

Simulace provozu JE s bloky VVER 1000 a ABWR

Martina Veselá - Gymnázium T.G.M. Hustopeče - marta.ves@seznam.cz

Tomáš Peták - Gymnázium Karla Sladkovského - t.petak@seznam.cz

Adam Novák - Gymnázium, Brno, Vídeňská 47 - ada.no@centrum.cz

Monika Kučerová – KGM, Praha - kucerovamonika@atlas.cz

Abstrakt:

Úkolem našeho projektu bylo seznámit se s problematikou jaderných elektráren. Zabývali jsme se konstrukcí, simulací provozu a řešením některých nestandardních situací. K měření jsme používali počítačové programy „IAEA Generic Bowling Water Reaktor Simulator“ a „WWER-1000 Reactor Departement Simulator“.

1 Úvod

Jaderná energetika se stala jedním z alternativních zdrojů stále více a více ustupujícího získávání energie z fosilních paliv. Základem je štěpení atomů těžkých jader, při kterém se uvolňuje značné množství tepelné energie. Tuto energii pomocí termodynamického oběhu převádíme na energii elektrickou. V našem projektu jsme se zaměřili na simulaci provozu a havarijních situací ve dvou typech jaderných elektráren.

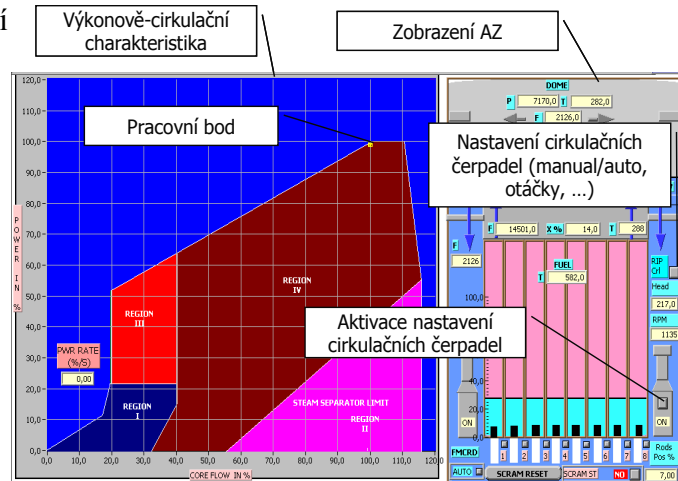
2 Bloky jaderné elektrárny

Blok ABWR

ABWR (advanced boiling water reaktor) je varný reaktor. Charakteristické pro reaktor jsou tyto hodnoty: výkon do sítě 1300 MW_e , tepelný výkon 3926 MW_t , účinnost cca 33,1 % a tlak 7,07 MPa, teplota sytosti je tedy $286,5^\circ\text{C}$. Řízení reaktivity probíhá několika způsoby – změnou koncentrace kyseliny borité (H_3BO_3), změnou polohy řídicích tyčí (pohybem dolů vysouváme z aktivní zóny, pohybem nahoru zasouváme do aktivní zóny), zvýšením nebo snížením cirkulace H_2O v AZ (čím vyšší otáčky, tím větší průtok, více H_2O oproti páře v AZ - to působí vnos kladné reaktivity). Havarijní a ochranné systémy prvního stupně způsobí vstřelení tyčí do AZ, což vede okamžitému odstavení reaktoru. Mohou zapůsobit při změně výkonu, poklesu nebo snížení tlaku páry, hladiny vody, uzavření pojistných ventilů parního potrubí a izolování reaktoru, zvýšení radioaktivity v parním potrubí, odpojení generátoru od sítě, zemětřesení a povel operátora. Druhý stupeň havarijních a ochranných systémů aktivuje zasouvání řídicích tyčí do AZ (při překročení 110% výkonu pro daný průtok a nebo havarijním doplňováním vody). Třetí stupeň způsobí blokování řídicích tyčí (při překročení 105% výkonu pro daný průtok). Řídicí systémy obsahují: automatický regulátor pohonu

řídících tyčí, regulátor pohonu cirkulačních čerpadel, systém regulace tlaku v reaktoru, regulátor výšky hladiny v reaktoru, systém řízení výkon TG, řídicí systém PSK.

V simulátoru IAEA Generic Boiling Water Reactor Simulator jsme mohli všechny hodnoty, uvedené v prvním odstavci, pozorovat v hlavním panelu. V programu jsou i další panely (panel regulátorů, panel hlášek havarijního odstavení, panel napájecích systémů, panel grafů, panel turbínového generátoru a panel řízení výkonu. Na panelu řízení výkonu je zobrazena výkonově-cirkulační charakteristika, ukazující v grafu několik oblastí ($y = \text{výkon v \%}$ / $x = \text{tok v \%}$). Sledovali jsme pohyb pracovního bodu. Pokud se pracovní bod dostal mimo region IV, nastávají nestandardní situace vedoucí až k odstavení reaktoru. V programu je možné simulovat a sledovat průběh několika havarijních odstavní (nízká hladina vody, vysoká hladina vody, manuální odstavení reaktorů, ...). Dále můžeme v aktivní zóně manuálně snižovat a zvyšovat: výkon, nastavení cirkulačních čerpadel (manual/ auto/ otáčky ...), zapínat a vypínat jednotlivé skupiny regulačních tyčí při manuálním režimu.

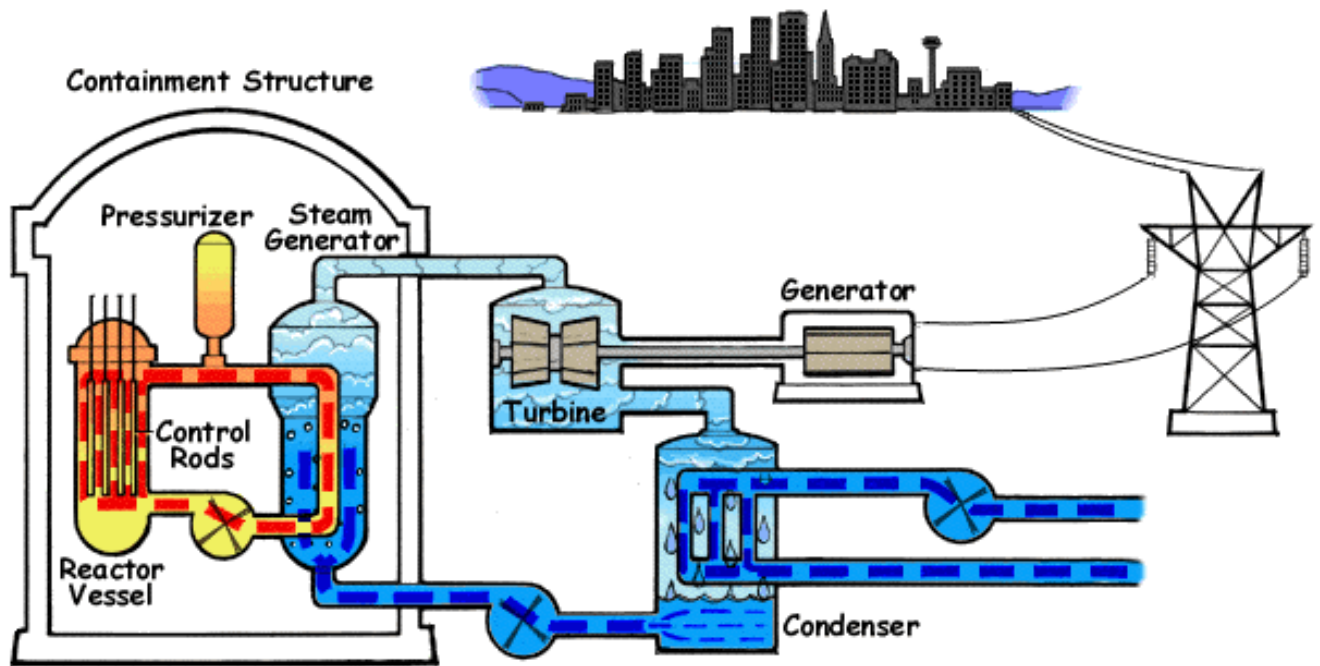


Při zvýšení otáček cirkulačního čerpadla se pracovní bod posouval vpravo (tzn.: průtok vody aktivní zónou se zvýšil, teplota paliva klesla, výkon byl regulován na stejné hladině automatickým zapínáním jednotlivých skupin řídicích tyčí. Při snížení otáček cirkulačního čerpadla se pracovní bod posouval vlevo (tzn.: průtok vody aktivní zónou se snížil, výkon byl udržován vypínáním jednotlivých skupin řídicích tyčí.

Blok VVER 1000

VVER 1000 je typem tlakovodního reaktoru. Tepelný výkon je 3000 MW_t, elektrický výkon činí 1000 MW_e. Palivem je lehce obohacený uran (<4% U235) ve formě UO₂. Moderátorem je lehká voda, která současně slouží i jako chladivo. Regulátory jsou kyselina boritá (H₃BO₃) a regulační tyče vyrobené z bórové oceli. Voda v primárním okruhu je pod tlakem 15,7 MPa, který zabraňuje varu (teplota sytosti je 346°C). V aktivní zóně je voda ohřata na o cca 30K na teplotu 320°C, dále proudí do 4 parních generátorů, kde předává svoji energii vodě v sekundárním okruhu. Tím je zmenšeno riziko úniku slabě radioaktivní vody od reaktoru. V primárním okruhu voda znovu pokračuje přes hlavní cirkulační čerpadla do reaktoru, kde se znovu ohřívá. Tlak je vyrovnáván kompenzátorem objemu, ve kterém měníme poměr mezi parou a vodou prostřednictvím elektroohříváků a sprchového systému.

V sekundárním okruhu proudí pára z parogenerátoru o tlaku 6,4 MPa a teplotě cca 260°C (parametry sytosti) na lopatky turbíny, která roztáčí generátor. Při této expanzi předává svoji energii, ochlazuje se a snižuje se její tlak až na tlak v kondenzátoru. V tomto zařízení pára kondenzuje zpět na vodu. Přes systém regenerátorů a napájecích čerpadel proudí znovu na turbínu, což nám zvyšuje účinnost.



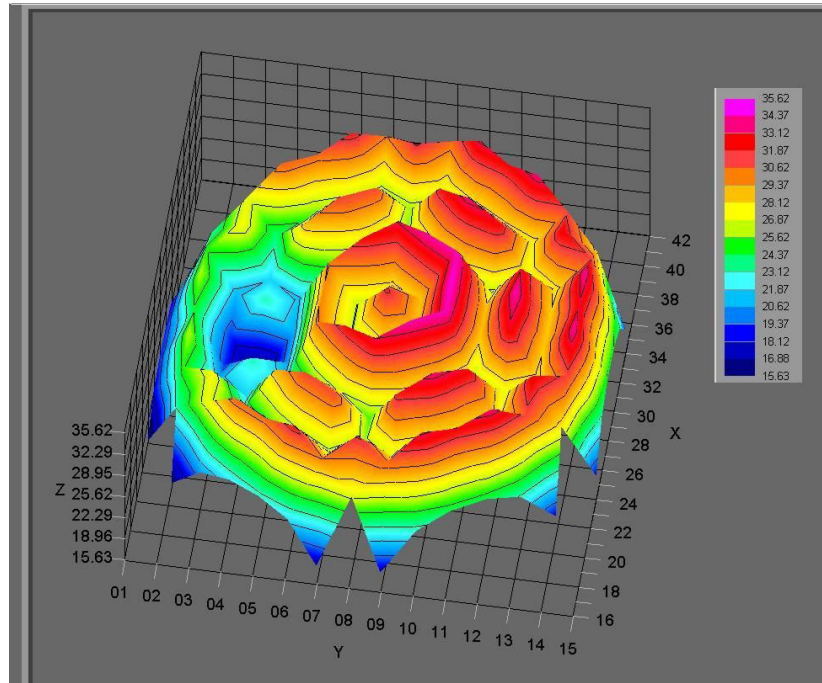
Pro simulaci jsme použili počítačový program WWER-1000 Reactor Department Simulator.

Tento simulátor umožňuje sledovat a nastavit mnoho parametrů jaderné elektrárny. Velký důraz je kladen na ovládání aktivní zóny reaktoru, kde lze manipulovat nejen s celými clusterly řídicích tyčí, ale i jednotlivými řídicími tyčemi. Dále můžeme měnit koncentraci kyseliny borité v aktivní zóně, stav čerpadel v sekundárním okruhu apod.

pozice skupin řídicích tyčí
 axiální rozložení neutronového toku
 indikátor pozice řídicích tyčí
 ventily borové regulace
 výběr skupiny automatického řízení
 výběr skupiny ručního řízení

FA parameters
 Subchannel 01 - 24
 Ao 9.9 Err 4.2
 Burn 0.0 Nr 11.4
 ΔT 20.1 Tdel 40.0
 Kq 0.82 Kv 0.78
 Deviation Influence Prohibition
 More More More
 Less Less Less
 N° 9s 9 P2 ****
 H ACP
 EP setpoint 107.0
 Y - X 1 GCP 06.37 80
 IND 100 100
 2 GCP
 DMS failure
 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
 EIC 1 99.8
 EIC 2 99.8
 Tdel 0.00
 Tdel 0.00
 N° 9.983e+01 P1 159.48 T 999 Kq 1.27
 Nr 3025.2 P2 60.20 Cs 7.515 Kv 1.74
 T1 301.70 Tdel 28.48 ρ 0.000 Ao 6.20
 1 GCP ACP 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 2 GCP KEY 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 00:00:18
 Thermohydraulic IC model
 Core model
 Boron exchange IC model
 CPS TAB

Otestovali jsme situaci pádu jednoho clusteru (souboru regulačních tyčí) do aktivní zóny reaktoru. Výkon v oblasti spadlé tyče poklesl a v druhé polovině aktivní zóny se výkon zvýšil. Celkový výkon reaktoru zůstal beze změny. Prostorové rozložení výkonu ukazuje následující 3D graf.



3 Shrnutí

Na základě měření a práce se simulátory jsme si mohli vyzkoušet, že provoz jaderné elektrárny je plně automatizován a operátoři mají velmi omezené možnosti zásahu do chodu. To zajistí zvyšuje bezpečnost JE. Přes naši veškerou snahu se nám nepodařilo více, než odstavit reaktor, a tudíž usuzujeme, že jaderná energetika je velice bezpečný způsob získávání elektrické energie.

Poděkování

Především bychom chtěli poděkovat FJFI ČVUT za zázemí a podporu při práci na projektu, našemu supervizorovi – Ing. Dušanovi Kobylkovi, Ph.D za konzultace a čas, který nám věnoval. V neposlední řadě děkujeme sponzorům FT.

Reference:

- [1] <http://cs.wikipedia.org/wiki/VVER-1000>, 19.6.2007
- [2] <http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/reactors.html>, 19.6. 2007
- [3] Boiling water reactor simulator. Workshop material. Training course series 23. IAEA, Vinna, 2003
- [4] WWER – 1000 reactor simulator. Workshop material. Training course series 21. IAEA, Vinna, 2003