

Simulace provozu JE typu PWR AP600

M. Zimmerl¹, M. Filo², T. Sedláček³

¹SPŠ SE Dukelská 13, České Budějovice

²Gymnázium Český Brod, Vítězná 616

³RG a ZŠ města Prostějova, Studentská 2

zimmermarek@gmail.com

filo17@centrum.cz

to.mas.se@seznam.cz

Abstrakt:

V naší práci jsme se zabývali simulací provozu jaderných elektráren a některých havárií. Na simulátorech si vyzkoušíme několik normálních, ale také kritických situací. Vždy existovalo více řešení vzniklých situací. Očekáváme, že bezpečnostní systémy nás nenechají překročit nebezpečné meze.

1 Úvod

Máme v úmyslu sledovat změny a reakce různé podněty, které může vyvolat operátor. K napodobení situace použijeme simulátor IAEA Generic Pressurized Water Reactor Simulator. Očekáváme, že systém nedovolí operátorovy dostat reaktor do nebezpečného stavu. Nasimulujeme bezpečnostní událost podobnou té z elektrárny Three Mile Island.

2 Reaktor PWR AP600

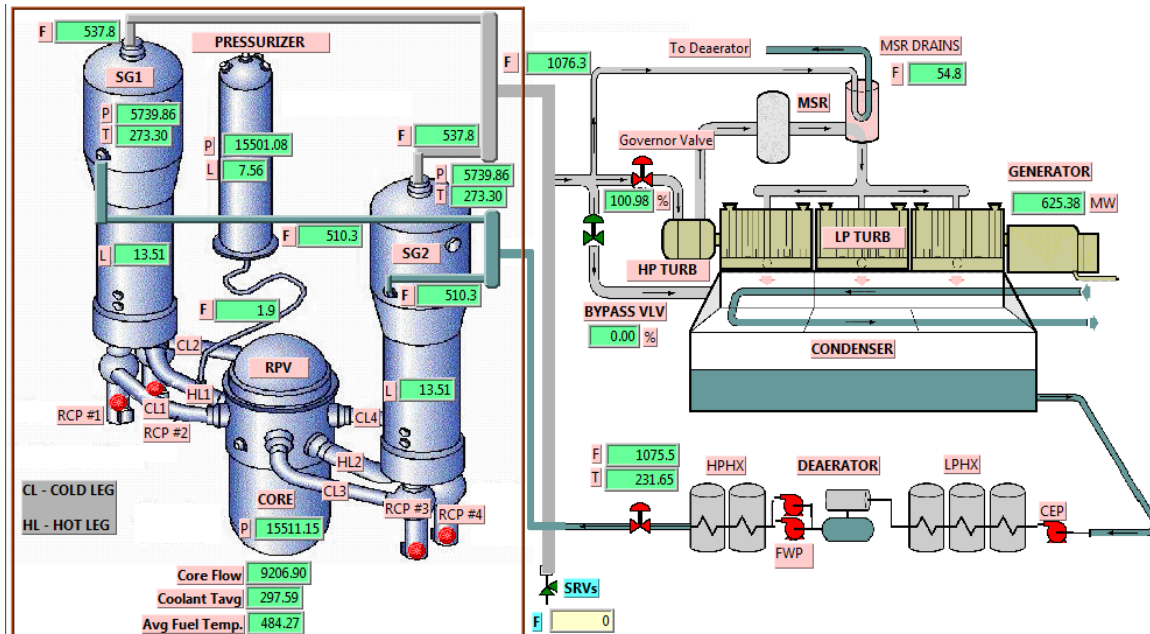
Tento reaktor nebyl realizován, ale vychází z něj model AP 1000. S tím se firma Westinghouse mimo jiné ucházela o zakázku na dostavbu JE Temelín. Tepelný výkon tohoto reaktoru je 1940 MW, elektrický 619 MW. Účinnost 35% je podobná ostatním druhům lehkovodních jaderných reaktorů. Používané palivové soubory jsou čtvercové, palivové proutky jsou ve čtvercové mříži. V tomto typu reaktoru je využito 264 palivových tyčí a 61 řídicích tyčí. V nominálním stavu se teplota vstupní vody do reaktoru rovná 279,5 °C a teplota výstupní 315,6 °C.

V aktivní zóně je přítomno několik látek. Moderátor, který zpomaluje neutrony a umožňuje uskutečnění jaderné reakce (v AP 600 je moderátorem voda). Dále tam nalezneme absorbátor, který pohlcuje neutrony a tím zabraňuje nekontrolovatelnému jadernému štěpení.

Výkon reaktoru je přímo úměrný neutronovému toku, který je řízen absorbátory. Z hlediska krátkodobého lze reaktor ovládat pomocí řídicích tyčí. Z dlouhodobého hlediska řídíme reaktivitu pomocí absorbátoru, kterým je v chladivu rozpouštěná kyselina boritá. Při řízení je nutné počítat se zpětnými vazbami.

Havarijní systémy na elektrárně jsou koncipovány tak, že v prvních fázích havárie není potřeba zásahu operátora. Oproti jiným typům reaktorů jsou zde ve větší míře přítomny také pasivní bezpečnostní prvky, které zajišťují vyšší bezpečnost.

Stavba jaderné elektrárny



Stavba jaderné elektrárny [simulátor]

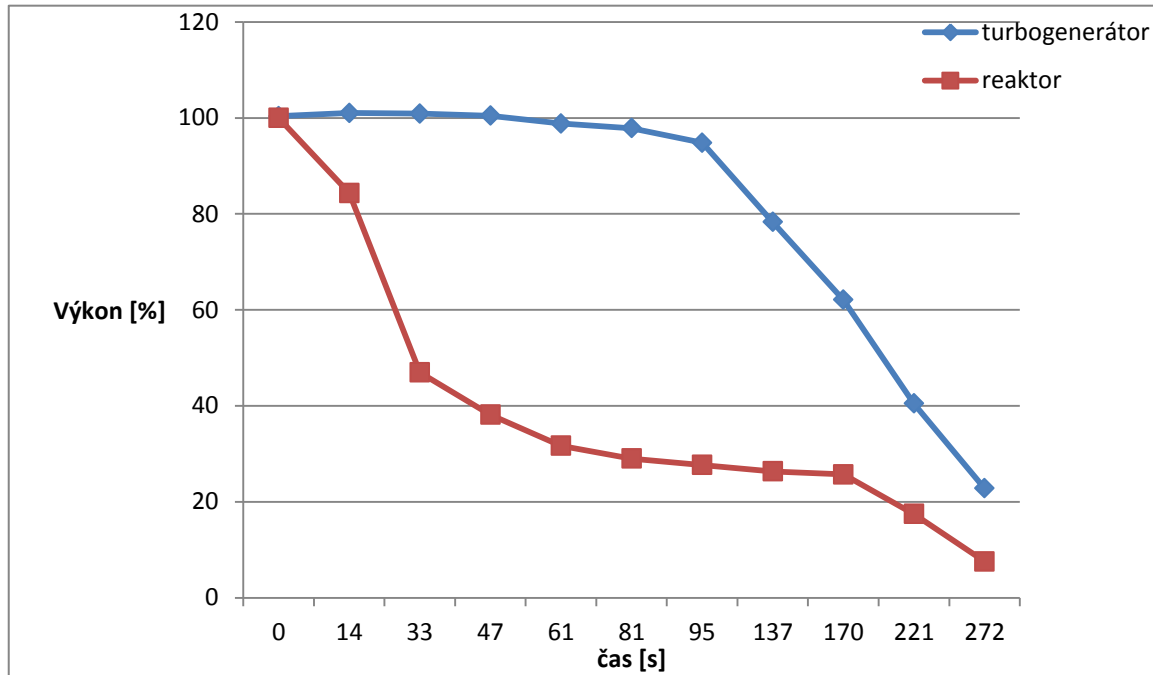
Srdcem jaderné elektrárny PWR je jaderný reaktor, který ohřívá vodu v primárním okruhu. Teplá voda v parogenerátoru ohřívá pomocí teplosměnných trubek vodu sekundárního okruhu. Ochlazená voda primárního okruhu proudí do hlavního cirkulačního čerpadla a zpět do reaktoru. Voda sekundárního okruhu se přemění na sytou páru, která pokračuje do vysokotlakého dílu turbíny. Ve vysokotlakém dílu turbíny odevzdá pára podstatné množství své energie. Dále pokračuje ochlazená pára do separátoru-přihříváče, ve kterém je zbavena nabyté vlhkosti a přehřáta. Z něho je pára rozvedena do tří nízkotlakých dílů turbíny, ve kterých se přemění tepelná energie na mechanickou. Zbylá pára pokračuje do kondenzátoru. Kondenzát se nejdříve ohřívá v nízkotlaké regeneraci, následně vstupuje do napájecí nádrže. Odtud je napájecími čerpadly hnán do vysokotlaké regenerace a zpět do parogenerátoru a celý děj se opakuje.

Simulace

Napodobovali jsme různé situace normálního provozu i havarijní stavy. Mezi nimi například takové, které se odehrávaly při havárii elektrárny Three Mile Island.

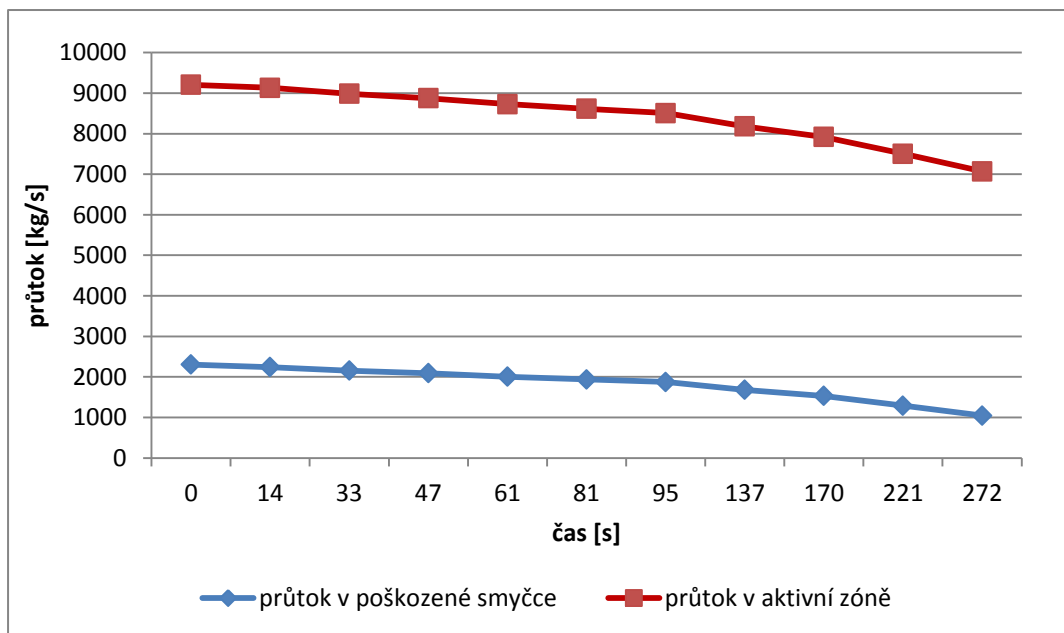
Dále je popsán případ výpadku hlavních cirkulačních čerpadel. Tato čerpadla zajišťují cirkulaci chladiva v primárním okruhu. Tato porucha způsobila, zhoršení odvodu tepla z aktivní zóny, což pro zachování bezpečných parametrů vede k nutnosti snížení výkonu. Při této simulaci jsme pozorovali pokles výkonu reaktoru (tepelný i neutronový) a turbogenerátoru, tento pokles zajistily automaticky bezpečnostní systémy elektrárny, aby se

vypořádaly se sníženým odvodem tepla. Z průběhu výkonu reaktoru (viz obrázek) je patrné, že se nejedná o havarijní odstavení reaktoru, při němž by se ihned spustily všechny havarijní i regulační tyče.



Porovnání výkonu turbogenerátoru a reaktoru – časová prodleva

System snižuje výkon postupně, což je důležité kvůli tepelnému namáhání primárního okruhu a palivového systému.



Porovnání průtoku v poškozené smyčce a aktivní zóně

Druhý obrázek ukazuje změnu průtoku ve smyčce s odstavenými čerpadly i v celé aktivní zóně. Průtok klesá pomalu, ale nikdy se zcela nezastaví. Průtok druhou dvojicí čerpadel se díky změně tlakovým poměrům v druhém okruhu mírně zvyšuje.

3 Shrnutí

Z provedených simulací vyplývá, že úroveň bezpečnosti jaderných elektráren je vysoká a v nových elektrárnách jsou eliminovány chyby, které nastaly v minulosti. Kromě simulace výše zmíněného případu jsme napodobovali také běžný chod reaktoru i dalších nestandardních situací. I když se jednalo o napodobení, nikoliv o skutečnou situaci, můžeme konstatovat, že většinu záležitostí řeší elektrárna automaticky, což do jisté míry snižuje možnost chyby způsobené lidským faktorem. Výsledky odpovídají našim očekáváním.

Poděkování

Za celý tým bychom rádi poděkovali všem organizátorům Týdne vědy a především našemu mentorovi Ing. Dušanovi Kobylkovi Ph.D., který nás seznámil s celou problematikou jaderných elektráren a jejich simulace.

Reference:

[1] *Nuclear.pl* [online] . [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.nuclear.pl/energetyka,ap600,0.html>

[2] *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tlakovodn%C3%AD_reaktor

[3] *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/VVER>

[4] *Cez.cz* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: http://www.cez.cz/ede/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/koncepce_7.html