátové matrice, výsledný produkt je plněn do ukládacího obalového souboru, kterým je 200 l ocelový sud. Zavíčkovaný sud je zkontrolován, charakterizován (musí splňovat požadavky Podmínek přijatelnosti specifikovaných v příloze Limit a podmínek ÚRAO Dukovany) a převezen k finálnímu uložení do úložiště radioaktivního odpadu (ÚRAO) Dukovany.

Odpadní vody, které byly vyčištěny a jsou shromážděny v kontrolních nádržích mohou být po radiochemické kontrole vypuštěny do hydrosféry. Vypouštění odpadních vod z kontrolovaného pásma JE je omezeno stanovenými vodohospodářskými limity a provozními předpisy. Na výstupu z JE je v rámci monitorování radiační ochrany prováděno monitorování objemové aktivity vod vypouštěných z kontrolních nádrží a celkové objemové aktivity vod v odpadním kanále. Kapalně vypusti se monitorují za účelem kontroly dodržování stanovených limitů, které jsou definovány v rozhodnutí dozorového orgánu (Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB)) a signalizace úniků radioaktivních látek do ŽP. Kapalně vypusti z elektrárny obsahují pouze zcela neaktivní odpadní vodu a vyčištěnou nadbilanční provozní vodu.

### **Plynný RAO**

Za plynné RAO jsou považovány vzdušiny z aktivních technologických okruhů nebo z místností kontrolovaného pásma JE, kontaminované radioaktivními plyny a aerosoly, jejichž předpokládaná aktivita nedovoluje nekontrolované vypuštění do životního prostředí. Zpracování plynných RAO spočívá

v odloučení radioaktivních látek z kontaminovaných vzdušnin filtrací nebo jejich retenci na vhodných adsorpčních materiálech po dobu významnou z hlediska poklesu jejich aktivity v závislosti na poločasu rozpadu a případně zředěním zbylých aktivit na úroveň akceptovatelnou pro jejich vypuštění do životního prostředí.

Plynné radioaktivní odpady jsou tvořeny zejména radionuklidy vzácných plynů, tritiem a  $^{14}\text{C}$ , radioaktivními aerosoly, radionuklidy jódu a ostatních halogenů.

Systémy zpracování plynného RAO jsou většinou tvořeny zeolitovými filtry, na kterých dochází k zachytu zbytků aerosolů a jódů a zejména zbytků vlhkosti, která by snižovala následující zachyt vzácných plynů na aktivním uhlí systému čisticí stanice. Na uhlových filtrech dochází k zachytu radioizotopů vzácných plynů (Xe, Kr, Ar) za definovanou průměrnou dobou zdržení a pro všechny ostatní radionuklidy (kromě tritia) se uvažuje celkový stupeň zachytu na aerosolových, zeolitových a uhlových filtrech čisticích stanic 99,99 - 99,999 %.

Výstupem z čisticích stanic jsou očištěné vzdušiny, které jsou ve formě plynných výpustí uváděny do atmosféry. Na výstupu z JE jsou výpusti monitorovány v rámci systému radiační ochrany, který zajišťuje měření jak za normálních provozních podmínek, tak i v případě havarijní situace. Monitorovací systémy se skládají z monitorů vzácných plynů, monitoru aerosolů, monitoru jódu a objemového průtokoměru. Plynné výpusti se monitorují z důvodu kontroly dodržování stanovených limitů (které jsou definovány v rozhodnutí dozorového orgánu (Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB)) a signalizace úniků radioaktivních látek do ŽP.

### **Pevný RAO**

Cílem nakládání s pevným RAO je minimalizovat jeho objem a upravit ho v souladu s podmínkami přijatelnosti pro jeho uložení do ÚRAO Dukovany. Základem při nakládání s pevným RAO je vytřídění neaktivního podílu a jeho následné uvolnění z pracoviště (na základě tzv. úředního měření pro uvolňování odpadů s obsahem radioaktivní látky z pracoviště, kde se vykonává radiační činnost).

Nakládání s pevným RAO se skládá zejména z následujících kroků:

- řízený sběr a třídění (dle druhu odpadu a aktivity) v místě vzniku,
- svoz na třídící a fragmentační pracoviště,
- třídění dle aktivity a druhu (při zohlednění následného způsobu úpravy a skladování),
- zpracování odpadu (fragmentace, objemová redukce – drcení, nízkotlaké lisování, loupání izolace kabelů),
- úprava,
- přeprava,
- předání k uložení v ÚRAO Dukovany.

RAO shromážděný na sběrných místech je průběžně odvážen na předávací místa a tříděn podle typu a příkonu dávkového ekvivalentu (PDE) na následující kategorie:

- a) odpad pro úřední měření před uvolněním z pracoviště, kde se vykonává radiační činnost,
- b) odpad pro vymírání (přechodně aktivní odpad),
- c) odpad pro skladování,
- d) odpad pro úpravu u externího dodavatele (spalování, VT lisování, přetavba kovů),
- e) odpad pro uložení do ÚRAO Dukovany.

Podle druhu je radioaktivní odpad tříděn na spalitelný, kovový, stavební suť, atd. a zpracováván fragmentací, event. dekontaminován, dále redukcí objemu nízkotlakým lisováním, atd.

Upravený pevný RAO je vkládán do ukládacího obalového souboru, kterým je 200 l ocelový sud. Zavíčkovaný sud je charakterizován, zkontrolován (musí splňovat požadavky Podmínek přijatelnosti

specifikovaných v příloze Limit a podmínek ÚRAO Dukovany) a převezen k finálnímu uložení do úložiště radioaktivního odpadu (ÚRAO) Dukovany. Rozměrný RAO může být po projednání se správcem úložiště (pokud vyhovuje „Podmínkám přijatelnosti ÚRAO Dukovany“) ukládán bez dodatečné úpravy.

Aktivní předměty (aktivovaná čidla, kazety svědečných vzorků, termočlánky a aktivní částice), které není možné z důvodu vyšší aktivity limitovaných radionuklidů uložit do ÚRAO Dukovany, jsou skladovány po celou dobu provozu JE. Aktivní předměty nejsou evidovány jako pevný RAO, radioaktivním odpadem se stanou až na základě prohlášení původce a budou zpracovány a upraveny až v rámci vyřazování JE z provozu.

### **Závěr**

Během provozu JE vznikají radioaktivní odpady, které jsou v rámci systémů nakládání s RAO, sbírány, tříděny, zpracovány a upraveny dle požadavků především zákona č. 263/2016 Sb., v platném znění (atomový zákon) a vyhlášky č. 377/2016 Sb., v platném znění (o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie). Systémy pro nakládání s RAO používají tzv. BAT technologie (Best Available Techniques – Nejlepší dostupné techniky), které představují nejpokročilejší a nejučinnější metody v průmyslu a minimalizují emise a dopad na životní prostředí.

