

Simulace provozu JE typu ABWR

J. Lehečka*, M. Orság**

*Gymnázium a SOŠ Plasy, Školní 280, Plasy

**Gymnázium a SOŠZE Vyškov, Komenského 16/5, Vyškov

*jarous556@gmail.com

**martin1orsag@gmail.com

Abstrakt:

Úkolem našeho projektu bylo seznámit se s nominálními a havarijními stavy jaderné elektrárny s reaktorem typu ABWR. V normálním stavu bylo provedeno snížení výkonu ze 100 % na 70%. Vyzkoušeli jsme si použití automatických systémů a manuálního řízení. Cílem bylo zjistit více o stavbě jaderné elektrárny a řešení havarijních situací.

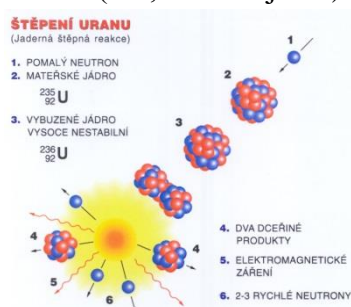
1 Úvod

V jaderné elektrárně se převádí jaderná energie na energii elektrickou postupnými sledy několika fyzikálních postupů. Existuje několik druhů jaderných reaktorů (tlakovodní, varný, atd.). Jeden z nejpoužívanějších typů reaktorů je varný reaktor, který ve světě zaujímá cca 20% instalovaného výkonu v jaderných elektrárnách. Mezi jeho nejnovější modifikace můžeme zařadit i ABWR, který je v současné době v provozu v Japonsku. Tento jaderný reaktor je lehkovodní jednookruhový reaktor. Je jednou z nejmodernějších generací jaderných reaktorů. Simulace byla zaměřena na jadernou havárii LOCA právě na tomto reaktoru. LOCA (Loss of coolant accident) je havárie s únikem chladiva z reaktoru.

2 Teorie

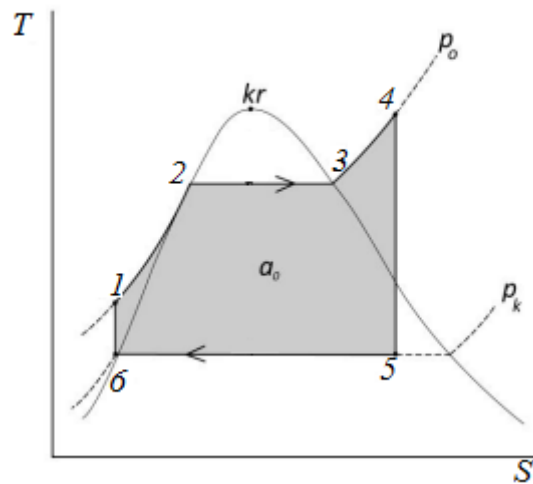
Jaderná elektrárna

V jaderné elektrárně se převádí jaderná energie na elektrickou. Teplo vzniká v reaktoru za pomoci štěpení radioaktivního izotopu ^{235}U . Neutron narazí do jádra uranu a vzniká vybuzené a vysoce nestabilní jádro ^{236}U . Toto jádro se štěpí zpravidla na dvě jádra a 2-3 neutrony (dle pravděpodobnosti = 2,41 neutronu), viz obr. 1. Při tomto procesu se uvolňuje energie ($202,8 \pm 0,4 \text{ MeV}$) a vyzařuje se záření β , γ a neutrina. Většinu energie nesou fragmenty štěpení. Jediná nevyužitá energie je kinetická energie neutronů. Na 1 W je potřeba 31 miliard rozštěpených jader/s. Elektrárna při denní produkci 1 MW tepelné energie spotřebuje 1 g štěpitelného materiálu ($= 2,5 \times 10^{21}$ jader).



Obr. 1: Štěpení uranu, Zdroj: [1]

Rankin - Clausiův cyklus

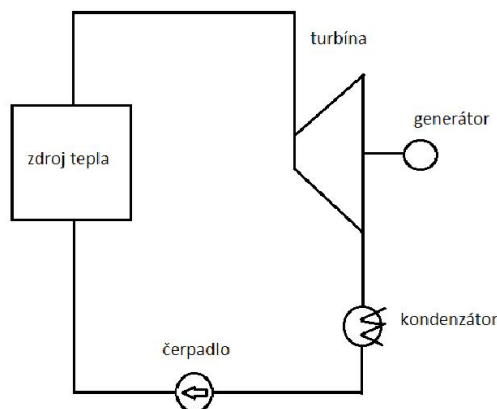


Obr. 2: Rankin – Clausiův cyklus, Zdroj:[2]

Přeměna tepelné energie na mechanickou v jaderném reaktoru funguje na principu Rankin – Clausiova cyklu, viz obr. 2. V bodě 1 je voda ve stavu kapalném. V bodě 2 se stává z kapaliny sytá kapalina. Z bodu 2 do bodu 3 se zvyšuje suchost páry a nastává tzv. dvoufázový stav (máme zde jak páru, tak i kapalinu). V bodě 3 se z mokré páry stává sytá pára. Do bodu 4 se zahřívá – přehřívá se → vzniká přehřátá pára. V bodě 4 se přehřátá pára přivádí na parní turbínu (do bodu 5). Z bodu 5 do bodu 6 pára kondenzuje. Z bodu 6 do bodu 1 se zvyšuje tlak díky činnosti čerpadla.

Termická účinnost výše popsaného cyklu je možno zvýšit těmito způsoby: zvýšení vakua v kondenzátoru, teplotním způsobem výroby, binárním oběhem, zvyšováním parametru páry vstupující na turbínu (teplota, tlak) a regeneračním ohřevem napájecí vstupní vody

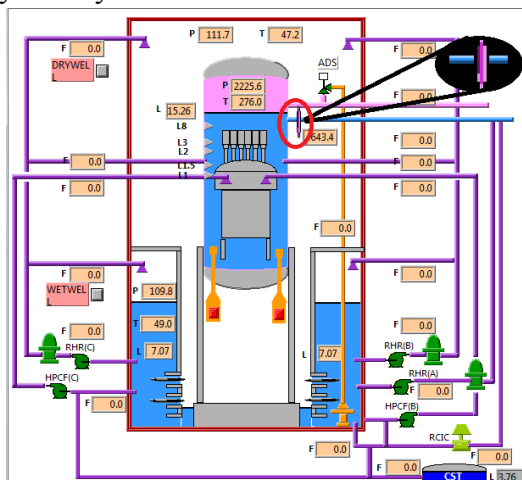
Rankin - Clausiův cyklus je na elektrárně s varným reaktorem realizován: pára vychází z reaktoru parním potrubím do turbíny, kde roztočí lopatky a vytvoří mechanickou energii, která je použita v generátoru pro výrobu elektrické energie. Z turbíny jde pára do kondenzátoru, kde kondenzuje a následně jde jako kapalina do napájecího čerpadla, kde se zvyšuje tlak kapaliny a navrací se do reaktoru.



Obr. 3.: Schéma reaktoru typu ABWR, Zdroj: [1]

3 Porušení parního kolektoru

Během týdne vědy bylo simulováno několik havarijních scénářů. Měli jsme možnost si vyzkoušet havarijní scénáře v automatickém režimu. Jedna z nejzajímavějších a nejsložitějších situací byla počítačová simulace porušení parního kolektoru. Po vzniku trhliny v parním kolektoru (viz obr. 3) byl v prvním kroku odstaven reaktor havarijní ochranou, tj. zasunutím absorpčních tyčí. S menším zpožděním byl odstaven také turbogenerátor. Důvodem byly změny tlaku v reaktoru. Průtok chladiva aktivní zónou klesal (z důvodu zastavení hlavních cirkulačních čerpadel). Pára proudila do kontejnmentu. Průtok páry je dán velikostí trhliny a rozdílem tlaku v reaktoru a kontejnmentu. Ve spodní části kontejnmentu se nachází voda, ve které pára kondenzovala. Teplo bylo periodicky odváděno havarijními čerpadly a tepelnými výměníky.



Obr. 4.: Kontejnment, Zdroj: ABWR IAEA

Kondenzací páry roste v dolní části kontejnmentu tlak a teplota vody. V návaznosti na zvýšení tlaku jsou periodicky spouštěna havarijní čerpadla, která čerpají vodu do havarijních tepelných výměníků. Odtud jde teplo havarijními okruhy pryč a tím jsou teplota a tlak udržovány na konstantních hodnotách.

V průběhu simulace došlo k zásahům, viz hlášení na obr. 5.:

Odstavení reaktoru, Odstavení turbogenerátoru, Vysoký tlak v kontejnmentu / LOCA, Izolace reaktoru, Odstavení napájecích čerpadel, Nízký tlak v nádobě reaktoru, Vysoká hladina v reaktoru

Reactor Scram	Turbine Trip	Reactor Pres V. Lo	Rods Run-in Req'd	Hi Dryw P/LOCA	Turbine Runback	Gen Breaker Opn
Hi Neut Pwr vs Flow	Reactor Pres V. Hi	Reactor Pres Lo	Reactor Level Lo	Reactor Lvl V. Lo	Lo Turb Fwd Pwr	FW Pump(s) Trip
Reactor Isolated	Reactor Press Hi	Core Flow Lo	Reactor Level Hi	Turbine Gov. in Man	Loss RIP Pmp(s)	Malfunction Active

Obr. 5.: Warning, Zdroj: ABWR IAEA

4 Shrnutí

Simulace ukázaly přednosti automatických systémů, díky kterým je řízení jaderného reaktoru jednodušší. Díky bezpečnostním systémům se zastaví štěpná reakce, vypne se turbogenerátor a voda je čerpána náhradními čerpadly. Výsledkem je zjištění: během havárií nehrozí žádné nebezpečí a to ani z úniku radioaktivity do okolí.

Poděkování

Naše poděkování patří vedoucímu miniprojektu, Dušanu Kobylkovi, a Vojtěchu Svobodovi za bezproblémový průběh celé akce. Dále bych chtěl poděkovat celému organizačnímu týmu TV@J 2017.

Reference:

[1] KOBYLKA, D.: *Prezentace projektu týdnu vědy*, Praha, 2017

[2] *Vysoké učení technické v Brně* [online]. Copyright © [cit. 20.06.2017].

Dostupné

z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65241