

30. A 29. VÝROČIE NEHÔD NA REAKTORE JADROVEJ ELEKTRÁRNE A-1 JASLOVSKÉ BOHUNICE – RÁDIOEKOLOGICKÉ A RÁDIOBIOLOGICKÉ NÁSLEDKY

30TH AND 29TH ANNIVERSARY OF REACTOR ACCIDENTS IN A-1
NUCLEAR POWER PLANT JASLOVSKE BOHUNICE –
RADIOECOLOGICAL AND RADIOBIOLOGICAL CONSEQUENCES

Jozef Kuruc, Ľubomír Máteľ

Department of Nuclear Chemistry, Faculty of Natural Sciences, Comenius University,
Mlynska dolina CH-1, 84215 Bratislava, Slovak Republic

kuruc@fns.uniba.sk

ABSTRACT

In this paper authors present facts about construction, operation and reactor accidents in A-1 Nuclear Power Plant Jaslovske Bohunice, Slovakia. There was the reactor KS 150 (HWGCR) cooled with carbon dioxide and moderated with heavy water. A-1 NPP was commissioned on December 25, 1972. The first reactor accident happened on January 5, 1976 during fuel loading. Two persons of personal died by suffocation with carbon dioxide. This accident has been not evaluated according to the INES scale up to present time. The second serious accident in A-1 NPP occurred in February 22, 1977 also during fuel loading. This INES level 4 of reactor accident resulted in damaged fuel integrity with extensive corrosion damage of fuel cladding and release of radioactivity into the plant area. The A-1 NPP was consecutively shut down and is being decommissioned in the present time. Both reactor accidents are described in this paper. Some radioecological and radiobiological consequences of accidents and contamination of area of A-1 NPP as well as of Manivier canal and Dudvah River as result of flooding during the decommissioning are presented.

Keywords (INIS): Bohunice A-1 reactor; reactor accident; INES; reactor decommissioning; radioactive wastes; surface contamination; contamination monitors; soils; ground water;

Manivier Canal; Dudvah River; Vah River, radioactivity transport, radiation doses; dose equivalents; radioecology; Slovakia; experimental data

ÚVOD

V časoch, keď si pripomíname 20. výročie tragickej havárie na 4. bloku Černobyľskej jadrovej elektrárne (26.4.1986), iba málokto občanov Slovenskej republiky (ba možno povedať, že ani väčšina odborníkov vo svete) nevedia o tom, že si súčasne pripomíname 30. výročie prvej nehody a 29. výročie druhej nehody na jadrovom reaktore KS 150 v jadrovej elektrárni A-1 v Jaslovských Bohuniciach. Druhá nehoda patrí medzi najrozsiahlejšie havárie na jadrových reaktoroch (bola zaradená do 4. stupňa podľa stupnice INES). Prvej nehode, napriek tomu že pre dvoch pracovníkov personálu sa skončila tragicky, doteraz nebol priradený žiadny stupeň zo stupnice INES). V článku je opísaný priebeh a následky oboch udalostí ako aj rádioekologické dôsledky poslednej havárie a následné činnosti spojené s vyradovaním jadrovej elektrárne A-1.

Stručná charakteristika jadrovej elektrárne A-1 Jaslovské Bohunice

Elektráreň bola realizovaná ako vývojový demonštračný energetický zdroj, na základe ktorého sa mal rozvíjať československý jadrový program. Investičné náklady na jej výstavbu (2,32 mld. Kčs) boli plne hradené dotáciou zo štátneho rozpočtu. Prvý prototyp jadrovej elektrárne A-1 v Slovenskej republike sa nachádza (obr. 1) v Jaslovských Bohuniciach (60 km severovýchodne od Bratislavy) a mal plyným CO₂ chladený a ťažkou vodou moderovaný reaktor KS 150 (HWGCR) s prírodným neobohateným uránom s inštalovaným elektrickým výkonom 143 MW_{el}. Para vychádzajúca z primárneho okruhu chladiacej sústavy reaktora s teplotou 410°C postupovala do 6 modulov parogenerátorov a z nich do turbín s generátormi. Výmena paliva sa realizovala pri prevádzke reaktora. Výstavba elektrárne začala v roku 1958. Do prevádzky (prifázovanie k sieti) bola uvedená dňa 25.12.1972. Počas štvorročnej prevádzkovej doby táto jadrová elektráreň vyrobila a dodala do siete 916,107 MWh elektrickej energie [1].



Obrázok 1. JE A-1 sa nachádza spolu s objektmi jadrových elektrární V-1 a V-2 na západe Slovenskej republiky v katastri obce Jaslovské Bohunice [2].

Nehody v jadrovej elektrárni A-1 Jaslovské Bohunice

Pred tridsiatimi rokmi bolo v novinách oznámené, že 5. januára 1976 v jadrovej elektrárni A-1 v Jaslovských Bohuniciach došlo k poruche [3]. Do ovzdušia však žiadne rádioaktívne látky neunikli, a keďže obyvateľstvo nebolo ohrozené, tak sa vlastne akoby nič nestalo. O priebehu nehody nebola verejnosť informovaná. O prevádzke prvej jadrovej elektrárne v Československu, A-1, sa dnes píše ako o experimentálnej jadrovej elektrárni.

V tom čase sa palivové články vymieňali počas prevádzky, pri zníženom výkone, ale pri plnom tlaku. Detailne bola nehoda opísaná iba v článku M. Frišovej, A. Pukovej a J. Kunschovej v r. 1998 [4]. Viliam Pačes, vedúci smeny vymenil palivový článok za nový. Pri výmene palivového článku elektronická regulácia ukázala, že spojenie palivového článku je tesné. Následne operátor Martin Slezák článok podľa inštrukcií trochu nadvihol. Spojenie však nebolo tesné. Oxid uhličitý, ktorý sa používal na chladenie, vystrelil dvanásťmetrovú palivovú tyč do reaktorovej sály. Bezprostredne nebol nikto ožiarený ani zranený. Dvaja ľudia mimo sály, ktorí nereagovali na havarijný systém, sa však udusili oxidom uhličitým. Palivový článok vystrelil z reaktora, narazil do stropu, z otvoreného kanála sa začal valiť chladiaci plyn, rádioaktívne kontaminovaný, a nedýchatelný oxid uhličitý. Z príklopu reaktora vyletovali oceľové kocky. Viliam Pačes bol chvíľku omráčený, prebral sa a podarilo sa mu

dostať do blokovej dozorne. Martin Slezák bol zranený ťažšie. V blokovej dozorni Pačes dostal plynovú masku, jedného dozimetristu a poslali ho späť do reaktorovej sály. Bol na mieste jediný, kto sa mohol pokúsiť otvorený kanál znovu zatvoriť. Až po desiatich až pätnástich minútach sa mu podarilo manévrou v silnom prúde plynu odsunúť na zavážacom stroji spadnutý článok, ktorý mu ležal v ceste k reaktoru. S dozornou sa nemohol dorozumieť, pretože mal na sebe plynovú masku. Až po ďalších minútach sa mu podarilo pomocou zavážacieho stroja kanál uzavrieť. Činnosť vedúceho smeny V. Pačesa po nehode možno hodnotiť ako hrdinský čin.

Oficiálne, v reprezentačnej publikácii [5] sa píše, že “Prvou vážnejšou poruchou bolo 'vystrelenie' palivového kompletu z jedného kanála reaktora pri výmene paliva za prevádzky. Poruchu okamžite zlikvidoval personál transportnej technológie utesnením otvoreného kanála zavážacím strojom.“ V uvedenej publikácii už však nenapísali, že pri „poruche“ zahynuli dvaja pracovníci údržby, ktorí sa udusili unikajúcim plynom. V žiadnej dostupnej odbornej publikácii sa nepíše, že pri tejto prvej nehode hrozilo roztavenie aktívnej zóny a že by reaktor mohol explodovať. Doteraz táto nehoda na reaktore A-1 nebola zhodnotená a zaradená do stupnice INES [6]. Podľa nášho názoru nehoda na reaktore A-1 z r. 1976 by mala byť zaradená minimálne do 3. stupňa v stupnici INES.

Reaktor bol následne opravený a bol odstavený do konca roku 1976. Avšak technické nedostatky elektrárne mali za následok únik rádioaktívnych látok do pracovného prostredia, vznik značného množstva kvapalných a pevných rádioaktívnych odpadov skladovaných v elektrárni a ďalej postupné zvyšovanie výpustí do životného prostredia vo forme rádioaktívnych vôd a exhalátov, aj keď tieto neprekračovali povolené limity.

Už krátko po opätovnom nabehnutí do prevádzky, vo februári 1977, dostala elektráreň definitívnu ranu. Dňa 22. februára 1977 došlo v elektrárni k druhej havárii, po ktorej už nebola uvedená do prevádzky. Pracovníkom, ktorí kompletizovali palivové články z paliva dovezeného z Ruska, sa pretrhlo malé vrecúško silikagélu, ktoré malo pri doprave zabráňovať vniknutiu vlhkosti. Jeho obsah sa vysypal medzi palivové články. Na mieste, kde vznikli nečistoty, sa pretavila palivová kazeta. Rýchlou eróziou sa narušil ochranný povlak na štvrtine z 570 založených článkov. V dôsledku prehriatia palivových článkov, technologických kanálov a potrubia obehovej ťažkej vody bola porušená integrita bariér medzi moderátorom – ťažkou vodou a chladiacom plynom – CO₂. Voda nasýtená oxidom uhličitým spôsobila koróziu ochranného povlaku potrubia pary generátora a nastala kontaminácia primárneho a sekundárneho okruhu [7]. Rádioaktívne nuklidy kontaminovali primárny okruh a cez netesnosti parogenerátorov bol kontaminovaný aj sekundárny okruh parovodov, turbíny a

kondenzátora. Pri tejto havárii nikto nebol zranený alebo nadmerne ožiarený. Sála reaktora bola kontaminovaná rádionuklidmi.

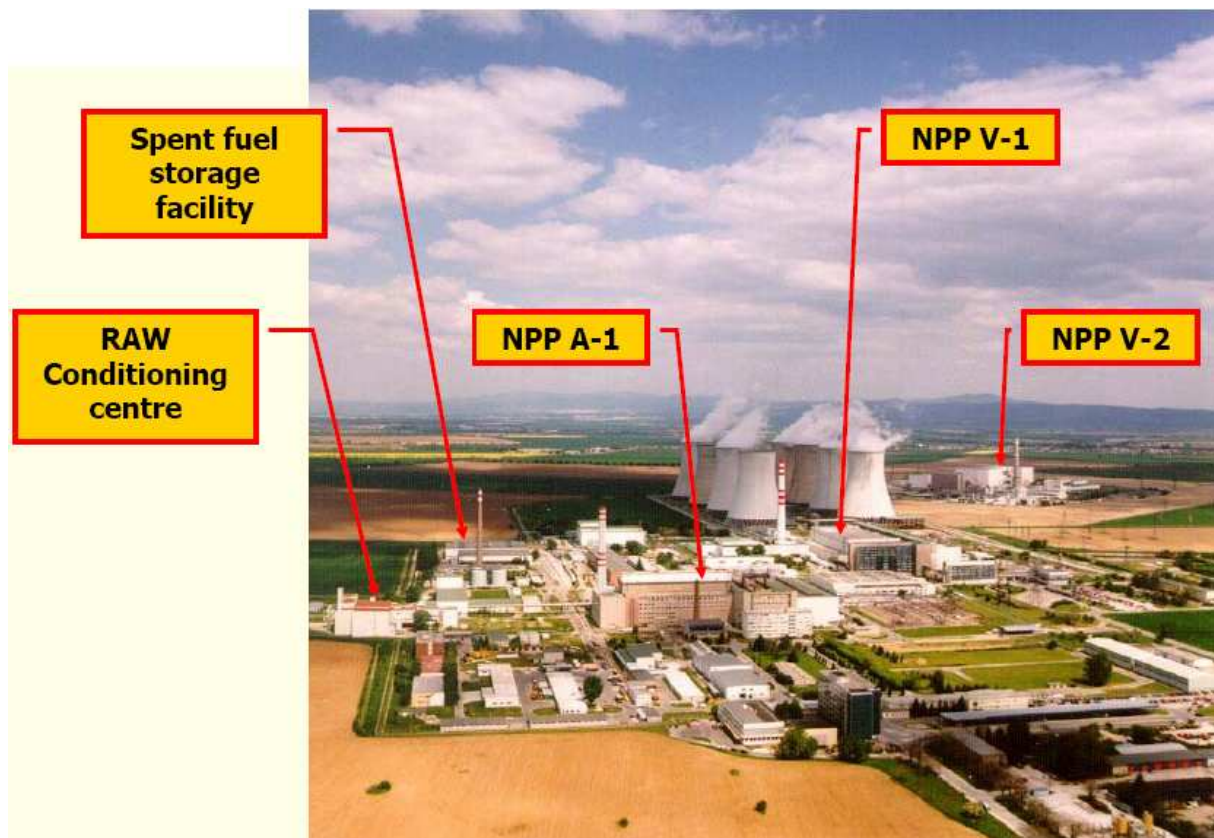
Táto vážna komplikácia v podstate znemožnila oživiť elektrárne. Aj keď vláda už v roku 1979 rozhodla, že elektrárne A1 sa bude vyradovať, reálne kroky však prebiehali iba veľmi pomaly. Uvoľňované peniaze sa použili predovšetkým na rôzne štúdie, úlohy rozvoja vedy a techniky, odporúčania. Fyzicky sa práce na likvidácii havárie pre nedostatok finančných zdrojov realizovali iba v minimálnej miere. Objektívne však chýbali technológie na fixovanie rádioaktívnych odpadov. Jadrové palivo ostávalo v reaktore.

V roku 1991 Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (MAAE) so sídlom vo Viedni zaviedla stupnicu INES (*The International Nuclear Event Scale* - Medzinárodná stupnica jadrových udalostí) [8], ktorá má 7 stupňov. Je určená predovšetkým na hodnotenie udalostí z hľadiska jadrovej bezpečnosti a ochrany pred rádioaktívnym žiarením. Dôvodom pre jej zavedenie bola chybná interpretácia niektorých udalostí na jadrových elektrárnach a obyvateľstvo nemalo dostatočne spoľahlivý návod na zhodnotenie ich skutočného významu vo vzťahu k bezpečnosti ich samých. Bolo potrebné pravdivé a zrozumiteľné informovanie verejnosti o prevádzke jadrových elektrární [9]. INES rozdeľuje nehodové udalosti zásadne na nehody (stupňa 1, 2, 3), ktoré neohrozujú okolie lokality elektrárne, a nevyžadujú žiadne mimoriadne opatrenia, a na havárie (stupňa 4, 5, 6, 7), v dôsledku väčšieho úniku rádioaktivity do okolia vyžadujú prijatie opatrení, tie sú obsiahnuté v prijatých havarijných plánoch [10, 11]. Každá účastnícka krajina je povinná v presne stanovenom termíne informovať koordinačné centrum MAAE o každej nehode a havárii. Absolútna väčšina hlásených udalostí je pod stupňom 3. Havárie s účinkom na okolie (stupeň 4) sú výnimočné a ako príklad možno uviesť haváriu na výskumnom reaktore v Buenos Aires v r. 1983 (Argentína) a na JE Saint-Laurent vo Francúzsku v r. 1980. Havárie 5. stupňa boli dve: na JE Windscale (Anglicko, 1957) a JE Three Mile Island (USA, 1979) a havária 6. stupňa na JE nebola žiadna (tzv. Kyštymská havária v závode na prepracovanie vyhoreného jadrového paliva vo Výrobnom združení Maják, ZSSR (teraz Ruská federácia), r. 1957, bola zaradená do 6. stupňa stupnice INES [12]). Najväčšou haváriou je Černobyľská havária (Ukrajina, 1986), ktorá má najvyšší 7. stupeň. Dodatočne bola druhá havária na JE A-1 klasifikovaná ako havária 4. stupňa stupnice INES. Počas havárie údajne nedošlo k úniku rádioaktivity do životného prostredia [3].

O tom, že táto druhá havária na JE A-1 nie je známa ani vo svete svedčí skutočnosť, že ju zriedka vykazujú v štatistikách a tabuľkách nehôd, napríklad v gréckej príručke INES [13], nie je uvedená ani v českej užívateľskej príručke INES [14], ani v letáku MAAE o stupnici

INES [8], ba dokonca nie je spomínaná ani v slovenskej príručke INES [15]. O havárii na JE A-1 sa nedozvieme ani v databáze *Rádiologických nehôd a príbuzných udalostí* [16]. O tejto havárii na reaktore KS 150 sa možno dozvedieť napríklad z voľne dostupnej encyklopédie *Wikipedia* [17], resp. v *Zozname civilných jadrových nehôd* [18].

Neskôr boli zaznamenané významné úniky rádioaktívnych materiálov do hydrosféry. Nadmerné zrážky v júni 1978 v oblasti Jaslovských Bohuníc (kde sa nachádza JE A1) a nedostatočné opatrenia proti povodňam mali za následok zaplavenie kontrolovaných miestností v JE A1. Vzniklo enormné množstvo kontaminovanej vody. Tieto kontaminované vody boli následne uvoľnené do kanálu Manivier a do rieky Dudváh a následne sa dostali do Váhu. Bez ohľadu na zvýšenú úroveň rádioaktivity výpustí odpadových vôd sa okamžite nevykonávali žiadne protioopatrenia na zmiernenie následkov povodne. Vody z týchto riek sa používajú na zavlažovanie polí. V čase týchto udalostí v januári 1997 a v júni 1978 nebolo potrebné žiadne zavlažovanie [19].



Obrázok 2. Pohľad na objekty JE A-1, JE V-1 a V-2
(v pozadí chladiace veže V-1 a V-2) v Jaslovských Bohuniciach [2].

Postup po havárii JE A-1 Jaslovské Bohunice v roku 1977

O vyradení JE A-1 z prevádzky po jej havárii rozhodla vláda ČSSR uznesením č. 135 zo dňa 17.5.1979. Od uvedeného obdobia boli riešené veľmi zložité technické problémy vyradovania tohto jadrového zariadenia:

- odstraňovanie následkov prevádzkovej udalosti,
- príprava odvozu paliva a odvoz paliva mimo územia SR,
- vývoj a následná realizácia technológií pre úpravu RAO,
- príprava procesu vyradovania formou úloh štátneho plánu rozvoja vedy a techniky (RVT) „Ukončenie prevádzky JE A-1“, „Minimalizácia tvorby, spracovanie a trvalé uloženie RAO“, „Rekonštrukcia a vyradovanie JE z prevádzky“.

Zdrojom financovania boli vlastné prostriedky Slovenských elektrární, a.s. a prostriedky zo štátneho rozpočtu. Od 1.1.1996 zodpovedal za realizáciu projektu v rámci SE, a.s. závod SE-VYZ Jaslovské Bohunice [20]. Dovedy bola zodpovednosť v JE Bohunice (EBO). V súčasnosti sa v Jaslovských Bohuniciach nenachádza vyhorené jadrové palivo z JE A-1 [21].

V r. 1992 bola podpísaná zmluva s AEA Technology na vypracovanie technickej dokumentácie pre dekontamináciu reaktorovej sály. Počas plánovania projektu bolo identifikovaných niekoľko technický problémov, ktoré si vyžadovali inžinierske riešenie [22].

Reálne sa vyradovacie a likvidačné práce začali v roku 1995 [23]. Vláda Slovenskej republiky vtedy rozhodla, že do roku 2007 treba havarovanú elektrárňu dostať do radiačne bezpečného stavu. To znamená nielen vyviezť poškodené palivo, ale aj spracovať kvapalný rádioaktívny odpad a kaly, a taktiež ich aj bezpečne uskladniť v Republikovom úložisku v Mochovciach. Tak, aby sa zamedzili ďalšie hrozby pre životné prostredie. Ani potom však likvidačné práce neskončia. Budú sa demontovať a dekontaminovať menej kontaminované časti elektrárne [24]. Až približne v roku 2070 bude možné tlakovú nádobu reaktora a parogenerátory definitívne izolovať a po ostatných častiach elektrárne by mala ostať pamiatka len na fotografiách [23].

Pre činnosti v oblasti vyradovania JE A-1 malo veľký význam prijatie zákona č. 254/1994 Z.z. o štátnom fonde likvidácie JEZ, na základe ktorého sa od roku 1995 začalo financovanie prác [25].

Časový harmonogram prác na uvedení JE A-1 NPP do radiačne bezpečného stavu bol presne stanovený na základe rozhodnutí vlády Slovenskej republiky v rokoch 1993 až 1994. V januári 1995 bol Projekt doručený Úradu jadrového dozoru SR (ÚJD SR) a aktualizovaný

program prác bol odsúhlasený vládou Slovenskej republiky. Radiačne bezpečný stav je charakterizovaný minimalizáciou rizík negatívnych dopadov vyradovanej JE na životné prostredie. Počas rokov 1984 až 1990 z celkového počtu 571 vyhorených palivových článkov 439 bolo odtransportovaných do bývalého Sovietskeho zväzu. Zostávajúcich 132 palivových článkov boli ťažko poškodené, takže v tom čase sa nedalo s nimi manipulovať [26].

Palivo z havarovanej JE A-1 sa na základe starých kontraktov podarilo vyviezť do Ruskej federácie. Posledná zásielka bola odoslaná do Výrobného združenia Maják na Urale v roku 1999, keď vo VÚJE, a.s. vyvinuli spôsob, ako z havarovaného reaktora vybrať zvyšok poškodeného paliva. Toto bolo jadrové palivo, ktoré si Rusko vzalo späť. Žiadne iné z prevádzkovaných jadrových elektrární zatiaľ Slovensko neopustilo [23].

Od roku 1995 do konca roku 2005 bolo na likvidáciu A-1 vynaložených osem miliárd slovenských korún. Zhruba polovicu zaplatili SE, približne rovnakú sumu Fond na likvidáciu jadrovo-energetických zariadení (FLJZ) a 600 miliónov prišlo priamo zo štátneho rozpočtu. Pred začiatkom likvidácie sa pritom odhadovalo, že prvá etapa, ktorá sa má skončiť v roku 2007, bude stáť 4,7 miliardy korún [23].

K nákladom na likvidáciu však treba ešte pripočítať peniaze, ktoré boli vynaložené do roku 1995. Nikto nepozná presnú sumu, lebo peniaze prichádzali z viacerých zdrojov, z podniku aj z Federálneho ministerstva palív a energetiky, pričom presná evidencia neexistuje.

Minuté peniaze nie sú jediným problémom. Vzniká totiž nový - s ďalším financovaním likvidácie. Havarovaná JE A-1 prešla do štátnej spoločnosti GovCo, a.s., Bratislava [20], ktorá má obhospodarovať aj jadrovú elektráreň V-1.

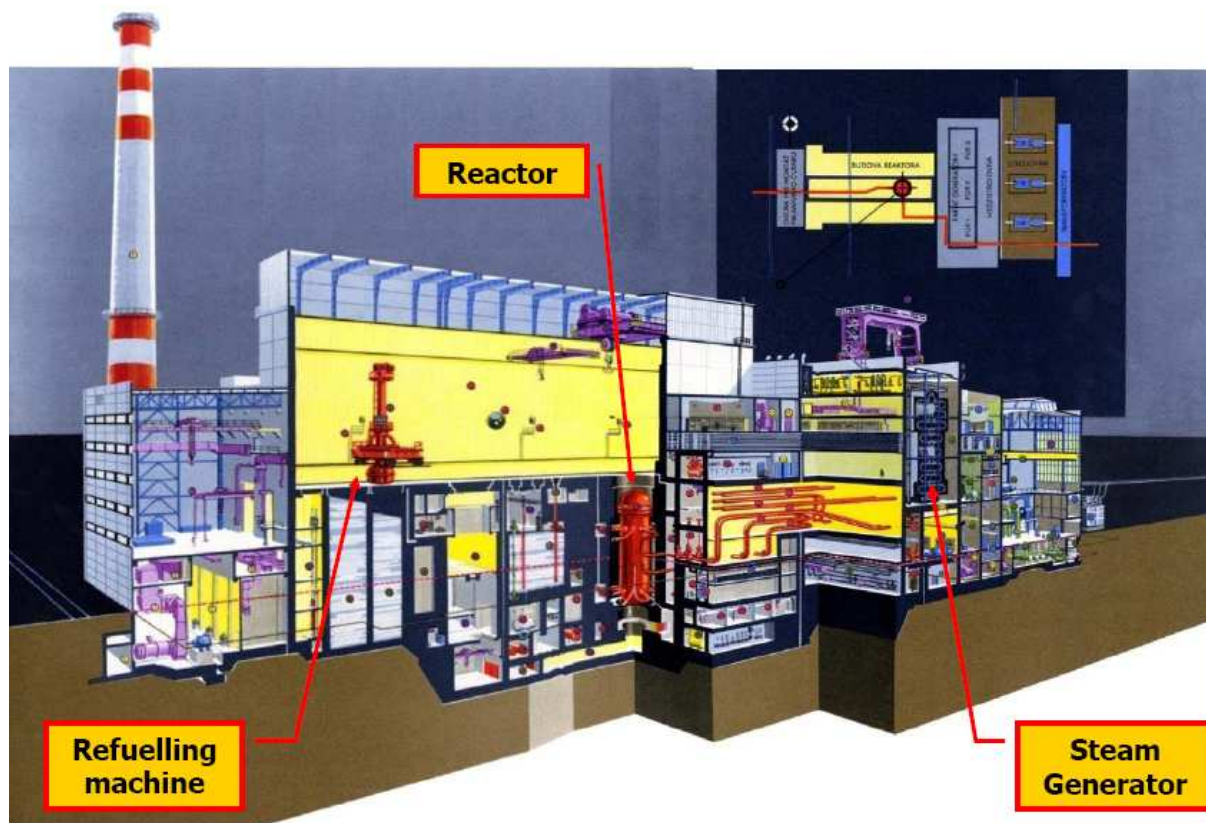
Radiačné následky havárie na JE A-1

Pražská so spoluaut. odhadli [27] celkovú kontamináciu primárneho okruhu JE A-1:

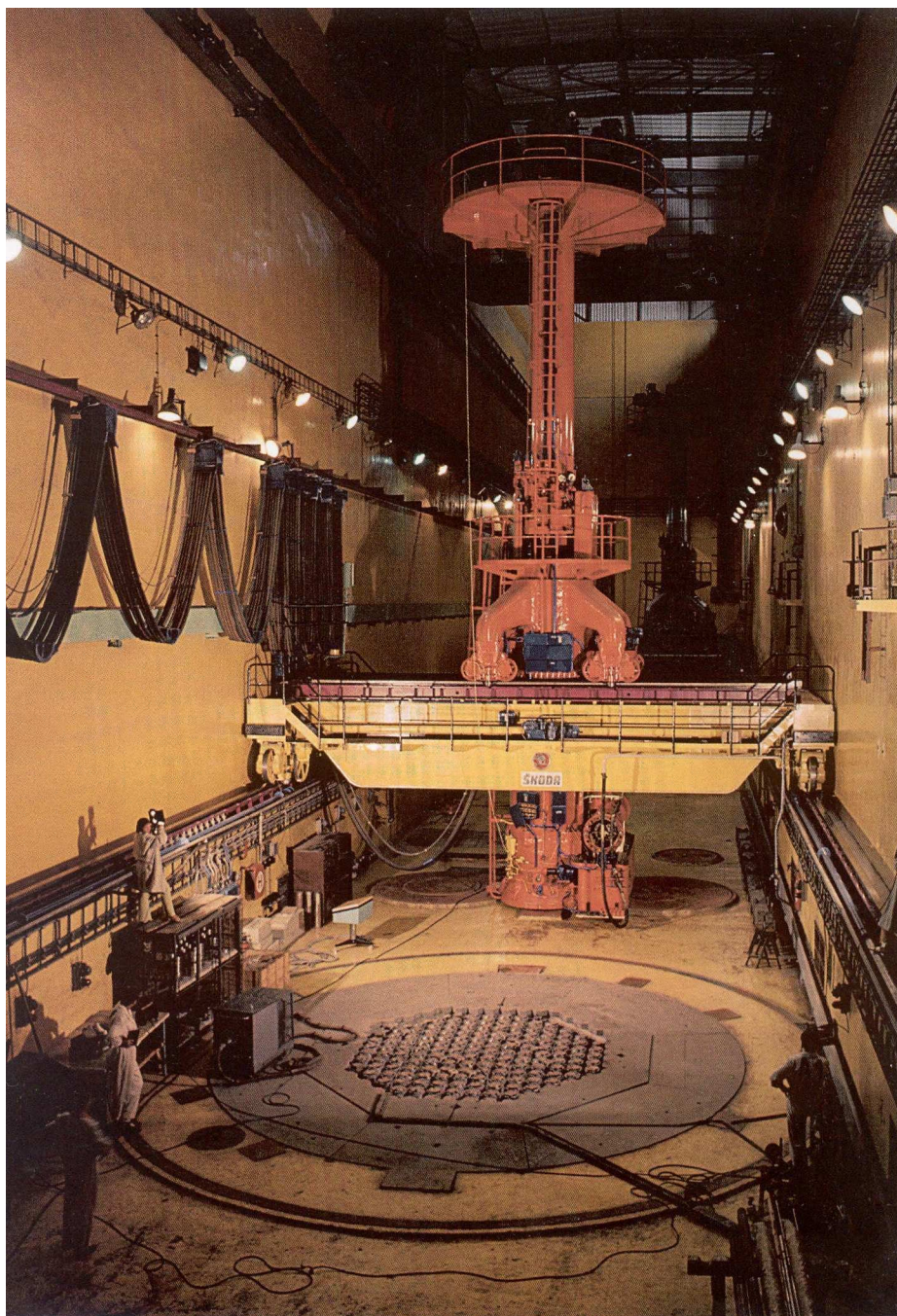
- celková kontaminovaná plocha zariadení primárneho okruhu (potrubia, parogenerátory a turbokompresory): 48 000 m²
- celková gama aktivita kontaminácie: 10¹⁴ až 10¹⁵ Bq
- celková alfa aktivita kontaminácie: 10¹¹ až 10¹³ Bq
- celková hmotnosť depozitov v plynovom okruhu: okolo 14,3 t.

Krištofová a Vaško uviedli [2] konkrétne hodnoty o rozsiahlej kontaminácii primárneho okruhu štiepnymi produktmi. Korozívne chladiace médium vyhoreného jadrového paliva - chrompik (Cr +K+voda) a neskôr dowtherm (organická kvapalina) -

poškodili ochrannú vrstvu palivových článkov v uskladňovacích cisternách a následne spôsobili koróziu kovového uránu, čo malo za následok vznik kvapalných RAO: chrompik (10^{11} Bq.dm⁻³, 13 m³), dowtherm (10^7 Bq.dm⁻³, 40 m³), voda z dlhodobého medziskladu vyhoreného jadrového paliva (10^6 Bq.dm⁻³, 220 m³), a kaly (10^{10} Bq.dm⁻³, 50 m³).



Obrázok 3. Náčrt JE A-1 [2].



Obrázok 4. Reaktorová sála JE A-1 [5].

V správe NEA za rok 1999 sa uvádza, že celková kolektívna dávka počas vyradovania JE A-1 dosiahla 1000 man·Sv (z toho zamestnanci 0,545 man·Sv a ostatní pracovníci 0,455 man·Sv). Maximálna individuálna efektívna dávka dosiahla 16,57 mSv [28].

Zoznam zariadení na nakladanie s RAO počas vyrad'ovania

V procese vyrad'ovania JE A-1 po spracovaní prevádzkových RAO boli zrekonštruované pôvodné skladové priestory v nasledovnom rozsahu [29]:

- obj. 44/20 skladový objem 2140 m³ slúži na dočasné skladovanie pevných RAO
- obj. 41 nádrže 5/1, 5/2 - do nádrží boli inštalované po 3 ks oceľové nádrže objemu á 100 m³. Celkový skladový objem 600 m³ je využívaný v procese spracovania nízko-kontaminovaných odpadových vôd produkovaných pri činnostiach vyrad'ovania JE A-1 a spracovania RAO
- m.č. 2 obj. 34 skladový objem 40 m³ slúži na skladovanie organických kvapalných RAO

Po demontáži technologických zariadení sekundárneho okruhu, medzistrojovne a časti zariadení primárneho okruhu JE A 1 boli v uvoľnených priestoroch zriadené skladové priestory pre dočasné skladovanie pevných RAO s nasledovnou skladovou kapacitou :

- m.č. 1 obj. 34 - 4800 sudov
- m.č. 30/54 obj. 32 - 3724 sudov MEVA
- m.č. 97 obj. 32 - 2050 sudov MEVA
- m.č. 106 obj. 32 - 1480 sudov MEVA
- m.č. 702 obj. 30 - 296 ks kovových patrón s vitrifikátom.

Vyrad'ovanie jadrovej elektrárne A-1 prebiehalo v nasledovných etapách:

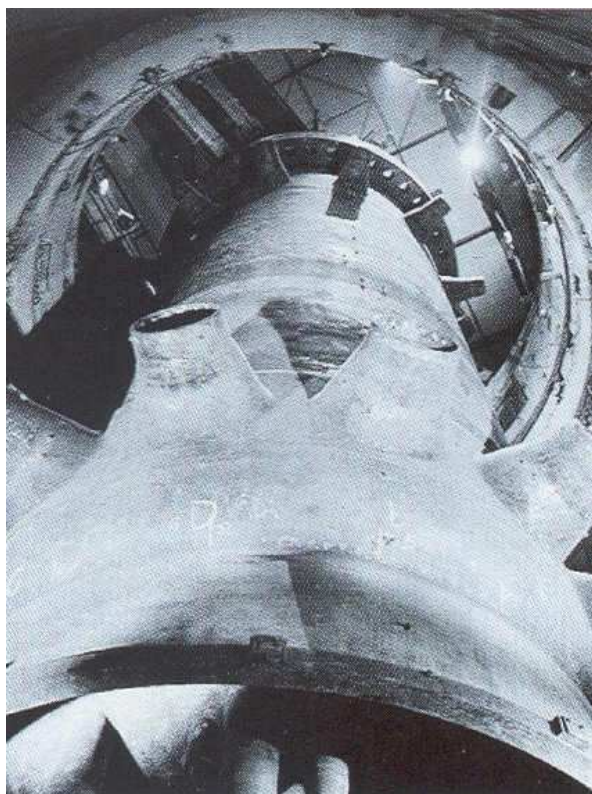
1977: definitívne odstavenie JE A-1,

1979: začiatok vyrad'ovania JE A-1 (rozhodnutie vlády SR na základe výsledkov technickej a ekonomickej analýzy o ďalšej činnosti JE A-1),

1979 – 1994: ročne navrhované aktivity ohľadne likvidácie kontaminovaného moderátora a čistenie demontovaných poškodených palivových kanálov, palivové články boli odstránené z reaktora, umiestnené do skladovacích kanistrov v skladovacej nádrži, dekontaminácia zariadení a čiastočná demontáž nekontaminovanej technológie,

1991 – 1999: vyhorené jadrové palivo bolo odtransportované do Ruskej federácie,

1994: vývoj Projektu I. fázy vyrad'ovania JE A-1, implementácia by mala byť ukončená v r. 2007.



Obrázok 5. Nádoba reaktora KS-150 [5].



Obrázok 6. Zavážanie palivového článku do reaktora KS-150 [5].

Na uvedenie JE A-1 do stavu porovnateľného s JE so štandardným konečným odstavením (bez nehôd) musia byť všetky pracovné rádioaktívne odpady (RAO) spracované alebo bezpečne uložené. Predbežné výpočty pre preferovaný scenár “Priebežné vyradovanie” (Pražská, 2005, [27]) alebo tzv. “Modifikovaná priama demontáž po 2007” predpokladajú spracovanie:

1. kovové RAO – 7100 t
2. kvapalné RAO – 6230 m³
3. počet vláknobetónových kontajnerov (VBK) (objem 3,1 m³) pre povrchové úložisko – 3050 ks
4. počet VBK (objem 3,1 m³) pre podzemné geologické úložisko – 520 ks.

Monitorovanie podzemných, povrchových vôd a okolia JE A-1

Následne po havárii bol zahájený monitoring územia a povodia, ktorý trvá dodnes. Najviac sú kontaminované zeminy v areáli SE-VYZ, kde sa nachádza vyradovaná JE A-1.

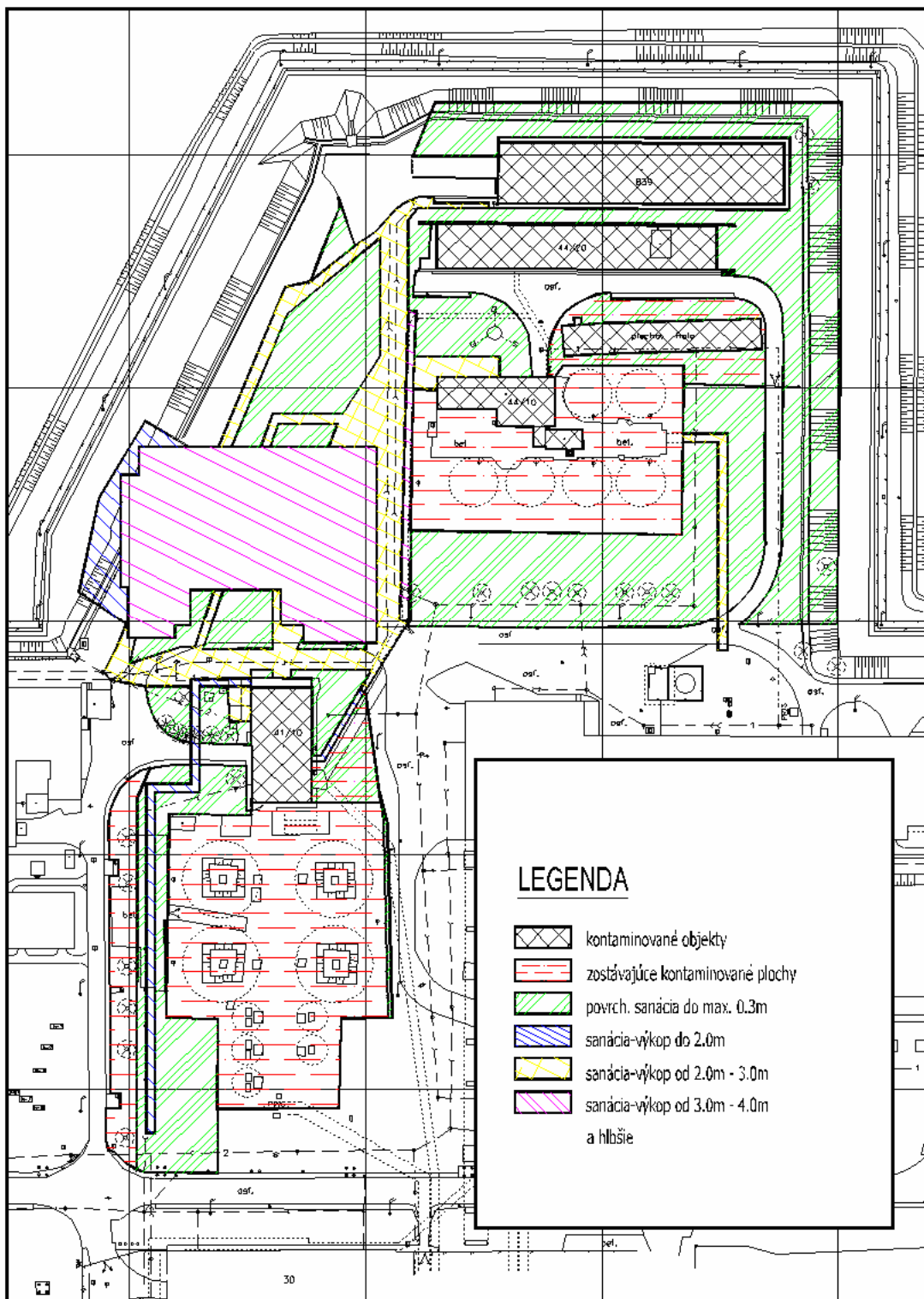
Nasledujúce údaje prezentovali Chnapko so spoluautormi [30]:

- výskyt kontaminovanej zeminy (KZ) v areáli JE A-1 je historicky daný netesnosťou podzemných skladovacích nádrží pre kvapalné RAO, zaplavením areálu prívalom dažďových vôd,
- KZ na povrchu nespevnených plôch a v podloží predstavujú sekundárny zdroj ohrozenia kvality ŽP:
 - prienikom rádionuklidov do zvodnenej hydrogeologickej vrstvy,
 - splachovaním KZ zrážkovými vodami do kanalizácie, prašnosťou a externým ožiarением. Monitoring KZ v povrchovej vrstve záhrad obj.41 a 44/10 ukázal,

že:

- kontaminácia zeminy v záhrade obj. 41 je značne nerovnomerná v horizontálnom aj vertikálnom profile, na povrchu maximá aj rádovo 10^6 Bq.kg^{-1} ,
- najhoršia situácia je v okolí nádrže 7/2, veľká súvislá plocha kontaminácie,
- situácia v záhrade obj. 44/10 charakterizovaná izolovanými maloplošnými škvrnami kontaminácie, maximá 10^5 Bq.kg^{-1} ,
- rozsiahlejšia kontaminácia pred panelmi pokrytou časťou pri nádrži N/3,
- experiment s vylúhovaním reálnych KZ dažďovou vodou, $K_D \sim 10^3 \div 10^4$ pre ^{137}Cs . Výsledky monitoringu kontaminovaných zemín sanovanej lokality v časti

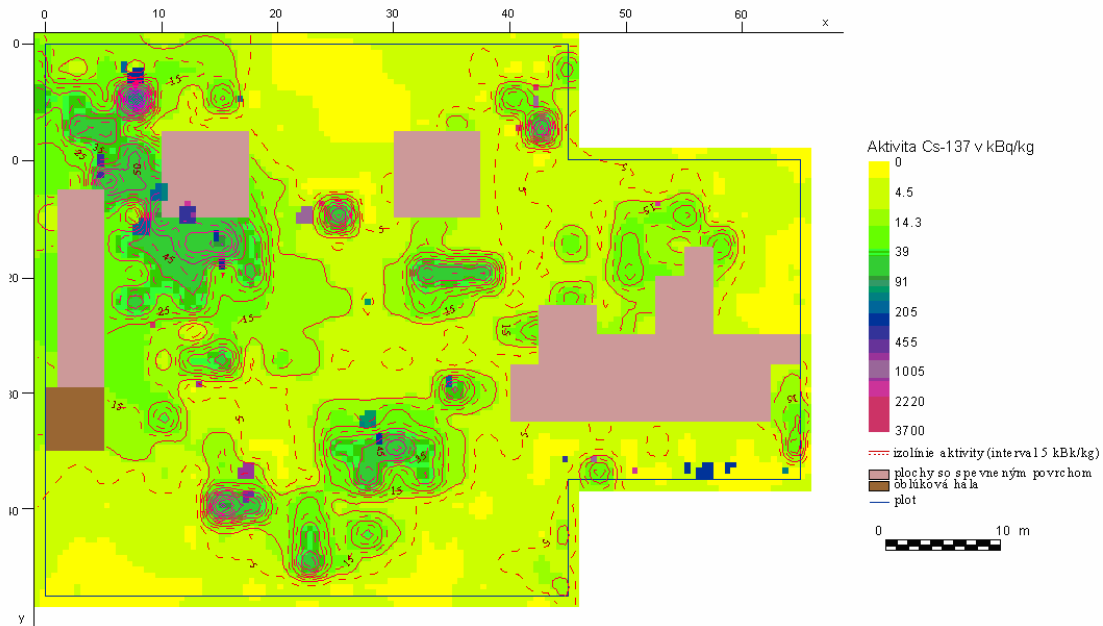
areálu JE A-1 sú uvedené na obr. 7.



Obrázok 7. Plochy kontaminovaných zemín, sanované lokality v časti areálu JE A-1 [30].

Povrchová kontaminácia pôdy céziom-137 v areáli JE A-1 je na obr. 8.

Priestorové rozdelenie Cs-137 v povrchovej 10 cm vrstve pôdy zahrnujúce aj lokalizované škviny (interpolovaná sieť 0,5 x 0,5 m, sieť merania s NB3201 2,5 x 2,5 m)



Obrázok 8. Povrchová kontaminácia pôdy Cs-137 v areáli JE A-1 [30].

Monitoring KZ v hlbších vrstvách záhrady obj. 41 bol realizovaný pomocou vrtov RS-7 až RS-10 na záhrade obj. 41: najvyššia aktivita Cs-137 v KZ na úrovni 10^3 Bq.kg⁻¹ v hĺbke 4 m pri nádrži 7/2,

- pomer aktivity Cs-137 k ostatným rádionuklidom značne odlišný od pomerov v povrchových vrstvách KZ,
- údaje z predchádzajúceho prieskumu: aktivity Cs-137 klesajú s hĺbkou od (200 ÷ 300) Bq.kg⁻¹ na povrchu do desiatín Bq.kg⁻¹ na úrovni -13 m, najhoršia situácia je pri veľkých nádržiach, najvyššie aktivity KZ sa vyskytujú v blízkosti stien jednotlivých nádrží, hlavne 7/1 a 7/2.

Štandardná prevádzka komplexného monitorovacieho systému monitorovania podzemných vôd bola zahájená [30] v r. 1993:

- podzemné vody pod areálom SE-VYZ dominantne kontaminované H-3 s objemovou aktivitou do 10^5 Bq.dm⁻³,
- v r. 2000 – 2001 boli monitorované ďalšie rádionuklidy:
Co-60 : $\sim 10^0$ Bq.dm⁻³,
Cs-137 : (10^{-1} ÷ 10^0) Bq.dm⁻³,
C-14 : 10^{-1} Bq.dm⁻³,

Sr-90 : $< 10^{-1}$ Bq.dm⁻³,

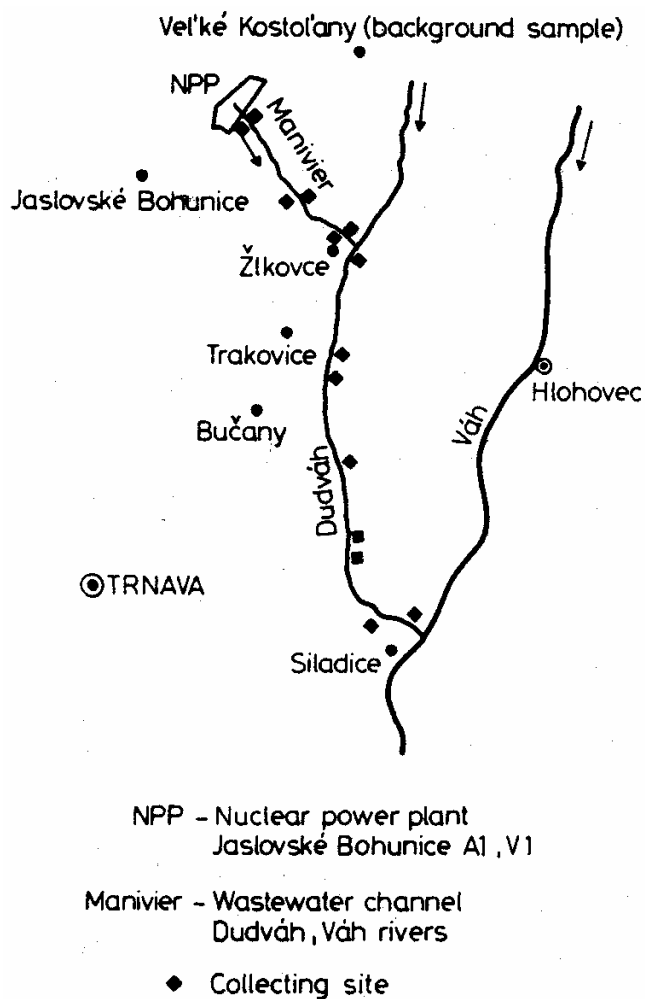
transurány : $(10^{-3} \div 10^{-2})$ Bq.dm⁻³,

Od r. 1999 je v prevádzke trvalý systém sanačného čerpania podzemných vôd z vrtu N-3 v blízkosti záhrady obj.41 s cieľom zamedzenia šírenia kontaminácie za hranice areálu JE A-1.

- parametre sanačného čerpania v r. 2003:
 - doba prevádzky 8 273 hodín, priemerná intenzita čerpania počas prevádzky 5,63 dm³.s⁻¹,
 - minimálna a maximálna merná aktivita H-3: $(755 \div 2\,355)$ Bq.dm⁻³ a Co-60: $(0,114 \div 0,446)$ Bq.dm⁻³.
- radiačná situácia v podzemných vodách areálu SE-VYZ je od r. 2000 stabilizovaná, resp. štandardnou prevádzkou sanačného čerpania vrtu N-3 sa šírenie kontaminácie z areálu retarduje [30].

Výsledky monitoringu vzduchu, pôdy a podzemných vôd v areáli JE Jaslovské Bohunice boli uverejnené vo výskumnej správe VÚJE v r. 1998 [31]. Integrálna ročná dávka gama žiarenia vo vzduchu za r. 1998 vo výške 1 m nad povrchom terénu v mieste merania bola 0,78 mGy.rok⁻¹. Efektívna dávka, ktorú by obdržal jednotlivec z obyvateľstva na tomto mieste od terestriálnej a kozmickej zložky externého ožiarovania je 0,549 mSv.rok⁻¹, čo je prakticky rovnaká hodnota, ako dávka od externého žiarenia na ľubovoľnom mieste mimo lokality s jadrovo-energetickým zariadením (JEZ).

Monitorovania vzoriek životného prostredia v okolí JE J. Bohunice sa zúčastnili aj pracovníci Katedry jadrovej chémie, Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského. Na tejto katedre bola vyvinutá metóda stanovenia ^{239,240}Pu v pôde [32]. Niektoré výsledky mernej aktivity Pu-239,240, Cs-137 a ich pomeru v sedimentoch Dudváhu a kanálu Manivier boli zverejnené na 5. konferencii SIS v r. 1993 [33]. V sedimentoch kanálu Manivier merná aktivita ^{239,240}Pu bola $(5 \div 40)$ Bq.kg⁻¹ a merná aktivita ¹³⁷Cs bola $(3 \div 240)$ kBq.kg⁻¹, v sedimentoch Dudváhu merná aktivita ^{239,240}Pu bola $0,5 \div 10$ Bq.kg⁻¹ a merná aktivita ¹³⁷Cs bola $(3 \div 30)$ kBq.kg⁻¹ [33]. Na obr. 9 sú zobrazené miesta odberu vzoriek. Zistený pomer ^{239,240}Pu/¹³⁷Cs vo vzorkách je okolo $1 \cdot 10^{-4}$, čo je veľmi tesné k pomeru zistenému v usadeninách vysokoaktívneho koncentráta v zbernej nádobe jadrových elektrární [34]. Je zrejmé, že táto kontaminácia sedimentov zodpovedá nehode v januári 1989 s čiastočným uvoľnením rádioaktivity z nádrží s vyhorenými palivovými článkami.



Obrázok 9. Schéma odberných miest na území v blízkosti JE Jaslovské Bohunice [34, 36].

Výsledky dvojročných meraní [35] Sr-90, Pu-239,240 a Am-241 v 20 g. vzorkách sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Výsledky stanovenia Sr-90, Pu-239,240 a Am-241 v 20 g vzorkách [35].

Vzorka, č.	Hĺbka	^{239,240} Pu [Bq.kg ⁻¹]	¹³⁷ Cs [Bq.kg ⁻¹]	⁹⁰ Sr [Bq.kg ⁻¹]
Sedimenty				
V. Kostol'any	0 – 5	0,28	15,7	<1,2
Žlkovce	0 – 20	0,28	45,7	<1,2
Bučany	0 – 20	0,43	222	2,9
Sereď	0 – 20	<0,11	45,9	4,8
Vodné rastliny				
Bučany	0 – 5	0,43	108	0,7
V. Kostol'any	0 – 5	0,11	2,6	<4,9
Pôdy				
Žlkovce	0 – 5	0,22	30,8	<1,2
V. Kostol'any	0 – 5	0,11	11,1	<1,2
Radošovce	0 – 5	0,16	10,9	2,4
Pečeňady	0 – 5	0,31	10,6	<1,2
Katlovce	0 – 5	0,29	7,7	<1,2
Krakovany	0 – 5	0,14	12,7	<1,2
Nižná	0 – 5	0,23	9,9	1,6
Žlkovce-2	0 – 5	0,22	30,8	1,6
JE Bohunice	0 – 5	<0,18	29,8	2,5
Trnava	0 – 5	<0,18	25,7	<1,2

Prítomnosť týchto rádionuklidov v pôde, sedimentoch a vodných rastlinách možno vysvetliť globálnym spadom a vplyvom JE A-1, odstavenej v r. 1979.

Metódy kvapalinovej extrakcie boli vyvinuté pre separáciu Sr-90 a Pu-239/240 pre ich rýchle a reprodukovateľné stanovenie. Od r. 1992 boli tieto metódy aplikované na systematické merania obidvoch rádionuklidov vo vzorkách z okolia JE A-1 (a JE V-1 a V-2) [36]. Odborné miesta sú zobrazené na obr. 10.

Tabuľka 2. Výsledky stanovenia stroncia-90 a plutónia-239/240 vo vzorkách pôdy z okolia JE A-1 [36].

Č. vzorky	Hĺbka, cm	Popol, g	Obsah nuklidov v suchej vzorke			
			Pu-239/240 Bq.kg ⁻¹	Cs-137 Bq.kg ⁻¹	Pomer Pu-239,240/Cs-137	Sr-90 Bq.kg ⁻¹
Sedimenty:						
1. V. Kostol'any	0÷5	20	0,28±0,08	15,7±0,6	1,8·10 ⁻²	<1,2
2. V. Kostol'any	0÷5	20	0,21±0,03	25,7±0,4	8,2·10 ⁻³	7,2±1,0
3. Žlkovce	0÷5	20	0,28±0,05	45,7±1,9	6,1·10 ⁻³	<1,2
4. Bučany	0÷5	20	0,43±0,05	221,8±8,9	1,9·10 ⁻³	2,9±0,8
5. Sereď	0÷5	20	<0,11	45,9±1,9	-	4,8±1,0
Vodné rastliny						
6. Bučany		20	0,43±0,05	108,0±4,36	4,0·10 ⁻³	0,7±0,3
7. V. Kostol'any		20	<0,11	2,6±0,18	-	<4,9
Pôdy						
8. Žlkovce	0÷5	20	0,22±0,06	30,8±1,3	7,1·10 ⁻³	<1,2
9. V. Kostol'any	0÷5	20	0,11±0,04	11,1±0,48	9,9·10 ⁻³	<1,2
10. Radošovce	0÷5	20	0,16±0,02	10,9±0,29	1,5·10 ⁻²	2,4±0,6
11. Pečeňady	0÷5	20	0,31±0,08	10,6±0,24	2,9·10 ⁻²	<1,2
12. Ninná	0÷5	20	0,23±0,07	9,9±0,25	2,3·10 ⁻²	1,6±0,5
13. Katlovce	0÷5	20	0,29±0,05	7,7±0,38	3,8·10 ⁻²	<1,2
14. Krakovany	0÷5	20	0,14±0,04	12,7±0,57	1,1·10 ⁻²	<1,2
15. Žlkovce	0÷5	20	0,22±0,03	30,8±1,3	7,4·10 ⁻²	1,6±0,9
16. JE Bohunice	0÷5	20	<0,18	29,8±1,2	-	2,5±0,5
17. Trnava	0÷5	20	0,15±0,03	25,7±0,4	5,8·10 ⁻³	5,7±0,6

V tabuľke 3 sú zosumarizované typické hodnoty aktivity Sr-90 a Pu-239,240 v rôznych skupinách vzoriek.

Tabuľka 3. Typické hodnoty aktivity Sr-90 v rôznych skupinách vzoriek [36].

Typ vzorky	Sr-90 MDA	Min. – max namerané hodnoty	Pu-239,240 MDA	Min. – max namerané hodnoty

Aerosoly	930 nBq.m ⁻³	(930 ÷ 1460) nBq.m ⁻³	11,5 nBq.m ⁻³	(11,7 ÷ 42,9) nBq.m ⁻³
Pôda, sedimenty	1,2 Bq.kg ⁻¹	(1,6 ÷ 4,7) Bq.kg ⁻¹	0,31 Bq.kg ⁻¹	(0,31 ÷ 0,43) Bq.kg ⁻¹
Zrážky	99 mBq.m ⁻²	(99 ÷ 110) mBq.m ⁻²	5,9 mBq.m ⁻²	(5,9 ÷ 15,9) mBq.m ⁻²
Tráva, d'atelina	0,3 Bq.kg ⁻¹	(0,35 ÷ 3,7) Bq.kg ⁻¹	9,1 mBq.kg ⁻¹	(9,3 ÷ 19,2) mBq.kg ⁻¹
Vodné rastliny, obilie, kukurica, cukrová repa	0,17 Bq.kg ⁻¹	(0,17 ÷ 25,2) Bq.kg ⁻¹	2,7 mBq.kg ⁻¹	(2,9 ÷ 3,5) mBq.kg ⁻¹

Výsledky dvojročných meraní ⁹⁰Sr a ^{239,240}Pu vo vzorkách životného prostredia preukázali [36], že úroveň aktivity v týchto vzorkách je nízka (Tab. 2). Ich výskyt v pôde, sedimentoch a vo vodných rastlinách sa dá objasniť globálnymi zrážkami a vplyvom odstavenej JE A-1 v r. 1979. Hodnoty rádioaktivity v aerosóloch a v zrážkach boli väčšinou pod detekčným limitom a iba výnimočne boli detegované. Rádioaktivita vzoriek potravného reťazca bola na úrovni detekčných limitov. Vzorky odobrané z kanálu Manivier mali najvyššie hodnoty aktivity zo všetkých vzoriek životného prostredia. Aktivity ^{239,240}Pu korelujú s aktivitami ¹³⁷Cs.

V Tabuľke 4 sú uvedené výsledky rádiochemickej analýzy [37] nádrže dlhodobého skladovania rádioaktívnych odpadov z havarovanej JE A-1, ktorá obsahovala 530 m³ RAO s priemernou hodnotou pH = 8,8 v ktorej boli uložené vyhorené palivové články v puzdrách.

Tabuľka 4. Výsledky rádiochemickej analýzy nádrže dlhodobého skladovania RAO z havarovanej JE A-1 [37].

Nuklid	Aktivita, MBq.dm ⁻³
^{239,240} Pu	(47 ± 3).10 ⁻⁶
²³⁸ Pu	5.10 ⁻⁶
²⁴¹ Pu	(29 ± 3).10 ⁻⁶
⁹⁰ Sr	(48 ± 4).10 ⁻³
⁹⁹ Tc	<8.10 ⁻⁶
¹³⁷ Cs	196 ± 2
¹²⁹ I	(170 ± 40).10 ⁻⁶

Morávek J so spoluaut. v r. 1998 monitorovali [31] rádioaktivitu aerosólov v okolí jadrových elektrární Jaslovské Bohunice. Prítomnosť ⁶⁰Co bola už iba sporadická, čo svedčilo

o tom, že aktivita aerosólov je v súčasnosti len minimálne ovplyvňovaná blízkosťou JE A-1. Aktivita ^{137}Cs a ^{60}Co v lokalite Jaslovské Bohunice (v areáli JE A-1) je mierne vyššia v dôsledku lokálnych vplyvov. Po porovnanie objemová aktivita ^{137}Cs v atmosférických aerosóloch v Prahe sa pohybovala [38] v r. 1996 na úrovni $(0,5 \div 1,5) \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ s maximálnou aktivitou $2,8 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ v januári, čo sú hodnoty v priemere menej ako desaťnásobne nižšie oproti hodnotám nameraných v lokalite JE A-1.

Obnova územia, postihnutého haváriou JE A-1

V súčasnosti sa pracuje na obnove postihnutého územia [39]. 19 km dlhé brehy zberného kanálu odpadových vôd JE Bohunice NPP (kanál Manivier $(0,3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1})$) a rieky Dudváh $(0,8 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1})$ boli kontaminované ^{137}Cs v dôsledku dvoch nehôd na CO_2 chladenom a ťažkou vodou moderovanom bloku JE A-1 v rokoch 1976 a 1977. Až do roku 1992, odpadové vody z JE boli odvádzané cez 5 km dlhý kanál do rieky Dudváh ($Q_a 1.8 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), vtekajúceho po 13 km do rieky Váh $(150 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1})$, ktorá po 90 km ústi do Dunaja. Medzi rokmi 1976 a 1978, kedy sa udiali obidve nehody, bol realizovaný projekt výstavby zariadení na kontrolu záplav na rieke Dudváh v dĺžke 8 km proti prúdu od jej ústia. Na ďalšej časti proti prúdu Dudváhu na úseku s dĺžkou okolo 5 km, ovplyvňovanom JE, je kontrola podmienok záplav nedostatočná a až dodnes priťahuje stálu pozornosť verejnosti. Kontaminácia brehov a jej dopad bol zistený v r. 1991 v spojitosti s prípravou projektu realizácie regulácie záplav. V dôsledku zistenia kontaminácie bola realizácia projektu regulácie záplav zastavená. V r. 1992 Atómové elektrárne Bohunice, ktoré sú považované za zodpovedné za kontamináciu miesta, iniciovali projekt obnovy brehu vrátane plytkého zakopania odstránenej pôdy. Úroveň čistenia $1 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ pre ^{137}Cs bola prijatá *ad hoc* kontrolným úradom. Úložisko kontaminovanej pôdy bolo projektované ako podpovrchová betónová konštrukcia s plánovanou kapacitou $5\,000 \text{ m}^3$ vo vnútri areálu JE. Táto plocha bola zvolená ako najpriateľnejšie akceptovateľné miesto úložiska pre susedné obyvateľstvo [39].

Rádioekologická charakterizácia kontaminovaných brehov

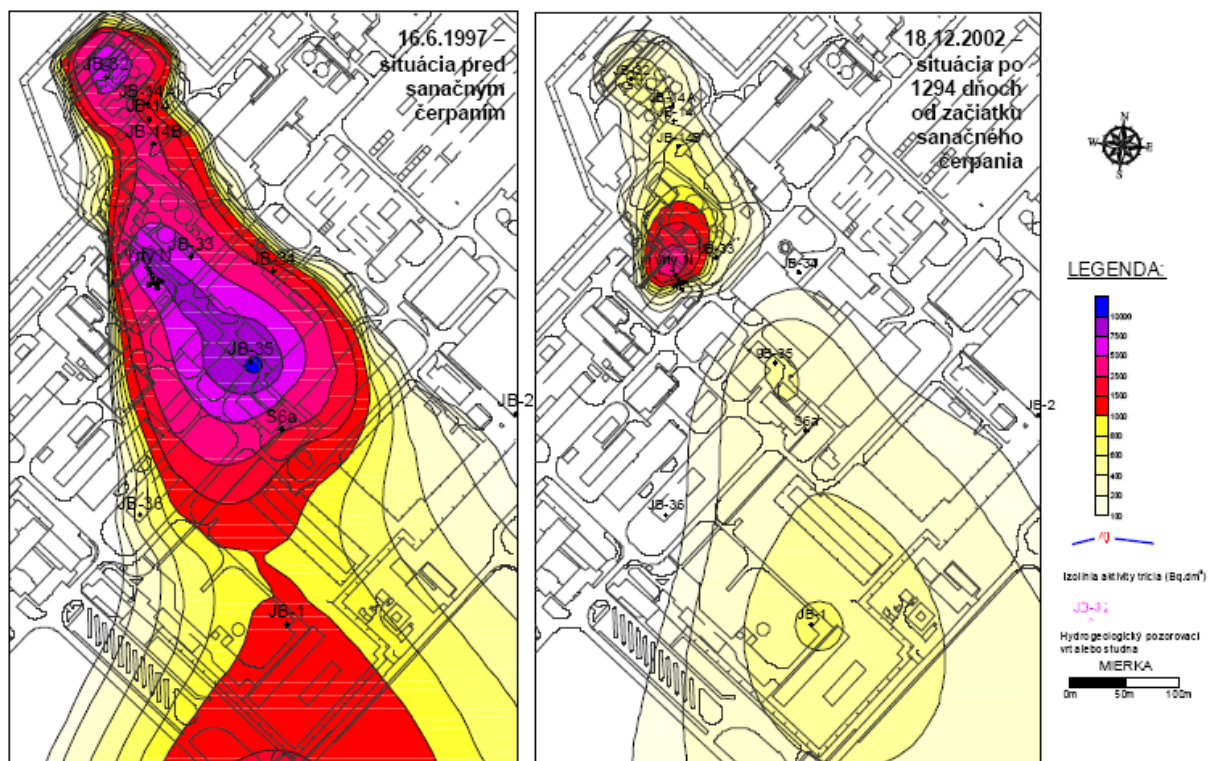
Detailný rádioekologický prieskum uskutočnený medzi rokmi 1992 a 1994 preukázal [39], že horná vrstva pôdy na brehoch je kontaminovaná ^{137}Cs v širokom rozsahu od úrovne pozadia do približne $20 \text{ kBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($3,8 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-2}$) u rieky Dudváh a dosahuje až $250 \text{ kBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ na niektorých nerovnomerne kontaminovaných ohraničených úsekoch brehov kanálu

Manivier. Priemerná aktivita ^{137}Cs v hornej časti brehov dosahuje $6,3 \text{ kBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ vo vrchnej 10 cm vrstve pôdy. Celková kontaminovaná plocha miest s aktivitami ^{137}Cs prevyšujúcimi $1 \text{ kBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (zvolené ako predbežný pracovný limit dozorným orgánom) predstavuje rozlohu okolo $67\,000 \text{ m}^2$ a objem pôdy, ktorú je nutné odstrániť, je okolo $13\,000 \text{ m}^3$ [39].

Slávik a Morávek odhadovali [39],³⁵ že kontaminované brehy sú prístupné pre 16 000 obyvateľov žijúcich pozdĺž 3,5 km širokého pásma pozdĺž rieky. Zvolené expozičné cesty s aktivitami určenými dozorným orgánom aplikovali pre odhad dávky na stanovenie vhodných kritérií pre čistenie. Podľa scenára odhadovali riziko zotrávania ľudí na brehoch (300 hod. rybárčenia, konzumácia potravy), efektívna dávka neprekročila (v r. 1993) $0,35 \text{ mSv}\cdot\text{r}^{-1}$, hoci potenciálne riziko ožiarenia v dôsledku použitia kontaminovanej pôdy dosahovalo efektívnu dávku až do 2 až $3 \text{ mSv}\cdot\text{r}^{-1}$. Ročnú kolektívnu dávku od zotrávania na brehoch odhadovali maximálne na $(100 \div 200) \text{ manSv}$ na základe nízkej intenzity využívania brehov. Potenciálne riziko ožiarenia pre kritickú skupinu osôb na kontaminovaných brehoch nesmie prekročiť $1 \text{ mSv}\cdot\text{r}^{-1}$.

Priemerná úroveň kontaminácie ^{137}Cs hornej vrstvy pôdy (10 cm) brehov bola $AL_{50} = 7,1 \text{ kBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ kontinuálne pozdĺž 80 m dlhých úsekov, čo zodpovedá kritickej potenciálnej dávke limitujúcich požiadaviek [39]. Navyše, aktivita ^{137}Cs rovná $25 \text{ kBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ pre izolované škvry bola navrhnutá pre nepravidelne kontaminované úseky brehov kanálu. V súlade s princípmi dozorného úradu bolo stanovené, že je potrebné vyčistiť vrstvu pôdy na ploche 9500 m^2 kontaminovaného inundačného územia [40]. Na nepravidelne kontaminovaných úsekoch kanálu bolo navrhnuté odstrániť iba izolované kontaminované škvry. To znamená, že výsledný objem pôdy, ktorú je potrebné odstrániť z brehov a bezpečne uložiť v betónovom úložisku vo vnútri aerálu JE Bohunice, predstavuje okolo 1100 m^3 [39]. Celkovú cenu prác odhadovali približne na $100\,000$ dolárov USA [41].

Dominantným rádionuklidom v podzemných vodách v areáli JE A-1 je trícium. Od r. 1997 EKOSUR realizuje sanačné čerpanie kontaminovaných podzemných vôd [42]. Výsledky monitorovania a sanačného čerpania sú na obr. 11.



Obrázok 11. Výsledky štandardného monitorovania podzemných vôd v areáli SE VYZ [42]

Izolínie objemových aktivít trícia [$\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$] - situácie k 16.6.1997 a 18.12.2002

Za škody spôsobené utajovanou haváriou v JE A-1 Jaslovské Bohunice v roku 1977 žiada obec od Slovenských elektrární, a.s. odškodné 2 miliardy Sk [43]. Samospráva je pripravená obrátiť sa na súd so žalobou.

Letkovičová M. a kol. študovali [44] zdravotný stav obyvateľov v okolí JE Jaslovské Bohunice, celkovo podľa 43 kritérií. Podľa 15 zdravotných kritérií prítomnosť jadrových elektrární v tejto lokalite má pozitívny vplyv na zdravotný stav obyvateľov, čo vysvetľujú predovšetkým vplyvom JE na zamestnanosť a zlepšenie životnej úrovne miestneho obyvateľstva.

ZÁVER

Vďaka tomu, že niekoľko rokov boli havárie na JE A-1 viac-menej utajované, možno konštatovať, že o druhej havárii, ktorá sa udiala 22.2.1977 a ktorá patrí medzi najťažšie havárie na civilných jadrových reaktoroch, dodnes nie je známa nielen medzi verejnosťou, ale taktiež odborníkmi vo svete. Pribeh obidvoch havárií svedčí o nedokonalnej konštrukcii

jadrového reaktora KS 150 ako aj o chybách obsluhujúceho personálu pri výmene vyhoreného jadrového paliva.

Kontaminácia areálu JE A-1 a následne aj brehov a sedimentov kanálu Manivier a rieky Dudváh v dôsledku nadmerných zrážok v lokalite Jaslovské Bohunice svedčí o nedostatkoch projektu JE A-1, resp. o chybách personálu. V súčasnosti sa realizuje vyradovanie JE A-1 s postupnou dekontamináciou zariadení, priestorov a vybavenia, čo bude zrejme dlhodobý proces, ktorý si ešte vyžiada vysoké finančné náklady.

Kontaminácia životného prostredia rádionuklidmi z havarovanej JE A-1 si vyžaduje trvalý monitoring podzemných vôd, sedimentov, pôdy a aerosólov a dôslednú realizáciu opatrení na odstránenie a izoláciu najviac kontaminovaných pôd, ako aj trvalé odčerpávanie podzemných vôd v okolí areálu JE A-1.

LITERATÚRA

1. **Stubna, M.; Pekar, A.; Moravek, J.; Spirko, M., 2002:** Decommissioning Project of A1 Bohunice NPP. Conference: Waste Management 2002 Symposium, Tucson, AZ (US), 02/24/2002–02/28/2002; http://www.energystorm.us/Decommissioning_Project_Of_Bohunice_A1_Npp-r39598.html
2. **Krištofová, K., Vaško, M., 2004:** Decommissioning activities for NPP A-1. International Youth Nuclear Congress 2004. May 8-14, 2004 Toronto, Canada, http://www.iync.org/archive/iync2004/presentation/track_b/b3_2/christofova_vasko.pdf
3. **Bohunice A-1 Nuclear Power plant A-1, SE a.s., EBO o.z. Bohunice (JE A-1), 1995.** Results of activities of the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic in the supervision of nuclear safety of nuclear facilities in 1995. Annual Report 1996, 56 p. p.19-21.
4. **Frišová, M., Puková, A., Kunschová, J., (1998):** ...bohunice... (in Slovak) Domino forum, No. 32, 7-9
5. **Bodorík, K. a iní, 1997:** 40 Years of Nuclear Power Plants in Slovakia (in Slovak). Dobák, D, Melichárková, A., Hacaj A. (Eds.). Budmerice: Rak. ISBN: 80-85501-12-0.
6. **The International Nuclear Event Scale (INES) User's Manual, 2001 Edition. 2001:** Vienna: IAEA.
7. **Burclova, J., 1998:** Decommissioning of NPP A1 — HWGCR type. Technologies for gas cooled reactor decommissioning, fuel storage and waste disposal, Proceedings of a Technical Committee meeting held in Julich, Germany, 8-10 September 1997. Technologies for gas cooled reactor decommissioning, fuel storage and waste disposal. IAEA, VIENNA, 1998. 305 p. IAEA-TECDOC-1043. p. 105-112

8. **The International Nuclear Event Scale. 1999:** For prompt communication of safety significance. Vienna: IAEA <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines-e.pdf>
9. **The International Nuclear Scale INES (in Slovak). 2004:** <http://www.seas.sk/spolocnost/jadrova-bezpecnost/medzinarodna-stupnica-ines/>
10. **Regulation of the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic no. 31/2000** on events at nuclear facilities (in Slovak).
11. **Slovak Republic decree No. 55/2006** of the Nuclear Regulatory authority of the Slovak Republic about details on breakdown planning for the case of an accident or breakdown (in Slovak). <http://www.zbierka.sk/ciastka.asp?ro=2006&cc=25>
12. **Kurucová, S., Blažík, T., Kuruc, J., 2005:** Geographical-radioecological aspects of nuclear energy exploitation and environment contamination by man-made radionuclides in Russian Federation (in Slovak). Omega Info, Bratislava, 257 p.
13. **The INES Systém. 2005:** A description of the IAEA information system on nuclear safety events. Institute of Nuclear Technology & Radiation Protection. www.ipta.demokritos.gr
14. **INES. The International Nuclear Event Scale for evaluation of importance of nuclear events. User Handbook (in Czech). 2001:** Praha: SÚJB. 85 s. <http://www.sujb.cz/docs/INES.pdf>
15. **INES. International nuclear event scale for classification of events on nuclear facilities (in Slovak). (1999):** Bratislava: ÚJD SR. 6 p.
16. **Johnston, Wm. Robert, 17 August 2005:** Database of Radiological Incidents and Related Events. <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/index.html>
17. **List of civilian nuclear accidents.** Wikipedia, www.wikipedia.org/wiki/List_of_civilian_radiation_accidents
18. **TheFreeDictionary.** List of civilian nuclear accidents. <http://www10.antenna.nl/wise/345/3452.html>
19. **Petrášová, M., 2003:** *Development of radiation protection in Slovakia.* IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe. Slovak Society for Nuclear Medicine and Radiation Hygiene, Bratislava (Slovakia), 573 p. p. 1-4. INIS NCL: 36097677
20. Originally Slovenské elektrárne, a. s., Decommissioning of Nuclear Energy Devices and Treatment of RAW and Spent Nuclear Fuel, Plant (SE-VYZ); Since April 1, 2006 VYZ is a part of GovCo, a.s.; **Kóňa, M., 2006:** [Electricity in Bohunice is already produced by GovCo.](#) (in Slovak). Hospodárske noviny, 3.4.2006.

- 21. Decommissioning of the nuclear power plant A-1 in Jaslovské Bohunice** (in Slovak)
2001: Energia budúcnosti, Bulletin Slovenského jadrového fóra, December, 2001.
http://www.sjforum.sk/bulletin/12_01_03.htm
- 22. Cowley, M.A., Krstenik, A., 1995:** Decontamination of the Bohunice A-1 reactor hall. International conference on nuclear decommissioning. London (United Kingdom). 29-30 Nov 1995. Nuclear Decommissioning. The strategic, practical, and environmental considerations. Proceedings. London (United Kingdom). Mechanical Engineering Publications. 1995. 392 p. p. 219-228. ISBN 0 85298 955 5. INIS: 27051792.
- 23. Beer, G., Marčan, P., Slovák, K., 2005:** Crashed nuclear power plant will be charging the state yet for a long time. (In Slovak). TREND, 31.10.2005.
http://www.etrend.sk/ekonomika/slovensko/havarovana-atomka-bude-stat-zazazovat-este-dlho?web_user_id=3777
- 24. Éhn, L., 2005:** Decommissioning of nuclear-energetic devices and handling with RAW and spent nuclear fuel (in Slovak). VZ SNUS, Častá-Papiernička, 6.-7.10.2005,
<http://www.snus.sk/Snus/VZSNUS2005/VZ2005-OK/Prezent%C3%A1cia%20Ehn.pdf>
- 25. Law of the Slovak Republic No. 254/1994 Z.z.** on the State fund for liquidation of nuclear-energetic devices. (in Slovak).
- 26. Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. Annual Report 1999. 2000:** Bratislava, Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic. ISBN 80-88806-19-4. 80 p.
- 27. Pražská, M., Majerský, D., Rezbárik, J., Sékely, S., Vozárik, P., Walthéry, R., Štuller, P., 2005:** Monitoring of primary circuit and the reactor of NPP A-1 (in Slovak). VZ SNUS, Častá - Papiernička, 7.10.2005.
<http://v1.nuc.elf.stuba.sk/Snus/VZSNUS2005/WIN/Prazska.pdf>
- 28. Ninth Annual Report. 1999:** Occupational Exposures at Nuclear Power Plants.
[nea2728-isoe99-complete.pdf](http://www.iaea.org/nae/nae2728-isoe99-complete.pdf)
- 29. National Report of the Slovak Republic, 2004:** Report on the state of safety of nuclear devices on the territory of the Slovak Republic and on activity of Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic in 2004 (in Slovak). Bratislava, ÚJD SR.
- 30. Chnapko, P., Slávik, O., Nižnanský, V., Matušek, I., (2004):** Management of radioactivity contaminated soil within the frame of NPP A-1 decommissioning (in Slovak). VI. Banskštiavnické dni 2004. Banská Štiavnica, 6.- 8.10.2004. Presentation; Acta Facultatis Ecologiae, 12, Suppl. 2, 25-28

- 31. Morávek, J., Slávik, O., Nižnanská, M., Dekanová, M., Reško, F., 1998.** Additional monitoring of radiation situation in the locality of **Bohunice** (in Slovak). Research Report, VÚJE, a.s., Trnava. INIS NCL: 30048793
- 32. Mátel, Ľ., Mikulaj, V., Rajec, P., 1993:** Determination of $^{239,240}\text{Pu}$ in environmental samples from surroundings of the power station Jaslovske Bohunice. J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters, 175 (1), 41-46
- 33. Mátel, Ľ., Mikulaj, V., Rajec, P., Rosskopfová, O., Drahošová, Ľ., 1993:** Determination of $^{239,240}\text{Pu}$ in environmental samples from surroundings of the power station Jaslovske Bohunice. 5th Conference Separation of Ionic Solutes, SIS'93, Stara Lesna, High Tatras, Sept. 27 – Oct. 1, 1993, Slovakia. A-11
- 34. Mátel, Ľ., Rajec, P., Mikulaj, V., Švec, A., Rosskopfová, O., Drahošová, Ľ., 1994:** Determination of $^{239,240}\text{Pu}$ in environmental samples from surroundings of the atomic power station Jaslovske Bohunice. Determination of plutonium in Manivier and Dudvah River. J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles, 183 (1) 167-170
- 35. Mátel, Ľ., Macasek, F., Rajec, P., Rosskopfová, O., Prekopová, J., Kostial, J., Drahosova, L., Nemcovic, V., Matusek, I., 1995:** Determination of Sr, Pu and Am in environmental samples from surroundings of the NPP Jaslovske Bohunice. 6th Conference Separation of Ionic Solutes, SIS'95, Piestany Spa, May 15 – 19, 1995, Slovakia. p. 61
- 36. Macasek, F., Mátel, Ľ., Rajec, P., Kostial, J., Drahosova, L., Nemcovic, V., Matusek, I., 1995:** Determination of ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ in environmental samples from surroundings of the Jaslovske Bohunice nuclear power plant. In: Proc. Int. Symp. On Environmental Impacts of Radioactive Releases, IAEA, Vienna, 8 – 12 May 1995. Environmental Impacts of Radioactive Releases. Vienna: IAEA,. P.648-653
- 37. Mátel, Ľ., Rosskopfová, O., Vlnková, K., Rajec, P., Keltoš, D., 1997:** Separation of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am from water of long term waste pond NPP A-1 Jaslovske Bohunice using TRU Resin SPS and comparison with conventional extraction method. 7th Int. Conf. Separation of Ionic Solutes. Piešťany Spa, Slovakia, May 18-23, 1997. p. 81-82
- 38. Bučina, I., Drábová, D., Fojtikova, I.; Hulka, J.; Kuca, P.; Malatova, I.; Vlcek, J., 1997:** Report on radiological situation in the Czech Republic in 1996 (in Czech). Bezpečnost jaderné energie 5 (43), No. 9/10, p.275-297
- 39. Slávik, O., Morávek, J., 2003:** Clean-up Levels for Recovery of a ^{137}Cs Contaminated Site in the Slovak Republic. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe Bratislava, 22-26 Sep 2003. (Slovakia). Bratislava: Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic 2003. 573 p. p. 1-4. ISBN 80-88806-43-7. INIS NCL: 36097694

- 40. Slavik, O., Moravek, J., Vladar, M., 1996:** Planning for environmental restoration of the contaminated banks near Bohunice, NPP. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, Vol. 209, No. 2, p.381-385.
- 41. Slavik, O.; Moravek, J., Vladar, M., 1994:** Technologies for and implementation of environmental restoration project in the Slovak Republic. Workshop on environmental restoration in Central and Eastern Europe. Rez (Czech Republic). 12-16 Dec 1994. International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria). Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in Central and Eastern Europe. V. 3: Technologies for, and the implementation of, environmental restoration of contaminated sites. Proceedings of a workshop held within the technical co-operation project. May 1996. 292 p. p. 211-223 IAEA-TECDOC—865(v.3).
- 42. Kostolansky, M.; Benko, J.; Plsko, J.; Machyniak, P., 2003:** Redevelopment drawing off of underground waters - a tool for lowering of environmental influences of the decommissioned A-1 NPP on the environment. V. Banskostavnicke dni 2003, October 1-10, 2003, Banska Stiavnica, Slovakia. Zbornik V. Banskostavnicke dni 2003. Sucasne ulohy environmentalistiky a radioenvironmentalistiky. Senec, ISK, 302 p. p.132-140. ISBN 80-88682-59-2
- 43. Bohunice wants payment for nuclear plant crash. 2004:** Novinky.cz, <http://gaming.cz/04/59/65.html>
- 44. Letkovičová, M., Mihály, B., Letkovičová H., Stehlíková B., 2003:** The Health Status of the Population Neighbouring the Nuclear Power Plants in Slovakia. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe. Slovak Society for Nuclear Medicine and Radiation Hygiene, Bratislava (Slovakia), 573 p. p. 1-19. INIS NCL: 36097734.