

# **Vyrad'ovanie jadrových blokov na Slovensku**

Ing. Marián Štubňa, CSc.

SNUS, 24.04.2024

V roku 1956 bola podpísaná dohoda medzi vládou ZSSR a ČSR o spolupráci v oblasti jadrovej energetiky. Za necelých 16 rokov z ničoho bola vybudovaná komplexná infraštruktúra, zahrňujúca výskumné, projektové, výrobné a stavebné kapacity, vytvorená potrebná legislatíva a orgány štátneho dozoru, aby v roku 1972 bola do prevádzky uvedená 1. československá jadrová elektráreň A1 a v roku 1978 jadrová elektráreň V1, obe v Jaslovských Bohuniciach. Postupne nasledovalo uvádzanie do prevádzky ďalších blokov v Bohuniciach, Dukovanoch, Mochovciach, v Temelíne. Ale súčasne sa naplnil čas, kedy z rôznych dôvodov bol odstavený reaktor JE A1 a dva reaktory JE V1 v Bohuniciach. A tak dnes máme vo vyradovaní JE A1 a JE V1.

## Vyrad'ovanie JE A1

**1958-1972**      **Výstavba JE A1** - ako prototypová jadrová elektráreň, ktorá používala ako palivo kovový neobohatený urán, bola moderovaná ťažkou vodou a chladená CO<sub>2</sub>.

**1972-1977**      **Prevádzka** - z prevádzky bola odstavená po havárii v aktívnej zóne s rozhermetizáciou a tavením paliva.

Približne 21 ton ťažkej vody preniklo do primárneho plynového chladiaceho okruhu a spôsobilo závažné poškodenie pokrytia paliva. Odhadované množstvo uvoľneného pokrytia paliva bolo cca 150 kg s aktivitou v rozmedzí  $3,7 \cdot 10^{11}$  –  $3,7 \cdot 10^{12}$  Bq/kg. Odhadované množstvo kovového uránu uvoľneného do primárneho okruhu bolo minimálne 100 kg, jeho merná aktivita cca  $3,7 \cdot 10^{13}$  Bq/kg a s obsahom plutónia cca 1,5 g/kg.

**Na základe technicko-ekonomickej analýzy výsledkov stavu JE A1 po havárii rozhodla vláda ČSSR v roku 1979 nepokračovať ďalej v prevádzke.** Po definitívnom rozhodnutí o nepokračovaní prevádzky JE A1 sa začali systematicky vytvárať podmienky pre ukončovanie prevádzky a pre prípravu vyradovania.

Začali sa systematické výskumné a experimentálne činnosti pre nakladanie so špecifickými druhmi RAO v JE A1.

Činnosti však boli vykonávané pod licenciou na prevádzku až do roku 1999 a boli organizované na základe bezpečnostných priorít a dostupných finančných zdrojov.

**1977-1994**

**Etapa ukončovania prevádzky** – jej cieľom bolo riešenie dôsledkov havárie a prevádzky, príprava vyradovania a príprava systému pre nakladanie so špecifickými RAO JE A1.

Prvý pokus o zníženie dôsledkov druhej havárie v primárnom okruhu bolo filtrovanie chladiaceho plynu cez filtre umiestnené v kanáloch reaktora; dosiahla sa pri tom nízka účinnosť dekontaminácie.

V druhom pokuse išlo o chemickú dekontamináciu parogenerátorov, pri ktorej sa dosiahol dekontaminačný faktor v rozmedzí 2,8 – 4,5. Vzniklo pri tom cca 600 m<sup>3</sup> kvapalného odpadu, ktorý obsahoval aj transurány.

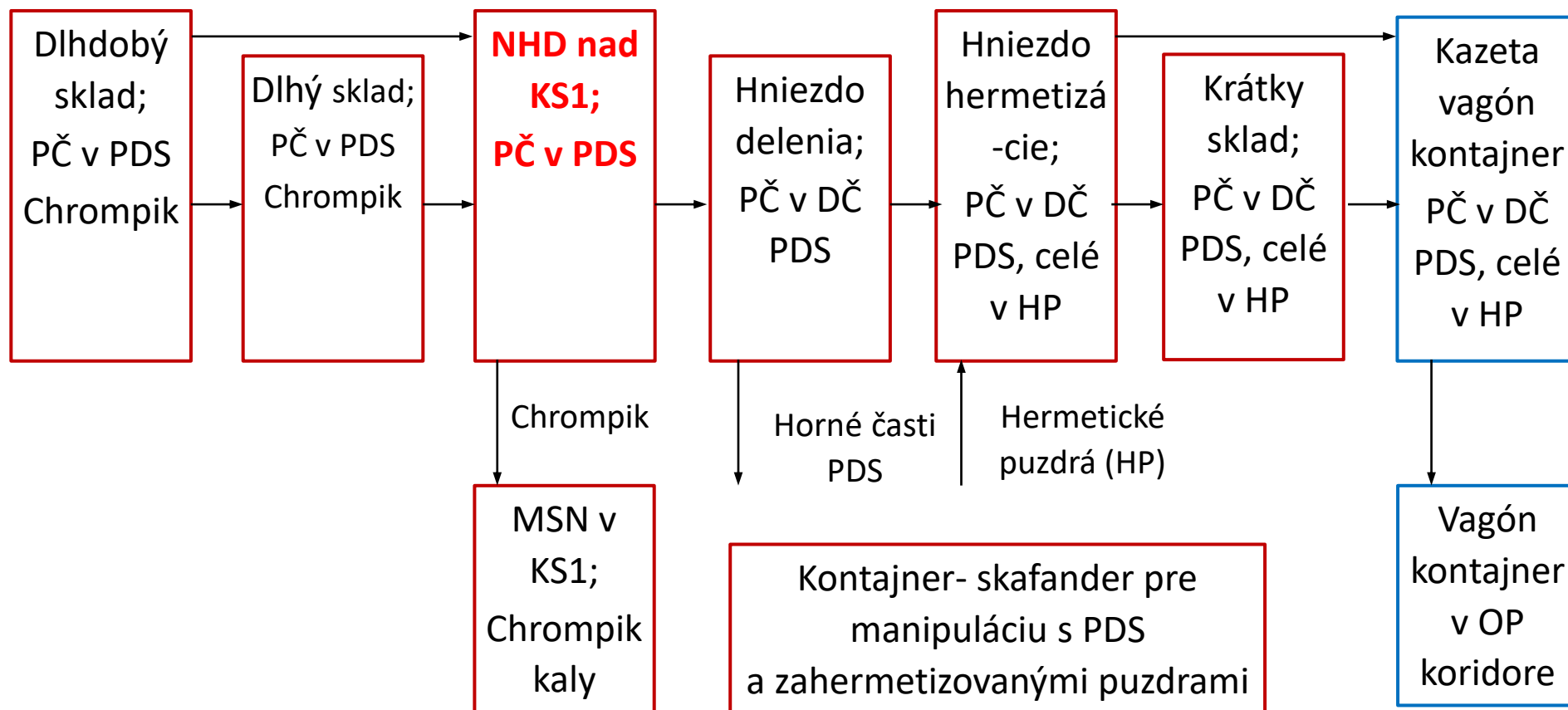
**1995-1999**

**Realizovaný projekt radiačne bezpečného stavu v JE A1,** ktorého cieľom bolo odstrániť alebo významne znížiť dôsledky havárie v aktívnej zóne a najmä **ukončenie vývozu vyhoretého paliva**. Hlavným cieľom bolo dosiahnuť stav, v ktorom sa mohlo začať vyradovanie JE A1.

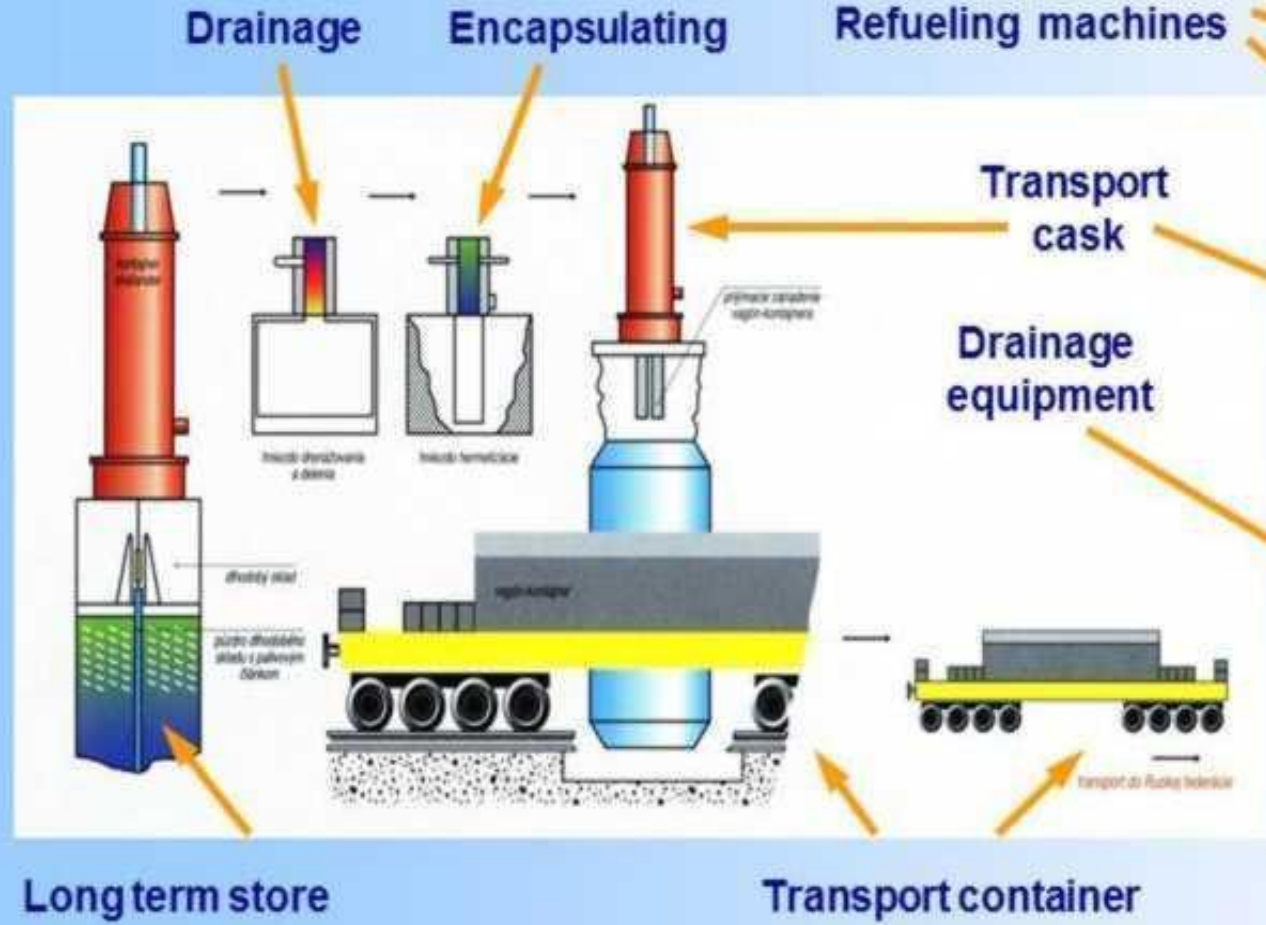
**V tomto období bol vypracovaný systematický prístup k vyradovaniu JE A1 po etapách (tzv. kontinuálny variant vyradovania), celkovo 5 etáp, s predpokladaným ukončením v roku 2033.**

Boli vypracované kľúčové dokumenty, potrebné pre licencovanie prvej etapy vyradovania a po vyvezení všetkého paliva bola roku 1999 licencovaná I. etapa vyradovania, čím sa začal vlastný proces vyradovania JE A1.

## Celková schéma nakladanie s nemanipulovateľným palivom



# Principal scheme of the damaged spent fuel management:





**2000-2008**

**I. etapa – dosiahnutie radiačne bezpečného stavu.** Táto etapa vyradovania sa vyznačovala sanáciou prítomných historických RAO (rôzne druhy, kvapalné a pevné, špecifické rádiologické parametre a veľké množstvá) z prevádzky, z riešenia dôsledkov havárie a špecifických RAO z nakladania s vyhoretým palivom. Nastavenie parametrov jednotlivých techník nakladania s historickými RAO bolo navrhnuté najmä na základe vtedy všeobecne dostupných údajov, bez predošlej primeranej vlastnej skúsenosti. Ako sa neskôr ukázalo, viaceré parametre boli významne podhodnotené, čo sa neskôr prejavilo vo významnom predlžovaní činností nakladania s týmito RAO. Predpoklad dosiahnutia radiačne bezpečného stavu v roku 2008 sa ukázal ako nereálny.

**2009-2016**

**II. etapa** – činnosti II. etapy vyradovania JE A1 začali v roku 2009 a boli ukončené k 30.9.2016.

Na **vonkajších objektoch** boli kompletne vybrané, zdekontaminované, nafragmentované a do životného prostredia uvoľnené plynojemy CO<sub>2</sub>, odstránené všetky nepoužívané technologické zariadenia v obj. 41, kompletne zlikvidované vonkajšie nádrže obj. 41 a 44/10. Z obj. 839 zložiska nízkoaktívnych kalov a oblúkovej haly obj. 44/20 boli vybrané a vytriedené kontaminované materiály a zeminy a stavebne konštrukčná časť objektov bola odstránená. Ďalej bola zlikvidovaná experimentálna spaľovňa, potrubné kanály a časť aktívnych potrubných kanálov.



**V hlavnom výrobnom bloku JE A1** boli preskladnené všetky kaly z jednobariérového dlhodobého skladu pre VJP z JE A1 do dvojbariérovej nádrže NPN, boli nafragmentované všetky horné časti puzdier dlhodobého skladovania VJP, zlikvidované zavážacie stroje I a II, stanica izotopického čistenia  $D_2O$ , stanica odstraňovania organických nečistôt  $D_2O$ , celá technologická časť  $D_2O$  a  $CO_2$  zaradená do predmetu II. etapy vyradovania JE A1, olejové hospodárstvo v obj. 34, ako aj ostatné súvisiace technologické zariadenia zaradené do II. etapy vyradovania JE A1.

V rámci nakladania so zeminami z JE A1 bolo v JZ RÚ RAO vybudované a do prevádzky uvedené **úložisko veľmi nízkoaktívnych odpadov** pre VNAO z JE A1.

**2016-2024**

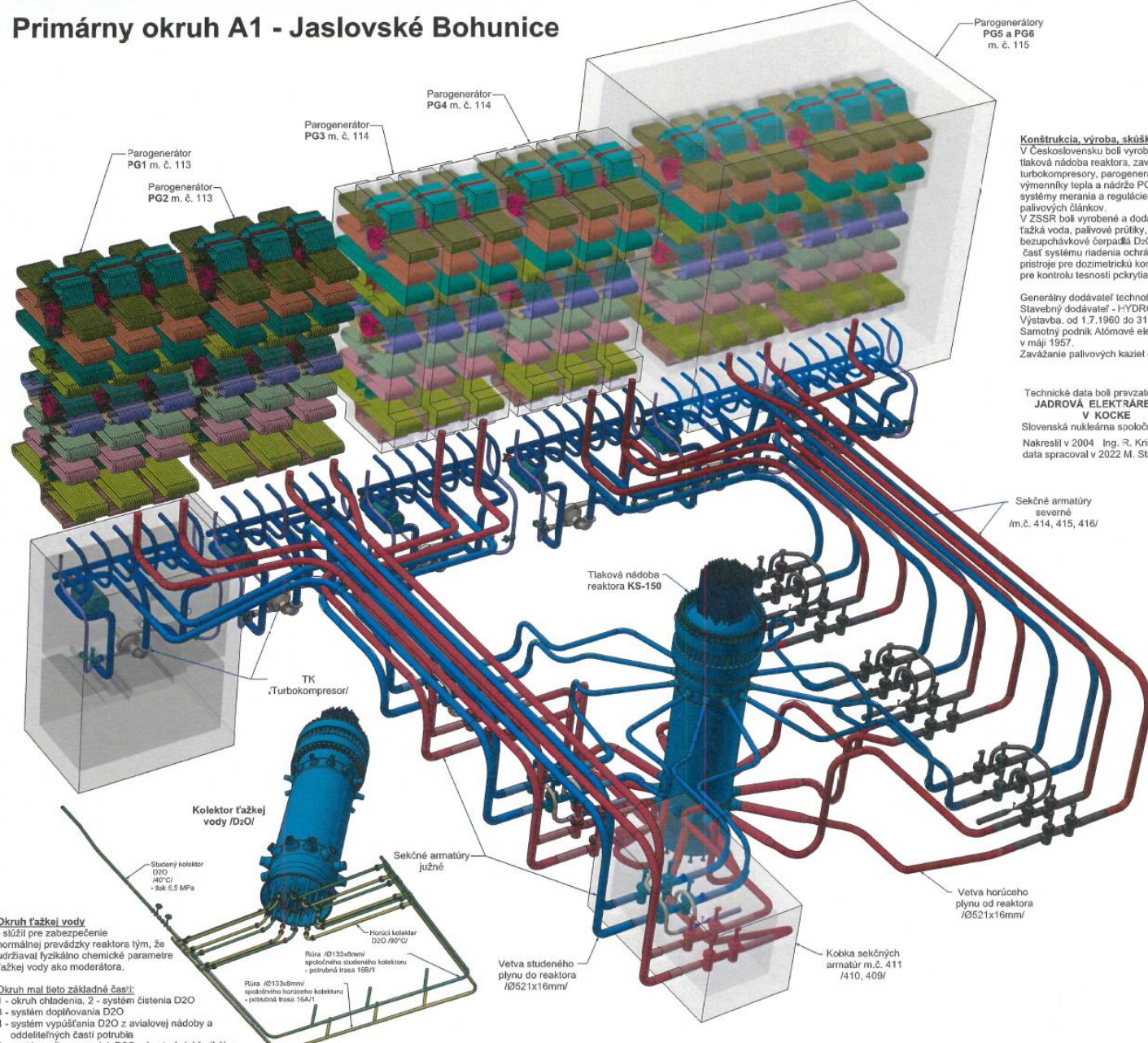
**III. a IV. etapa** – Pôvodné nastavenie etáp vyradovania od roku 1999 obsahovalo postupnosť dvoch 8-ročných etáp (I. a II.), dvoch 4-ročných etáp (III. a IV.) a záverečnú V. etapu, ktorá obsahuje vyradenie reaktora. Skúsenosti nadobudnuté pri realizácii II. etapy a dosiahnutý stav pri vyradovaní viedli k spojeniu III. a IV. etapy do jedného celku.

Hlavným cieľom III. a IV. etapy VJE A1 je dosiahnutie stavu, keď budú vyradené všetky pôvodné prevádzkové zariadenia vo vonkajších aktívnych objektoch JE A1, ďalej nevyužitelných vonkajších nádrží, potrubných systémov kanálov a stavebných objektov, sanácia podzemných kontaminovaných vôd a kontaminovaných zemín.

V objektoch HVB (obj. 30, 32 a 34) je hlavným cieľom III. a IV. etapy dosiahnuť koncový stav, kedy budú vyradené:

- primárny okruh a jeho súvisiace technologické časti,
- parogenerátory PG3 a PG4 a turbokompresory s príslušenstvom,
- časť technologických zariadení v hlavnom výrobnom bloku JE A1 vyvinutých a inštalovaných pre realizáciu prípravy vyhoretého jadrového paliva na transport,
- ostatné nadväzujúce technologické zariadenia v objekte hlavného výrobného bloku a vonkajších objektoch JE A1.

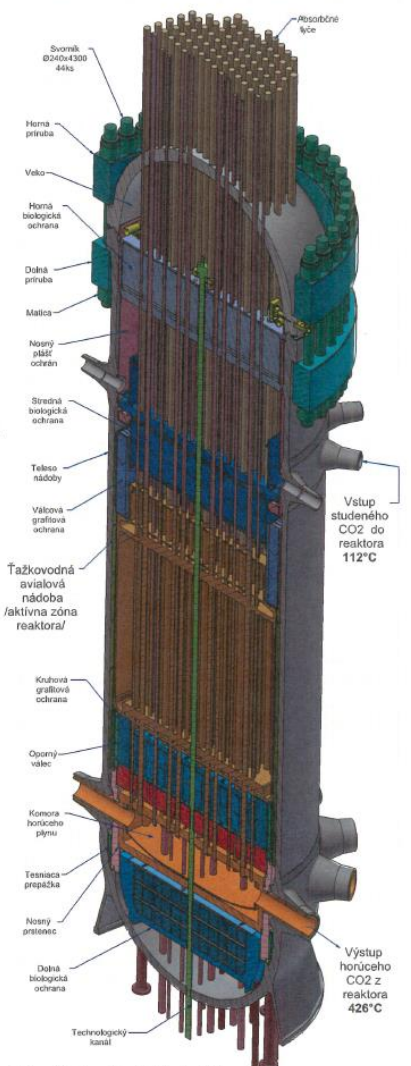
# Primárny okruh A1 - Jaslovské Bohunice



**Konštrukcia, výroba, skúšky**  
 V Československu boli vyrobené tieto komponenty: tlaková nádobá reaktora, zaväzací stroj, turbokompresory, parogenerátory, základné potrubie, výmenníky tepla a nádrže PO, elektrotechnické systémy, systémy merania a regulácie a konštrukčné časti palivových článkov.  
 V ZSSR boli vyrobené a dodané: ťažká voda, palivové prútky, časti vyrobené zo zirkónia, bezupchávkové čerpadlá D2O, elektronická a elektrická časť systému riadenia ochrán reaktora, prístroje pre dozimetrickú kontrolu, systémy a prístroje pre kontrolu tesnosti pokrytia palivových prútkov.

Generálny dodávateľ technológie - SKODA - ZVJE  
 Stavebný dodávateľ - HYDROSTAV, n.p.  
 Výstavba. od 1.7.1960 do 31.12.1972  
 Samotný podnik Atómové elektrárne Bohunice bol založený v máji 1957.  
 Zaväzanie palivových kaziet do reaktora začalo 4. októbra 1972

Technické údaje boli prevzaté z knihy:  
**JADROVÁ ELEKTRÁREŇ A1 V KOCKE**  
 Slovenská nukleárna spoločnosť 2010  
 Nakreslil v 2004 Ing. R. Kristína, AIIDeco  
 data spracoval v 2022 M. Staňák, VUJE, 0770



**Reaktor KS-150** - Heterogénny s tepelnými neutrónmi, tlaková nádobá na ochrmatelnom veku je pripojených:  
 - 143 technologických kanálov, - 32 kompenzačných tyčí, - 4 havarijné tyče, - 2 rúry hladinomerov ťažkej vody, - 4 rúry pre ožar. Inox vzorky, - 2 rúry spúšťacích komôr, - 2 rúry na ožarovanie avialových vzoriek, - 3 rúry na meranie tlaku a teploty, - rúrka na preuk traskavej zmesi, - 5 rúrok na odvod traskavej zmesi, - 40 káblových trás k pohonu SUZ, - 148 termočlánkových káblových trás pre meranie teploty.

**Tlaková nádobá** - uhľiková perlitická oceľ s malým obsahom Co, Ø5100x20100mm, menovitá hrúbka steny - 150mm, max. hrúbka - 600mm, **Pracovný tlak** - 6,5 MPa, **Pracovná teplota** - 120 až 150°C, **Aktívna zóna** - Ø3650 x 4000mm, **Hmotnosť paliva** - 23,1 T, **Palivový článok** - prútkový s rebrovanným pokrytím, Ø6,3 x 4000mm, pokrytie - Mg-Be hrúbka 0,5mm, počet prútkov v článku centrálnej - 75ks a periférnej zóny - 63ks, teplota pokrytia prútku - max. 500°C, vonkajší priemer palivového článku - Ø102 až 110mm

**Avialová nádobá** - prechádza ňou 44 centrálnych a 104 periférnych technologických kanálov, dnom AN vstupujú rúry privodu ťažkej vody,

**Regulácia, ochrany a merania** - 2x2 regulačné tyče, 32 kompenzačných tyčí, 4 havarijné tyče, **Palivo** - neobohatený kovový urán s pokrytím horčík - beryliovej zliatinou

**Moderátor** - D2O /ťažká voda/, **Chladivo** - CO2, **Tepelný výkon** - 560MW, **Elektrický výkon** - 150MW, **Merný tepelný výkon** - 22,8kW/t uránu, **Hmotnosť moderátora** - 57,2 T

**Primárny okruh**  
 - 6 chladiacich cirkulačných slučiek, 12 - cirkulačných potrubí, 6 - cirkulačných turbokompresorov, otáčky turbokompresora - 3000 ot./min, tlak na vstupe do reaktora - 6,5 MPa, tlak na výstupe z reaktora - 5,54 MPa, prietok plynu na jednu slučku - 1000 T/hod., 3 turbogenerátory vyrobili 172T/h stredotlakaj pary pri tlaku max. 3,15 MPa a teplote max. 415°C

**Okruh ťažkej vody**  
 - slúžil pre zabezpečenie normálnej prevádzky reaktora tým, že udržiaval fyzikálne chemické parametre ťažkej vody ako moderátora.

**Okruh malého základného časti:**  
 1 - okruh chladenia, 2 - systém čistenia D2O  
 3 - systém dopĺňania D2O  
 4 - systém vypúšťania D2O z avialovej nádoby a oddeliteľných častí potrubia  
 5 - systém odberu vzoriek D2O a kontroly jej fyzikálno-chemických parametrov  
 6 - systém signalizácie a odvodu únikov D2O pri normálnej prevádzke a poruchách

Okruh chladenia mal tri nezávislé slučky s cirkulačnými čerpadlami, každá slučka mala odparku, separátor D2O, kondenzátor D2O a spojovacie potrubie  
**Prietok** - 465T/h, **Tlak na sani čerpadla** - 6,7 MPa, **Teplota** - do 90°C,

**Plynové hospodárstvo**  
 - slúžilo na skladovanie a manipuláciu s CO2  
 - na RS bol umiestnený skvapalňovač a odparovač-prehrievač CO2  
 - objem kvapalného CO2 v nádržiach 4x9,6 m<sup>3</sup>  
 - skladovací objem 4x20 m<sup>3</sup>,  
 - prevádzkový tlak 1,4 až 1,6 MPa  
 - prevádzková teplota -27 až -35°C,

**Havária v JE A1**  
 Dňa 5.1.1975 v 11:55 hod. došlo pri zaväzani čerstvej palivovej kazety k uvoľneniu zátky TK H-05..... nastalo vymrštenie PC na RS a únik chladiaceho plynu do priestorov A1

Dňa 22.2.1977 v popoludňajších hodinách začala výmena PC C-05 za výkonovej prevádzky reaktora /93MW/  
 Havária bola spôsobená postupným zbyhaním ľudského činiteľa - vysypány silikágel v PC spôsobil jeho prehriatie a tepelnú deštrukciu PK... v dôsledku čoho nastal prietok ťažkej vody do plynového potrubia a poškodenie pokrytia všetkých PC, kontaminácia PO najmä PG

**Aktuálny stav demontáže parogenerátorov, sekčných armatúr a hlavných cirkulačných potrubí na JE A1 k 31.03.2024**

Poznámka:  
- žltou farbou sú označené komponenty, ktoré sa demontujú v 4. etape vyrábajú

Parogenerátor PG 6 m.č.115

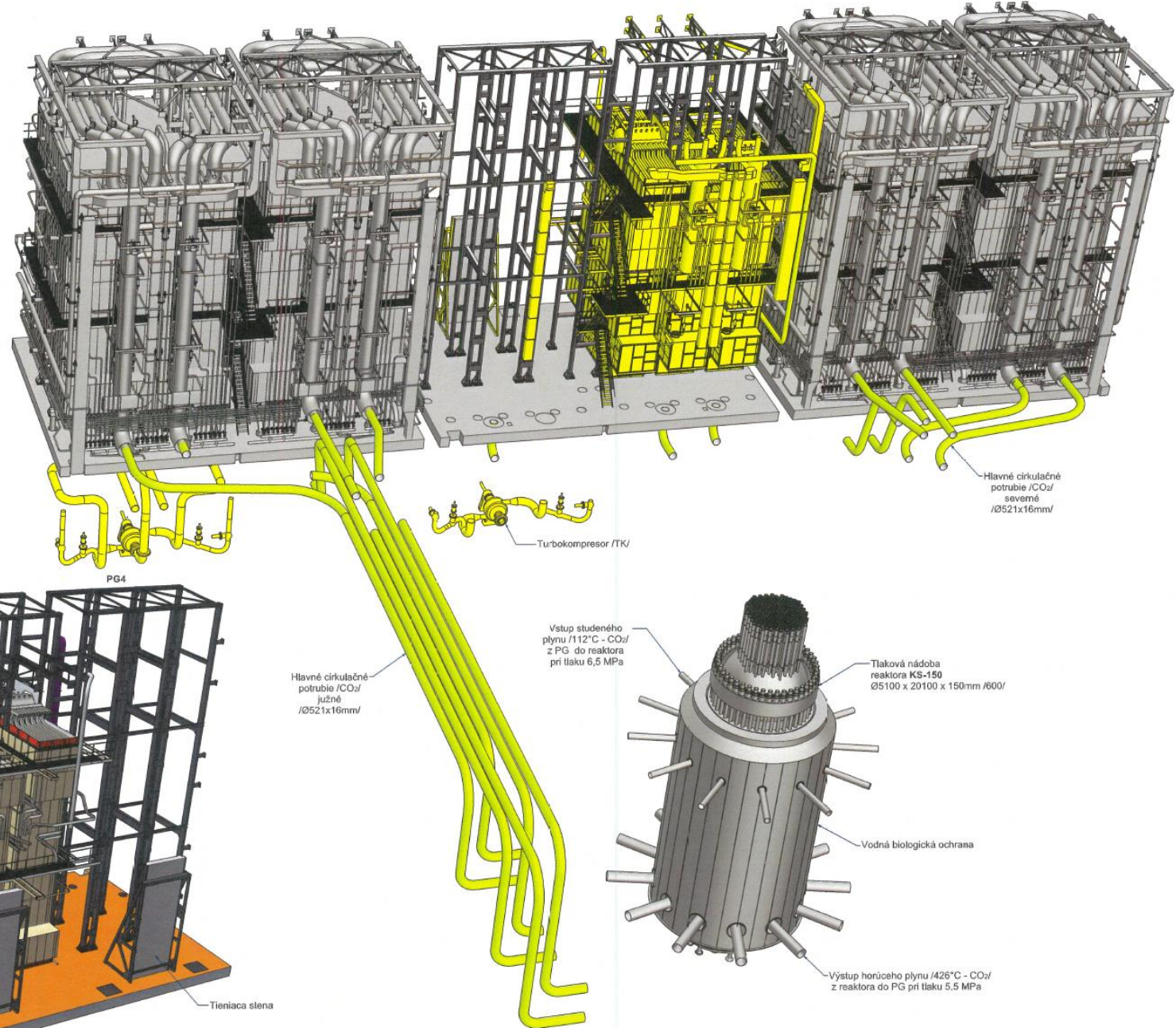
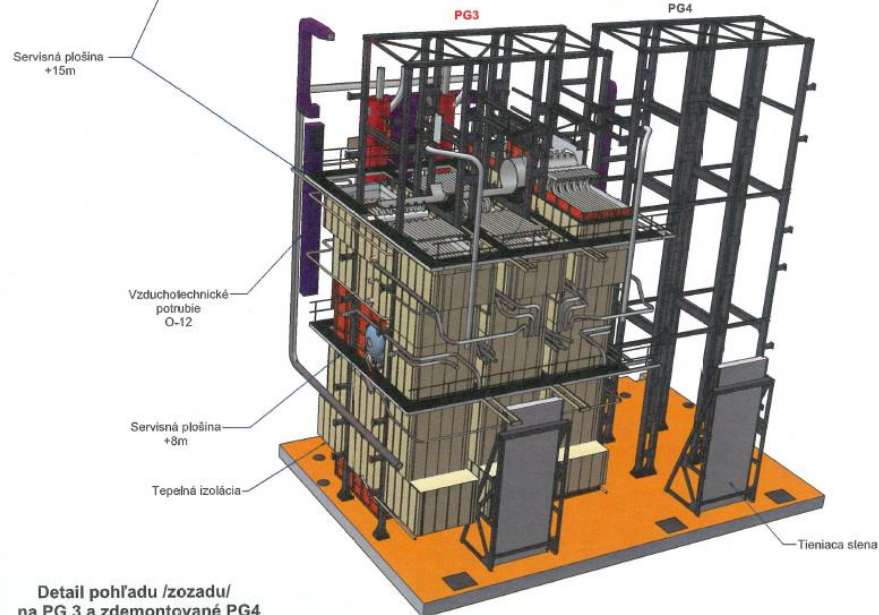
Parogenerátor PG 5 m.č.115

Parogenerátor PG 4 m.č.114

**Parogenerátor PG 3 m.č.114**

Parogenerátor PG 2 m.č.113

Parogenerátor PG 1 m.č.113



Detail pohľadu /zozadu/ na PG 3 a zdemontované PG4





Demontáž a dekontaminácia primárnych potrubí  
JE A1 Jaslovské Bohunice



# Demontáž technológie parogenerátorov 3,4 JE A1 Jaslovské Bohunice



Postup vyrad'ovania podzemných nádrží  
vonkajších objektov  
JE A1 Jaslovské Bohunice

**2025-2033**

**V. etapa** – plánovaná V. etapa VJE A1 má byť poslednou etapou projektu vyradovania JE A1. Hlavným predmetom vyradovania v V. etape vyradovania A1 je reaktor, zostávajúce parogenerátory, vymieracia šachta manipulačného boxu (bývalá horúca komora) s príslušenstvom, dlhodobý sklad pre VJP z JE A1 s príslušenstvom.

V piatej etape je ďalej plánované aj pokračovanie činností v oblasti spracovania kvapalných a pevných rádioaktívnych odpadov, spracovania PDS, sanácie podzemných a priesakových vôd, sanácia a triedenie kontaminovaných zemín a ostatných súvisiacich činností.

## **Činnosti, ktoré budú realizované aj po roku 2033**

Po roku 2033 bude realizovaná fáza vyňatia jadrového zariadenia z pôsobnosti zákona 541/2004 Z. z. (atómový zákon), ktorej predmetom bude nakladanie so zvyšnou časťou RAO a likvidácia zostávajúcej časti zariadení inštalovaných v JE A1 pre účely realizácie vyradovania, odstránenie stavebnej časti hlavného výrobného bloku a nevyhnutného rozsahu zostávajúcich zariadení, ktoré boli potrebné až do záverečnej fázy V. etapy vyradovania JE A1.

**Odstránením stavebných konštrukčných častí hlavného výrobného bloku JE A1 bude dosiahnutý plánovaný konečný stav vyradovania JE A1, ktorý predstavuje úplné vyňatie JZ JE A1 spod administratívnej kontroly v súlade s atómovým zákonom a zákonom o radiačnej ochrane.**

## **Vyrad'ovanie JE V1**

V súlade s Uznesením vlády Slovenskej republiky č. 809/1998 bola prevádzka 1. bloku ukončená 31. 12. 2006. Prevádzka 2. bloku bola ukončená 31. 12. 2008.

Cieľom vyrad'ovania JE V1 je vyňatie jadrového zariadenia spod pôsobnosti Atómového zákona prostredníctvom demontáží zariadení, demolácií budov, vyčistenia lokality a manažmentu odpadov z vyrad'ovania JE V1, následného spracovania a bezpečného uloženia rádioaktívnych odpadov (RAO) v Republikovom úložisku RAO v Mochovciach, resp. ich bezpečného skladovania v Integrovanom sklade RAO v lokalite Jaslovské Bohunice.

Vyrad'ovanie JE V1 je realizované v dvoch etapách, ktorých cieľom je uvoľnenie areálu JE V1 spod administratívnej kontroly.

## **Prvá etapa vyrad'ovania JE V1**

Rozsah prác prvej etapy vyrad'ovania JE V1 (2011 – 2014) zahrňoval demontážne činnosti nekontaminovaných zariadení a odstraňovanie stavieb tzv. sekundárneho okruhu, t. j. mimo kontrolovaného pásma jadrovej elektrárne, ktoré neboli potrebné na ďalšie využitie.

Časť činností plánovaných realizovať v rámci 1. etapy nebolo kompletne ukončených a ich ukončenie bolo presunuté do 2. etapy. Išlo o činnosti zahrnuté do rozsahu projektov: C7-B Spracovanie historických kalov a sorbentov. D2 Dekontaminácia primárneho okruhu a C8 Integrovaný sklad v lokalite Bohunice.

Súčasťou prvej etapy boli aj projektové činnosti prípravy vyrad'ovania, projektových zmien a úprav pre nasledujúcu etapu vyrad'ovania.

V závere tejto etapy bola vypracovaná dokumentácia potrebná pre získanie povolenia na 2. etapu vyrad'ovania JE V1.

## **Druhá etapa vyradovania JE V1**

Realizácia 2. etapy vyradovania JE V1 začala 1. 1. 2015 na základe Rozhodnutia ÚJD SR č. 900/2014 vydaného dňa 23. 12. 2014. Vyradovanie JE V1 je realizované prostredníctvom parciálnych projektov, ktoré pokrývajú všetky aktivity, potrebné pre dosiahnutie stanoveného cieľa – vyňať jadrové zariadenie spod pôsobnosti zákona č. 541/2004 Z.z. Atómový zákon s obmedzeným využitím a so zabezpečenými inštitucionálnymi opatreniami.



Číslo projektu	Názov projektu	Stav projektu
A1.11	PMU Konzultant	realizuje sa
B6.6A	Podporné prieskumy vyrad'ovania	realizuje sa
<b>C7-A4</b>	Zariadenia na pretavovanie kovových RAO	<b>ukončené</b>
D0	Implementácia programu vyrad'ovania s využitím ľudských zdrojov dostupných v JE Bohunice V1	realizuje sa
D4.1	Modifikácia elektrárne a montáž nových zariadení	realizuje sa
<b>D4.2</b>	Demontáž veľkorozmerných komponentov primárneho okruhu	<b>realizuje sa</b>
D4.4B	Demontáž systémov v kontrolovanom pásme JE V1 – 1. časť	realizuje sa
D4.4C	Demontáž systémov v kontrolovanom pásme JE V1 – 2. časť projektu D4.4C.01	realizuje sa
D4.7	Dekontaminácia a demolácia budov JE V1 a uvedenie areálu do pôvodného stavu, podprojekt D4.7.01	príprava

# Projekt D4.2

- Zhotoviteľ: Konzorcium Westinghouse Electric Spain; Westinghouse Electric Sweden; VUJE
- Začiatok Projektu: 10/2017
- Plánované ukončenie projektu: 07/2025
- Aktivity VUJE:
  - Demontáž a fragmentácia hlavných kontaminovaných komponentov JE V1 :
    - Parogenerátory
    - Kompenzátor objemu a barbotážna nádrž
    - Hlavné uzatváracie armatúry
    - Hlavné cirkulačné čerpadlá
    - Hlavné cirkulačné potrubia
    - Systém ŠOV-1
    - Mogilnik (demontáž stavebnej časti a skladovacích rúr)
  - Zaistenie a odpojenie systémov v hermetickej zóne
  - Demontáž a fragmentácia vybraných pomocných systémov a komponentov hermetickej zóny
  - Návrh, vypracovanie projektovej dokumentácie, výstavba, uvádzanie do prevádzky a samotná prevádzka pracovísk suchého rezania PG + HCC a HUA

