

Simulace provozu JE s reaktorem VVER440

Kateřina Bucsuházy – Gymnázium Jana Blahoslava, Ivančice,

Kristýna Zemková – Gymnasium Slovanské nám. 7, Brno,

Iveta Beranová – Gymnasium Slovanské nám. 7, Brno,

Jan Valášek – Gymnázium Česká Lípa

katka_bucsuhazy@centrum.cz, Tyna.Zemkova@seznam.cz,

IvetaBeranova@seznam.cz, typerak@seznam.cz

Abstrakt:

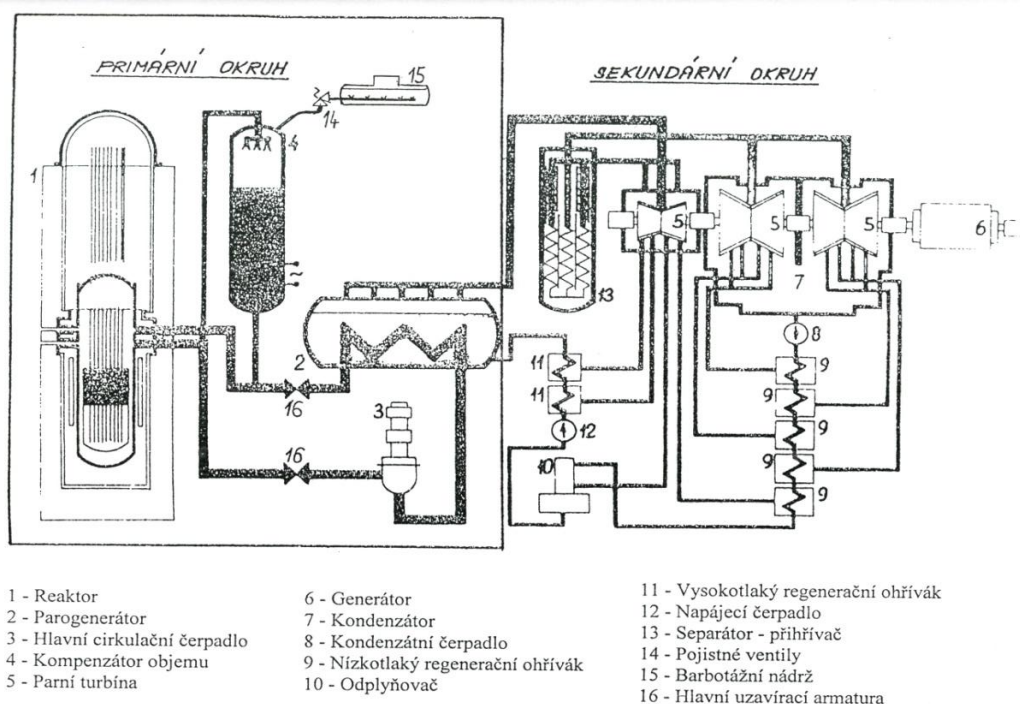
Jaderná energetika se dnes již stala téměř nepostradatelnou, i přesto má ještě pořád vysoké procento populace strach, jestli je opravdu bezpečná. Proto jsme se chtěli seznámit s tím, jak vlastně taková jaderná elektrárna funguje, a zjistit, jestli se při havárii zvládne reaktor samovolně odstavit a hlavně dojde-li k dochlazení aktivní zóny.

Úvod

Jaderné elektrárny se postupně stávají běžnou součástí našeho života a navíc typ reaktoru, se kterým jsme prováděli simulaci, používá naše první JE Dukovany. Proto jsme se chtěli dozvědět, jak tento reaktor funguje a jestli je opravdu bezpečný.

1. Teorie

Schéma jaderné elektrárny s reaktorem VVER-440 je dvouokruhové – teplo z reaktoru se odvádí primárním okruhem do tepelného výměníku (parogenerátoru), kde vzniká pára. Ta se sekundárním okruhem přivádí k turbíně, která pohání generátor.



Obr. Č. 1: Principiální schéma primárního a sekundárního okruhu JE VVER 440[1]

Reaktor VVER-440 je tlakovodní, nominální tlak na primárním okruhu je 12,26 MPa. Ruská zkratka VVER (vodo-vodjanoj energetičeskij reaktor) odpovídá anglické zkratce PWR (pressurized light-water cooled and moderated reactor).

Reaktor pracuje na základě štěpení pomocí tepelných neutronů. Rychlé neutrony ze štěpení je proto zapotřebí zpomalit pomocí moderátoru. Moderátorem je lehká voda, která zároveň plní funkci chladiva. Tato společná funkce je výhodná také z hlediska bezpečnosti, protože dojde-li při havárii na primárním okruhu ke ztrátě chladiva popř. snížení jeho hustoty vlivem zvýšené teploty, sníží se i moderační schopnosti. Neutrony jsou příliš rychlé a nejsou schopny štěpit U 235, tím se štěpná reakce samovolně odstavuje. Rovněž řídicí systémy jsou konstruovány tak, aby při nebezpečných situacích systémy bezpečně odstavily. Jak vypadá průběh havarijní situace nás zajímalo a proto jsme si ho vyzkoušeli na simulátoru.

Voda je slabě aktivována pouze v primárním okruhu, kde má teplotu 267°C na vstupu a ohřívá se o cca 30°C. Jako palivo slouží obohacený uran ve formě UO₂. Do reaktoru se vkládá 312 palivových kazet a 37 kazet regulačních. Každá palivová kazeta se skládá ze 126 palivových proutků, ve kterých je palivo hermeticky uzavřeno. Tepelný výkon reaktoru je 1375 MW, ale protože účinnost bloku je necelých 33%, elektrický výkon činí pouze 440MW.

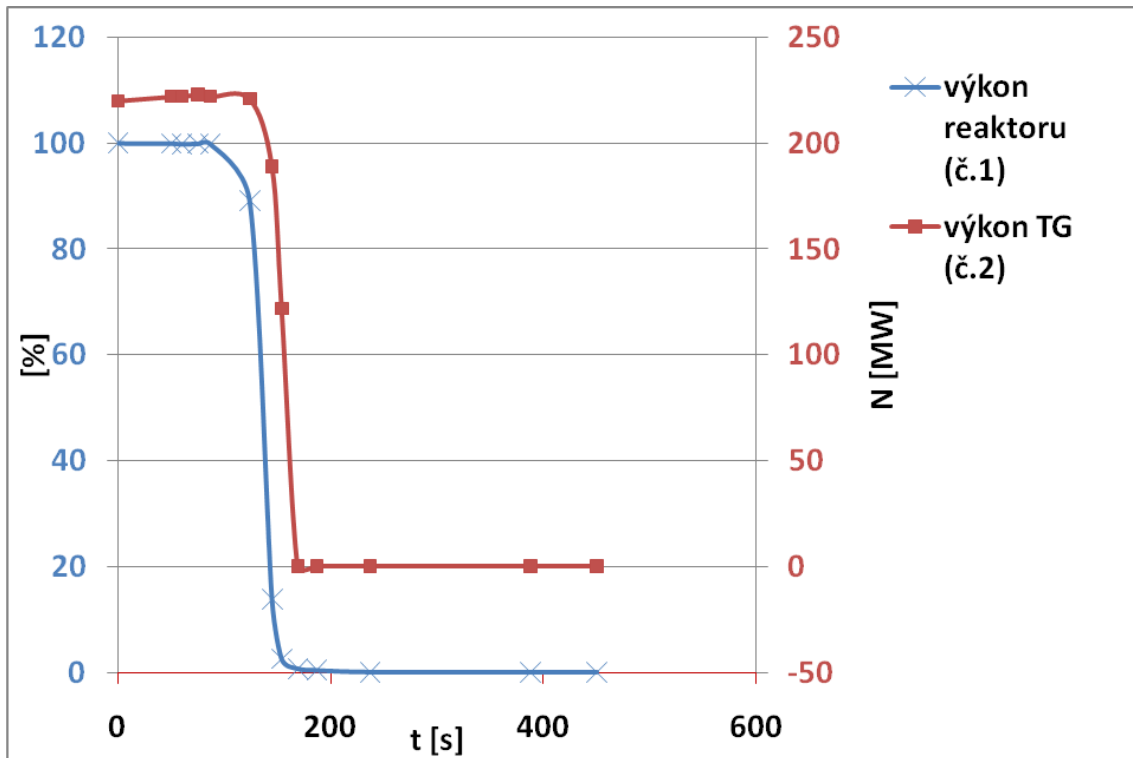
2. Simulace provozu s VVER-440

Simulaci provozu jaderné elektrárny s blokem VVER 440 jsme prováděli na počítačovém programu Simulátor SIMED v1.0. Tento program běžel na čtyřech počítačích, z nichž jeden byl řídicí, u kterého pracoval vedoucí primárního okruhu (PO), u dalšího seděl vedoucí sekundárního okruhu (SO) a zbylé dva počítače sloužily jako přehledové a ovládací panely jednotlivých okruhů. Simulovali jsme jak běžný stav provozu JE, tak i havarijní případy jako je například prasknutí potrubí v parním generátoru. Při této simulaci jsme zkoumali, jak na tuto situaci bude elektrárna reagovat, zda bude zaručeno bezpečné dochlazení aktivní zóny.

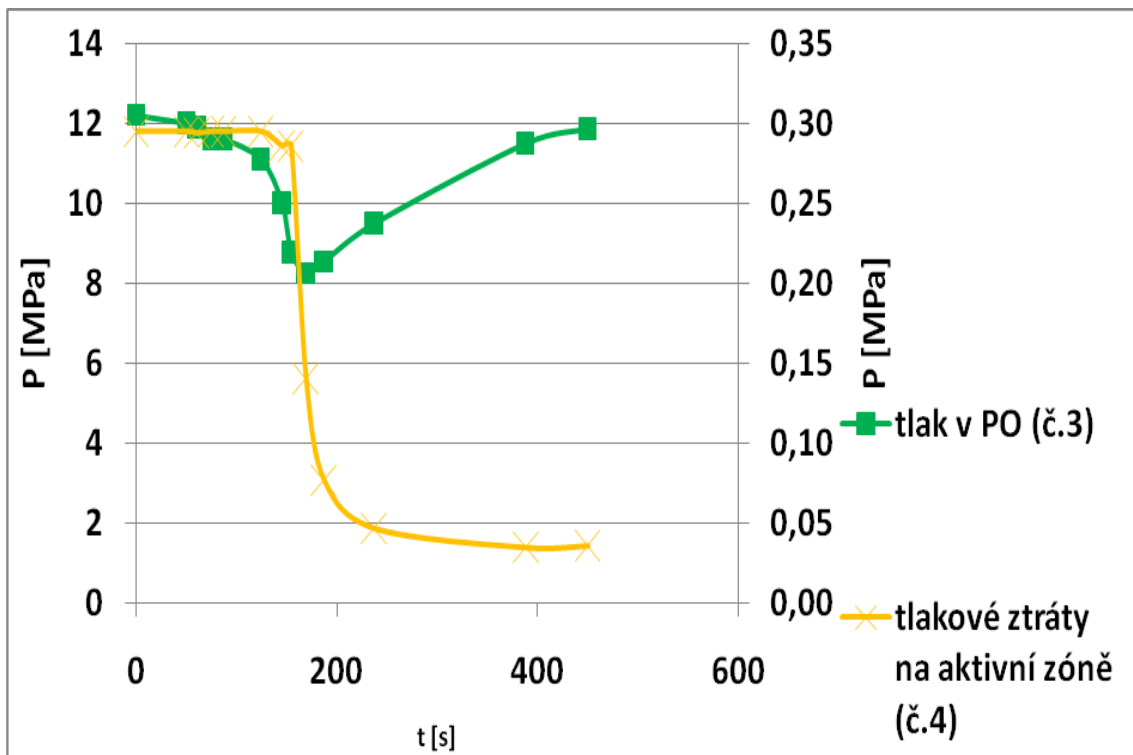
Praskne-li potrubí v parogenerátoru, voda vytéká z prasklého potrubí a odtéká do SO, kde zvedá hladinu vody na sekundární straně v postiženém parogenerátoru (PG). V PO klesá tlak. K jeho udržení jsou zapínány elektroohříváky (EO) kompenzátoru objemu (KO). Vzniklou parou v KO se vytlačí voda do PO a klesá její hladina. Při poklesu tlaku pod 11,3MPa se spustí havarijní ochrana 3 (HO-3) (zasouvání havarijních a regulačních kazet - HRK) a při jeho následném poklesu pod 9,3MPa zapůsobí HO-1 (pád HRK), která odstaví celý blok. Současně se zastaví hlavní cirkulační čerpadla ženoucí vodu v PO a dochází k odstavení turbín. V SO se tak zvýší tlak. V aktivní zóně (AZ) postupně dobíhá jaderná reakce a dochází k uvolňování zbytkového tepelného výkonu, který je třeba odvádět. To je zajištěno přirozenou konvekcí chladiva. Při úbytku chladiva na PO se automaticky otevřou ventily hydroakumulátorů a dochází k doplňování chladiva.

Uvedené děje ilustrují následující grafy. Na prvním z nich jsou zobrazeny výkony reaktoru a turbogenerátorů (TG), druhý ukazuje tlaky. Havárie se začíná projevovat v cca 60té sekundě poklesem tlaku v PO (křivka č.3), který zpomalují zapínající se EO v KO. Výkon reaktoru (křivka č.1) začíná postupně klesat po zásahu HO-3 v cca 90té sekundě. Později, cca ve 120té sekundě po snížení tlaku v PO na cca 10MPa, zapůsobí HO-1 a odstavuje blok, jak je vidět v poklesu výkonu TG (křivka č.2) a zastavení cirkulačních čerpadel PO (projevuje se poklesem tlakové ztráty na AZ – křivka č.4). Po odstavení bloku dochází ke vzrůstu tlaku a jeho stabilizaci vlivem doplňování chladiva a působení EO.

Prasknutí trubky parogenerátoru nepatří k nejzávažnějším haváriím. Do sekundárního okruhu sice pronikne aktivní voda z primárního okruhu, ale radioaktivita není tak vysoká, aby způsobila nějaké vážnější problémy. Největší problém při této havárii spočívá v zajištění dochlazení aktivní zóny. Pokud by totiž aktivní zóna nebyla dochlazena, mohlo by dojít k jejímu roztavení.



Závislost výkonů na čase (výkon TG na vedlejší ose)



Závislost tlaků na čase (tlakové ztráty na AZ na vedlejší ose)

Shrnutí

Zjistili jsme, že jaderná elektrárna je z hlediska bezpečnosti koncipována velmi dobře. Při havárii – prasknutí trubky parogenerátoru – kterou jsme zkoušeli simulovat, se všechna zařízení bez problému samovolně odstavila a došlo i k dochlazení aktivní zóny.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT v Praze za pořádání Fyzikálního týdne a především supervizorovi našeho projektu Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D.

Zdroje:

- [1] ČEZ a.s: *Primární část JE VVER 440 s reaktorem V-213-č, studijní materiály*, 1999, pp. č. strany–č 7.
- [2] DOC. ING. BEDŘICH HEŘMANSKÝ, CSC. *Jaderná zařízení I* ČVUT 1990
- [3] [HTTP://WWW.SUJB.CZ/DOCS/NZ_PRILOHA1.PDF](http://www.sujb.cz/docs/nz_priloha1.pdf) 16.6.2009