



REAKTOR LVR-15



LVR-15 je výzkumný lehkovodní reaktor tankového typu umístěný v beztlakové nádobě pod stínícím víkem, s nuceným chlazením a s provozním tepelným výkonem do 10 MW.

Obr. 1: Pohled na reaktor LVR-15

Historie

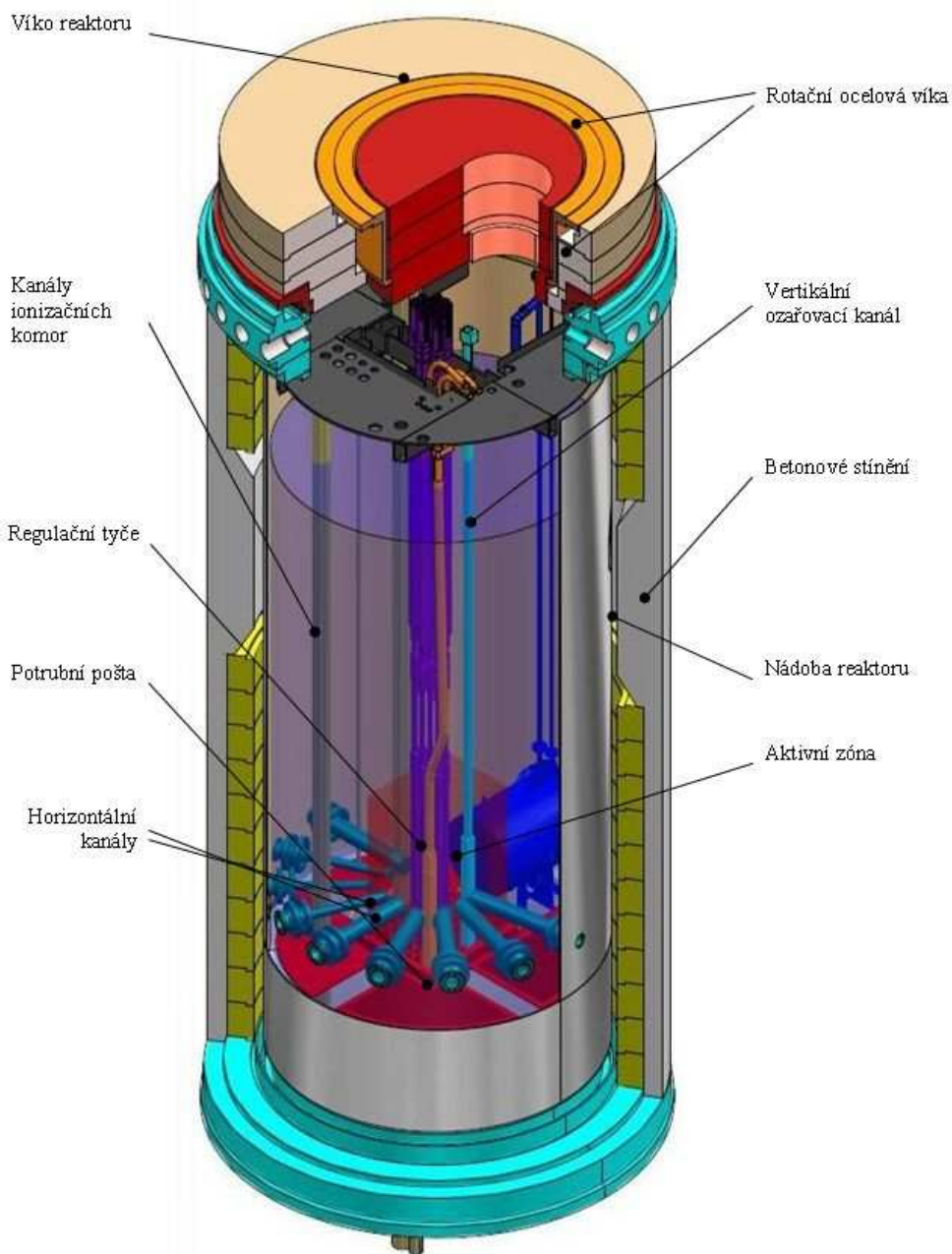
Předchůdcem reaktoru LVR-15 byl výzkumný reaktor VVR-S o jmenovitém tepelném výkonu 2 MW. Palivem v tomto reaktoru byl proutkový typ EK-10 s obohacením 10 % izotopu ^{235}U . V letech 1987 – 1989 proběhla přestavba reaktoru VVR-S na LVR-15, kdy byla vyměněna všechna technologická zařízení včetně nádoby reaktoru. Původní nádoba byla hliníková, nová nádoba je již z nerez oceli. Palivem pro nový reaktor byl typ IRT-2M. V první fázi bylo obohacení paliva izotopem ^{235}U 80 %, v druhé fázi pak 36 %. V roce 1989 byl zahájen zkušební provoz a od roku 1995 je reaktor v trvalém provozu.

Účel reaktoru

LVR-15 je výzkumné jaderné zařízení využívané pro potřeby výzkumu a průmyslu v těchto oblastech:

- materiálový a fyzikálně metalurgický výzkum (ozařování materiálů TNR, korozní zkoušky materiálů primárního okruhu a vnitřních vestaveb jaderných elektráren) v experimentálních smyčkách a sondách
- testy vodních režimů primárních okruhů jaderných elektráren
- neutronová aktivační analýza (používaná ke stanovení složení látek)
- výroba a vývoj nových radiofarmak (^{153}Sm , ^{161}Tb , ^{165}Dy , ^{166}Ho , ^{169}Er , ^{60}Co , ^{192}Ir , ^{182}Ta , ^{198}Au)
- výroba křemíku neutronovým legováním pro elektrotechnický průmysl (dopování křemíku fosforem s využitím ozařování neutrony výrazně zlepšuje homogenitu měrného odporu oproti jiným metodám)
- ozařovací servis (výroba radioizotopů - ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{113}Sn - $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{188}W - ^{188}Re)
- neutronová radiografie

- vědecký výzkum vlastností materiálů na horizontálních kanálech (neutronová fyzika a fyzika pevné fáze)
- neutronová záchytová terapie (ozařování pacientů s mozkovým nádorem typu glioblastoma)
- Svazky neutronů vyváděné z reaktoru horizontálními kanály využívají vědečtí pracovníci z Ústavu jaderné fyziky ČAV a FJFI ČVUT pro následující experimenty:
 - neutronové měření struktur a textur při pokojových a heliových teplotách
 - neutronové hloubkové profilování, studium okamžitého záření gama z radičního zachytu neutronů
 - neutronová optika, neutronová topografie
 - měření textur v polykrystalických kovových materiálech
 - neutronová interferometrie
 - studium lokálních napětí v polykrystalických materiálech



Obr. 2: Řez reaktorem LVR-15

Popis reaktoru

Reaktor je konstruován jako zařízení se životností nádoby 30 let. Nádoba je vyrobena z nerez oceli (08CH18N10T). Horizontální kanály, nosná deska aktivní zóny a plášť aktivní zóny je vyroben z hliníku o čistotě 99 %. Nosná litinová deska, která je upevněna v šachtě reaktoru, zůstala po rekonstrukci VVR-S na LVR-15 beze změny, výřezy v této desce určují polohu hrdel a trubek, které z nádoby vycházejí pro připojení primárního okruhu.

Základní parametry nádoby:

- vnější průměr ... 2300 mm
- výška ... 5760 mm
- tloušťka stěny ... 15 mm
- tloušťka dna ... 20 mm
- objem vody v nádobě ... 22 m³
- hmotnost nádoby bez vody ... 7900 kg

Stínění reaktoru v radiálním směru je tvořeno vrstvou vody o síle 0,8 m, vrstvou litiny o tloušťce 0,2 m a vrstvou těžkého betonu tloušťky asi 2,3 m. V axiálním směru je tvořeno v horní části vrstvou vody nad aktivní zónou o tloušťce 3,5 m a vrstvou ocelolitiny o síle 0,8 m (víkem). Ve spodní části pak vrstvou 1 m vody pod aktivní zónou a litinovou deskou pod nádobou.

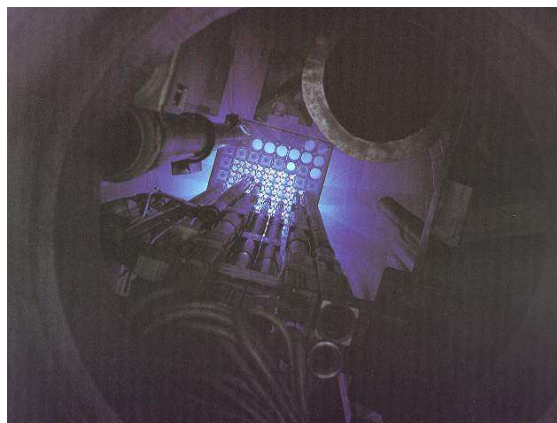
Reaktor je provozován po kampaních, jedna kampaň trvá 3 týdny, pak je reaktor týden odstaven a probíhá přestavba aktivní zóny a s tím spojené činnosti.

Maximální tepelný výkon reaktoru je 10 MW.

Aktivní zóna

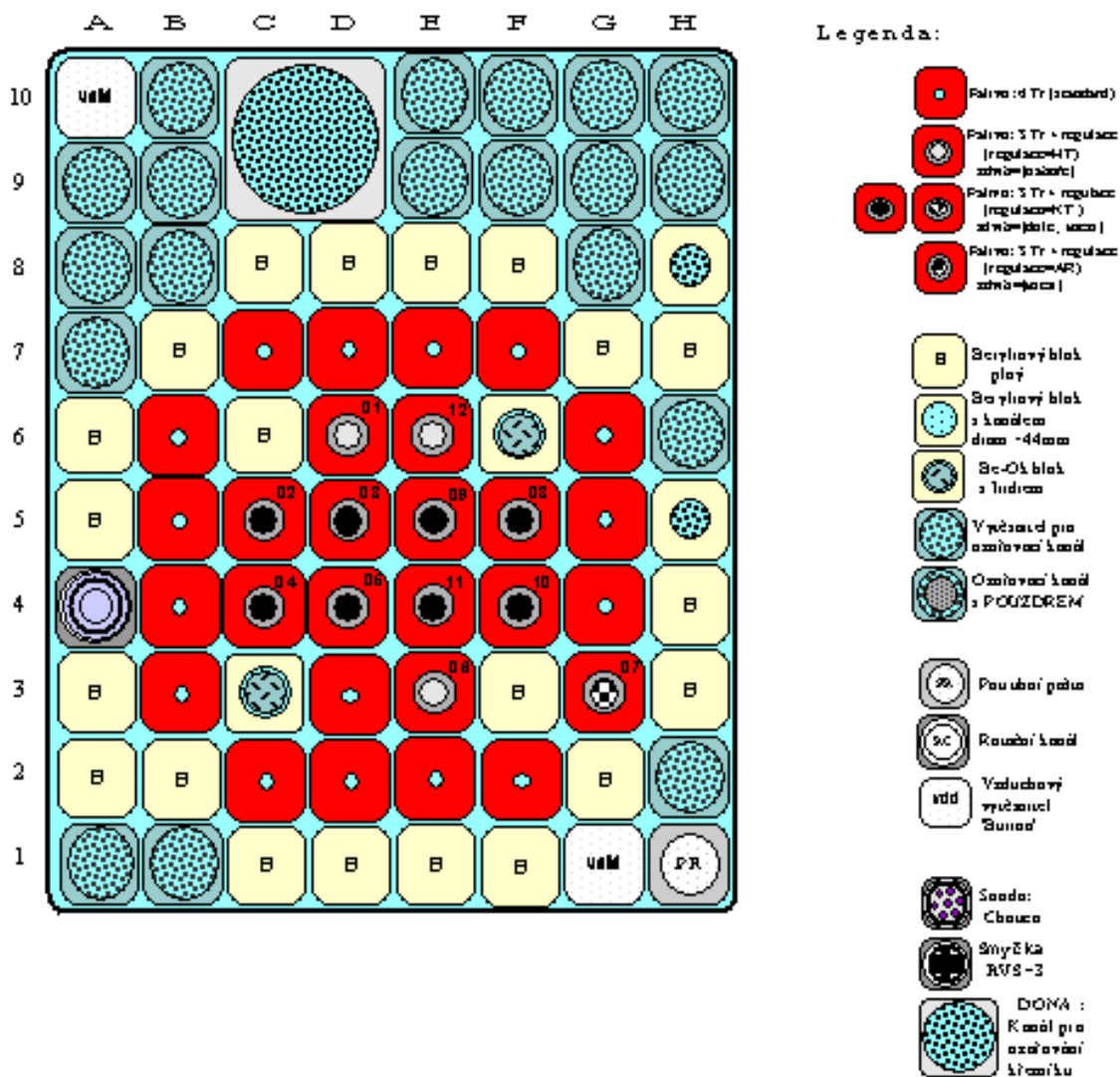
Je tvořena hliníkovým košem (tzv. separátorem), do kterého jsou zakládány palivové články, beryliové bloky, hliníkové vytěsnitele a ozařovací kanály. Střed aktivní zóny je umístěn cca 1,4 m nad dnem reaktoru. Mříž aktivní zóny má krok 71,5 mm a je uspořádána do tvaru obdélníku 8 x 10 buněk.

Na obr. 3 je znázorněn kartogram aktivní zóny. 28 – 32 buněk je osazeno palivovými soubory, ve 12 palivových souborech jsou regulační tyče, 4 buňky mezi palivem jsou určeny pro kanály sond, na periferii aktivní zóny jsou umístěny aktivní kanály experimentálních smyček, rotační kanál pro ozařování křemíku, potrubní pošta a vertikální ozařovací kanály. Ostatní buňky jsou osazeny beryliovými reflektory nebo vodními vytěsniteli.



Pozn. Modré Čerenkovovo záření, které můžeme v reaktoru vidět, je elektromagnetickou obdobou zvukové rázové vlny. Vzniká při rozpadu dceřiných produktů štěpení. Tyto produkty se rozpadají beta rozpadem a právě beta záření (tj. elektrony) je tvůrcem modrého světla, neboť se ve vodním prostředí pohybuje nadsvětelnou rychlostí.

Obr. 3: Pohled do aktivní zóny na Čerenkovovo záření

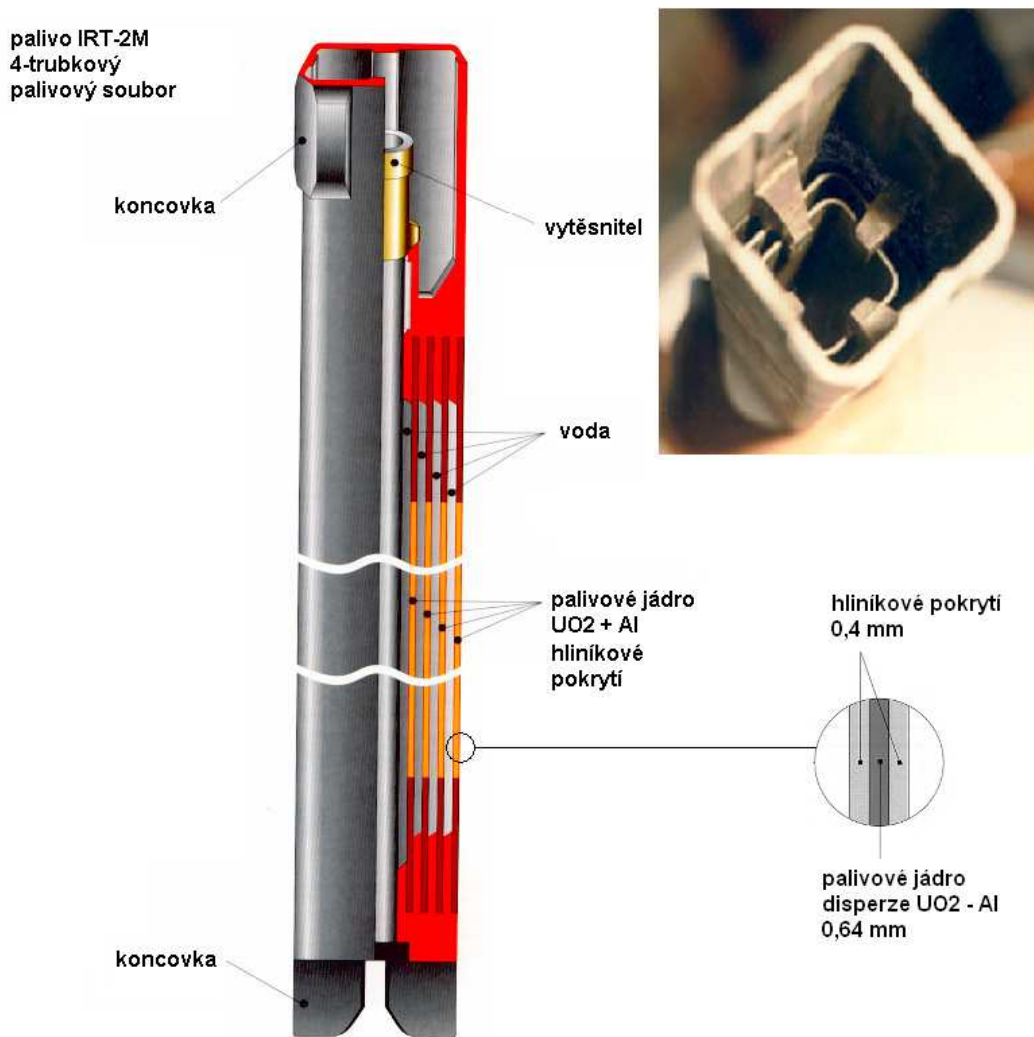


Obr. 4: Kartogram aktivní zóny

Palivo

V reaktoru je používáno ruské palivo IRT-2M (výrobce NZCHK Novosibirsk) s obohacením 36 % ^{235}U (do roku 1998 bylo používáno palivo IRT-2M s obohacením 80%). Palivové soubory jsou sendvičového typu, jádro je tvořeno disperzí UO_2 a hliníkového prášku. Soubory mají formu trubek čtvercového průřezu, které jsou koncentricky sesazeny do tří a čtyřtrubkových souborů. Palivový soubor je z obou stran osazen koncovkami z hliníku. Pokrytí paliva je též z hliníku. Délka palivového souboru je 880 mm, délka aktivní (palivové) části je 60 mm. Do centrální trubky je možno instalovat kanál s regulační tyčí. Hmotnost ^{235}U ve čtyřtrubkovém palivu je 230 g, ve třítrubkovém 198 g.

Veškeré palivo podléhá pravidelným kontrolám podle mezinárodních smluv. Kontroly provádějí inspektoři MAAE, Euratomu a SÚJB.



Obr. 4: Čtyřtrubkový palivový soubor IRT-2M

Štěpná řetězová reakce

V jaderném reaktoru vzniká teplo štěpením jaderného materiálu. Ke štěpné jaderné reakci dochází u těžkých atomových jader (např. ^{235}U) při jejich ostřelování neutrony. V lehkovodních reaktorech se štěpí izotop uranu 235.

V přírodním uranu je podíl ^{235}U v ^{238}U pouze 0,07 %. Pro použití v lehkovodním reaktoru je třeba přírodní uran obohatit izotopem ^{235}U . V našich jaderných elektrárnách (Dukovany a Temelín) se používá obohacení do 5 %. Pro výzkumné reaktory se používá různé obohacení, reaktor LVR-15 pracuje s palivem obohaceným na 36 % a např. školní reaktor VR-1 Vrabec pracuje s palivem obohaceným do 20 %. Nutno podotknout, že LVR-15 též postupně přejde na palivo s obohacením do 20 %. LVR-15 tedy štěpí ^{235}U prostřednictvím tepelných neutronů.

Tepelná energie neutronů je v rozmezí 0,002 – 0,5 eV (jeden elektronvolt odpovídá kinetické energii, kterou získá elektron urychlený ve vakuu napětím 1 V; 1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J).

Při štěpné reakci neutron pronikne do jádra uranu, je absorbován, předá jádru energii, jádro se rozkmitá a rozdělí se většinou na dva odštěpky, které se od sebe vzdalují velkou rychlostí. Odštěpky jsou brzy zbrzděny nárazy o okolní atomová jádra, jejich pohybová energie se tak mění na energii tepelnou.

Při rozštěpení jádra uranu se rovněž uvolní dva až tři rychlé neutrony. Aby se zvýšila pravděpodobnost štěpení dalšího jádra, musíme tyto neutrony zpomalit (moderovat) pomocí srážek s moderátorem (často se používá voda, která slouží současně jako chladivo).

Pro zajímavost: $1 \text{ g } ^{235}\text{U} = 1 \text{ MWd}$

Řízení reaktoru

Při štěpení jádra ^{235}U vznikají na jeden neutron 2 až 3 volné neutrony, odtud název řetězová reakce. Aby se dal reaktor bezpečně řídit, je třeba jej udržovat v kritickém stavu, tzn. poměr neutronů ve dvou po sobě jdoucích generacích má být roven jedné. Přebytečné neutrony musejí být pohlceny. Absorbátorem neutronů na LVR-15 je bór.

K řízení reakce je používáno 12 regulačních tyčí, které jsou zavěšeny na konzole pevně spojené s nosníkem nádoby v horní části nádoby. 8 tyčí je kompenzačních, 3 tyče jsou havarijní a jedna tyč je v režimu automatického regulátoru. Absorpční část regulačních tyčí je vyrobena z karbidu bóru.

Chlazení reaktoru

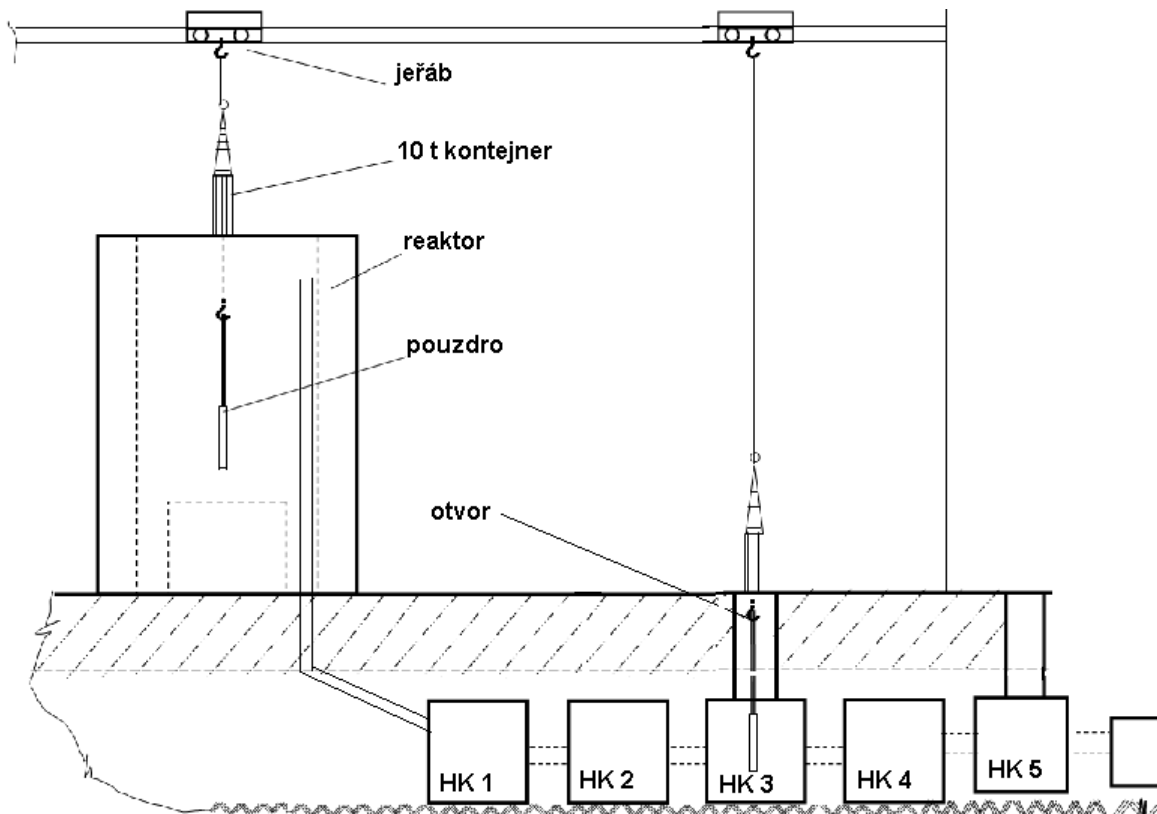
Generované teplo v aktivní zóně je odváděno přes tři chladicí okruhy do řeky Vltavy. Primární chladicí okruh je osazen 5 hlavními cirkulačními čerpadly a 2 čerpadly pro nouzové dochlazování připojenými na akumulátory, které zajišťují průtok chladicí demineralizované vody aktivní zónou a tepelnými výměníky. Při výpadku vnějšího napájení reaktoru el. energií je dochlazení aktivní zóny zajištěno jedním hlavním čerpadlem a jedním čerpadlem pro nouzové dochlazování, každé z nich je napájeno el. energií ze samostatného dieselgenerátoru. Maximální teplota chladicího média na výstupu z reaktoru je $51 \text{ }^\circ\text{C}$, maximální průtok primárním okruhem je $2100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Manipulace s ozářenými vzorky

Zpracování ozářených pouzder a demontáže materiálových vzorků z ozařovacích sond a vodních smyček je prováděno v 5 horkých komorách, viz obr. 5. Horké komory se nacházejí v přízemí budovy reaktoru, pod úrovní podlahy haly reaktoru, jak je vidět na obr. 5.

Mokrý zásobník a odložiště

Mokrý zásobník je určen ke skladování a přechodnému uložení vyhořelých palivových kazet, vyjmutých z AZ. Je to hliníková nádoba umístěná v podlaze reaktorové haly, chráněná ze všech stran betonem, plátovaným ocelovým pouzdem. Spojení horního okraje nádoby reaktoru se zásobníkem je provedeno šikmou trubkou, která ústí u dna zásobníku. Odložiště slouží k dočasnému skladování a ukládání zaktivovaných sond, smyček a dalších aktivních materiálů a k přechodnému uskladnění vyhořelých palivových kazet. Je umístěno v zadní části budovy reaktoru. Skladovací prostor je tvořen dvěma bazény 7 m hlubokými, které jsou vyrobeny z nerez plechu a napuštěny demineralizovanou vodou.



Obr. 5: Přeprava ozářených vzorků do horkých komor

Monitorování

Vzduchotechnický systém reaktoru LVR-15 slouží k odvětrání technologických prostor, udržování podtlaku a shromáždění aktivity do ventilačního komína k měření vypouštěné aktivity.

Trvale jsou monitorovány objemové aktivity vzácných plynů a beta aktivních aerosolů ve ventilačních větvích (radioaktivní jód, beta-aktivní aerosoly, radioaktivní plyny, alfa-aktivní aerosoly, tritium (^3H) a izotop uhlíku ^{14}C). Monitorování podléhají i osoby, oděvy a veškeré odpady.

Pracovníci vykonávající činnost v objektu reaktoru jsou vybaveni osobními dozimetry pro měření dávkových ekvivalentů všech druhů záření (beta, gama a neutrony). Provoz výzkumného reaktoru LVR-15 splňuje požadavky základních legislativních ustanovení ze strany radiační ochrany předepsaných Vyhláškou SÚJB č.307/2002 Sb.

Provoz reaktoru

V roce 2002 skončila platnost povolení provozu reaktoru, v dubnu 2003 byl provoz od SÚJB povolen do roku 2014. Prodloužení provozu reaktoru je možné do roku 2028.

V prosinci 2001 byla na reaktoru provedena mise INSARR od MAAE, jejímž výsledkem bylo dodržení doporučení MAAE pro bezpečnost výzkumných reaktorů.

Martina Malá