

Simulace provozu JE typu ABWR

V. Stluka¹

stlukav@arcig.cz

¹Arcibiskupské gymnázium v Praze, Korunní 2

Abstrakt

Článek se zabývá praktickým využitím simulátoru provozu JE typu ABWR fungujícího na klasických stolních počítačích a řešením různých krizových situací hrozících během provozu systému jaderné elektrárny. Cílem této dvoudenní práce bylo vyzkoušet si některé možné scénáře a pozorovat a popsat fyzikální jevy v průběhu jejich trvání.

1. Teoretický úvod

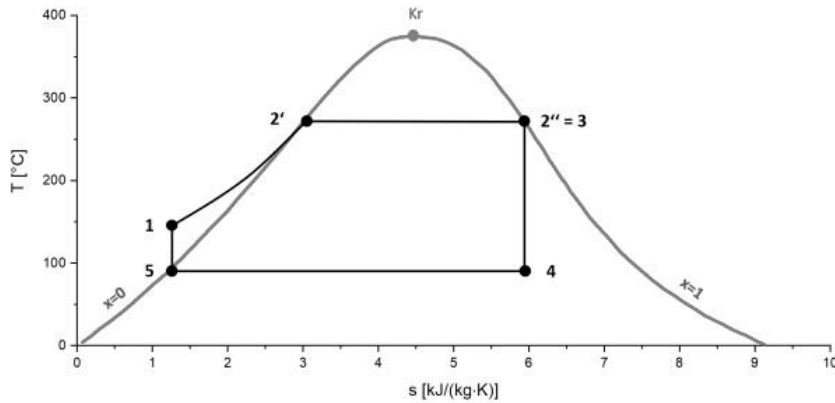
V České republice, ale i v některých zemích ve světě, je stěžejním energetickým zdrojem energie z jaderných elektráren (JE). V naší zemi zajišťuje přibližně třetinu celkového instalovaného výkonu všech zdrojů. Je to jedno z nejkomplicovanějších zařízení a jak fyzikální, tak environmentální pohled na něj vyžaduje značnou teoretickou podporu. V tomto článku se velice zjednodušeně popisuje elementární fyzika reaktoru a principy a řízení JE typu ABWR.

V reaktoru dochází ke štěpné reakci, při níž se ostřelováním neutrony rozpadají jádra ²³⁵U, jimiž je obohacen přírodní uran, složený převážně z izotopu ²³⁸U. Při každém štěpení se uvolní 2-3 neutrony s vysokou energií a štěpné produkty, jejichž zpomalováním vzniká tepelná energie v palivu. Aby reakce probíhala rovnoměrně, musí z každé reakce reagovat právě jeden neutron a další dva se musí absorbovat. Neutrony se navíc pro optimální štěpení musí zpomalit, což vyvolává potřebu moderátoru (voda nebo grafit). Uvolňování tepla při štěpení pak evokuje nutnost chladit reaktor i dlouho po jeho odstavení.

Stěžejní pro využití energie z procesů v reaktoru (viz výše) je jeden z termodynamických cyklů, konkrétněji Rankin-Clausiusův (obr. 1). Obrázek ve zkratce popisuje stav, kdy se voda ohřívá na páru a zvyšuje se její entropie (hodnota neuspořádanosti systému) mezi body 1 a 2, následně se izotermicky entropie stále zvyšuje (mezi 2 – 3) a vzniká sytá pára, z níž se pak expanzí získává energie v turbíně za poklesu teploty se zachováním hodnoty entropie (3 – 4) a konečně, izotermicky se sníží entropie v kondenzátoru do stavu 5 a z něj se vrací izoentropicky do bodu 1.

Na grafu je zároveň křivka hodnot suchosti páry (značka x), která se počítá jako poměr páry ke chladivu, tedy k vodě. Z toho lze usoudit, že pro hodnotu $x = 0$ se jedná o vodu a pro hodnotu $x = 1$ mluvíme pouze o páře. Při pohledu na graf tedy je zřejmé, že na křivce $x=1$ je sytá pára, pod

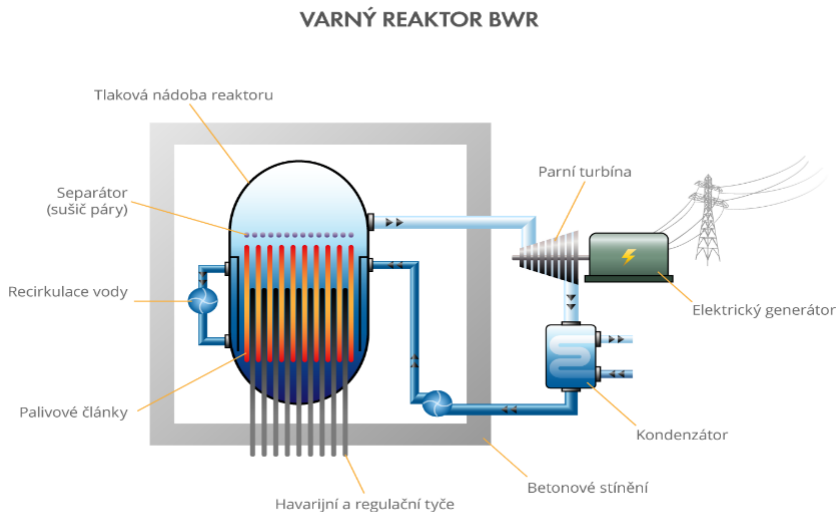
křivkou pára mokrá a napravo je to pára přehřátá. Na křivce $x=0$ je sytá kapalina, vlevo od ní podchlazená kapalina.



Obr. 1) Graf R – C cyklu, kde na ose x je entropie, na y teplota; světlá křivka zastupuje suchost páry a K_r je kritický bod vody.

2. Typy JE

V současné době již existují elektrárny III. generace a mnoho z nich má vlastní specifické řešení konstrukce reaktorů. Teoreticky je ale možné je rozdělit na 2 velké skupiny, totiž elektrárny tlakovodní a elektrárny s varným reaktorem. Tlakovodní známe z ČR, jde o reaktor s primárním chladicím okruhem, z něž se pak ohřívá pára v okruhu sekundárním. Výhodou je nízká šance kontaminace, nevýhodou nákladná výroba parogenerátoru. Oproti tomu ve varných reaktorech je mezi ním a turbogenerátorem jediný okruh.



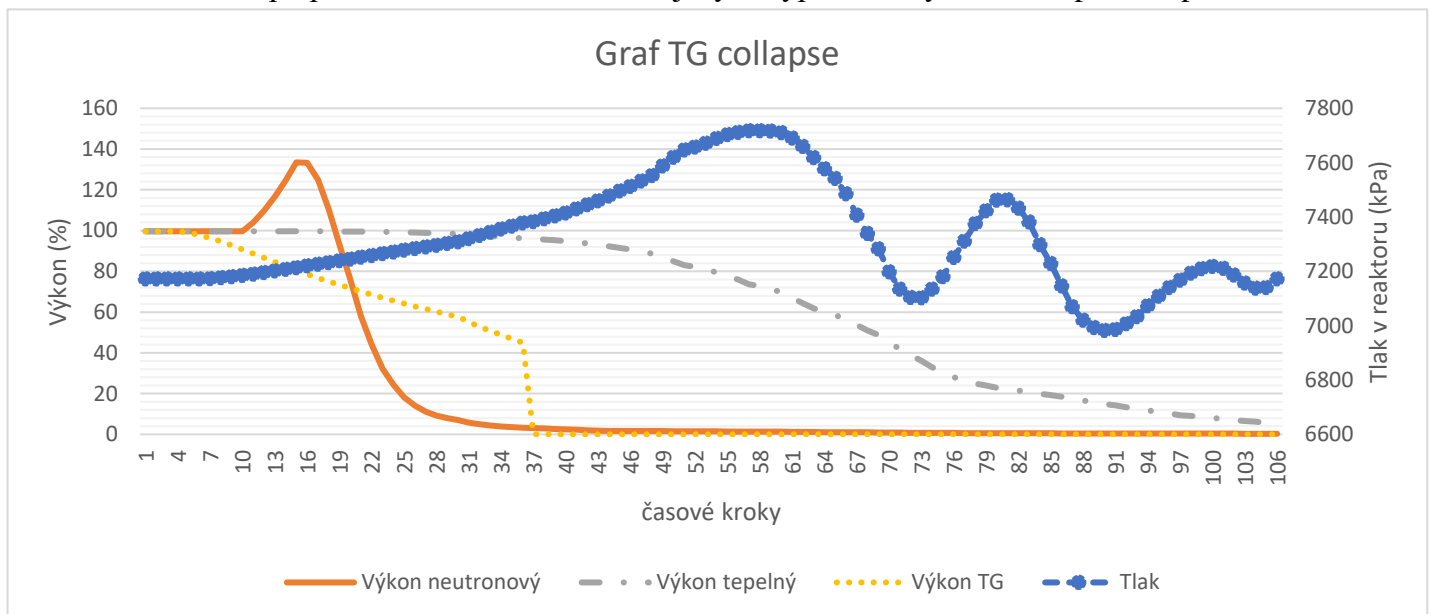
Obr. 2) Schéma elektrárny s varným reaktorem typu ABWR

3. Simulátor varného reaktoru typu ABWR

V rámci projektu byl použit simulátor Advanced BWR with Passive Safety Systems Simulator, vyvinutý americkou CTI Simulation International Corporation v roce 2008. Běží na jednom počítači a k jeho ovládání stačí pouze jeden operátor. Klasický reaktor ABWR má tyče zasunutelné zespodu a jeho regulační mechanismus záleží především na koncentraci H_3BO_3 a ve změnách průtoku vody, což ovlivňuje reaktivitu tak, jak je popsáno výše. Zároveň ale platí, že tlakovodní elektrárna se může řídit od turbíny k reaktoru, zatímco ta s varným reaktorem od něj k turbíně. Nejzásadnějšími parametry viditelnými na simulaci je tlak a teplota reaktoru, průtok chladiva a páry a výkony neutronový, tepelný a turbogenerátorový a konečně suchost páry. Její hodnota je pak klíčová pro moderaci systému reaktoru, protože čím méně je mokrá pára suchá, tím větší moderační schopnosti má (tato vlastnost je závislá na hustotě). Pro armatury platí pravidlo, že zelená znamená polohu zavřeno a červená otevřeno.

4. Řešení výpadku turbogenerátoru

Jednou z 10 různých simulovaných situací bylo odstavení turbogenerátoru. Na grafu na obr. 2 je jasně patrné, že první klesající veličina byl výkon turbogenerátoru. Ať už to bylo z jakéhokoli důvodu, nefunkční TG je rizikem pro systém. Při poklesu se začne zvyšovat tlak a neodcházející pára zapříčiní vyšší moderaci v reaktoru, což pak dokazuje křivka neutronového výkonu. U časového kroku 16 je patrné, že výkon překročil stanovenou mez ochranných systémů a došlo k tzv. SCRAM fázi, tj. nouzovému zasunutí bezpečnostních tyčí. Jak je řečeno výše, tepelný výkon klesá oproti tomu neutronovému oslabenému tyčemi podstatně pomaleji, což v důsledku vede ke zvýšení tlaku v reaktoru vzhledem ke vzniku páry, která ale neproudí do turbogenerátoru. Dále se otevřel ventil přepouštění do kondenzátoru, jakýsi bypass, který nechává proudit páru mimo



turbinu.

Obr. 2) Graf simulace veličin reaktoru po kolapsu turbogenerátoru.

Dále se kromě průtoku páry omezil i průtok chladicí vody, který by jinak zapříčinil zvýšení výkonu a hladiny v reaktoru. S klesající teplotou paliva klesá i suchost páry, tzn. čím dál tím větší podíl vody. A to vede konečně ke zvýšení hladiny vody. Při pohledu na křivku je zřejmé, že se mění i tlak v závislosti na některých regulačních systémech, nicméně na konci simulace se již vrací na svoji počáteční úroveň. Systém tak sám zvládl překonat krizovou situaci, při níž hrozilo přetlakování a poškození některých řídicích systémů.

Závěr a diskuse

V průběhu projektu jsem se zaměřil na teoretické základy pro pochopení elementárních fyzikálních vlastností zobrazených na simulátoru, na něž jsem pak navázal při pozorování chování automatických reakcí operačních systémů na jaderné elektrárně typu ABWR. Vyzkoušel jsem simulovat několik různých krizových situací souvisejících s poruchami jednotlivých zařízení a jako operátor jsem porovnával průběhy řešení vybraných scénářů.

Poděkování a reference

Za teoretickou průpravu, vedení práce a sympatický přístup děkuji panu doktorovi Dušanu Kobylkovi z katedry Jaderných reaktorů FJFI ČVUT. Z jeho prezentací jsem pak vycházel i při sepisování této prezentace.

SVĚT ENERGIE: Vzdělávací portál ČEZ. (online) c2020. cit. 18.6.2024 Dostupné z: [Média ke stažení - Stahuj zdarma - Svět energie.cz \(svetenergie.cz\)](https://www.svetenergie.cz/)