

Řízení jaderné elektrárny typu ABWR

Š. Šindelář - Gymnázium Omská, Omská 1300/4 Praha 10

simi.einstein@gmail.com

Abstrakt

V rámci tohoto projektu jsme se zaměřili na teoretické fungování a později i praktické řízení jaderné elektrárny typu ABWR. Řízení takovéto elektrárny jsme si vyzkoušeli na simulátoru a to jak v nominálním stavu tak i v kritických či havarijních situacích.

1. Úvod

Tento projekt se týkal problematiky řízení moderního varného reaktoru (3. generace). Tento typ reaktoru je nejmodernější ze současně komerčně provozovaných a konstruovaných reaktorů a zatím byl postaven jen v technologicky velmi pokročilých zemích jako Japonsko.

2. Teorie

2.1. Reaktor ABWR

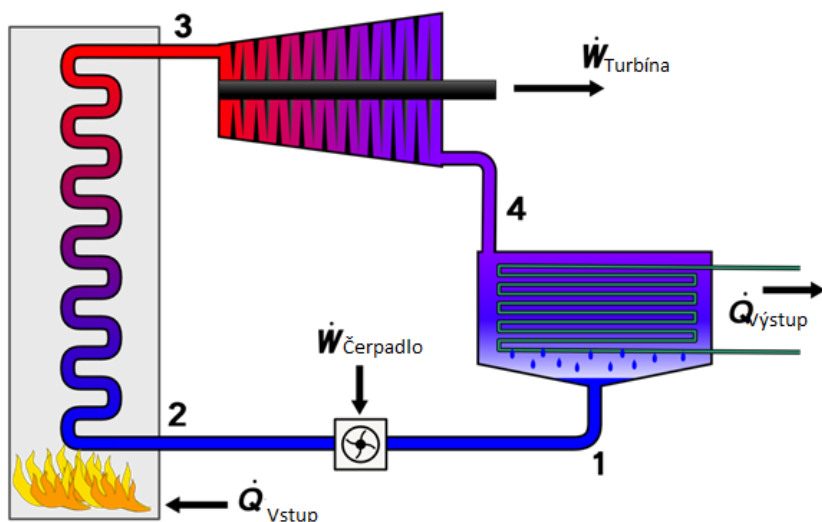
Jedná se o varný reaktor 3. generace s pouze jedním okruhem, což znamená, že voda přeměněná v páru v aktivní zóně a následně proudí přímo na turbínu. Výhodou tohoto systému je, že je levný, jednoduchý, potřebuje méně obohacené palivo a je zde vyvíjen nižší tlak i teploty, ale jeho nevýhodou oproti tlakovodnímu reaktoru je obsah mírně radioaktivního chladiva v celém oběhu elektrárny. A tedy jsou kladeny vyšší nároky na stínění a hermetičnost celého oběhu.

Jako palivo se využívá UO_2 mírně obohaceno izotopem U_{235} a lehká voda jako chladivo i moderátor. Funkci regulátoru neutronového výkonu zastává 205 tyčí vyrobených z B_4C které se sdružují do 8 skupin. Do reaktoru se zasouvají zespodu a jejich pohybem buď dovnitř nebo ven se dá významně ovlivňovat neutronový výkon reaktoru. Dalším systémem schopným silně ovlivňovat výkon je soubor 10 čerpadel, které zajišťují cirkulaci vody do aktivní zóny. Vlivem snížení suchosti parovodní směsi v aktivní zóně při zvýšení průtoku se zvyšuje moderace a tedy výkon samotného reaktoru.

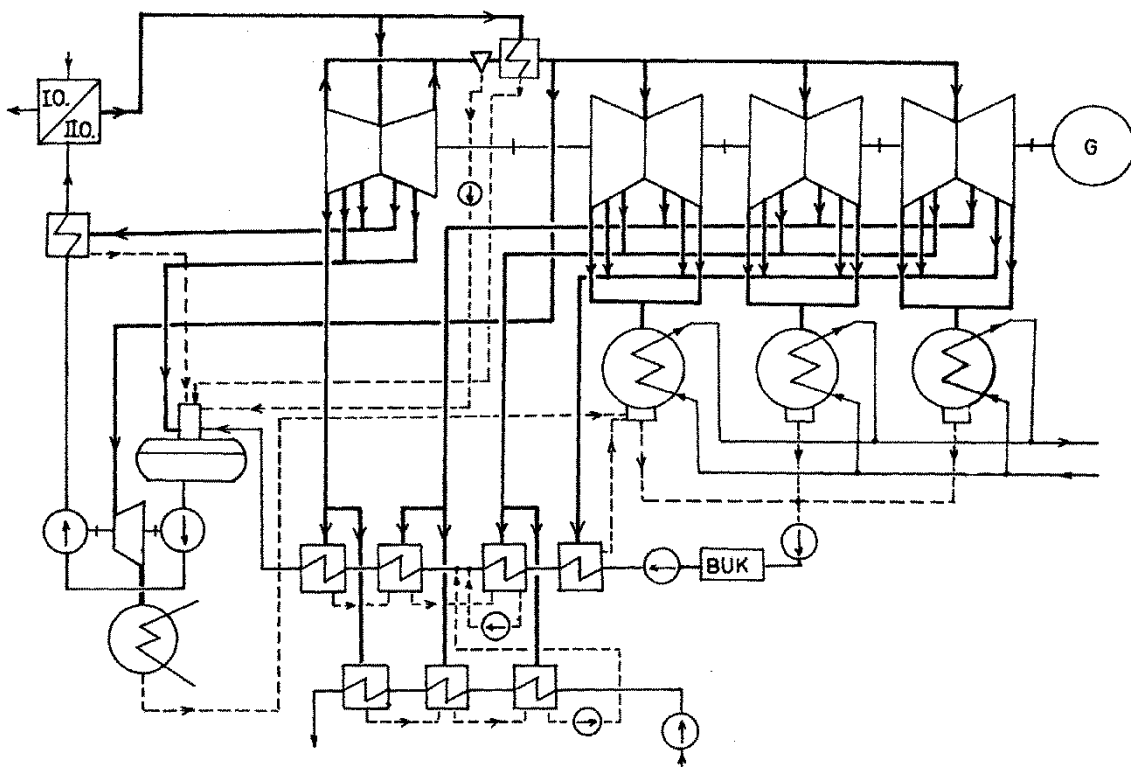
Hrubý tepelný výkon takovéto elektrárny je 3990 MW a tedy nám při tepelném výkonu cca. 33% vyrábí přibližně 1330 MW elektrická energie z čehož si na vlastní provoz bere asi 30 MW, takže do sítě dodává přibližně 1300 MW.

2.2. Fungování reaktoru ABWR

Funkce elektrárny typu ABWR spočívá v Clausius-Rankinově cyklu. Což je teoretický uzavřený oběh, kde je k přeměně energie využívána změna dané látky (většinou voda), která mění v průběhu děje svá skupenství, princip Rankin-Clausiova cyklu je patrný na obrázku č. 1. Ale jelikož má základní verze tohoto cyklu v praxi velmi nízkou účinnost (cca. 20%) tak je k němu přidáváno mnoho různých menších operací které tuto účinnost zvyšují. Patří mezi ně například: přehřívání, regenerační ohřev, binární oběhy atd. V praxi může vypadat realizace Rankin-Clausiova cyklu jako na obrázku č. 2



Obr. č. 1. Zjednodušený Rankin-clausiův cyklus [4]



Obr.č.2. standartní schéma Rankin-clausiova cyklu v dnešních elektrárnách [3]

3 Simulátor

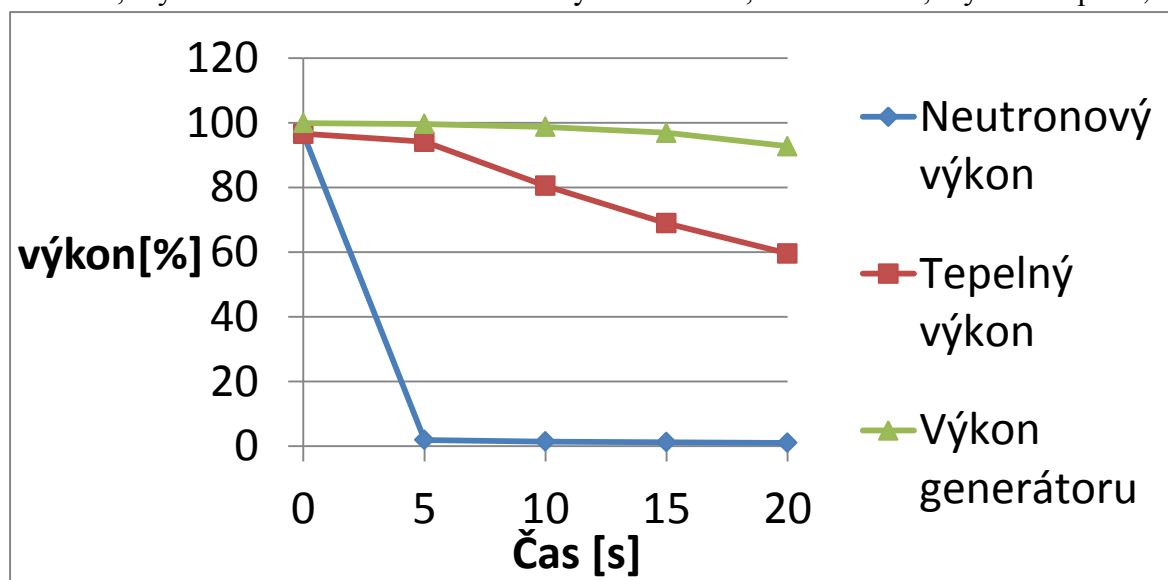
Simulátor, který jsme používali sice není naprosto přesným modelem fungování elektrárny, ale i přesto bylo jeho ovládání velmi komplexní a zajímavé.

3.1. Řízení za nominálního stavu

Řízení v této situaci bylo z prováděných úloh nejjednodušší, ale i přesto se nejednalo o lehkou záležitost. V takovémto případě je možno využívat automatické řídicí systémy nebo se pokusit provést danou operaci manuálně. První z uvedených možností je velmi snadná a nebyl problém tímto způsobem plnit zadané úlohy. Problém nastal ve chvíli kdy bylo třeba například dostat reaktor na daný výkon manuálně, hlavně s použitím regulačních tyčí a reaktorových čerpadel. Během tohoto procesu jsme sledovali důležité veličiny reaktoru (tlak, teplota, výkon atd.).

3.2. Havarijní odstavení reaktoru

Havarijní odstavení reaktoru je jedna z typických rychlých přechodových dějů na elektrárně, při ní jsou velkou rychlostí vystřeleny regulační tyče do aktivní zóny reaktoru a tím je během pár vteřin zastavena štěpná řetězová reakce, jak je vidět v grafu č. 1. Důvodů kvůli nimž by reaktor byl tímto způsobem odstaven je více, například: Vysoký tlak v reaktoru, vysoká nebo nízká hladina vody v reaktoru, zemětřesení, vysoká teplota, atd.

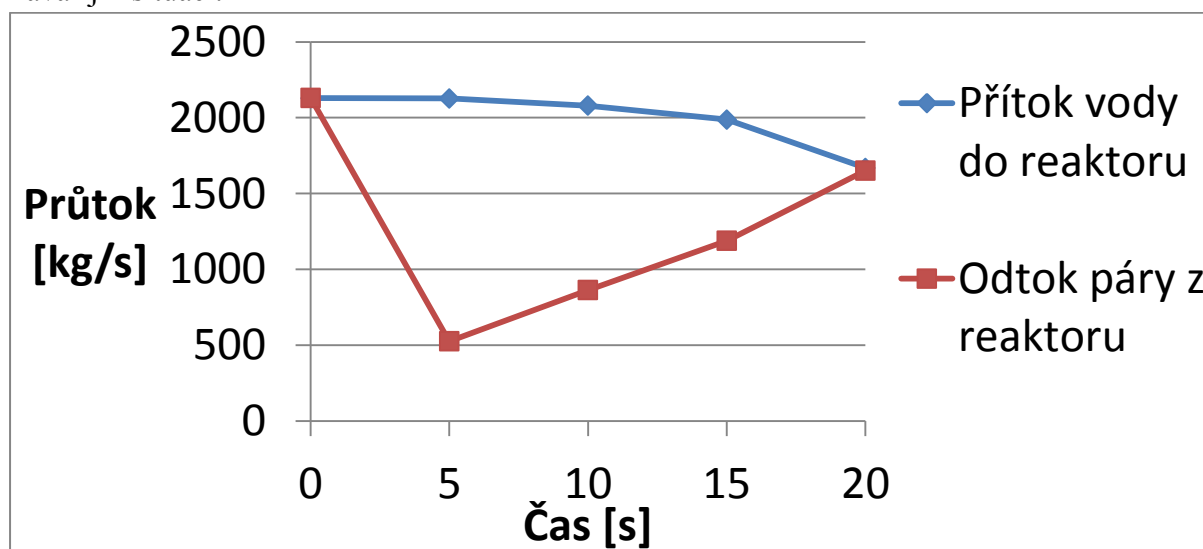


Graf č. 1 Procentuální průběh daných veličin při odstavení reaktoru

3.3. Řízení za havarijního stavu

Řízení elektrárny za havarijního stavu je poměrně složité. Naštěstí se bezprostředně po překročení bezpečnostních limitů se aktivují automatické bezpečnostní systémy elektrárny a dojde k odstavení reaktoru. Velmi náročná část nastala, když přišel čas na obnovu reaktoru

z havarijního stavu zpět do nominálního. Dále můžeme vidět graf průběhu veličin ve zvolené havarijní situaci.



Graf č. 2 Průběh daných veličin při poškození turbíny a zablokování přepouštěcí stanice

4. Shrnutí

Během práce na simulátorech jsme si ověřili komplexnost ovládání a průběhu veličin sledovaných v celé elektrárně. Ve chvíli kdy lidský faktor nestačí reagovat na vyvíjející se situaci, zasahují automatické bezpečnostní systémy, které zabráňují překročení mezních stavů a nebezpečnému vývinu havárie. Zajímavé je, že v takovýchto situacích znamenají často zásahy operátora zhoršení stavu, který by systém sám vyřešil lépe. Pokud srovnáme ovládání ABWR a PWR tak se zdá že u ABWR je jednodušší. Dále se nám ukázalo, že bezpečnostní prvky moderních jaderných elektráren jsou skutečně na vysoké úrovni a tedy opakování nehod minulosti je velmi nepravděpodobné.

Reference

^[1]GE Hitachi. *ABWR Nuclear Power Plant* [online]. c2015. [cit.2015-06-16]. <<https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/abwr.html>>

^[2]U. S. NRC. *Issued Design Certification - Advanced Boiling-Water Reactor* [online]. c2015 Poslední revise 25.2.2014 [cit. 2015-06-16].<<http://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/design-cert/abwr.html>>

^[3]Kobylka D. *Prezentace k týdnu vědy*, Praha, 2015

^[4]Wikipedie . Rankine cycle [online]. c2015 Poslední revise 11.6.2015 [cit. 2015-06-16].<https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle>

Poděkování

Děkuji organizátorovy týdne vědy Vojtěchu Svobodovy a jeho týmu za hladký průběh celé akce. Dále bych rád poděkoval katedře jaderných reaktorů a supervizorovy našeho projektu Ing. Dušanu Kobylkovy Ph.D. za odbornou spolupráci a podporu.