

Simulace provozu JE typu VVER-440

T. Krištof¹, R. Chylík²

¹Gymnázium Cheb, Kristoftobik09@gmail.com

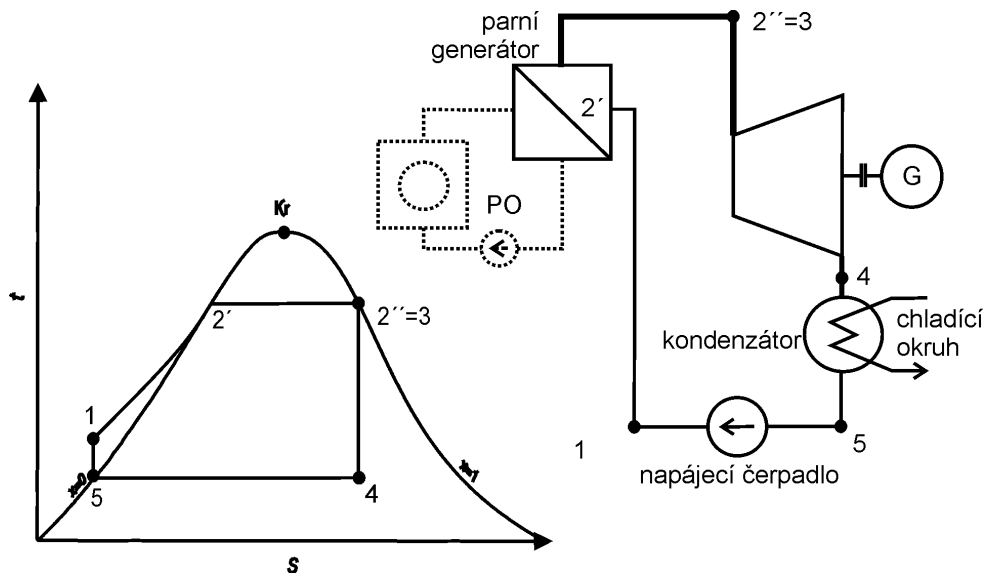
²Gymnázium Kojetín, chyldicek@seznam.cz

Abstrakt

Účelem tohoto příspěvku je ilustrovat fungování jaderných elektráren, zejména těch s reaktorem VVER-440. Hlavní důraz klade pak na simulace krizových scénářů, které mohou nastat, a mapování postupu jenž systémi elektrárny využívají při jejich řešení.

1. Úvod

Jaderná elektrárna je důmyslné a komplexní zařízení, které přeměňuje energie jaderného štěpení na energii elektrickou za využití principů reaktorové fyziky a termodynamiky. Pro konstrukci jaderných (i tepelných) elektráren je zásadní znalost zejména jednoduchého Rankin-Clausiova cyklu (druh termodynamického cyklu s vodou a vodní parou [viz Obr. 1]). U elektráren jaderných se pak ještě navíc zabýváme fyzikou jaderného štěpení, rozložením výkonu v aktivní zóně a v neposlední řadě i bezpečnostními systémy. Dále se v JE nachází například turbína či parogenerátor (viz. Obr.1).



Obrázek 1(C-R cyklus a schema JE)

2. VVER-440

Jde o verzi tlakovodního reaktoru se zvýšenou bezpečností s nominálním tepelným výkonem 1375 MW a 440 MW elektrického výkonu. V ČR jsou v provozu čtyři bloky s tímto reaktorem, všechny v elektrárně Dukovany, kde první z nich slouží již od roku 1985. Reaktor společně

s parogenerátorem a dalšími tvoří primární okruh JE. Součástí sekundárního okruhu je například parní turbína či kondenzátor. Na reaktoru je implementováno mnoho regulátorů zajišťující bezpečný provoz, mezi nejdůležitější z nich jsou RCS- řídicí systém výkonu reaktoru, TVER- Turbínový výkonový elektronický regulátor a HO- havarijní ochrana. Havarijní ochrany dělíme na tři úrovně: HO-1= rychlé odstavení reaktoru, HO-3 a HO-4 = omezení výkonu reaktoru.

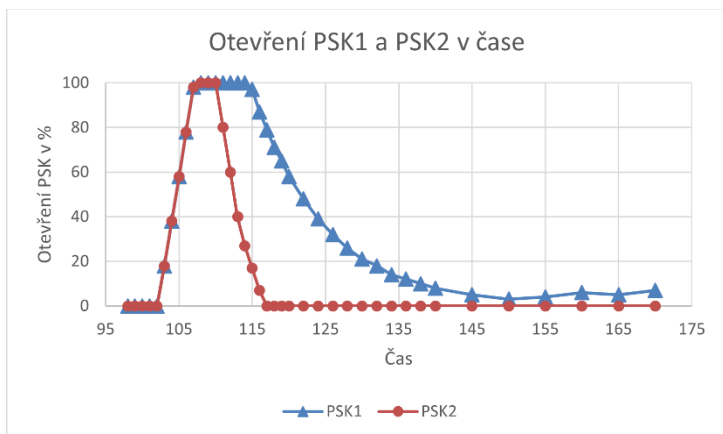
3. Simulátory

Jedná se o způsob, jak bezpečně a levně napodobovat chod jaderné elektrárny, který se může využívat například k seznámení budoucích operátorů s fungováním JE a k jejich zaškolování. Na simulátoru lze také napodobovat průběhy poruch a krizových situacích se kterými se operátoři běžně nesetkávají, a testovat vliv bezpečnostních systémů na stav elektrárny. Simulátory lze rozdělit podle toho, jak moc jsou svou podobou a vzhledem věrné realitě a jak přesný mají fyzikální model. Mezi konkrétní druhy můžeme uvést trenážery, které jsou velice realistické a simulují velmi přesně fyzikální rozsah. Na druhou stranu makety fyziku nesimulují vůbec, snaží se ke skutečnosti přiblížit pouze svou vnější podobou. Naše nabrané zkušenosti ze simulace pocházejí z PC simulátoru SPVS-EDU, jenž je svou realističností někde mezi dříve zmíněnými. SPVS-EDU simulátor pracuje na čtyřech počítačích, z toho dva z nich sloužily k pozorování/ovládání okruhu primárního a těmi zbývajících šlo pozorovat/ovládat okruh sekundární.

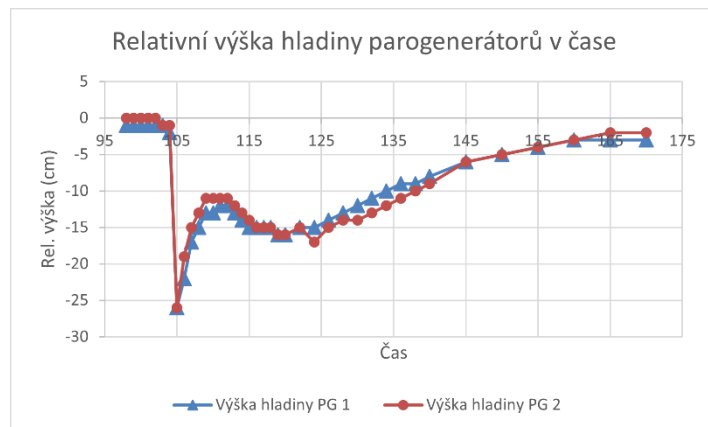
4. Průběh simulace

Bylo provedeno deset úloh, od jednoduchých změn výkonu přes poruchy jednotlivých zařízení, až po havarijní stavy, ze kterých jsme jednu vybrali a budeme jí zde popisovat. Simulace se nazývala „Zapůsobení HO-1“. Scénář byla následující: Došlo ke spuštění havarijní ochrany reaktoru. Naším úkolem bylo sledovat, jak si při nouzovém odstavení reaktoru celý systém počíná, a zapsat důležité veličiny. Následující část je chronologický průchod tím co jsme viděli po spuštění úlohy.

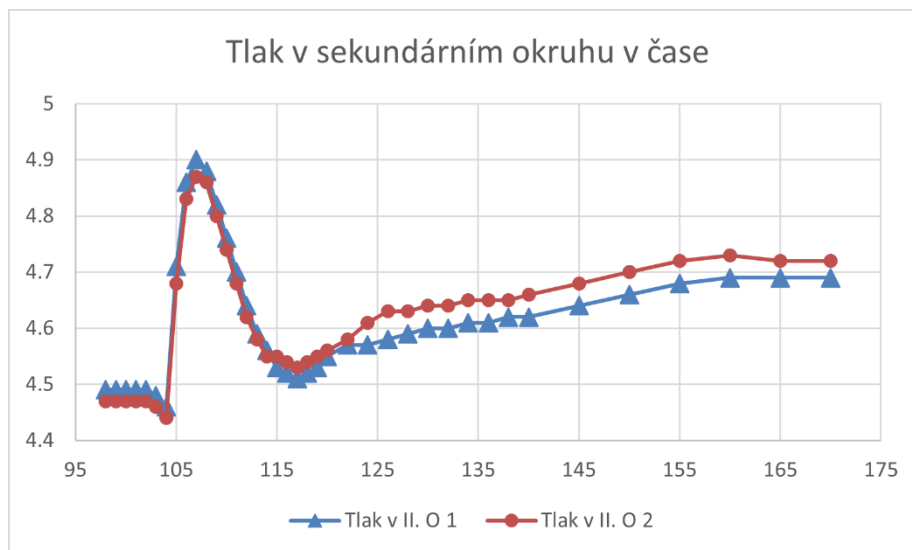
Prvních 97 sekund probíhala simulace normálně, pouze se srovnávala s nominálními hodnotami. V 98. sekundě došlo ke spuštění funkce HO-1, která zahajuje nouzové odstavení reaktoru. V tu samou chvíli se spouští havarijní kazety a výkon reaktoru padá k nule, o čtyři sekundy později jsou z provozu vyřazeny také obě turbíny, což je žádoucí kvůli udržení tlaku v HPK – hlavním parním kolektoru a zachování přibližně stejné teploty v primárním okruhu, jinak by došlo ke kladnému nárůstu reaktivity vlivem zvýšení hustoty vody, která slouží i jako moderátor. Odstavení turbín však vede také ke zvýšení tlaku v sekundárním okruhu způsobené neodebíráním páry z parogenerátorů. Tlak již za pět vteřin dosáhne hodnot 4,9 MP což je o 0,4MP vyšší než je nominální hodnota (viz Obr. 4). Aby se zabránilo dalšímu nárůstu tlaku jsou na plno otevřeny PSK- přepouštěcí stanice do kondenzátoru (viz Obr. 2), které obcházejí turbíny. Ty způsobí částečný pokles tlaku v sekundárním okruhu, a tím snižují tlak zpět na požadované hodnoty. Doba ustálení všech hodnot je okolo dvaceti sekund. Hladina v parogenerátorech zůstává stabilizována na nižších hodnotách (viz Obr.3) tlak v HPK se naopak stabilizuje na vyšších (viz. Obr.4).



Obrázek 2



Obrázek 3



Obrázek 4

5. Závěrečné hodnocení

Během těchto dvou dní jsme se blíže seznámili s komplexním fungováním jaderných elektráren a reaktorů v nich. V první části nám byla představen zlomek teorie kterou je při stavbě elektrárny nutno znát. V části druhé jsme si pak mohli sami vyzkoušet jaké to je pracovat jako operátor primárního i sekundárního okruhu. A hlavně jsme se přesvědčili o bezpečnosti, kterou u reaktoru zajišťuje nespočet systémů.

Poděkování

Rádi bychom využili tento prostor abychom poděkovali všem, kteří nám při této práci byli oporou. Zejména tedy panu Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D., který byl vedoucím našeho miniprojektu. Mezi

tyto lidi patří Dále pak organizátorům týdne vědy, díky kterým je tato akce tak skvělá. Díky patří i FJFI spadající pod ČVUT za poskytnuté pomůcky a prostory.

Reference

- [1] D. Kobylka. *VVER440* (prezentace)
- [2] D. Kobylka. *02_teorie* (prezentace)
- [3] D. Kobylka. *VVER_HO1* (tabulka)