

Dve vážne havárie na jadrovej elektrárni A-1

František HEZOUČKÝ, v čase havárie vedúci oddelenia technického rozvoja a prevádzkových režimov

Jozef JAMRICH, v čase havárie vedúci transportne – technologickej časti

Vladimír GRUJBÁR, v čase havárie vedúci oddelenia operatívnej dozimetrie

Juraj KMOŠENA, v čase havárie vedúci oddelenia prevádzkovej fyziky

Vincent PETÉNYI, v čase havárie vedúci oddelenia reaktorovej fyziky VVZ

Štefan ROHÁR, v čase havárie vedúci odboru reaktorovej fyziky a teplotniky VVZ

Jozef HODUL, v čase prvej havárie poverený riadením prevádzky, v čase druhej havárie nám. riad. pre výrobu a údržbu

Deskriptory *INS*: AIR; BOHUNICE A-1 REACTOR; CONTAMINATION; FUEL ASSEMBLIES; INDOOR AIR CONTAMINATION; NUCLEAR FUELS; RADIOACTIVITY; RADIATION ACCIDENTS; REACTOR ACCIDENTS; REACTOR CORES; SURFACE CONTAMINATION

V januári 1976 a vo februári 1977 sa na prototypovej jadrovej elektrárni A-1 v Jaslovských Bohuniciach odohrali dve vážne havárie, ktoré nikdy neboli v odbornej literatúre popísané. V januári 1976 došlo po výmene palivového kompletu k jeho „vystreleniu“ z reaktora a k úniku chladiva. Reaktor sa po tejto havárii podarilo opraviť a opäť uviesť do prevádzky. Vo februári 1977 došlo k druhej vážnej havárii, ktorá viedla k vážnejšiemu poškodeniu zariadenia. Článok popisuje detailne priebeh havárii, činnosť smeny, príčiny i následky havárii, radiačnú situáciu a uvádza najdôležitejšie výsledky pohaváríjnych analýz.

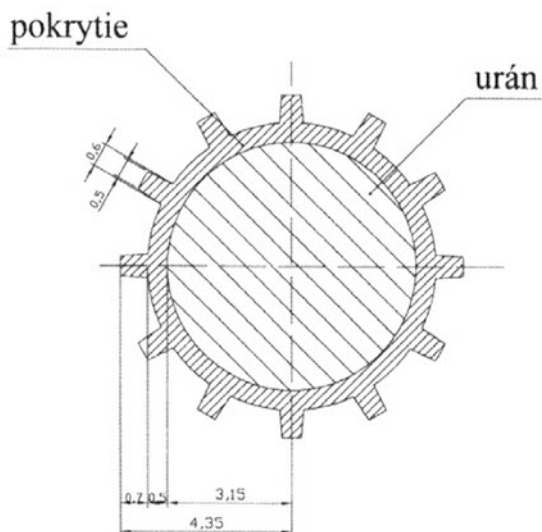
1. ÚVOD

Je neľahké, aj pre priamych pamätníkov, popísať udalosti, ktoré sa odohrali pred viac ako tridsiatimi rokmi. Pamäť bolo potrebné podporiť podkladmi z archívu A-1. Boli nájdené svedectvá pracovníkov smien ako aj denných špecialistov, analýzy vypracované v elektrárni A-1 po haváriách, záznamy zo zapisovacích prístrojov, protokoly z prerokovávaní. Podarilo sa vyhľadať všetky kľúčové dokumenty. Články v denníkoch SME a Právo z januára 2008, popisujúce prvú z dvoch vážnych havárií ako možnú černoobyl'skú katastrofu, boli pre autorov tohto článku impulzom. Zvyklosťi tej doby, kedy sa obidve havárie udiali, neuverejňovať neúspechy, viedli k šíreniu legend. Autori článku ďakujú VUJE za vytvorenie podmienok na spracovanie analýz a časti tohto článku do BJE. V čase popisovaných udalostí boli všetci zamestnancami Jadrovej elektrárne Bohunice. Týmto oneskorene splácajú odbornej verejnosti dlh. Pre pamäť aj poučenie z pionierskeho obdobia československej jadrovej energetiky.

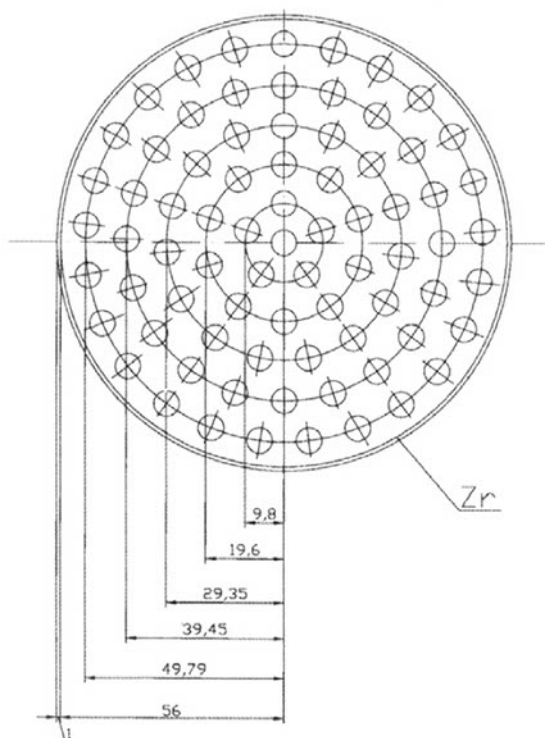
2. STRUČNÝ POPIS AKTÍVNEJ ZÓNY REAKTORA

Aktívna zóna reaktora (AZ) KS-150 bola osadená dvoma typmi palivových článkov, ktoré sa navzájom odlišovali priemerom vonkajšej obalovej rúry a počtom osadených palivových prútikov. Z celkového počtu 148 palivových článkov bolo 44 tzv. centrálnych článkov (\varnothing 112, 75 palivových prútikov) rozmiestnených v centrálnej časti aktívnej zóny, zostávajúce 104, tzv. periférne články (\varnothing 100, 63 palivových prútikov) boli rozmiestnené v medzikruží medzi centrálnou zónou a reflektorom, ktorý sa nachádzal na vonkajšej hranici reaktora.

Palivové prútiky z prírodného uránu boli používané rovnaké aj v centrálnych aj v periférnych palivových článkoch. Mali priemer uránového jadra \varnothing 6,3 mm a dĺžku 390 cm. Pokrytie palivových prútikov bolo zo pseudo-zliatiny Mg+Be. Prierezy palivových článkov a palivového prútika sú ilustrované na obr. 1 a 2.



Obr. 1. Prierez palivového prútika



Obr. 2. Prierez článku centrálného typu

Moderátorom v reaktore KS-150 bola ťažká voda rozmiestnená vo valcovej nádobe z hliníkového materiálu, tzv. avialová nádoba (AN) cez ktorú prechádzali kanály, v ktorých sa umiestňovali palivové články. Materiál avialovej nádoby bol v konštrukcii reaktora použitý s cieľom, aby čo najmenej ovplyvnil bilanciu neutrónov v elementárnych bunkách reaktora.

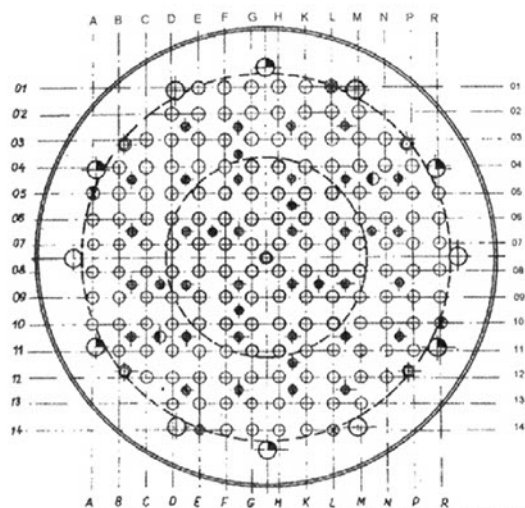
Chladienie paliva a odvod tepla z reaktora bolo zabezpečené cirkuláciou stlačeného CO_2 o pretlaku cca 60 kg/cm^2 . Chladiaci systém reaktora bol realizovaný vo forme 6 cirkulačných slučiek, z ktorých každá bola vybavená turbokompresorom a parným generátorom, v ktorom sa teplo z primárneho chladiva odovzdávalo na výrobu pary pre turbíny.

Na výstupe z každého palivového článku bol inštalovaný termočlánok na meranie výstupnej teploty plynu a okrem toho boli v reaktore zavezené aj tzv. termometrické experimentálne palivové články, ktoré boli osadené termočlámkami na meranie teploty uránu v ose palivového prútika, pričom termočlásky boli osadené v mieste projektovej maximálnej teploty uránového jadra prútika. Okrem toho každý technologický kanál bol vybavený odberom na meranie aktivity štiepných produktov a celý tento systém odberov slúžil pre kontinuálnu kontrolu hermetičnosti pokrytia paliva počas prevádzky.

Riadenie reaktivity v reaktore sa uskutočňovalo pomocou 40 ríadiacich absorbčných tyčí, ktoré sa zasúvali v avialovej nádobe, na pozície medzi palivovými kazetami, viď obr. 3.

Pre plnenie rôznych funkcií z hľadiska riadenia reaktivity v reaktore bol celkový počet 40 absorbčných tyčí, ktorými bol reaktor KS-150 vybavený, rozčlenený podľa spôsobu ovládania do nasledovných funkčných skupín:

- 4 – pre automatickú reguláciu výkonu reaktora
- 4 – pre rýchle odstavenie reaktora (tzv. havarijný tyče)
- 4 – pre tvarovanie výkonu reaktora po výške AZ (zmena oproti pôvodnému projektu)



Názov	Počet	Označ.	Názov	Počet	Označ.
Kanal článku $\varnothing 112$	44	⊙	Odtoková rúra moderátora	6	⊙
Kanal článku $\varnothing 100$	104	⊙	Kanal Hádsonmerov	2	⊙
Kanal pre kompenzačnú tyč	32	⊙	Kanal pre železné vzorky	4	⊙
Kanal pre havarijnú tyč	4	⊙	Kanal pre avialové vzorky	2	⊙
Kanal pre regulačnú tyč	4	⊙	Kanal pre odvod traskavej zmesi	5	⊙
Prívodná rúra pre moderátor	6	⊙	Kanal pre spilloviač ionizačné komory	2	⊙

Obr. 3. Rez aktívnou zónou reaktora

- 28 - pre kompenzáciu dlhodobých efektov reaktivity reaktora (na vyhorenie paliva, na otravu reaktora, na teplotné efekty).

Tvarovacie tyče sa líšili od zostávajúcich absorpčných s tým, že obsahovali absorpčný materiál iba v dolnej tretine výšky. Tieto tyče ovládal operátor reaktora ručne tak, aby absorpčné časti regulačných tyčí (ktoré boli do AZ zasúvané zhora) a absorbné časti tvarovacích tyčí boli navzájom po výške rozmiestnené symetricky voči stredu AZ.

Kompenzačné tyče pri prevádzke reaktora mali dve polohy a boli alebo úplne zasunuté do aktívnej zóny, alebo boli zo zóny úplne vysunuté. Vyššie uvedené spôsoby riadenia reaktivity reaktora zabezpečoval optimálnejšie rozloženie výkonu po výške AZ v porovnaní s pôvodným projektom.

Výmena paliva bola kontinuálna a plánovaná pomocou špecifického programu na výmenu paliva, ktorý simuloval výkonové rozloženie po priereze aktívnej zóny a dosiahnuté vyhorenie. Stratégia výmeny palivových článkov bola zvolená tak, aby výkon reaktora bol vyrovnávaný po priereze aktívnej zóny a aby neboli relatívne veľké skoky výkonu na susediacich palivových článkoch. Popritom bolo brané do úvahy aj to, že novo zavезený palivový článok mal na danom mieste dosiahnuť približne plánované vyhorenie. Program výmeny paliva zohľadňoval aj palivové články u ktorých došlo k porušeniu pokrytia (signalizáciou netesnosti pokrytia dozimetrickým systémom merania aktivity štípných produktov v chladive) a ktoré boli vymenené pred dosiahnutím plánovaného vyhorenia.

Plánované špecifické vyhorenie uránu v palivových článkoch podľa pôvodného projektu bolo 2800 MWd/t_U. V rámci experimentálnej prevádzky reaktora bol realizovaný aj projekt zameraný na určenie maximálneho vyhorenia pri ktorom si palivové články zachovávajú svoju funkčnosť (nedôjde k porušeniu pokrytia a úniku štípných produktov). V rámci tohto experimentálneho programu bolo zistené, že pre prvú generáciu palivových článkov hermetičnosť paliva bola zachovaná do špecifického vyhorenia cca 4000 MWd/t_U a u druhej vylepšenej generácie palivových článkov bola hermetičnosť paliva zachovaná až do špecifického vyhorenia cca 4500 MWd/t_U.

Poznámka: Informácie o JE A-1 boli podané v BJE č. 7-8/07, kde na str. 210 je obr. „Rez reaktorom KS-150“, na str. 213 je tab. „Charakteristiky reaktora pri výkone“, a na str. 217 je obr. „Schematický rez hlavného výrobného bloku JE A-1“. Pre pochopenie niektorých súvislostí odporúčame čitateľom pozrieť tieto obrázky.

3. STRUČNÝ POPIS TECHNOLOGICKÉHO KANÁLA A POSTUPU VÝMENY PALIVA

Pre pochopenie obidvoch havárií je potrebné aspoň stručné oboznámenie sa s funkciou technologického kanála (TK) vrátane kompletu zátok a s postupom výmeny paliva.

Popis a účel technologického kanála (TK)

TK slúžil okrem iného pre:

- vyberanie vyhoreného a vkladanie čerstvého palivového kompletu (PK) za prevádzky reaktora pomocou špeciálneho zaväzacieho stroja (ZS) z a do dochladzovacej zóny reaktora;
- vkladanie a vyberanie PČ z a do aktívnej zóny reaktora pomocou žeriavu a dvoch spojovacích tyčí;
- regulovanie množstva chladiaceho plynu do PČ;
- uzatváranie vstupných okien plynu pri zavážaní PČ do ZS a ich otváraní pri zavážaní PČ do dochladzovacej zóny reaktora;
- zabezpečenie merania teploty chladiaceho plynu na výstupe z PČ a teploty pokrytia uránových prútikov v niektorých PČ;
- ochranu proti žiareniu z aktívnej zóny reaktora v smere do reaktorovej sály (RS).

Hlavné časti TK

TK je zabudovaný v nosnej trubke privarenej k veku tlakovej nádoby reaktora. Spodný koniec TK, ktorý tvorí hlavná trubka, je v úrovni nad hornou hranicou aktívnej zóny reaktora a pod úrovňou moderátora (ťažká voda). Celková dĺžka TK je 1200 mm.

Pevné časti TK – sú podskupiny a časti zabudované v nosnej trubke a iba niektoré sú v pohybe pri výmene PČ. Pri výmene PČ ostávajú v TK. Pevné časti TK uzatvárajú funkčný pracovný priestor. Držia PČ v aktívnej zóne, slúžia k nútenému uzatvoreniu vstupu chladiaceho plynu do PČ, utesňujú PK po jeho zavezení do dochladzovacej zóny a k jeho roztesneniu pred jeho vybratím, utesňujú technologický priestor v mieste napojenia TK na technologickú trubku avialovej nádoby reaktora. Tvorí spolu s nosnou trúbkou reaktora vonkajšie medzikružie pre komunikáciu chladiaceho plynu.

Pevné časti TK predstavujú množstvo detailov a podskupín, ktoré sú životne dôležité pre správnu funkciu PČ.

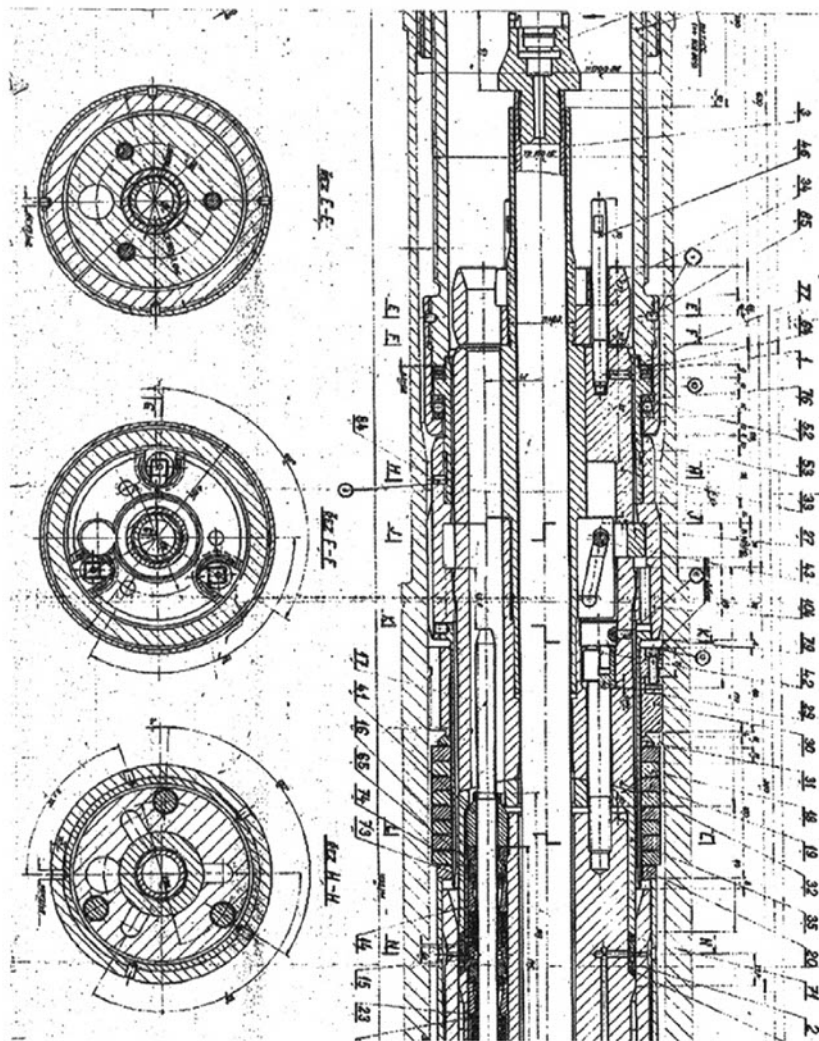
Z nich sú uvedené len najdôležitejšie:

- hlavná trubka TK, na výkrese Ae 102 835 – obr. 4 (ďalšie čísla v texte sú pozície z tohto výkresu) má pozíciu č. 96. Jej dĺžka je 10 426 mm. Jej funkcie sú, že utesňuje vnútorný priestor TK a kesónovej trubky, slúži k vedeniu uzatváracie trubky (97), má vstupné okná špeciálneho profilu, ktoré slúžia pre vstup chladiaceho plynu,
- uzatváracia trubka (97) je uložená na pružinovom teleskope hlavnej trubky, ktorý zabezpečuje jej vertikálny pohyb, čím sa otvára a zaviera prúd chladiaceho plynu cez PČ. Otvorenie je silové od krútiaceho momentu ZS. Na jej povrchu sú vytvorené profilované otvory pre vstup plynu v počte 12 vstupných okien.

Palivový komplet (PK) pozostával z PČ a kompletu zátok (tieniacej a tesniacej)

Popis podstatných funkcií

Jadro (32, 33) zabezpečuje nesenie PK a hlavne jeho uzamknutie do TK pomocou kulisového mechanizmu ovládajúceho vysúvacie kamene (27) uzamykajúce zátku PK v TK. V hlavici (3) sa po vytiahnutí PČ do dochladzovacej zóny zavesí PČ cez ručne vložený operný C-krúžok (37).



Obr. 4.

V telese tesniacej zátky (33) sú vodiace otvory pre blokovacie (uzamykacie) kamene (27).

Teleso zátky (32) má na vonkajšom povrchu osadenia, ktoré sú nosnými časťami PK v TK.

Uzatváracie teleso (100) nesie skrutku pre reguláciu plynu, zabezpečuje utesnenie PK v TK.

Vonkajšia zátka s usmerňovačom (98) zabezpečuje uzatváranie vstupných okien plynu pri regulovaní. Za tým účelom má usmerňovač 11 rebier s plynulým nábehom.

Vnútorňa (tenciaca) zátka (99) je tvorená plášťom vyplnenom 11 grafitovými blokmi tvoriacimi biologické tienenie.

Závesná tyč priemeru $\varnothing 36$ mm (107) je nosným elementom pre vyberanie PČ pomocou žeriavu z aktívnej do dochladzovacej zóny. V tyči je inštalovaný špeciálny kábel pre meranie teploty plynu na výstupe z aktívnej zóny a teploty pokrytia vybraných uránových prútov PČ.

Veko TK (95) utesňuje a uzatvára vnútorný priestor TK. Zaistenie veka je prevlečenou maticou. V telese veka je mechanizmus ukazovateľa stavu nastavenia regulačných orgánov vstupného plynu do PČ.

Dve podskupiny vyberateľných častí, a to vnútorná a vonkajšia zátka, sú vymeniteľné časti TK. Je ich možné po vyčistení a repasii znova použiť.

Stručný popis postupu výmeny paliva na reaktore KS 150

Vyberanie PČ z reaktora má tieto hlavné etapy:

- Vytáhovanie vyhoreného PČ z aktívnej do dochladzovacej zóny reaktora (žeriavom).
- Vytiahnutie PK s vyhoreným PČ do ZS.
- Zavezenie čerstvého PČ zaväzacím strojom do dochladzovacej zóny.
- Spustenie PČ z dochladzovacej do aktívnej zóny (žeriavom).

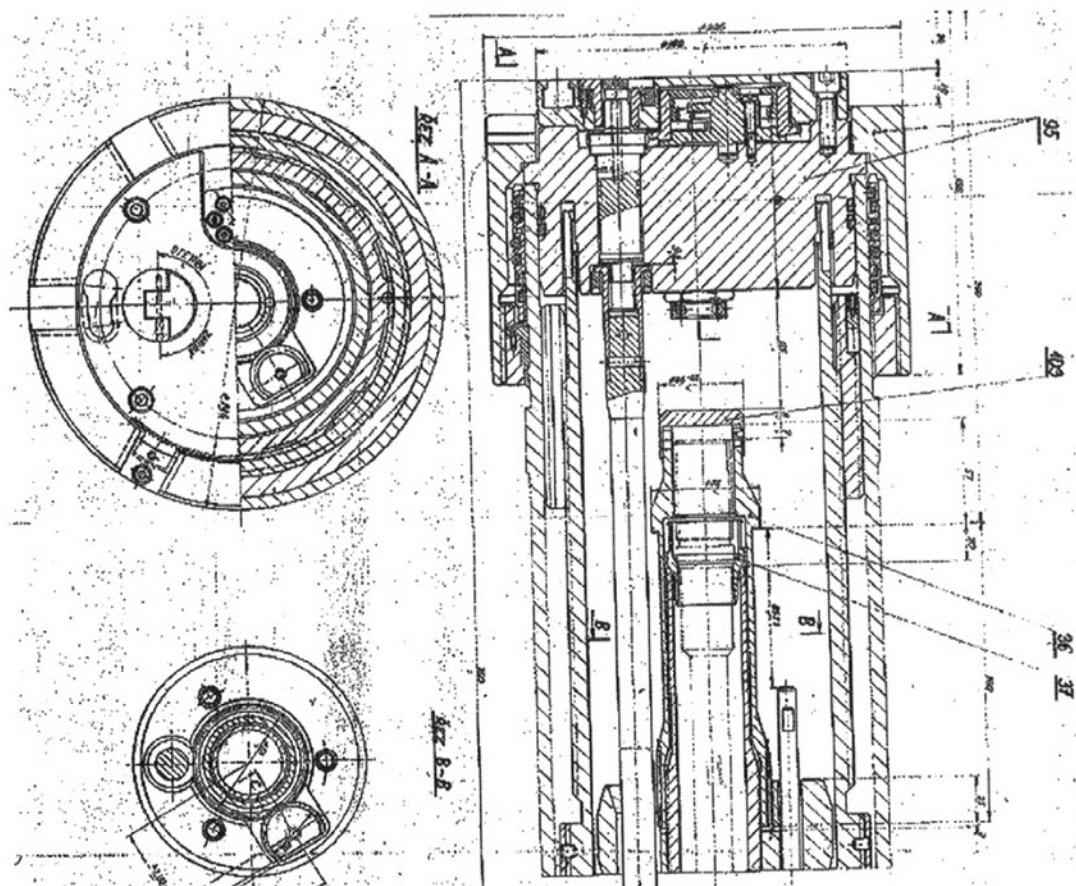
Vytáhovanie PČ z aktívnej do dochladzovacej zóny reaktora sa vykoná po dosiahnutí plánovaného vyhorenia. PČ visi na tyčiach priemeru 36 a 20 mm a je vyťahovaný mikroposuvom pomocou žeriava. Dĺžka vytiahnutia je 4385 mm. Po dosiahnutí tejto úrovne sa vloží operný C-krúžok (27) a tyče rozpoja.

PČ visi na tyči $\varnothing 20$ a opernom krúžku (27). Na zátku sa namontuje záchytný hrb (36) pre uchytenie kliešťami ZS.

Krátko o zaväzacom stroji (ZS)

ZS má automatické, resp. poloautomatické riadenie, ktoré je určené na výmenu vyhoreného PČ na bežiacom reaktore.

Má zdvihový mechanizmus s kliešťami na uchytenia PK a dve hniezda. Jedno pre čerstvý PČ a jedno pre vyhorený PČ. Pri výmene paliva je pristykovaný k reaktora a je natlakovaný tým istým tlakom, ako reaktor. Po utesnení TK, uzatvorení guľového ventilu v dolnej časti hlavice ZS a odtlakovaní medzipriestoru sa ZS môže od TK odstykováť, pričom zabezpečuje chladenie vyhoreného PČ vlastným chladiacim zariadením. Okrem výmeny paliva na reaktore zabezpečuje transport vyhoreného PČ medzi zariadeniami, ktoré sú určené na odvod zostatkového výkonu v krátkodobom sklade (KS) a napokon v dlhodobom sklade (DS).



Obr. 4a.

Vyťahovanie PK/PČ z dochladzovacej zóny do ZS (mimo reaktor) má fázy:

- odtesnenie uzatváracjej zátky pomocou ZS pristrykovaného na reaktor,
- vytiahnutie PK do ZS.

Odtesnenie uzatváracjej zátky vykonáva ZS a pri tom dôjde k veľmi dôležitým pohybom a posunom pohyblivých a vyberateľných častí TK a PK. Šroubovák ZS uvoľní tesniacu zátku, pričom dôjde k uzatvoreniu vstupných okien plynu a PČ je chladený prítokom plynu z reaktora cez ZS. Kliešte ZS uchytia hriab (36) naskrutkovaný na vnútornom telese zátky (3) spojenom s „buchtou“ (34), slúžiacou o.i. ako poistka proti otáčaniu PČ, a začne sa zdvih pri ktorom v prvej fáze zdvihu kliešťa ZS so záchytným hriabom sa posuvom kulis spojených s hriabom (36) odomknú kamene (27). Tým sa zátku uvoľní a PK môže byť vťahnutý do ZS.

Zavezenie čerstvého PČ do reaktora je opačný postup ako pri vyťahovaní vyhoreného PČ.

V druhom hniezde kazety ZS sa nachádza čerstvý PČ. ZS ostáva pristrykovaný na TK. Nad otvor TK sa pootočí hniezdo ZS s čerstvým PČ a môže prebehnúť jeho spustenie do dochladzovacej zóny reaktora. Kliešte

ZS sa automaticky od PK odpoja po jeho dosadnutí do TK a uzamknutí kameňov (27). Pri dosadnutí sa vykonajú významné pohyby skupín PK, ktoré zabezpečia hlavnú komunikáciu chladiaceho plynu a vysunutie uzamykacích kameňov (27) pomocou kulisy do polohy bezpečného ukotvenia PK v TK. Nasleduje utesnenie PK v TK a otvorenie vstupných okien chladiaceho plynu (šroubovákom). Gul'ový ventil ZS sa uzatvorí a spúšťa sa autonómny chladiaci okruh ZS pre chladenie vyhoreného PČ v ZS. Priestor pod gul'ovým ventilom a nad PK sa odtlakuje. Operácia zavezenia čerstvého PK do dochladzovacej zóny je po kontrolách ukončená a ZS odchádza odložiť vyhorený PČ do krátkodobého skladu (KS) na čas potrebný pre zníženie zostatkového výkonu PČ pred jeho transportom do dlhodobého skladu.

Spustenie čerstvého PČ z dochladzovacej do aktívnej zóny sa vykonáva žeriavom mikrozdvihom po pripojení tyče $\varnothing 36$ k tyči $\varnothing 20$. Počas spúšťania je zapojený predlžovací kábel na meranie teploty výstupného plynu. Po dosadnutí PČ do koncovej polohy sa zapojí prevádzkové merania vo veku a nareguluje sa prítok plynu úmerne výkonu PČ.

4. PRVÁ VÁŽNA HAVÁRIA ZO DŇA 5. 1. 1976

Popis havárie a činnosť smeny

Dňa 5. 1. 1976 sa na reaktore A1 uskutočnila štandardná výmena palivového článku (PČ) v technologickom kanále (TK) H-05. Reaktor bol v tom čase odstavený od 11:45 predchádzajúceho dňa a nachádzal sa v jódovej jame. Tlak v kolektore chladiaceho plynu bol 42,5 kP/cm², teplota na vstupe do reaktora 111 °C, tlaková strata na aktívnej zóne bola $\Delta p_{AZ} = 1,8$ kP/cm², odvod zostatkového výkonu bol zabezpečovaný turbokompresormi č. 1 a 5 pracujúcimi na 3000 ot/min a turbokompresormi č. 2 a 6 prevádzkovanými na 600 ot/min.

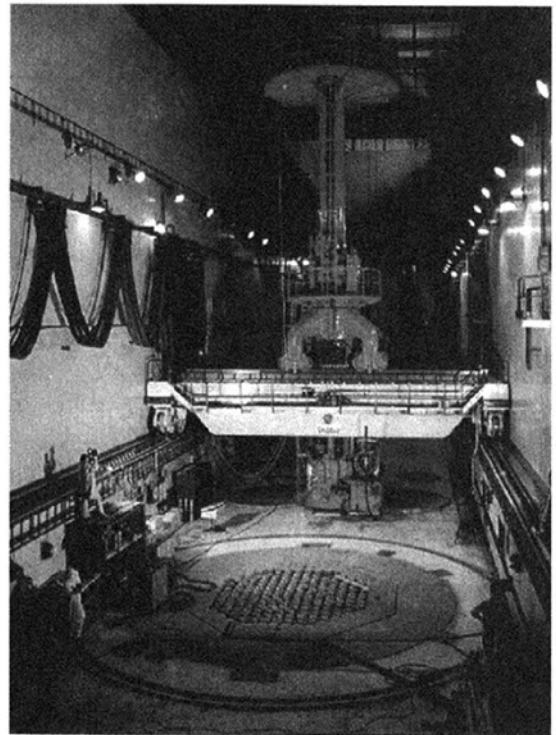
Vlastná výmena PČ bola začatá o 08:35 vyťahnutím vyhoretého článku (dosiahol vyhorenia ~5000 MWd/t_U) do dochladzovacej zóny. V puzdre P2 pre nové PČ bol dielňou PČ pripravený nový článok č. 2N0134S s kompletom zátok.

Po predpísaných kontrolách PK útvárom technickej kontroly montáže PČ, ktoré boli podľa záznamov v poriadku, zozbieral zaväzovací stroj (ZS), ovládaný z dozornej TTC operátorom TTC, čerstvý palivový komplet do jedného hniezda, po pritesnení na reaktor vytiahol komplet s vyhoretým PČ z dochladzovacej zóny reaktora do druhého hniezda a zaviezol čerstvý PČ do dochladzovacej zóny. Od reaktora odišiel, aby vyhoretý PČ odložil do krátkodobého skladu (KS), kde mal byť chladený až do zníženia zostatkového výkonu na úroveň potrebnú pre uloženie do dlhodobého skladu (DS).

Na obr. 5 jeden z dvoch ZS stojí nad jedným z dvoch krátkodobých skladov.

Čerstvý PČ mal byť štandardne zasunutý z dochladzovacej do aktívnej zóny žeriavom po naspojovaní predlžovacej tyče Ø 36 k tyči Ø 20 mm vrátane prepojenia konektora merania teploty CO₂ na výstupe z PČ. Po spojení tyčí bol o 11:55 PČ s tyčami (podľa prevádzkového predpisu) pripozdvihnutý mikroposuvom žeriavu o cca 25 mm, aby technik TTC mohol spod hlavice tyče Ø 20 vytiahnuť istiaci C-krúžok. V tom čase došlo k vystreleniu čerstvého PČ spolu s celým kompletom zátok (tesniacou aj tieniacou) do reaktorovej sály a z otvoru po zátkach začal z reaktora prúdiť do reaktorovej sály (RS) CO₂. Traja pracovníci transportno-technologickéj časti (TTC) utiekli z RS a CO₂ zaplavoval celý hlavný výrobný blok (HVB).

Na obr. 6 je pôdorys RS so zakresleným miestom, kde sa nachádzali traja pracovníci TTC bezprostredne pred haváriou: Viliam Pačes v mieste ovládania žeriavu, Karol Miček na hornej plošine ZS (nad KS) a Martin Slezák bezprostredne pri TK H-05, aby vytiahol spomenutý istiaci C-krúžok. Na pôdoryse sú zakreslené aj miesta, kde po vystrelení ležal komplet zátok, tyč Ø 36, PČ a vnútorná časť prepúšťacej trubky, ktorá bola vystrelená z dolnej časti reaktora prúdom CO₂ expandujúcim až z komory horúceho plynu (KHP), nachádzajúcej sa pod aktívnou zónou. Našťastie žiadny z vystrelených dielov nikoho z prítomných nezasiahol.



Obr. 5. Reaktorová sála A 1. V popredí koruna reaktora, jeden ZS nad KS, druhý v pozadí u steny do dielne montáže palivových článkov

Smenový inžinier dal rozhlasom vyhlásiť príkaz k evakuácii HVB a informoval o situácii vedúceho výroby, námestníka riaditeľa pre prevádzku a riaditeľa podniku.

Prevádzkový predpis (PP) s takýmto druhom havárie nepočítal a preto smena nebola pripravená a musela improvizovať. Od ~12:15 bol na BD na pomoc smene privolovaný vedúci oddelenia technického rozvoja a prevádzkových režimov a boli mobilizované všetky služby prevádzky a vedeckovyskumnej základne EBO.

Niektoré kroky vykonané ihneď po začiatku havárie neboli správne a bolo potrebné ich korigovať. Jednou z chýb bolo prepnutie dvoch turbokompresorov (č. 1 a 5) z 3000 ot/min na 600 ot/min (v 12:05), čo spôsobilo okamžité päťnásobné zníženie intenzity chladenia aktívnej zóny a rast teploty palivových prútikov.

Turbokompresory pracujúce na 600 ot/min by neboli schopné plnohodnotne odvieť zostatkový výkon reaktora po znížení tlaku CO₂ na tlak atmosférický. S úplným odtlakovaním však bolo potrebné počítať. Od 12:15 bolo teda prikrôčené k opätovnému spúšťaniu turbokompresorov z 600 na 3000 ot/min, ale kvôli zložitým blokádam sa obnovenie prevádzky prvého turbokompresora na 3000 ot/min podarilo až na piaty pokus o 13:04. Neúspešné pokusy boli o 12:15, 12:31, 12:38, 12:44. Smena tiež v snahe obmedziť výtok CO₂ oddelila od reaktora 4 cirkulačné slučky. Tým ale bolo urýchléné znižovanie tlaku chladiva v reaktore a vyvolaná ďalšia strata intenzity chla-

denia. Pokusy o opätovné pripojenie slučiek boli komplikované, nakoľko tlakový spád na sekčných armatúrach nedovolil diaľkové ovládanie z blokovej dozorne.

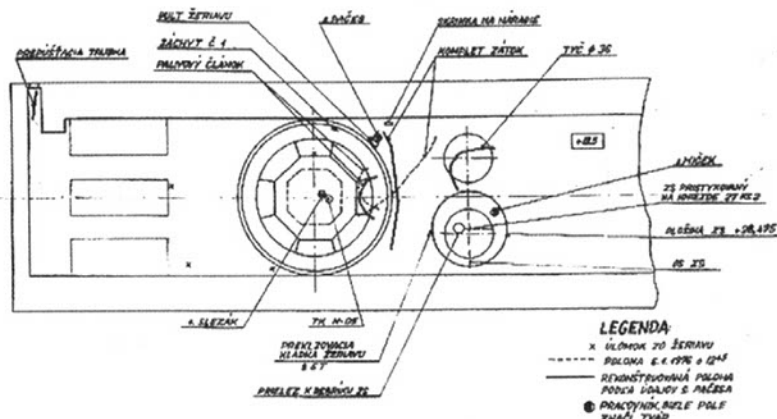
Problémy s obnovením prevádzky turbokompresorov na 3000 ot/min vyžadovali aspoň udržať čo najvyšší tlak CO_2 v primárnom okruhu. Služiacia smena TTČ bola preto požiadaná, aby sa v dýchacích prístrojoch vrátila do RS a pokúsila sa zaväzácim strojom technologický kanál uzatvoriť. Techník TTČ Viliam Pačes, istený smenovým dozimetristom Milanom Antolíkom sa vrátili v dýchacích prístrojoch do RS.

Nakoľko vystrelený PČ a komplet zátok prekážal zaväzaciemu stroju v ceste, museli vopred trasu pre ZS uvoľniť. Pritom zistili, že na podlahe RS, v blízkosti prvého vstupu do RS, leží prepúšťacia trúbka so značnou indukovanou rádioaktivitou. Pracovníci preto použili druhý vstup do RS. Viliam Pačes potom ručne nabehol so zaväzácim strojom nad TK H-05 (asi o 12:40), ale prúdiaci CO_2 znemožňoval presné zameranie na zámerný križ. Obráz zámerného križa TK sa v okulári vplyvom prúdenia vlnil. Hlavica ZS nedosadla na TK o.i. preto, že výstup z TK bol vplyvom výtoky plynu namrznutý. Obmedzenie výtoku ale vyvolalo rozmrznutie vlhkosti a hlavica si sama „sadla“ (asi o 12:59) presne na TK. Práca V. Pačesa bola teda, napriek nedobrym podmienkam, perfektná.

Nakoľko nebolo jasné, ktoré z krokov budú úspešné, boli paralelne robené ďalšie kroky na zvýšenie tlaku v reaktore – opätovné pripojovanie na počiatku havárie odpojených slučiek primárneho okruhu (boli problémy s otvorením sekčných armatúr z dôvodov veľkého jednostranného tlaku zo strany odpojených slučiek) a bol spustený aj odparovač kvapalného CO_2 z plynového hospodárstva.

Po utesnení reaktora o ~ 12:40 teploty uránu v PČ začali rýchlo klesať a spustenie prvého turbokompresora, ako aj ďalšie zvyšovanie tlaku CO_2 už boli „poistkou“ dostatočných podmienok chladenia. Tesne pred utesnením reaktora dosiahla maximálna teplota uránu v bunke F-09 571 °C s trendom ~ 600 K/hod (teplota tavenia kovového uránu 1132 °C). V ostatných TK boli teploty ako aj trendy ich rastu nižšie. V priebehu likvidácie havárie pracovníci BD obdržali z útvaru osobnej dozimetrie jodidové tabletky. Avšak BD rádioaktivitou zasiahnutá nebola.

Evakuácia pracovníkov z reaktorovne po vyhlásení príkazu SI opustiť blok prebehla úspešne až na dvoch pracovníkov, ktorí dobehli k zaskleneným dverám, ale už nemali silu sklo vyraziť. Udusili sa unikajúcim CO_2 . Česť ich pamiatke.



Obr. 6. Pôdorys RS so zakresleným miestom, kde sa nachádzali traja pracovníci TTČ bezprostredne pred haváriou a kde po havárii boli nájdené diely vystrelené z reaktora

Popis príčiny

Príčina bola od začiatku jasná. Tesniaca zátka kompletu nemohla byť v technologickom kanáli dobre uzamknutá. Jednou z príčin mohlo byť cudzie teleso medzi telesom tesniacej zátky a maticou – „buchtou“ (pozícia 34 na výkrese Ae 102835 – obr. 4), ktoré mohlo zabrániť dosadnutiu „bucht“ na teleso zátky a tým neplnhodnotné uzamknutie kameňov (pozícia 27) kulisovým mechanizmom. Pri kontrole tesniacej zátky bolo neskôr zistené, že poistka imbusovej skrutky, ktorá mala brániť jej otáčaniu, sa sama uvoľnila a vyskočila z imbusu. Uvoľnenie nastalo zrejme pri uchopení hriбка hlavice a trhnutí kompletu pri dvíhaní do hniezda ZS. Dve z troch týchto poistiek chýbali. Dodatočnou kontrolou ďalších zátok pripravených na zaväzanie do reaktora bolo zistené, že aj na ďalších siedmich zátkach boli poistky imbusových skrutiek uvoľnené. Pri prehliadke ostatných TK boli zistené dva uzamknuté komplety, kde ale do správnej polohy „bucht“ chýbalo v jednom prípade 18 mm a v druhom 6 mm. V oboch prípadoch bolo zistené, že medzi čelnými plochami „bucht“ a telesa zátky sa nachádzala poistka proti uvoľňovaniu hlavy skrutky s imbusovou hlavou. Boli prijaté technické opatrenia proti samovoľnému uvoľňovaniu poistiek.

Odtlačky na kameňoch vystreleného súboru preukázali, že kamene sa uzamkli iba do úrovne zaoblenia vonkajších koncov.

Nesprávna relatívna poloha „bucht“ a telesa zátky po zavezení do reaktora nebola obsluhou TTČ spozorovaná.

Kontrolou funkcie klieští zaväzacieho stroja bolo tiež zistené, že správne nefungovala mechanická blokáda klieští ZS, ktoré pri tejto vzájomnej polohe „bucht“ a telesa nemali komplet odložiť. Podľa výpovedí pracovníkov montáže nebola zrejme na hlavicu kompletu nasadená krytka o výške 8 mm. To, či toto opomenutie mohlo spôsobiť nesprávnu blokádu klieští nebolo jednoznačne potvrdené. Skúška klieští bezprostredne po havárii

(v horúcej komore) ukázala, že blokovací mechanizmus kliešti pracoval podľa predpokladu. Do prevádzkových predpisov boli doplnené ďalšie kontrolné operácie.

Popis opravy pred opätovným uvedením do prevádzky

Po havárii mala časť PČ natavené pokrytie a musela byť z reaktora vyvezená. Ako náhle bolo možné znížiť tlak CO₂ v reaktore na tlak atmosférický, bolo prístupné k prehliadke TK a zisteniu stavu. Oprava nebola možná bez demontáže pohyblivých častí TK, ale TK nebolo možné demontovať. TK bol zakliesnený a dvíhanie pomocou ručného mechanizmu pri použití dynamometra neumožňovalo demontáž povolenou silou. Výpočtom predĺženia TK v závislosti na sile zdvíhu bolo zistené, že zakliesnenie musí byť na dolnom konci TK v oblasti AN, a že preto nie je možné použiť väčšiu silu bez rizika poškodenia kesónovej rúry.

Špecialista Škoda endoskopom zistil, že kanál ani avialová trúbka nie sú poškodené, ale že v oblasti, kde vonkajšia trúbka TK zasahuje do hornej časti kesónovej trúbky avialovej nádoby (AN), je zakliesnená vonkajšia časť (košielka) prepúšťacej trúbky TK, ktorej vonkajší priemer pre centrálnu TK je väčší ako vnútorný priemer koncovky TK. Zakliesnená košielka prepúšťacej trúbky spôsobila zväčšenie priemeru koncovky TK a jej zafixovanie v kesónovej trúbke AN.

Oprava nebola možná bez demontáže TK a demontáž TK nebola možná bez jeho uvoľnenia z kesónovej trúbky AN. Uvoľnenie bolo sťažené zlou prístupnosťou (v hĺbke 12,2 m). Výrobca aj prevádzkový personál navrhli rôzne techniky uvoľnenia rozbrúsením, rozrezaním, stenčením hrúbky steny, atď. Všetky tieto metódy však boli časovo náročné, nakoľko najprv bolo nutné vyrobiť príslušný jednoúčelový obrábací stroj, ktorý by nielen prepúšťaciu trúbku v hĺbke 12 metrov mechanicky vhodne upravil, ale aj zachytil všetky zvyšky obrábania. Nakoniec bola prijatá metóda rozpracovaná oddelením technického rozvoja elektrárne: zakliesnená časť prepúšťacej trúbky bola v hĺbke 12,2 m zachytená rozpínacím mechanizmom upevneným na tyči zavesenej na žeriave s dynamometrom. Rozpínací mechanizmus bol utesnený tak, že sa vytvorilo provízorne dno zakliesnenej rúry. Špeciálnym prípravkom bol potom do miesta zakliesnenia periodicky nalievajúci tekutý dusík. Na dynamometri bolo povolené predpätie, takže vždy po nalíati dusíka sa rúra posunula vyššie. Po odparení dusíka došlo opäť k zakliesneniu, nakoľko sa TK ohrieval zvonku cez kesónovú rúru ťažkou vodou nachádzajúcej sa v avialovej nádobe. Po opakovaných krokoch došlo k uvoľneniu zakliesnenej košielky prepúšťacej trúbky a aj TK bolo možné demontovať.

Celý kanál bol znova preverený a hoci neboli nájdené žiadne poškodenia, bolo rozhodnuté reaktor v budúcnosti prevádzkovať bez PČ zavezeného do H-05. Do H-05 bola namontovaná nová prepúšťacia trúbka, a aby sa znížil pretlak zo strany D₂O na kesónovú rúru, bola do prepúšťacej trúbky vložená špeciálna zátku skonštruova-

ná a vyrobená v EBO. Jej montáž bola sprevádzaná problémami práce vo veľkej hĺbke.

Reaktor bolo po tejto oprave možné znovu spustiť a reaktor bol v prevádzke až do druhej vážnej havárie vo februári 1977.

Radiačná situácia v JE A-1 a okolí elektrárne

Rádiologické dôsledky tejto poruchy na personál, na priestory elektrárne, aj na okolie elektrárne boli oveľa miernejšie, ako sa dalo očakávať pri masívnom úniku chladiva.

Ako prvý bol o 12:10 hod. prístrojmi KAKTUS s ionizačnými komorami zistený nárast vonkajšieho gama žiarenia v reaktorovej sále na hodnotu 100 μGy/h, pričom povolená hodnota bola vtedy 27 μGy/h. Asi po jednej minúte bol zaregistrovaný nárast koncentrácie rádioaktívnych plynov v reaktorovej sále na hodnotu 1,4.10⁶ Bq/m³ pričom povolená hodnota bola vtedy 7,4.10⁴ Bq/m³. Oneskorenie bolo spôsobené transportným časom vzorky do meracej komory. Rádioaktívne aerosóly boli neskôršie namerané aj na obslužných chodbách v hodnotách prevyšujúcich vtedy povolené hodnoty až 250 krát. (Teda 1,85.10³ Bq/m³ oproti povoleným 7,4 Bq/m³).

V menšej miere sa prejavilo prevýšenie hodnôt v priestoroch susediacich s reaktorovou sálou, kde vtedy povolené hodnoty boli prekročené 2 až 10 násobne.

Po skončení výronu plynu však hodnoty začali rýchlo klesať a okolo 20:00 hod dosiahli hodnôt nižších ako vtedy povolené hodnoty.

Ventilačné systémy elektrárne pracovali v riadnom režime a kontaminovaná vzdušná zmes bola odvádzaná najmä ventilačným komínom. Rýchlosť emisie rádioaktívnych plynov z ventilačného komína bola vyhodnotená na 1,11.10¹¹ Bq/hod. Celková emisia za 24 hodín predstavovala 3,77.10¹¹ Bq rádioaktívnych plynov a 4,4.10⁹ Bq rádioaktívnych aerosólov. Povolené hodnoty pre vypúšťanie ventilačným komínom vtedy boli 3,7.10¹² Bq/24 hod pre rádioaktívne plyny a 3,7.10⁹ Bq/24hod. pre rádioaktívne aerosóly.

Vypustené rádioaktívne plyny podľa prepočtu spôsobili maximálnu efektívnu dávku 1.10⁻⁸ Sv na jedného obyvateľa na území do vzdialenosti 25 km od elektrárne. Vtedy povolená hodnota bola 5 mSv/rok.

V čase úniku plynu sa v kontrolovanom pásme nachádzalo 62 pracovníkov, z ktorých 56 opustilo kontrolované pásmo cez hygienickú slučku. Všetci mali kontaminované pracovné obleky, niektorí časti tváre, vlasy a ruky. Okrem pracovníkov z reaktorovej sály sa všetkým podarilo kontamináciu odstrániť v hygienickej slučke. Pracovníci z reaktorovej sály boli dekontaminovaní a ošetrení na zdravotnom stredisku.

V bezprostrednom okolí hlavného výrobného bloku bolo zaregistrované zvýšenie príkonu dávky vonkajšieho žiarenia gama 2 až 50 násobne (ojedinele až 100 násobne) voči bežnému prírodnému pozadiu.

V areáli elektrárne na miestach vzdialenejších od hlavného výrobného bloku, ako aj v životnom prostredí v okolí elektrárne bolo vykonávané odoberanie a nasledujúce vyhodnocovanie vzoriek aerosólov, trávy a snehu, ako aj meranie príkonu vonkajšej dávky. Zvýšené hodnoty oproti dlhodobému priemernému pozadiu neboli zistené.

V deň nasledujúci po udalosti bolo vykonané podrobné mapovanie kontaminácie povrchov rádioaktívnymi látkami a meranie príkonu dávky gama žiarenia. Kontaminácia podláh obslužných chodieb a miestností sa pohybovala od 0,37 do 7,4 Bq/cm². Dekontaminačné práce sa začali od hygienickej slučky smerom k hlavnému výrobnému bloku a už táto prvá dekontaminácia bola účinná.

Horšia situácia bola na podlaži +18m objektu reaktorovne, ktoré celé slúžilo ako káblový priestor. Podlaha bola tvorená betónovým poterom bez umývateľného náteru, navyše pokrytá vrstvou prachu a čiastočne aj kopami stavebnej sutiny. Dekontaminácia tu preto nebola vykonávaná okamžite, ale postupne boli priestory čistené, rozdeľované na časti a boli utesňované možné prechodové cesty kontaminácie do ostatných priestorov.

Rádioaktívna kontaminácia podlahy reaktorovej sály bola spomedzi všetkých priestorov najvyššia. Na vzdialenejšej časti sály bola rádovo od jednotiek Bq/cm² až po hodnoty 1,1.10⁵ Bq/cm².

Istá kuriozita sa viaže k dekontaminácii podlahy reaktorovej sály. Na rozdiel od lokálnych kontaminácií, ktoré sa dovtedy vyskytovali a obvykle boli spôsobené únikom kvapalného média a boli ľahko dekontaminovateľné „namokro“, táto kontaminácia okrem veľkého plošného rozsahu a plošnej aktivity sa vyznačovala aj osobitným skupenstvom kontaminantu. Tento na podlahe reaktorovej sály obsahoval vysoký podiel prachu, korózných produktov (hrdze) a ako veľké prekvapenie aj desaťtisíce uhynutých múch. Prach a muchy sa pravdepodobne uvoľnili z ľahkej nadstavby strechy v dôsledku tlakového rázu a nasledujúcej dekompresie.

Žiaden zo známych dekontaminačných postupov nebol vhodný. Zametanie by znamenalo zvrátenie kontaminantu, mohlo by viesť k vysokej kolektívnej dávke. Nebol k dispozícii priemyselný vysávač vybavený HEPA (vysoko účinným aerosólovým) filtrom. Mokrá dekontaminácia umývaním bola nemožná, ostrekovanie by viedlo k nadprodukcii kvapalných rádioaktívnych odpadov a hrozilo upchatím špeciálnej kanalizácie.

Prijali sme nakoniec postup, vtedy používaný napr. v halách železničných staníc a iných rozsiahlych priestoroch – zmetanie kontaminantu pomocou pilín navlhčených dekontaminačným roztokom. Tento postup sa ukázal ako vysoko efektívny, s dobrou účinnosťou už po prvej dekontaminácii, eliminácii prachu a múch, pričom zvrátenie kontaminantu bolo minimálne a množstvo vyprodukovaného rádioaktívneho odpadu bolo pomerne malé.

Za zmienku stojí, že vtedy používaná inštrumentácia bola veľmi vzdialená od tej, ktorá sa používa dnes. Požiadavky formulované návodom US NRC Regulatory Guide 1.97 uzreli svetlo sveta až po vyhodnotení neskor-

šej havárie na jadrovej elektrárni Three Miles Island a prijatých nasledujúcich opatrení.

Osobné dávky žiarenia z vonkajších zdrojov boli monitorované pomocou filmových dozimetrov z celoštátnej služby filmovej dozimetrie. Signalizátory boli buď sovietskej výroby typu SOLOVEJ (slávik), kde frekvencia pípaní zodpovedala dávkovému príkonu a neskôr poľské ALDO. Spoločný systém termoluminescenčnej dozimetrie sme dostali až po ukončení prevádzky JE A-1.

Nízkooperačné laboratórne merania sa vykonávali na čs. zariadeniach na sumáru beta aktivitu. Odber vzoriek aerosólov z okolia sa vykonával na pevný filter s prietokom asi 1 m³/hod (dnes je bežné 100 m³/hod a nízkooperačné gamaspektrometrické vyhodnotenie).

Je potrebné však uviesť, že používaná inštrumentácia pri priebežne vykonávanej údržbe a pravidelnej kontrole kalibrácie spoľahlivo plnila svoj účel. Niektoré prístroje boli prakticky nezničiteľné vďaka vynikajúcim použitým materiálom, robustnej konštrukcii a vodotesnému prevedeniu (familiárne označované za „ponorkové“).

Komisia pre zhodnotenie vplyvu udalosti na radiačnú situáciu konštatovala, že radiačná situácia počas udalosti nepredstavovala vážne ohrozenie prevádzkového personálu ani obyvateľstva v okolí. Dávkové úväzky z vnútornej kontaminácie neprekročili ani u najviac ohrozených pracovníkov vtedy povolené hodnoty. Nepredpokladalo sa prekročenie dávok pri nasledujúcich prácach spojených s dekontamináciou pracovných priestorov.

Poznámka: Výsledky rádiometrických meraní a odhadu dávok boli porovnávané s vtedy platnými limitmi. Takéto limity vychádzali z filozofie vtedajšej legislatívy a delili sa na základné, odvodené a miestne. Dnes platná legislatíva definuje limity vo vzťahu k efektívnemu dávkovému ekvivalentu pracovníkov, alebo jednotlivcov z obyvateľstva. Spomínané „vtedy platné limity“ rôznych rádiologických alebo dozimetrických parametrov, iných ako efektívny dávkový ekvivalent, sa dnes považujú za úroveň (signálna, vyšetrovacia a zásahová). Tieto limity však boli dostatočne konzervatívne, takže sa dá predpokladať, že ani dnes platné limity by neboli prekročené.

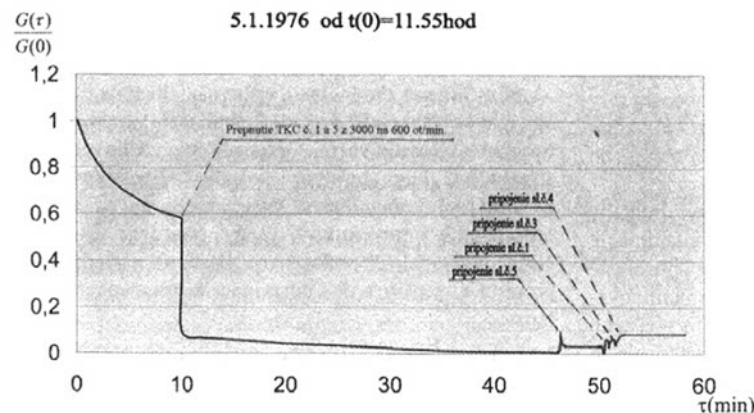
POHAVARIJNÉ ANALÝZY A NÁSLEDKY PRVEJ HAVÁRIE NA PALIVO

Pre analýzy následkov havárie bola dôležitá znalosť rozloženia výkonu reaktora po jednotlivých kanáloch v aktívnej zóne (pre určenie zostatkového výkonu jednotlivých palivových článkov) v dobe pred odstavením reaktora, t. j. 4. 1. 1976. o 11.45 hod keď bol reaktor odstavený z výkonu 460 MWt. Rozloženie výkonov v tomto čase je na obr. 7. Zostatkový výkon reaktora v dobe rozhermetizácie kanálu H-05 (5. 1. 1976. 11:55) bol stanovený na úrovni 0,63 % z výkonu, na ktorom reaktor pracoval pred odstavením, t. j. zostatkový výkon reaktora bol ~ 2,9 MWt.

Výkon TK v MW dňa 4.1.1976 o 11:42 hod

A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	P	R	
					0,374	0,433	0,379	0,364						01
					1,87	2,16	1,89	1,92						
			0,408	0,448	0,553	0,6	0,569	0,532	0,487	0,411				02
			2,04	2,24	2,79	3	2,79	2,86	2,43	2,05				
	0,434	0,532	0,564	0,618	0,654	0,669	0,625	0,585	0,521	0,434				03
	2,17	1,97	2,82	3,29	3,27	3,34	3,12	2,92	2,6	2,17				
0,411	0,521	0,51	0,585	0,747	0,528	0,82	0,722	0,634	0,61	0,532	0,489			04
2,05	2,8	3,05	3,42	3,73	4,14	4,6	3,81	3,47	3,05	1,87	2,04			
0,487	0,595	0,694	0,907	0,984	1,023	1,004	0,971	0,907	0,885	0,854	0,449			05
2,43	2,92	3,47	4,53	4,87	5,01	5,02	4,85	4,53	3,42	2,82	2,24			
0,304	0,582	0,625	0,722	0,571	0,998	1,064	1,024	0,993	0,964	0,747	0,618	0,663	0,374	06
1,82	2,66	3,12	3,61	4,85	4,96	5,30	5,12	4,96	4,97	3,73	3,09	2,76	1,87	
0,379	0,599	0,669	0,92	1,004	1,024	1,062	1,062	1,064	1,003	0,808	0,854	0,6	0,433	07
1,89	2,79	3,24	4,6	5,02	5,12	5,31	5,31	5,32	5,01	4,14	3,27	3	2,16	
0,433	0,5	0,654	0,628	1,003	1,064	1,062	1,062	1,064	1,004	0,92	0,889	0,569	0,379	08
2,16	3	3,27	4,14	5,01	5,32	5,31	5,31	5,12	5,02	4,6	3,34	2,79	1,89	
0,374	0,553	0,618	0,747	0,954	0,993	1,024	1,064	0,993	0,971	0,722	0,625	0,532	0,364	09
1,87	2,76	3,09	3,73	4,97	4,85	5,12	5,32	4,86	4,85	3,81	3,12	2,66	1,82	
0,449	0,584	0,665	0,907	0,971	1,004	1,003	0,994	0,907	0,894	0,595	0,487			10
2,24	2,82	3,42	4,53	4,85	5,02	5,01	4,87	4,53	3,47	2,82	2,43			
0,408	0,532	0,61	0,684	0,722	0,92	0,808	0,747	0,685	0,61	0,529	0,411			11
2,04	1,87	3,05	3,47	3,61	4,6	4,14	3,73	3,42	3,05	2,6	2,05			
0,434	0,521	0,585	0,625	0,669	0,654	0,618	0,564	0,564	0,532	0,434				12
	2,17	2,8	2,92	3,12	3,34	3,27	3,29	2,82	1,87	2,17				
		0,411	0,487	0,532	0,599	0,6	0,553	0,449	0,409					13
		2,05	2,43	2,86	2,79	3	2,76	2,24	2,04					14
					0,384	0,379	0,433	0,374						
					1,92	1,87	2,16	1,82						

Obr. 7. Percentuálne rozloženie výkonu



Obr. 8. Pomerný prítok aktívnou zónou

Niektoré výsledky termohydraulických analýz

Termohydraulické analýzy havarijnej udalosti zo dňa 5. 1. 1976. boli vykonané bezprostredne po havarijnej udalosti s cieľom vyhodnotiť činnosť hlavných zariadení bloku v priebehu udalosti a ďalej vyhodnotiť teplotné pomery na palive, ktoré nastali v priebehu havárie a navrhnúť nápravné opatrenia na záväzke paliva, nápravné opatrenia na vedenie režimov bloku počas ďalšej prevádzky bloku, resp. navrhnúť aj prípadné úpravy zariadenia bloku.

Vzhľadom na to, že v tej dobe nebol dostupný komplexný výpočtový kód pre analýzy prechodových procesov na elektrárni A1, ktorý by umožňoval aj hodnotenie havárií na reaktorovom bloku JE A1, termohydraulické hodnotenie havárie malo poloempirický charakter, pričom čiastkové termohydraulické analýzy boli kombinované s nameranými údajmi. V prvej fáze bolo hodnotenie zamerané na integrálne charakteristiky chladenia aktívnej zóny a na ocenenie maximálnej teploty dosiahnutej na pokrytí ako aj v uránovom jadre palivových prútikov. Pre analýzy následkov havárie boli okrem denníkov

o vedení prevádzky a výpovedi personálu využité najmä zápisy z analógových registračných prístrojov teplôt, prítokov, tlakov a tlakových rozdielov chladiaceho média; celkom bolo použitých 56 záznamov.

Podrobnejší rozbor zameraný na podmienky chladenia palivových článkov a upresnenie teplotných pomerov na pokrytí palivových prútikov bol predmetom aj ďalšej fázy analýz vykonaných pri detailných rozboroch následkov havarijnej udalosti na ďalšiu použiteľnosť a prevádzkyschopnosť palivovej náplne, ktorá prekonala teplotné preťaženie v priebehu havárie.

Pred rozhermetizáciou kanálu H-05 dňa 5. januára 1976 o 11:55 bol reaktor už 24 hodín odstavený. Režim chladenia paliva bol zabezpečovaný prácou 2 turbokompresorov na 3000 ot/min (TBK2 a TBK5). K reaktoru bolo pripojených 6 cirkulačných slučiek, tlak v studenej komore bol 42 kg/cm² a teplota paliva bola udržiavaná na úrovni cca 110 °C.

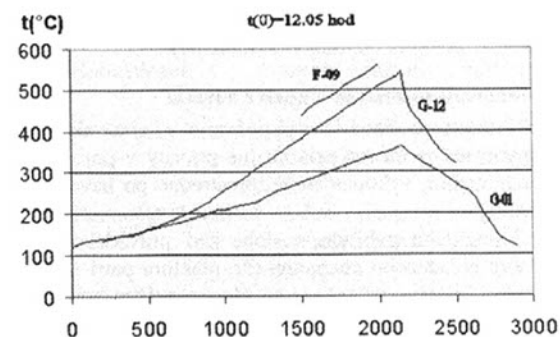
Množstvo unikajúceho chladiva hneď po roztesnení kanálu (11:55) bolo stanovené na približne 70 kg/s. Časový priebeh prítoku cez aktívnu zónu po dobu havárie stanovený v analýze je ilustrovaný v obr. 8. V priebehu 45 minút od roztesnenia kanálu poklesol tlak v chladiacom okruhu na 2-3 kg/cm². Prítok chladiva cez aktívnu zónu za prvých 10 minút od začiatku havárie poklesol asi na 55 % z počiatočnej hodnoty.

V čase cca 10 minút od začiatku havárie vykonal personál v blokovej dozorni sériu manipulácií, ktoré významným spôsobom ovplyvnili režim chladenia paliva v aktívnej zóne:

- v čase 12:03 až 12:12 boli od reaktora oddelené celkom 4 cirkulačné slučky s tlakom v oddelených slučkách 25, 20, 17 a 12,5 kg/cm² (s cieľom uchovať zásoby chladiva na riadenie havárie v pozdnejšej fáze havárie),
 - o 12:05 operátori znížili otáčky dvoch pracujúcich turbokompresorov z 3000 na 600 ot/min a naviac slučku č. 5 (s TBK5) hneď potom (12:12) aj oddelili od chladiaceho okruhu reaktora.
- Ďalšie činnosti, ktoré personál blokovej dozorne vykonal, boli už na utesenom chladiacom okruhu a mali stabilizujúci charakter z hľadiska podmienok chladenia paliva v reaktore:
- v čase 12:41 pripojili k reaktoru prvú z odstavených slučiek (č. 5). Vzhľadom na to, že po pripojení tejto

- slučky sa v primárnom okruhu relatívne spoľahlivo udržiaval tlak, bolo v analýzach ďalej predpokladané, že k utesneniu kanála zaväzácim strojom došlo pred pripojením tejto slučky k chladiacemu okruhu,
- (iv) v priebehu ďalších 8 minút boli k chladiacemu okruhu reaktora pripojené ďalšie 3 oddelené slučky (posledná o 12:49),
 - (v) v čase 13:04 sa podarilo uviesť do prevádzky turbokompresor TBK6 na 3000 ot/min.

Asi 10 minút po ukončení prvých dvoch skupín manipulácii (popísaných v bodoch (i) a (ii), tj. v čase od cca 12:20) sa ustanovil trvalý, lineárny nárast meraných teplôt v palivových prútkoch s gradientami v rozmedzí (0.19 až 0.292) °C/s. Veľkosť gradientu nárastu teplôt uránu bola závislá na zostatkovom výkone palivového článku. Tento, po celú dobu lineárny nárast meraných teplôt uránu pokračoval až do cca 12:40, kedy (počas pripojovania slučky č.5 k reaktoru – v poradí ako prvej z odstavených slučiek) došlo k skokovej zmene znamienka gradientu z nárastu na pokles meraných hodnôt teploty uránu, čo bol evidentne aj začiatok obnovovania režimu dostatočného chladenia paliva v reaktore. Podrobnejšiu orientáciu poskytuje obr. 9, kde je uvedený časový priebeh meraných teplôt uránu vo vybraných palivových článkoch.



Obr. 9. Teplota uránu G12, G01 dňa 5. 1. 1976

V analýzach havárie bolo vykonané aj porovnanie pozorovaného gradientu nárastu teplôt a teoreticky vypočítaného gradientu nárastu teplôt paliva za predpokladu, že by z paliva nebol odoberaný žiadny výkon do chladiaceho média. Vypočítané gradienty nárastu teplôt chladiva (bez odvodu tepla) by boli cca 5 až 6 krát vyššie ako pozorované hodnoty. Takto vyčíslený rozdiel trendov v náraste teploty paliva spoľahlivo prekryval aj potenciálny rozptyl vo vypočítanom trende nárastu teplôt paliva v dôsledku zjednodušenia predpokladaných o vedení tepla v materiáloch palivového článku. Takéto porovnanie dalo autorom analýz možnosť odvodit' záver, že v kritickej fáze priebehu havárie, t. j. cca 20 minút pred utesnením kanálu, prebiehal relatívne rovnomerný odvod tepla

z paliva, ale na odvedenie celého zostatkového výkonu, najmä u palivových článkoch s vyšším zostatkovým výkonom, chladenie paliva nebolo dostatočné. V režime havárie v podmienkach zníženého prietoku chladiva cez palivové články bolo teda možné považovať namerané výstupné teploty z palivových kaziet za hodnoverné údaje a bolo možné výpočtom stanoviť hodnoty a miesta maximálnej teploty uránu a pokrytia, ktoré boli presunuté z miesta maximálneho výkonu palivového prútku v smere ku koncu aktívnej zóny.

Maximálne teploty v palivových článkoch boli určené na základe nameraných výstupných teplôt chladiva z technologických kanálov, z nameraných teplôt uránu a tlaku v reaktore a zo zostatkových výkonov jednotlivých palivových článkov. Rozsah prístrojov na meranie výstupných teplôt chladiva (registračné zapisovače Polycomp) bol iba do 500 °C. U niektorých technologických kanálov bol tento rozsah prekročený a v takom prípade bola maximálna teplota stanovená extrapolovaním na základe podobnosti časového priebehu procesu s ostatnými kanálmi. Na obr. 10 a 11 sú uvedené takýmto spôsobom stanovené maximálne hodnoty výstupných teplôt z palivových článkov a vypočítané maximálne teploty pokrytia paliva. Hraničnou hodnotou pre vypočítané maximálne teploty pokrytia paliva bola teplota tavenia pokrytia paliva (~ 650 °C), ktorá bola dosiahnutá (aj s uvážením chyby pri stanovení vypočítanej hodnoty), alebo prekročená na veľkej skupine asi 34 palivových článkov z centrálnej oblasti aktívnej zóny.

Analýza následkov havárie na palive

Vzhľadom na to, že vypočítané maximálne teploty pokrytia paliva signalizovali možnosť prekročenia teploty tavenia pokrytia paliva, bola do programu pohavarijnych analýz zaradená kontrola vybraného palivového článku v horúcej komore A1 a výsledky tejto kontroly natavenie pokrytia potvrdili.

Ďalší postup hodnotenia palivovej vsádzky sa potom riadil nasledovnými princípmi:

- z reaktora mali byť vyvezené palivové články bez prehliadky v horúcej komore, ktoré mali vyhorenie vyššie ako ~ 4400 MWd/t_U (výnimku tvorili iba experimentálne články),
- zostávajúce palivové články, u ktorých bola vypočítaná maximálna teplota pokrytia blízko hodnote 650 °C boli rozdelené do skupín podľa ich zostatkového výkonu,

A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	P	R	
					0	0								01
	I		0	0	0	12								02
		0	0	4	28	39	521	500	481					03
		0	0	27	48	76	5	505	532	593				04
		0	16	55	37	66	67	543	528	498	527	472		05
0	0	27	89	56	62	84	563	530	539	556	497			06
0	0	47	40	66	72	83	570	572	543	462	514	496		07
498	514	462	543	572	570	83	72	56	40	47	0	0	0	08
	497	568	539	530	563	84	62	56	69	27	0	0		09
		472	527	498	528	543	87	65	37	55	16	0		10
				593	532	505	5	76	48	27	0	0		11
					481	500	521	39	28	4	0	0		12
	IV							12	0	0	0			13
								0	0					14

Obr. 10. I, II kvadrant – doba prehrevu pokrytia nad 550 °C (sec), III, IV kvadrant – max. výstupná teplota chladiva (°C) z prehriatych článkov

A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	P	R	
			460	490	430	470	445	445						01
		470	525	565	595	600	510	585	570	525	470			02
	485	525	585	610	640	597	590	540	570	585	525	460		03
	500	570	620	593	633	638	637	622	593	610	525	460		04
445	525	585	640	622	632	664	648	632	633	649	585	545	430	05
445	542	610	569	637	646	663	663	664	636	662	600	585	470	06
470	585	600	567	638	646	663	663	646	637	599	610	542	445	07
430	545	585	648	663	632	646	664	632	622	640	585	575	445	08
	480	565	610	593	622	637	636	633	593	620	570	600		10
	460	525	585	620	640	599	657	648	610	605	525	465		11
		470	525	570	585	610	600	585	555	525	470			12
			495	500	525	542	565	545	490	490				13
					445	445	470	430						14

Obr. 11. Maximálna teplota pokrytia paliva

- z každej z vyššie uvedených skupín bola v horúcej komore vykonaná obhliadka reprezentanta tejto skupiny palivových článkov,
- v prípade zistenia natavenia pokrytia pri obhliadke mala byť celá skupina vyvezená z reaktora.

Prehliadka palivového článku v horúcej komore predstavovala nezvratný proces z hľadiska možnosti ďalšieho použitia článku v reaktore, pretože pri obhliadke bola demontovaná obalová trúbka palivového článku a horúca komora nebola vybavená na opravy (v prípade ak by natavenie pokrytia nebolo zistené).

Dostatočne presné určenie zostatkového tepelného výkonu palivových článkov sa preto v tejto fáze hodnotenia havárie ukázalo byť mimoriadne náročnou úlohou (s významným ekonomickým dopadom), pretože dosahované maximálne teploty počas havárie (a s nimi aj výskyt článkov s nataveným pokrytím) boli pre daný typ článku monotónnou funkciou závislou iba na zostatkovom výkone.

Vstupnými údajmi pre upresnenie hodnôt zostatkového výkonu jednotlivých palivových článkov boli všetky dostupné namerané údaje o termohydraulických parametroch v aktívnej zóne reaktora. Pre obidva typy palivových článkov boli vyvinuté normované empirické formuly, ktoré váženým spôsobom skladali rôzne skupiny nameraných údajov, v ktorých sa nachádzala informácia o zostatkovom výkone jednotlivých palivových článkov (t. j. boli využité údaje o zostatkovom výkone stanovené podľa záznamov o predchádzajúcej prevádzke, údaje o teplotách na výstupe chladiaceho plynu z palivových článkov namerané v rôznych časoch v priebehu a po havárii, údaje o prietoku chladiča podľa nastavenia regulačných orgánov prietoku chladiča cez jednotlivé technologické kanály, atď.). Váhový faktor zohľadňoval kvalitu príslušnej skupiny informácií a bol (vrátane hraničných hodnôt empirických formul medzi palivovými článkami s porušeným a neporušeným pokrytím) doladovaný podľa výsledkov obhliadok palivových článkov v horúcej komore. Navyše, do empirických formul boli zavedené fyzikálne oprávnené korekcie (napr. na vyhovenie paliva kvôli rôznemu výťažku energie pri štiepení U235 a Pu239).

Použitím tejto metodiky a v súlade s postupom podľa vyššie uvedených kritérií bolo z reaktora JE A1 vyvezených celkom 46 palivových článkov. Z tohoto počtu 14 palivových článkov malo vysoké vyhovenie. Väčšina

z vyvezených palivových článkov pochádzala z centrálnej časti aktívnej zóny (34 kusov).

Pri prehliadke, ktorá bola vykonaná v horúcej komore elektrárne A1 sa ďalej potvrdilo, že natavenie pokrytia palivových prútikov nebolo v mieste max. výkonu, ale bolo presunuté, tak ako to predpokladali výsledky termohydraulických analýz, v smere prúde-
nia chladiča a ďalej bolo pozorované, že na uránovom jadre palivových prútikov zostal tenký povlak pokrytia.

Z oblasti palivových prútov s porušeným pokrytím boli odobraté vzorky pre ďalšie poradiačné materiálové skúmanie v horúcich komorách v ÚJV Řež. Tieto prehliadky potvrdili, že počas havárie štiepne produkty zostali zachytené v palive a významným spôsobom nepôsobili na navýšenie rádioaktivity chladiča v primárnom okruhu nad úroveň, ktorá existovala v reaktore počas prevádzky haváriou.

Po opätovnom uvedení JE A1 do prevádzky v lete 1976 bolo systémom kontroly hermetičnosti paliva definitívne potvrdené, že palivo, ktoré bolo ponechané v reaktore bolo hermetické a bolo schopné ďalšej prevádzky (v aktívnej zóne nebol zistený ani jeden palivový článok s roztaveným pokrytím, čím sa potvrdila aj použiteľnosť použitej metodiky hodnotenia).

Po opätovnom uvedení JE A1 do prevádzky v lete 1976 bolo systémom kontroly hermetičnosti paliva definitívne potvrdené, že palivo, ktoré bolo ponechané v reaktore bolo hermetické a bolo schopné ďalšej prevádzky (v aktívnej zóne nebol zistený ani jeden palivový článok s roztaveným pokrytím, čím sa potvrdila aj použiteľnosť použitej metodiky hodnotenia).

Zhodnotenie poznatkov z analýz havárie

Hodnotenie havárie vykonávané s viac ako 30 ročným odstupom má celkom iné priority v porovnaní s hodnotením, vykonaným bezprostredne po havarijnej udalosti.

Z dnešného pohľadu, v dobe keď prevádzkovanie plynom chladeného energetického reaktora patrí už iba do našej histórie, vystačíme so všeobecnejším hodnotením (pretože detailné hodnotenie stratilo užívateľa):

Oddelovanie slučiek a vytváranie zásobného objemu chladiča na riadenie havárie v pozdnejšej fáze pre hodnotiteľov vyznieva pozitívne, a malo okrem toho aj ďalší pozitívny následok, a to skrátenie doby unikania chladiaceho média kritickou rýchlosťou z unikového otvoru. Pokojnejšia zvuková úroveň na reaktorovej sále bola určite tou prijateľnejšou kulisou pre obsluhu pri navádzaní zavážacieho stroja nad roztesnený kanál. Použitie zásobného chladiča po utesnení kanálu v danom prípade pozitívne ovplyvnilo chladenie paliva v reaktore.

Znižovanie otáčok dvoch pracujúcich turbokompresorov z 3000 na 600 ot/min nebol dobrý zásah obsluhy a navyše v analýzach nebolo ani vyhodnotené či by bolo došlo k poškodeniu pokrytia paliva aj vtedy ak by obsluha neoddelila slučku č. 5 s TBK pracujúcim na 600 ot/min. Ale, ako už bolo konštatované, výpočtový program pre takéto analýzy postupu obslužného personálu chýbal.

Nechýbal však iba výpočtový program, ale v tej dobe chýbala (u nás, ale aj vo svete) aj ucelená koncepcia v projekte, v organizácii prevádzkovateľa, ale aj u pod-

porných vedecko-výskumných organizácií, ktorá by cieľne pripravovala prevádzkový personál na riešenie všetkých pravdepodobných havarijných situácií.

Konzervatívne analýzy havárií, ktorými sa preukazuje bezpečnosť projektu a ďalej realistické termohydraulické analýzy prechodových procesov, ktorými sa overujú optimálne postupy pri vypracovaní prevádzkových predpisov sa v dnešnej dobe v celom svete stali neodmysliteľnou súčasťou dobrého prístupu k prevádzkovaniu jadrových elektrární.

Zdroje informácií:

A. Výpovede k havárii z 5.1. 1976.

1. Dubovský Leonard Smenový inžinier (služiaci SI)
2. Hudcovič Rudolf Vedúci operátor (VO)
3. Kopál Oto Operátor reaktora (OR)
4. Vaňo Pavol Marian Operátor primárneho okruhu (OPO)
5. Katlík Jaroslav Operátor TTČ (transportne technologickej časti)
6. Jamrich Jozef Operátor TTČ
7. Pačes Viliam Technik smeny TTČ
8. Slezák Martin Technik smeny TTČ
9. Antolík Milan Smenový dozimetrista
10. Kehér Jozef Námetník riaditeľa pre prevádzku
11. Hodul Jozef smenový inžinier poverený riadením prevádzky
12. Holéczy Igor Smenový inžinier mimo smenu (v čase havárie bol prítomný na BD)
13. Hezoučký František Vedúci oddelenia technického rozvoja a prevádzkových režimov
14. Feik Karol Vedúci odboru dozimetrie
15. Kostovský Kristián Riaditeľ elektrárne A-1
16. Kubala Jozef Vedúci oddelenia primárnej časti
17. Pereszlenyi Ludovít Smenový inžinier na nočnej smene (po havárii)
18. Tokár Milan Vedúci dielne palivových článkov
19. Vitáček Ludovít Vedúci oddelenia elektro
20. Sklenár Ivan Pracovník oddelenia primárnej časti

B. Hydraulická a teplototechnická analýza priebehu pohavarijného stavu zo dňa 5. 1. 1976

(EBO 22. 1. 1976, vypracoval F.Hezoučký a J.Vita)

C. „Prevádzka atómovej elektrárne A-1 v období 1. 10. 1974. – 30. 9. 1976“ (Súhrnná československo-sovietska správa, Jaslovské Bohunice), december 1976)

D. Novinové články

<http://www.novinky.cz/clanek/130026-cernobyl-se-mohl-odehrat-i-v-byvaem-ceskoslovensku.html>

<http://www.novinky.cz/clanek/130496-hezoucky-jaslovskym-bohunicim-cernobylska-katastrofa-nehrozila.html>

http://cs.wikipedia.org/wiki/Hav%C3%A1rie_elektr%C3%A1rny_Jaslovsk%C3%A9_Bohunice_A-1#P.C5.99edchoz.C3.AD_nehoda

5. DRUHÁ VÁŽNÁ HAVÁRIA ZO DŇA 22. 2. 1977

Popis havárie a činnosť smeny

Dňa 22. 2. 1977. o 17:07 bola na pracujúcom reaktore začatá štandardná plánovaná výmena PČ v kanáli C-05 (periférny PČ s maximálnym výkonom) zaväzovacím strojom (ZS), ktorá prebehla normálne. Zo ZS bol do dochladzovacej zóny reaktora zavezený čerstvý komplet s PČ č. ON0255S, ktorého montáž bola ukončená o 16:45. Po previerkach utesnenia tesniacej zátky PK a ZS o 17:40 odišiel z reaktora s vyhoretým PČ, aby ho odložil v krátkodobom sklade.

Na závesnú tyč Ø 20 mm čerstvého PČ bola potom napojená tyč Ø 36 mm a pripojený predlžovací kábel pre meranie teploty CO₂ na výstupe z PČ počas spúšťania PČ z dochladzovacej do aktívnej zóny. O 18:13 bolo spúšťanie PČ do aktívnej zóny začaté – žeriovom, mikrozdvihom – rýchlosťou 0,5 m/min. V čase 4 minuty 20 sekúnd po vstupe dolného konca PČ do aktívnej zóny dosiahla teplota za článkom teploty 352 °C, hoci z dôvodov ochrany kesónovej trubky bolo povolených iba 330 °C. Výkon reaktora bol postupne znížený na 421 MWt až na nezvyčajne nízky výkon 213 MWt (~50 % pôvodného výkonu). Pri dosadnutí PČ do dolnej polohy bola nameraná teplota 352 °C (t.j. Δt 240 °C).

Operátor začal zvyšovať výkon reaktora. Posledná meraná teplota za PČ bola 363 °C (t.j. Δt 251 °C) pri výkone 224 MWt. Technik TTČ v RS v tomto čase odpojil predlžovací kábel merania, aby zapojil konektory merania na priamo. Operátor reaktora pokračoval vo zvyšovaní výkonu, aby sa vyhol jódovej jame, až asi na 80 % predchádzajúceho výkonu bez merania teploty CO₂ na výstupe z PČ. Výpočtová teplota CO₂ na výstupe z PČ pre tento režim je 492 °C (Δt 379 °C). Konektory merania teploty sa nepodarilo tak rýchlo prepojiť a po cca troch minútach od dosadnutia PČ do dolnej polohy sa začala tyč Ø 36 mm samovoľne dvíhať, čomu sa technik TTČ snažil zabrániť. Počas ďalších cca dvoch minútach sa vysunula jej celá dĺžka, ako keby sa PČ vrátil sám do dochladzovacej zóny. V tom istom čase došlo k samovoľnému zníženiu výkonu reaktora a objavili sa príznaky prenikania D₂O do plynového okruhu (nepravidelná prevádzka čerpadiel D₂O, ako aj turbokompresorov CO₂). Objavili sa signály zvýšenia rádioaktivity na výstupe z viacerých kanálov a na príkaz smenového inžiniera bol reaktor o 18:27 ručne odstavený tlačítkom. Súčasne s poruchou na reaktore došlo k značnej netesnosti na parogenerátore č. 2. Po jeho oddelení od reaktora a stabilizácii chladenia reaktora na teplote CO₂ okolo 80 °C (aby nebol prehriaty materiál avi-alovej nádoby) bolo asi o 20:15 začatá vypúšťanie D₂O do vysokotlakových nádrží.

Následky havárie

Následky havárie boli zisťované postupne, pričom zistenie poškodenia PČ a avialovej nádoby trvalo najdlhšie.

Došlo k značnému zvýšeniu rádioaktivity v primárnom okruhu (pozri časť „Radičná situácia.“ spracovaná V.Grujbarom). Tým boli veľmi sťažené práce.

Vďaka vypusteniu D_2O do VT nádrží, zdrenážovaniu primárneho okruhu a kondenzácii z plynu bolo stratných cca 5 % D_2O (t.j. cca 3673 kg), pričom 70 % obsahu si zachovalo pôvodné izotopické zloženie.

Najväčším následkom havárie bola strata celej palivovej náplne, nakoľko bolo zistené úplné porušenie pokrytia na palivových prútoch na vstupnej strane do PČ. Preto bolo rozhodnuté vyviezť celú náplň. Táto operácia trvala do 26. júna 1977.

28. júna bola vykonaná prehliadka havarovanej kesonovej trúbky špeciálnym endoskopom zo susedných kanálov kompenzačných tyčí. Kesónová trúbka C-05 bola prepálená. Palivový komplet bol z kanála vytiahnutý žeriavom. Komplet zátok bol bez závad. Z vlastného PČ bol vytiahnutý asi 1300 mm dlhý kus (merané od hlavice), v dolnej časti značne zdeformovaný, na konci nerovno (metlovito) upálený. Tento PČ bol prehliadnutý v horúcej komore. Horné časti prútov zostali zachované, distančné mriežky boli upchané koróznymi produktmi pokrytia z ostatných PČ zanesených cirkulujúcou zmesou CO_2 s D_2O .

Korózne produkty boli čierno zafarbené, pravdepodobne koróznymi produktmi uránu. Medzi týmito koróznymi produktmi boli zistené zvyšky silikagelu čiastočne spečené do výšky 150 mm nad prvou vrstvou distančných mreží. Silikagel zostal biely, okrem spečenej hmoty boli nájdené aj jednotlivé granule. Silikagel bol preukázaný aj spektroskopickým rozborom v laboratóriu VÚJE. Spečenie silikagelu svedčilo o pravdepodobnej teplote ~ 1400 °C. Uránové prútky pod touto distančnou mrežou boli prehriatím a koróziou premenené prakticky na prach.

Ďalšia časť havarovaného PČ bola nájdená v podobe kompaktné taveniny o výške asi 400 mm v hrdle ocelevej trúbky TK v mieste jej zaústenia do hornej časti kesonovej trúbky. Dolný koniec tejto taveniny mal charakter strusky. Kesónová trúbka v strednej časti aktívnej zóny bola voľná. Dolná časť (pod prepálenými otvormi v stene kesonovej trúbky) bola vyplnená pórovitými zvyškami oxidovaných uránových prútov, ktoré sa cez lapač samovoľne vysypávali do komory horúceho plynu. Vonkajšia trúbka lapača (dolná koncovka) PČ bola na svojom mieste v prepúšťacej trúbke. Funkčná časť lapača (koncentrické trúbky z nehrdzavejúcej ocele) nebola nájdená. Zrejme sa vytavila spolu s uránom. Na dne komory horúceho plynu bola stuhnúť mláka blýskavého kovu, zrejme materiálu pokrytia PČ.

Stav vlastnej kesonovej trúbky bol zisťovaný endoskopom. Celá trúbka si zachovala svoj valcový tvar, iba medzi kótami 1800 až 2100 mm od dna avialovej nádoby bolo zistené nevelké zväčšenie jej priemeru. Jej von-

kajší povrch bol zbavený koróznymi nánosmi, ktoré sú viditeľné na ostatných trúbkach. Medzi kótami 1180 až 1796 mm od dna avialovej nádoby bol zistený rad otvorov v smere povrchiek. Okraje otvorov boli nerovné, mali charakter trhlín a niektoré natrhnuté okraje boli vychýlené na stranu ľahkej vody. Iba v jednom mieste bol taký okraj vychýlený dovnútra (zrejme výtokom ľahkej vody do kanála). Poškodenie vonkajším pretlakom bolo vylúčené.

Táto havária bola vyhodnotená stupňom 4 na sedemstupňovej medzinárodnej stupnici INES (napr. nehoda ve Three Mile Island bola ohodnotená stupňom 5, Černobyl stupňom 7).

Popis príčin havárie

Už prvá analýza na základe registračných prístrojov ukazovala na výrazné obmedzenie prietoku chladiva kanálom. Zoškrtenie bolo väčšie ako maximálne zoškrtenie regulačných okien na najmenej výkonných periférnych kanáloch. Z výpovedi pracovníkov montáže palivových článkov bolo zistené, že počas montáže došlo k pretrhnutiu vrecúška so silikagelom (slúžil k ochrane dodávaných oceľových častí kompletu a bol pri predmontážnej kontrole prehliadnutý) a k vysypaniu silikagelu do PČ. Analýza montáže ukázala, že počas kompletnej montáže vo vertikálnej polohe na stende v reaktorovej sále, pracovníci montáže našli pretrhnuté vrecúško so silikagelom (zvyčajne obsahuje 270 až 360 g silikagelu). Vrecúško sa nachádzalo v dolnom dieli zátok (tieniacej zátky), ktorej vnútorná časť oproti vonkajšej časti vytvára medzikruhovú štrbinu pre chladiaci plyn počas zavážania. Zrnká silikagelu o priemere 2 až 5 mm sa počas vzájomného pohybu častí vysypali a prepádali na hlavice PČ, kde sa čiastočne odrážali mimo, z podstatnej časti však do vnútra PČ. Na dne stendu bolo nájdených cca 80 g silikagelu. Malá časť bola povyberaná pinzetou, časť povysávaná z povrchu PČ, takže množstvo napadané do PČ mohlo byť cca 100 g. Pri imitácii na hydraulickéj slučke bolo zistené, že 95 g silikagelu obmedzuje prietok na hodnoty odpovedajúce pomerom v havarovanom PČ. Všetkými analýzami bolo potvrdené, že jedinou prvotnou príčinou bola prítomnosť silikagelu v PČ.

K rozvoju havárie evidentne došlo neprípustným prehriatím PČ následkom nedostatočného prietoku chladiva. Analýza bola založená na meraní teploty na výstupe z PČ v čase, keď meranie fungovalo:

- Celistvosť PČ bola bezprostredne ohrozená už počas zasúvania do aktívnej zóny, kedy teplota za PČ, v čase 4 min. 20 sek. od počiatku zasúvania PČ do AZ dosiahla 352 °C. Výpočtová teplota pokrytia v kritickom mieste dosiahla 605 °C (max. prípustná krátkodobá teplota je 550 °C).
- Vplyvom lokálnych nerovnomerností a presnosti merania mohla byť teplota na niektorých prútkoch o 20 až 30° vyššia, teda na úrovni tavenia pokrytia.
- Počas ďalšieho zasúvania boli teploty nižšie, nakoľko bol rýchlo znižovaný výkon reaktora.

- Počas zvyšovania výkonu reaktora na 84 % pôvodnej hodnoty (koncom 10 minúty) bola na výške prútu 2,75 až 3,6 prekročená teplota tavenia pokrytia. Po odtavení pokrytia (s rebrami pre lepší prestup tepla) sa teplota uránu zvýši za 2 až 3 sekundy o 200 až 300 °C. Tým bola prekročená teplota vznietenia uránu v CO₂. V tomto okamihu došlo k zapáleniu uránu v najteplejšom mieste PČ (za prípadnej podpory horenia horčička) a tým k zapáleniu prútov v danej oblasti. Teplom sa vznietila aj zirkóniová obalová trúbka PČ a chemicko-teplným pôsobením sa porušila aj kesónová trúbka avialovej nádoby.
- Vznietením uránu sa PČ rozdelil na minimálne dve časti, čím bolo umožnené, aby horná časť bola vytlačená do dochladzovacej zóny. Roztavený urán po opustení aktívnej zóny vychladol a vytvoril na dolnom konci dochladzovacej zóny kompaktnú zátku.
- Obmedzenie prietoku dolnou časťou viedlo k roztaveniu PČ, vytaveniu lapača a vytvoreniu mláky z pokrytia a uránu na dne komory horúceho plynu.

Výpočtová hypotéza sa zhodovala s nálezmi zistenými pri prehliadkach kanála.

Príčina havárie nebola v nedokonalosti či poruche technického zariadenia, ale v zlyhaní ľudského činiteľa:

- Prvotnou príčinou bol vysypaný silikagel a jeho neúplné odstránenie (podcenenie zo strany dielne PČ – zo strany montérov aj kontrolórov). Palivový článok mal vystavený protokol: schopný pre zavezenie do reaktora.
- Množstvo silikagelu v PČ už počas zasúvania PČ z dochladzovacej do aktívnej zóny viedlo k prekročeniu povolených teplôt, skôr ako mohli operátori situáciu ovplyvniť.
- Vedúci operátor, ani smenový inžinier neboli schopní za podmienok informovanosti na BD (časový stres hroziacej jódovej jamy, skúsenosť s nespoľahlivým meraním ako aj nefungujúcim meraním teploty na výstupe z PČ počas zvyšovania výkonu reaktora) orientovať sa v situácii. Prevádzkový predpis neobsahoval ustanovenia pre podobný prípad zablokovania prietoku palivovým článkom.

Od času odstavenia reaktora boli všetky činnosti riadené a vykonávané správne.

Úvahy o možnej oprave reaktora

Konštruktéri ŠKODA navrhli opravu vyrezaním havarovanej kesónovej trúbky, vyformovaním zápichov v dne avialovej nádoby a diaľkovým zavalcovaním novej kesónovej trúbky do dna avialovej nádoby. Technológia bola aj čiastočne odskúšaná, ale vzhľadom k preorientovaniu československého jadrového programu na tlakovodné reaktory bolo rozhodnuté neobnovovať prevádzku reaktora A-1.

Radiačná situácia v JE A-1 a okolí elektrárne

Priame rádiologické dôsledky tejto prevádzkovej udalosti na personál a okolie elektrárne neboli závažné.

Nepriame dôsledky však boli oveľa závažnejšie a dá sa povedať, že pretrvávajú do dnešných dní. Výsledky výpočtov, ktoré boli získané na základe prehliadky palivových článkov z reaktora v horúcej komore ukázali, že v dôsledku poruchy došlo k porušeniu pokrytia palivových elementov a k postupnej korózii uránu v aktívnej zóne reaktora. Množstvo uvoľneného pokrytia bolo odhadnuté na 150 kg s predpokladanou mernou aktivitou $3,7 \cdot 10^{11}$ až $3,7 \cdot 10^{12}$ Bq/kg a minimálne 100 kg uránu s vyhorením 1000 až 2000 MWd/t s mernou aktivitou asi $3,7 \cdot 10^{13}$ Bq/kg a s obsahom plutónia 1,5 g/kg. Celkové množstvo aktivity uvoľnenej do primárneho okruhu bolo odhadnuté na $5,5 \cdot 10^{14}$ Bq rádioaktívnych produktov s pokrytím a $3,7 \cdot 10^{15}$ Bq s uránom a asi 150 g plutónia. Treba zdôrazniť, že toto uvoľnenie nastalo v dôsledku porušenia prvej bariéry (pokrytia palivových elementov), avšak nedošlo k masívnemu uvoľneniu do pracovného alebo životného prostredia, nakoľko dochladzovanie reaktora bolo zabezpečené a integrita primárneho chladiaceho okruhu zostala v podstate zachovaná.

V dôsledku nasledujúceho dochladzovania a zmien v technologickej schéme elektrárne postupne dochádzalo k prienikom rádioaktivity z primárneho do sekundárneho okruhu až do chladiacich veží. Boli prijaté technologické opatrenia na zníženie takéhoto prieniku na minimum a pre maximálne možné riedenie vody v odpadovom kanále. Zmeny v schéme ťažkovodných okruhov zabránili ďalšiemu uvoľňovaniu trícia do odpadových vód.

Rozptýlenie štiepných produktov v primárnom okruhu viedlo k drastickému zhoršeniu rádiologickej situácie z hľadiska vonkajšieho žiarenia. Prikon dávky na potrubíach primárneho okruhu vzrástol z hodnôt okolo 400 µGy/h na hodnoty 16 mGy/h až 50 mGy/h na sacom potrubí turbokompresorov a na potrubí primárneho okruhu miestami až na 3 Gy/h. Podobné zvýšenie nastalo na všetkých pomocných okruhoch turbokompresorov vrátane olejového hospodárstva. Výrazne sa zhoršila situácia v parogenerátoroch, kde dovtedajšia hodnota 1 až 2 mGy/h sa zvýšila až na stovky mGy/h, čo prakticky znemožnilo aby boli naďalej vykonávané opravy parogenerátorov.

Po vyvezení paliva z reaktora a skončení dochladzovania reaktora sa situácia stabilizovala. Možné zlepšenie sa očakávalo vplyvom rádioaktívneho rozpadu, čo ale vyžaduje veľmi dlhú dobu.

Počas prvých dvoch dní po udalosti boli prípustné hodnoty exhalátov z ventilačného komína prekročené asi dvojnásobne až trojnásobne. Vypúšťané odpadové vody však za prvý týždeň po udalosti prekročili povolené hodnoty vypúšťanej rádioaktivity až 5000-násobne.

V tab. 1. sú uvedené výpuste rádioaktívnych látok ventilačným komínom a do odpadového kanála.

V čase havárie pracovalo na zmene 49 pracovníkov, z toho 11 v exponovaných miestach sekundárneho okruhu. Najväčší dávkový prikon v mieste pohybu pracovníkov sekundárneho okruhu bol pri nádrži napájacej vody, a to 5 mGy/h, priamo na povrchu nádrže 17 mGy/h.

Tab. 1

Výpuste rádioaktívnych látok ventilačným komínom a do odpadového kanála

Prostredie	Jednotka	Aktivita dne				
		22. 2.	23. 2.	24. 2.	25. 2.	26. 2.
Vzácne plyny	10^{12} Bq/24h	2,74	6,93	1,3	1,48	0,79
Aerosóly	10^8 Bq/24h	148	166	106	9,6	0,37
Vypustená voda	10^{11} Bq	29,7	1,18	2,18	1,44	1,44

Odhadovovalo sa, že čas expozície neprevyšil u jednotlivcov 2 hodiny.

Všetci prítomní užíli antidótum KI – ASB (jodid draselný + aktivovaný siran bárnatý) a 80 pracovníci boli v závodnom zdravotníckom stredisku vyšetrení na:

- aktivitu jódu v štítnej žľaze,
- aktivitu trícia v tele,
- celkovú beta-aktivitu moča,
- gama-spektrometrickú analýzu moča.

Prítomnosť ^{131}I bola zistená v štítnej žľaze šiestich pracovníkov, dávkové úväzky boli od 0,25 mSv do 1,4 mSv. Dávkové úväzky z trícia boli u štyroch najviac exponovaných jedincov od 0,1 mSv do 0,4 mSv. U ostatných sledovaných to nebolo viac ako 0,1 mSv.

U žiadneho pracovníka teda neboli prekročené povolené hodnoty ožiarenia.

Rádiologická situácia v životnom prostredí v okolí elektrárne sa oproti pozadovým hodnotám nezmenila s výnimkou situácie na vypúšťacom kanále odpadových vôd (potok Manivier) do riečky Dudvák. Tu dochádzalo k usadzovaniu kontaminácie v sedimentoch, ako aj k záchytu štiepných produktov vodnými riasami.

Táto kontaminácia životného prostredia predstavovala merateľný vplyv na životné prostredie. Výpočty možných ekvivalentných dávok viedli k identifikácii kritickej skupiny obyvateľstva – pracovníci správy a údržby vodných tokov a rybári. Tieto výpočty ukázali, že možné spôsoby kontaktu a využitia tohto vodného toku vrátane zavlažovania záhrad nevedli a nepovedú k prekročeniu vtedy platných limitov ekvivalentných dávok pre obyvateľstvo ani úväzkov ekvivalentnej dávky ani u kritickej skupiny obyvateľov.

Meranie pozadia priamo v mieste vypočítanej maximálnej prízemnej koncentrácie neukázalo žiadne zvýšenie oproti normálnym hodnotám. Dávkové príkony pozadia boli od 0,12 $\mu\text{Gy/h}$ do 0,16 $\mu\text{Gy/h}$.

Podľa výpočtov bola dávka u najviac ožiarенého jedinca z obyvateľstva v mieste maximálnej prízemnej koncentrácie v dôsledku atmosférického spadú na štítnu žľazu $0,34 \cdot 10^{-6}$ mSv a celotelová dávka z vonkajšieho ožiarenia $0,01 \cdot 10^{-6}$ mSv. Tieto hodnoty boli podstatne menšie, ako vtedy platné limity.

Neskôr bola vykonaná sanácia potoka Manivier a odpadové vody z elektrárne A-1 boli spolu s vodami z V-1 odvádzané potrubným zberačom SOCOMAN priamo do rieky Váh.

Komentár k únikom Ra látok pri prvej i druhej havárii

V laických médiách sa počiatkom roka 2008 objavili úvahy, že „Černobyl' mohol byť u nás – na Slovensku“. Ako stanovisko k takémuto tvrdeniu uvádzame údaje o únikoch Ra látok pri prvej i druhej havárii A1, a porovnanie týchto únikov s únikami Ra látok počas iných vážnych havárii alebo počas skúšok jadrových zbraní. Z údajov tab. 2 vidno, že úniky na A1 nedosiahli ani milióntinu únikov z Černobyľu (a teda porovnanie A1 s Černobyľom je scestné).

Analýzy teplotných pomerov na havarovanom článku

Pri analýze teplotných pomerov v palivovom článku zaväzaného do kanála C-05 boli využité nasledovné registrované parametre: časový záznam výkonu reaktora, časový záznam teploty chladiva na výstupe z palivového článku zaväzaného do reaktora, tlakové a prietokové pomery chladiva v aktívnej zóne reaktora a výsledky výpočtov rozloženia výkonu v reaktore počas zaväzania palivového článku a následného zvyšovania výkonu reaktora. Na základe týchto údajov bol vypočítaný znížený prietok chladiaceho média (CO_2) cez palivový článok v kanále C-05. Takto stanovený prietok cez palivový článok bol ďalej použitý pre podrobné výpočty teplotných pomerov v palivovom článku v kanále C-05. Vypočítaná doba, v ktorej bola dosiahnutá teplota tavenia uránu (teplota tavenia uránu bola braná ako $\sim 1\,133\text{ }^\circ\text{C}$) bola v dobrom súhlase s pozorovanou dobou, v ktorej sa tyč $\varnothing 36$ mm začala samovoľne vysúvať z reaktora (čo bolo pri rozbere havárie vyhodnotené ako presun havarovaného PČ do dochladzovacej zóny v reaktore).

Pre potvrdenie čiastkového blokovania prietoku chladiaceho média cez havarovaný palivový článok boli vykonané kontrolné experimenty s maketou palivového článku typu $\varnothing 100$ na neaktívnej experimentálnej slučke. Tlakové a prietokové pomery chladiva boli na slučke nastavené tak, aby reálne simulovali pomery v reaktore a na kanále C-05 pred a počas havárie. Prvým krokom experimentálnych prác bolo odmeranie tlakovo prietokových charakteristik palivovej kazety bez silikagelu. Následne do palivového článku bolo po krokoch nasypané malé množstvo silikagelu a v každom kroku boli vykonané merania prietoku a tlakového spádu na palivovom článku. Doba trvania experimentu zodpovedala dobe, po ktorú v reaktore došlo k nataveniu palivového článku t.j. ~ 5 min. Po vykonaní jednotlivých krokov sa zisťoval stav a množstvo sili-

Tab. 2

Úniky rádioaktívnych látok z A1 v porovnaní s inými vážnymi haváriami

rádionuklid/zdroj	Úniky rádioaktívnych látok [Bq]					
	Černobyl'	skúšky jadrových zbraní	Windscale	TMI	havária 1976	
					A-1 ¹⁾	A-1 ²⁾
¹³⁷ Cs	8,9.10 ¹⁶	1500.10 ¹⁵	4.10 ¹³	ND	–	1,7.10 ^{9 3)}
¹³⁴ Cs	4,8.10 ¹⁶	< 1,5.10 ¹⁵	1.10 ¹²	ND	–	nemerané
⁹⁰ Sr	1,3.10 ¹⁵	1300.10 ¹⁵	2,2.10 ¹¹	ND	1,85.10 ⁹	nemerané
¹³³ Xe	4,2.10 ¹⁹	2.10 ²¹	1,4.10 ¹⁶	3,7.10 ¹⁷	2,2.10 ¹²	1,06.10 ¹³
¹³¹ I	1,3.10 ¹⁸	7,8.10 ²⁰	6.10 ¹⁴	0,001.10 ¹²	3,7.10 ⁹	4,2.10 ⁹
⁷⁵ Zr	–	–	–	–	–	nemerané
¹⁴⁴ Ce	–	–	–	–	–	7,6.10 ⁹

Poznámky:

- 1) Odhad – Správa: I. Kubík, E. Hladký, Výskumný ústav energetický; Zhodnotenie radiačných následkov úniku ra–produktov do okolia po havárii A–1, 1976
 - 2) Úniky za prvé štyri dni. V ďalších dňoch boli úniky podstatne menšie
 - 3) Odhad z pomeru k ¹³¹I podľa analýzy filtrov z ventilačného komína
- ND – Nedetekované

Zdroj: Správa o radiačnej situácii v elektrárni A–1 v dňoch 22.2. – 4.3.1977. Správa vymenovanej komisie, Jaslovské Bohunice 14.3.1977

kagelu zachytené v makete palivového článku. Ukázalo sa, že silikagel zostal takmer v neporušenom stave na hornej mriežke a len málo sa drtil.

Ďalším z cieľov kontrolných experimentov s maketou palivového článku typu Ř 100 bolo aj meranie prietokových charakteristík palivového článku v závislosti od množstva nasypaého silikagelu.

Experimentmi bolo jednoznačne potvrdené, že príčinou havárie bolo čiastkové blokovanie prietoku chladiaceho plynu cez palivový článok rozsypaným silikagelom.

Počas havárie a aj po havárii bolo chladenie zostávajúcich palivových článkov v aktívnej zóne zabezpečené štandardnou prevádzkou turbokompresorov. K porušeniu všetkých palivových článkov v aktívnej zóne (popraskanie pokrytia, následná korózia a uvoľňovanie štiepných produktov do primárneho okruhu) ku ktorému došlo pri dochladzovaní odstaveného reaktora bolo dôsledkom nevhodných vlhkostných pomerov v chladiacom médiu v reaktore.

Zdroje informácií:

A. Výpovede k významnej havárii na A-1 z 22. 2. 1977

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| 1. Repka Milan | Smenový inžinier |
| 2. Kopál Oto | Vedúci operátor |
| 3. Oravec Rudolf | Operátor reaktora |
| 4. Hájek Ludovít | OPO |
| 5. Hlavička Anton | OSO |
| 6. Drgoň František | Operátor TTČ |
| 7. Junas Cyril | Strojník energetických zariadení |
| 8. Ilavský Ivan | Strojník |
| 9. Cifra Rudolf | Strojník TG |
| 10. Kolník Stanislav | Strojník TG |

- | | |
|-------------------------|--|
| 11. Orvinský Jozef | Smenový majster dozimetrie |
| 12. Lopašovský Marian | Strojník TG |
| 13. Uhliar Pavol | Technik TTČ v RS |
| 14. Slezák Martin | Technik smeny TTČ |
| 15. Tokár Milan | Vedúci dielne palivových článkov (PČ) |
| 16. Gajdošech Stanislav | Vedúci technickej kontroly v dielni PČ |
| 17. Kleštinec Pavel | Odborný montér dielne PČ |
| 18. Pokorný Ladislav | Majster montáže PČ |
| 19. Zachar František | Pracovník dielne PČ |
| 20. Valovič Viliam | Žeriavnik dielne PČ |
| 21. Lekavý Pavel | Montér v dielni PČ |
| 22. Šuba Ivan | Technická kontrola v dielni PČ |
| 23. Gažo Pavol | Pracovník dielne PČ |

B. Príloha III k správe do vlády o vyhodnotení možnosti rekonštrukcie elektrárne A I (spracoval Dr.Ing. Augustin Ševčík, FMPE)

Hlavné poučenia z havárií:

1. Personál JE musí byť dokonale oboznámený s dôležitým relevantným konštrukčným riešením citlivých komponentov.
2. Smena, ktorá prežíva havarijnú udalosť, je paralyzovaná „pohavarijným šokom“. Je pre ňu aj elektrárne výhodné, ak je prizvaný poradca z radov režimárov s hlbšími znalosťami dejov, ktorý nie je zaťažený „pocitom viny“.
3. Znalosť vlastností chladiaceho média (CO₂, vody, pary), jeho schopností a podmienok pre odvod tepla je pre operátorov potrebná (vrátane predstáv o koeficientoch prestupu tepla)

4. Personál BD môže robiť kľúčové chyby, ak nie je v likvidácii príslušnej udalosti vycvičený drilom k automatickým úkonom.
5. Popis aj nepravdepodobných udalostí a precvičovanie spôsobu ich riešenia je nutný.
6. Znalosť analýz príčin môže viesť k zníženiu pravdepodobnosti výskytu udalostí.
7. Kvalifikovaná informácia podaná včas odbornou aj laickej verejnosti zabráni tvorbe legiend.
8. O zariadení jadrovej elektrárne, osobitne u zariadení primárneho okruhu a reaktora musia byť vopred vytipované a nasledovne podrobne rozpracované technologické postupy dôležitých manipulácií a tieto musia byť v maximálnej miere automatizované, pri využití taktiež blokad a ochrán.
9. V prvom rade sa musí dbať na bezpečnosť elektrárne i za cenu zníženia ekonomiky prevádzky, ktoré spôsobí odstavenie technologického zariadenia, prípadne i celej elektrárne.

Skúsenosti z prevádzky jadrovej elektrárne A-1 – slovo na záver

Výstavba, spúšťanie a prevádzkovanie jadrovej elektrárne A-1, bolo celospoločenskou akciou, ktorej sa zúčastnili popredné české a slovenské závody, projektové organizácie, výskumné ústavy, špecialisti a odborníci z celej bývalej Československej republiky pri aktívnej účasti a pomoci špecialistov vtedajšieho Sovietskeho Zväzu.

Vzájomná spolupráca, realizovaná v širokom rozsahu, bola veľmi dobrá a sústredená na jediný cieľ – uviesť elektrárne do prevádzky.

Výbuďovala sa prototypová elektrárne s heterogénnym reaktorom. Nikde na svete nebola v prevádzke elektrárne podobného typu. Nebolo odkiaľ čerpať praktické skúsenosti. Zaškolenie pracovníkov sa realizovalo na jadrových elektrárnach v Sovietskom Zväze, ktoré boli iného typu a mali málo spoločné s typom jadrovej elektrárne A-1.

Pred nami stála úloha uviesť do prevádzky elektrárne s tepelným výkonom reaktora 560 MW, s elektrickým výkonom 143 MW. Zámerom bolo prvotné odskúšanie, overenie a uvedenie do prevádzky nového energetického zdroja, ktorý mal tiež výkonovo pomôcť energetickému systému, ktorý v tej dobe pracoval s deficitom výkonu.

Už z tohto krátkeho úvodu je zrejmé, že pred nami stála úloha, riešiteľná len na vysokej technickej medzinárodnej úrovni.

Čím bližšie bolo k spúšťaniu elektrárne, tým viac sa začali vynárať problémy, ktoré bolo potrebné doriešiť. Z olejového systému turbokompresorov sa počas neaktívnych skúšok dostal olej do primárneho okruhu. Musela byť vykonaná rekonštrukcia celého olejového systému turbokompresorov.

Dochladzovanie reaktora, pri strate vlastnej spotreby nebolo jediným havarijným zdrojom z HC Madunice dostatočne zabezpečené. Dodatočne sa preto vybuďovalo

super-havarijné dochladzovanie reaktora, ktoré zabezpečovalo napájanie dôležitých spotrebičov dieselgenerátorom. K turbokompresorom boli doplnené „ponymotory“ umožňujúce prevádzku na 600 ot/min. Pri týchto otáčkach bolo možné zabezpečiť napájanie turbokompresorov z dieselgenerátora.

Už na začiatku spúšťania elektrárne sa začali objavovať na parogenerátoroch netesnosti. Ich počet sa časom zväčšoval. Viedlo to k častým odstaveniam elektrárne. Odstraňovanie netesností sa vykonávalo za veľmi sťažených podmienok priestorových i radiačných. Nastal problém so zväzmi, z dôvodu čerpania povolených dávok ožiarenia a ich nasledovného nepripustenia na prácu do kontrolovaného pásma.

Prevádzka na šiestich parogenerátoroch sa postupne stávala veľmi komplikovanou z dôvodu zhoršenej radiačnej situácie v miestach odstraňovania netesností.

Maximálny výkon dosiahnutý pri prevádzke šiestich parogenerátorov bol 128 MW, čo bolo 89 % nominálneho projektového výkonu.

V súvislosti s parogenerátormi je zaujímavá spomienka na jednu medzinárodnú konferenciu, ktorá sa konala v Prahe, myslím, že to bolo v roku 1970, na ktorej československý výrobca parogenerátorov pre jadrovú elektrárne A-1 informoval prítomných o funkčnosti a dosahovaných parametroch na parogenerátoroch. Po ukončení prednášky sa prihlásil zástupca prevádzkovej jadrovej elektrárne z USA a konštatoval:

„Parogenerátory, z hľadiska dosahovaných parametrov – prehriatia nízkotlakovej a stredotlakovej pary, sú dobré. Avšak pre prevádzku v jadrovej elektrárni sú nevhodné, z dôvodu ich zložitosti a ťažkej možnosti opravy v budúcnosti. Tisíciky zvarov, ktoré parogenerátory obsahujú, s nemožnosťou ich 100 % kontroly a prostredie, vhodné pre koróziu z jednej strany oxid uhličitý, z druhej strany para, alebo voda – budú zdrojom netesností. Na jadrovej elektrárni sa majú používať zariadenia pokiaľ možno jednoduché, ľahko kontrolovateľné a opraviteľné.“

Čas potvrdil, že hovoril pravdu. Mal už svoje skúsenosti.

Jedným z kritických uzlov elektrárne bola transportne technologická časť (TTČ), ktorá zabezpečovala úlohy, súvisiace s výmenou palivových článkov za prevádzky reaktora a ich dochladzovaním. Proces výmeny palivových článkov sa za celú dobu prevádzky nepodarilo v plnom rozsahu zautomatizovať tak, ako to predpokladal projekt. Časť technologických postupov obsluha vykonávala ručne.

V januári 1976 došlo k prvej vážnej havárii, priebeh ktorej je detailne popísaný v prvej časti článku. Oxid uhličitý zaplnil okolité priestory primárneho okruhu. Rozhlasom sa vysielala výzva, aby šesť pracovníci urýchlene opustili kontrolované pásmo. Dvaja pracovníci z nevysvetliteľných príčin neurobili žiaduci rýchly odchod z kontrolovaného pásma a žiaľ, došlo k ich udu-

seniu oxidom uhličítým. Bola to tragédia, ktorá nás všetkých šokovala.

Pristykovanie zaväzacieho stroja na kanál vykonala obsluha ručným navedením zaväzacieho stroja. Za preukázanú obetavosť bolo dvom pracovníkom Milanovi Antolíkovi a Viliamu Pačesovi dvakrát udelené štátne vyznamenanie (po prvýkrát v roku 1987 z rúk predsedu čs. federalnej vlády L.Štrougala, po druhýkrát počiatkom roku 2008 z rúk prezidenta Slovenskej republiky I. Gašparoviča).

K ožiareniu osôb nad stanovený limit počas uvedenej poruchy nedošlo.

Po podrobnej analýze poruchy a následne prijatých a realizovaných opatreniach bola elektrárň znova uvedená do prevádzky.

K poruchám na parogenerátoroch a na transportnej technológii sa postupne pridali ďalšie poruchy na technologickom zariadení.

Aspoň tie najzávažnejšie:

- vnútorné časti reaktora – avialová nádoba reaktora, mala stanovenú projektovú životnosť 5 rokov, čo už uplynulo a nepoznali sme presne jej skutočný stav,
- pomocné okruhy, ako bola očištkovač CO_2 a spaľovanie traskavej zmesi sa nepodarilo nastaviť na stabilný, projektom predpokladaný, režim,
- izotopická čistota moderátora – ľahkej vody sa zhoršovala, čo vyvolávalo potrebu častejších výmen palivových článkov a neskôr potrebu vybudovania izotopickéj očištky D_2O ,
- vyskytli sa korózne problémy pri dochladzovaní palivových článkov po ich vytiahnutí z reaktora v KS a DS. Dochádzalo k masívnemu rozvoju porušenia pokrytia PC v chemicky nevhodných ochladzovacích médiách. Vodné roztoky museli byť zamenené dowermom,
- začala sa vyskytovať netesnosť chladičov ľahkej vody. Chladenie ľahkej vody bolo priame, bez medziokruhu,
- vyskytli sa netesnosti na nádržiacich na kvapalné rádioaktívne odpady.

Nevýhodou plynom chladeného reaktora bola aj vysoká vlastná spotreba elektrárne, približne 35 MW, čo predstavovalo okolo 38 % z nominálneho výkonu elektrárne. Pre porovnanie, u elektrární typu VVER predstavuje vlastná spotreba 7 % z nominálneho výkonu.

Za päťročné obdobie prevádzky vyrobila elektrárň len niečo cez 1 450 000 000 kWh elektrickej energie (jednu miliardu a 450 miliónov kilowatthodín).

Vo februári 1977 došlo k druhej závažnej poruche. Príčinou boli, ako bolo popísané, zvyšky silikagélu medzi prútikmi palivového článku, ktoré tam zostali v dôsledku chyby pri montáži palivového článku a podcenením tejto závady zo strany pracovníkov montážnej dielne.

Možno jednoducho konštatovať, že to zapríčinil ľudský faktor, teda obsluha. Avšak u zariadení jadrovej elektrárne, osobitne u zariadení primárneho okruhu a reaktora musia byť vopred vytýpané a nasledovne podrobne

rozpracované technologické postupy dôležitých manipulácií a tieto musia byť v maximálnej miere automatizované, pri využití taktiež blokad a ochrán.

Potvrdilo sa, že operácie s veľkým vplyvom na bezpečnosť by nemali spočívať iba na obsluhu, u ktorej sa dá právom očakávať nižšia spoľahlivosť, ako bolo aj v tomto prípade, ale spolichať sa na využívanie automatizovaných systémov technického zabezpečenia a viacstupňovej, vzájomne sa prekrývajúcej kontroly.

V prvom rade sa musí dbať na bezpečnosť elektrárne i za cenu zníženia ekonomiky prevádzky, ktoré spôsobí odstavenie technologického zariadenia, prípadne i celej elektrárne.

Elektrárň A-1 bola v tom čase v dispečerskom riadení, mala plánovanú výrobu elektrickej energie, čo do určitej miery vyvolávalo nepriaznivý tlak na prevádzku elektrárne.

Po zvážení rozsahu poškodenia technologického kanála reaktora poruchou, ako aj spomínaného stavu technologického zariadenia bolo rozhodnuté neobnoviť viac prevádzku elektrárne. V tom čase už bolo zrejmé, že definitívne odstavenie elektrárne je iba otázkou krátkeho času. Výskytom porúch sa tento čas len o niečo skrátil.

Ani veľké úsilie a obetavosť širokého okruhu zainteresovaných pracovníkov nepotvrdili očakávanie, že by sa jadrové elektrárne podobného typu ako A-1 mohli stať perspektívnym zdrojom elektrickej energie. Elektrárň A-1 ale nebola jediným typom JE vo svete, ktorý sa v čase ukázal ako neperspektívny.

Za kladný výsledok možno považovať, že za obdobie výstavby, spúšťania a prevádzky jadrovej elektrárne A-1 sa vychovala veľká rodina odborníkov vo všetkých oblastiach jadrovej energetiky, ktorí sa neskôr podieľali na budovaní jadrovej energetiky na Slovensku, Morave a v Čechách, už s reaktormi typu VVER, ktoré boli vopred odskúšané a preukázali dobrú bezpečnosť a prevádzkovú spoľahlivosť.

V porovnaní s jadrovou elektrárnou A-1 to boli elektrárne technicky oveľa jednoduchšie, neporovnateľne menej poruchové, s lepšou ekonomikou a stali sa piliermi energetickej sústavy Slovenska.

Použité skratky

A-1	prvá atómová elektrárň v Československu
AN	avialová nádoba
AZ	aktívna zóna
BD	bloková dozorná
DS	dlhodobý sklad
EBO	Elektrárň Bohunice
FMPE	Federálne ministerstvo palív a energetiky
HVB	hlavný výrobný blok
KHP	komora horúceho plynu
KS	krátkodobý sklad
KS-150	konštrukčný názov reaktora = kritický súbor 150 MWe
OPO	operátor primárneho okruhu
OR	operátor reaktora

OSO operátor sekundárneho okruhu
PČ palivový článok
PK palivový komplet
PP prevádzkový predpis
RS reaktorová sála
SI smenový inžinier
TTC transportne-technologická časť

TBK turbokompresor
TK technologický kanál
ÚJV Ústav jaderného výzkumu
VO vedúci operátor
VVZ vedecko-výskumná základňa jadrovej elektrárne J. Bohunice (teraz VUJE, a.s.Trnava)
ZS zavážací stroj