

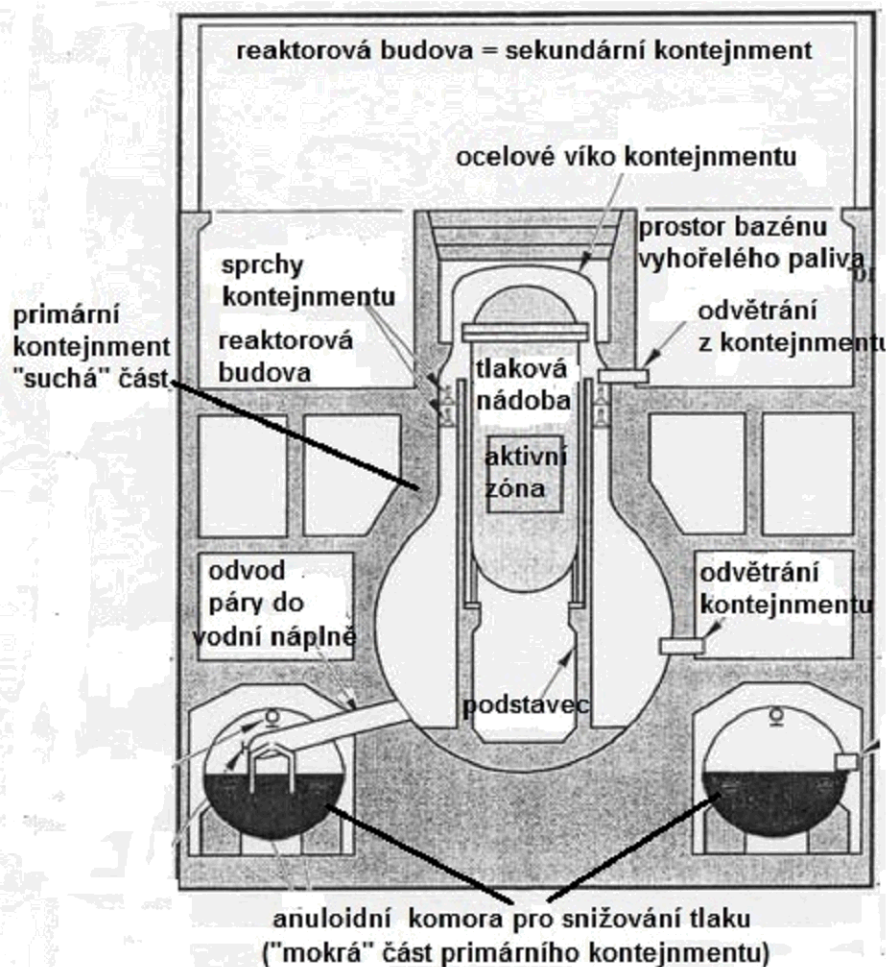
Fukushima Daiichi – zjednodušeně a názorně



Přestože je nyní jaderná elektrárna Fukushima Daiichi jedním z nejčastějších mediálních témat, dozvědět se z těchto médií informace odpovídající skutečnosti je i pro odborníky často oříškem. Mnoha rozporuplným, nepřesným a matoucím informacím se lze vyhnout při alespoň minimálních znalostech o hlavních, s nehodou souvisejících komponentách této elektrárny, resp. jednoho z jejích bloků. Pro snadnější vnímání všech těch zpráv je nutné se seznámit se základními principy, které byly v projektu elektrárny uplatněny zejména s cílem minimalizace dopadů na okolní obyvatelstvo i v krajně nepříznivých situacích. A nebývalá síla zemětřesení doprovázeného obrovskou vodní masou tsunami takovou krajně nepříznivou situací rozhodně je.

Ochranné bariéry proti úniku radioaktivních látek

Bloky jaderné elektrárny Fukushima Daiichi jsou vybaveny varnými reaktory, jejichž hlavním rysem je to, že se v jejich aktivní zóně vyrábí pára, která se přivádí přímo na turbíny. Tato pára je mírně radioaktivní, a proto je celý okruh včetně turbogenerátorů patřičně odstíněn. Z hlediska ochrany proti úniku aktivity do okolí zde existuje několik bariér, podobně jako je tomu i v případě tlakovodních reaktorů, které jsou provozovány také u nás. Schematicky lze tyto bariéry popsat pomocí následujícího zjednodušeného schématu:



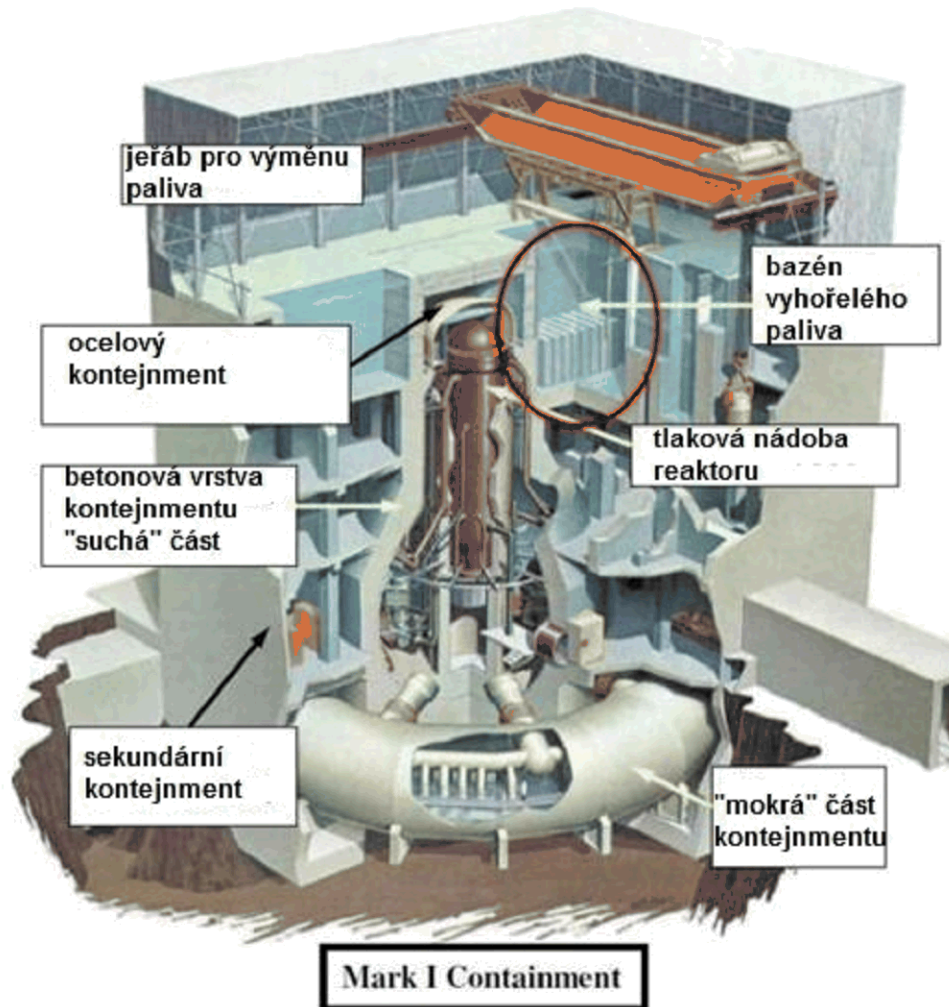
První ochranná bariéra je tvořena samotnými palivovými proutky, které jsou tvořené trubkami ze slitiny zirkonia a naplněné tabletkami paliva z oxidu mírně obohaceného uranu. Tyto trubky jsou na koncích uzavřeny zátkami a zavařeny těsníci svary. Palivové proutky, uspořádané ve skupinách do souborů, jsou rozmístěny v prostoru označeném na schématu jako aktivní zóna. Aktivní zóna je uzavřena v tlakové nádobě, která tvoří další bariéru proti úniku radioaktivity do okolního prostředí. Kolem proutků v aktivní zóně proudí voda, která odvádí teplo ze štěpení. Tato voda se ohřívá až do teploty sytosti a přechází v horní části tlakové nádoby do parní fáze. Dále se pára zbavuje vlhkosti a je vedena přímo na turbínu.

Při štěpení jader uranu kromě uvolňování energie vznikají také radioaktivní produkty, které za normálních podmínek zůstávají většinou v tabletkách, část však dál migruje (obzvláště plynné produkty štěpení) a tuto část pak zachytává bariéra palivového proutku, tj. jeho zirkoniová trubka. Nedojde-li tedy k tavení palivových tabletek a není-li porušena integrita trubky palivového proutku, nedostává se žádná aktivita do okolního prostředí. Ve skutečnosti ovšem absolutní těsnost neexistuje, a proto i za normálních provozních podmínek k určitým přijatelným únikům radioaktivity dochází.

Proto také je chladicí médium reaktoru i za normálního provozu mírně radioaktivní, přičemž dalšímu šíření radioaktivity slouží další ochranná bariéra, a to tlaková nádoba a celý chladicí okruh reaktoru.

I v chladicím okruhu reaktoru existují ovšem netěsnosti, proto se projektuje další ochranná bariéra – kontejnment neboli ochranná obálka. Na schématu výše (odpovídá nejstaršímu bloku č. 1 elektrárny Fukushima Daiichi) je znázorněn primární kontejnment, který sestává ze dvou částí: „suché“ a „mokrě“. Suchá část zachytává médium (páru) unikající z tlakové nádoby reaktoru, mokrá část pak slouží při rostoucím tlaku v suché části ke kondenzaci páry a tím ke snížení tlaku v kontejnmentu. Únik z tlakové nádoby může být jak řízený (například v rámci ochrany tlakové nádoby od nepřiměřeného nárůstu tlaku), tak neřízený (jako důsledek nějaké poruchy těsnosti tlakové nádoby). Kontejnment tak v každém případě zachytává i radioaktivní látky, které uniknou z tlakové nádoby reaktoru.

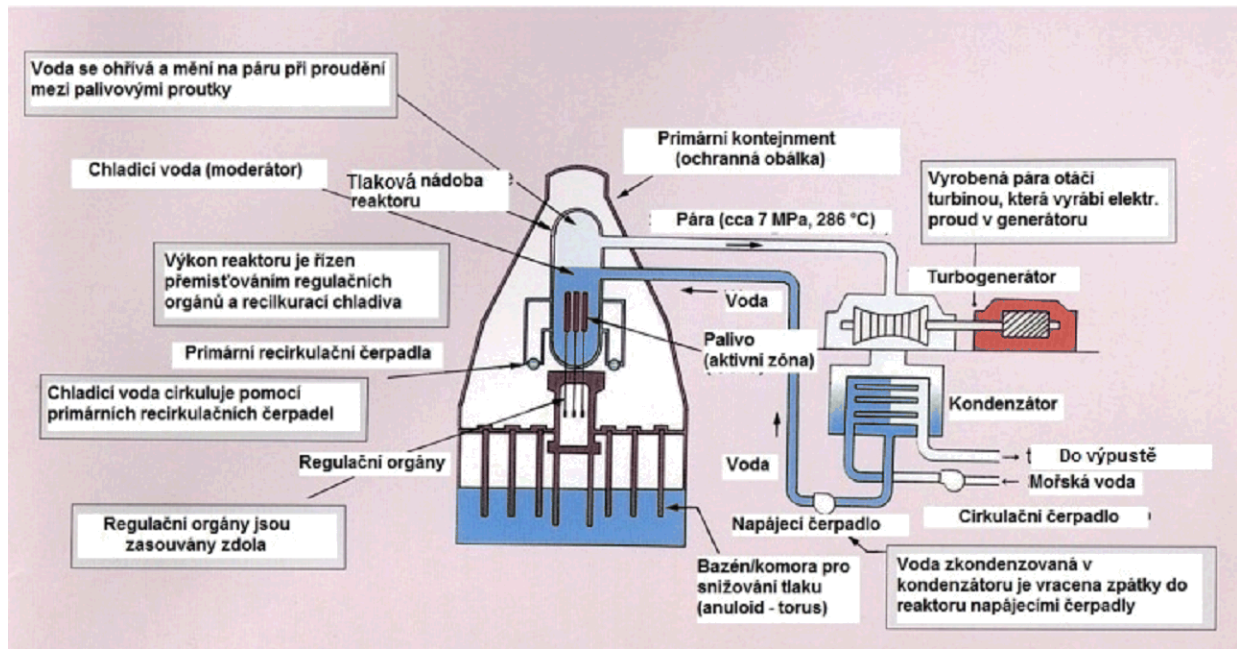
Primární kontejnment je spolu s dalšími obslužnými prostory obestavěn ještě budovou reaktoru – sekundárním kontejnmentem (včetně střechy). Účelem této budovy není odolávat vysokým tlakům, ale zachytit případná uvolňovaná množství aktivity z primárního kontejnmentu nebo jiných zdrojů. Proto je v této budově za provozu udržován podtlak, minimalizující úniky vně budovy. V této budově (viz schéma výše) je umístěn také bazén s vyhořelým jaderným palivem. Realističtější pohled na uspořádání popsanych bariér dává následující řez:



Aby se tedy radioaktivní látky dostaly do okolního prostředí, musí projít palivovou tabletkou, netěsností povlakových trubek palivových proutků, tlakovou nádobou reaktoru, primárním a nakonec sekundárním kontejnmentem. U vyhořelého paliva v bazénu však chybí v této cestě tlaková nádoba reaktoru a primární kontejnment. Z popsaného je zřejmé, že základním bezpečnostním cílem je udržení integrity palivových proutků – při jejím udržení je minimální riziko spojené s únikem radioaktivity do okolního prostředí. Aktivace prvků neutrony v objemu aktivní zóny (včetně chladiva a jeho příměsí) je v těchto souvislostech málo významné.

Normální provozní podmínky

Výrobu elektřiny v blocích s varnými reaktory lze znázornit pomocí následujícího schématu:



V obrázku je vše názorně popsáno, proto stačí stručné shrnutí: Z kondenzátoru turbíny je pomocí čerpadel dodávána voda do aktivní zóny, kde se ohřívá až do dosažení parní fáze, pak je vedena na turbínu, kde odevzdá energii a kondenzuje. Kondenzátor turbíny je chlazen mořskou vodou. Cirkulaci vody v nádobě reaktoru napomáhají recirkulační čerpadla, jejichž otáčkami lze řídit průtok a tím i teplotu vody a následně výkon reaktoru. Tím je za normálních provozních podmínek zajištěno, že parametry palivových proutků jsou udržovány v mezích, které zajistí jejich projektovou těsnost.

Chlazení v havarijních podmínkách

Aktivní zóna reaktoru se vyznačuje vysokou hustotou uvolňované energie ze štěpení a uvolňováním velkého množství energie i po přerušení štěpné řetězové reakce. Například první blok Fukushima Daiichi dává nominální tepelný výkon 1 380 MW. V okamžiku přerušení štěpné řetězové reakce při pokračujícím rozpadu radioaktivních produktů štěpení a doprovodném uvolňování tepelné energie je výkon ještě kolem 100 MW. Ten časem exponenciálně klesá a už v následující hodině je pouze kolem 20 MW. Dále se však už pokles zpomaluje, po 24 hodinách od přerušení řetězové

reakce (odstavení reaktoru) je ještě 9 MW, po třiceti dnech poklesne na cca 3 MW. Toto je už sice nízká hodnota, nicméně vyžaduje stále ještě dostatečné chlazení paliva, aby nedošlo k nepřiměřenému nárůstu teploty povlakových trubek, a tím k jejich dehermetizaci.

Pro odvod tohoto tzv. zbytkového (reziduálního) tepla (obecná vlastnost jaderného paliva) jsou na každé jaderné elektrárně určeny příslušné systémy, a to jak pro normální dochlazování po plánovaném odstavení reaktoru, tak i pro chlazení v havarijních podmínkách, včetně ztráty chladiva. V havarijních podmínkách jsou k dispozici systémy havarijního chlazení (vysokotlaké i nízkotlaké), které jsou v první fázi odkázány na elektrické napájení z vnější sítě. Pro případ, že není toto vnější napájení k dispozici, jsou součástí systémů dieselgenerátory, které jsou schopné systémy havarijního chlazení plně zásobovat energií. Je třeba dodat, že i použité palivo v bazénu vyhořelého paliva nadále uvolňuje teplo, jehož velikost závisí u jednotlivých palivových souborů především na době od jejich vyvezení z reaktoru. Nicméně, i při nízkých výkonech je potenciální riziko jejich silného přehřátí při ztrátě chlazení.

Možné důsledky ztráty chlazení a nápravná opatření

Není-li k dispozici elektrické napájení havarijních systémů z vnější sítě ani z dieselgenerátorů, existuje ještě určitá časová rezerva, než dojde k nepřiměřenému přehřívání paliva. Produkované zbytkové teplo se bude spotřebovávat na přeměnu vody na páru a současně se bude zvyšovat tlak v tlakové nádobě reaktoru. Ten ale také nesmí překročit projektové hodnoty, které zaručují, že nedojde k porušení celistvosti nádoby. K omezení nepřiměřeného nárůstu tlaku v tlakové nádobě slouží pojistné ventily, které přepouštějí část média do primárního kontejnmentu. Snižovat tlak v tlakové nádobě lze ovšem v principu také jejím ochlazováním vodou, pokud taková možnost existuje.

Úbytek vody v tlakové nádobě je zákonitě doprovázen růstem teploty povlakových trubek paliva a také teploty palivových tabletek. Roste-li teplota nad cca 800 °C, začíná se zrychlovat oxidace povlakového materiálu, při reakci vzniká oxid zirkonia a uvolňuje se vodík a současně nemalé množství energie, které dále přispívá ke zrychlování růstu teploty povlakové trubky.

Jestliže přetrvává nedokonalé chlazení paliva, udržuje se vysoký tlak v tlakové nádobě a dochází k déledobému přepouštění páry do primárního kontejnmentu,

roste i tlak v primárním kontejnmentu. Když jsou k dispozici sprchy, mohou tlak v kontejnmentu snižovat, jinak může zafungovat „mokrá“ část primárního kontejnmentu, kam je pára přepouštěna a kde může kondenzovat. I zde je však omezení a při nefungujícím odvodu tepla může narůstat tlak i zde, což si vynutí ventilaci do sekundárního kontejnmentu. Tam je situace obdobná s tím, že tlak může být regulován už pouze regulovaným vypouštěním do okolního prostředí. A co se nakonec vypouští ven, závisí na stavu paliva v aktivní zóně: dokud zůstává těsné, jsou potenciální radiologické důsledky minimální.

Dojde-li ke ztrátě chlazení v bazénu vyhořelého paliva (viz prostřední schéma výše) a následné dehermetizaci palivových proutků, pak není v cestě žádný primární kontejnment a radioaktivní látky se dostávají přímo do budovy reaktoru (sekundárního kontejnmentu) a při jeho porušení (jako u 4. bloku) přímo do atmosféry.

Pokračuje-li nepříznivý scénář s chlazením paliva, může v krajním případě dojít až k takovému nárůstu teploty v palivových proutcích, že určitá část tabletek se může začít tavit (teplota tavení je přitom poměrně vysoká, kolem 2 700 – 2 800 °C). Pak je na rozhodnutí, jestli dát přednost chlazení, byť neodpovídajícím chladičem (mořskou vodou), nebo riskovat možnost roztavení paliva ve větším objemu.

Shrnutí

Z popsaného je celkem zřejmé, že princip chladit, chladit a zase chladit má uplatnění všude: při udržování teploty paliva v přiměřených mezích, při udržování tlaku v tlakové nádobě reaktoru i v primárním kontejnmentu i při udržování teploty paliva v přijatelných mezích v bazénu vyhořelého paliva. Na základě alespoň tohoto rámcového popisu komponent bloků a možných procesů způsobených zhoršeným odvodem zbytkového tepla by mohly být podávané informace v médiích srozumitelnější i pro ty, kdo se touto problematikou nezabývají ani vzdáleně.

Pozn.: se svolením autora (Ivan Tinka) převzato z jeho webových stránek