

Simulace provozu JE typu VVER - 440

J. Kožnar*, M. Hošek**

*Střední průmyslová škola Třebíč, **SOŠ a SOU Kladno Dubská

*koznarj.04@spst.eu, **misahosek@gmail.com

Abstrakt:

Příspěvek pojednává o jaderných elektrárnách, blíže o typu elektrárny s reaktorem VVER-440, je zde zhruba popsána jeho konstrukce, dále se zabývá simulacemi v programu SPVS EDU. Příspěvek dále blíže popisuje vybranou simulaci poruchy přepouštěcích ventilů kompenzátoru objemu.

1. Úvod

Jaderná elektrárna je technologické dílo, které umožňuje využít energii uvolněnou při štěpení jader atomů k výrobě elektrické energie. Jedná se o zařízení technicky náročné na provoz. Nenachází se zde prostor pro chyby, tudíž personál musí být dobře proškolen. K výcviku pracovníku je nejideálnější používat právě simulátory, které jsou schopny velmi věrohodně napodobit opravdový provoz elektrárny a to bez rizika reálného nebezpečí.

V rámci projektu jsme provedli simulace JE s reaktorem typu VVER-440 a to jak běžné provozní stavy, tak i havarijní scénáře. Částečně jsme do provozu zasahovali, ale také jsme bez zásahu pozorovali měnící se hodnoty a vysvětlovali si děje uvnitř elektrárny.

2. Jaderná elektrárna s reaktorem typu VVER-440

Blok s reaktorem VVER je typ jaderné elektrárny vyvinuté Sovětským svazem, který je možno nalézt v zemích bývalého východního bloku. Jedná se o dvouokruhový systém o původním výkonu 440MW_e , voda je zde pod tlakem aby nedocházelo k varu, v tomhle typu slouží jako chladivo a moderátor zároveň. Na západě se tenhle typ označuje jako PWR. V České republice aktuálně pracují čtyři jaderné bloky typu VVER-440 a to v Jaderné elektrárně Dukovany.

Primární okruh

Primární okruh se skládá z reaktoru, šesti parogenerátorů, šesti hlavních cirkulačních čerpadel, kompenzátoru objemu a dalších pomocných a bezpečnostních systémů. V reaktoru dochází ke štěpení jader ^{235}U ve formě UO_2 , který je uzavřen v proutcích uvnitř kazet v aktivní zóně. Při štěpení

dochází ke vzniku tepelné energie. Aby jaderná reakce v tomto typu reaktoru mohla vůbec proběhnout, je za potřebí moderace neutronů, která je v tomto případě dosažena vodou. Uvolněná energie ohřívá vodu protékající aktivní zónou, voda je vháněna do parogenerátoru, kde dochází k výměně tepla do sekundárního okruhu. Z parogenerátoru voda pokračuje do hlavních cirkulačních čerpadel a ta ji vhání zpět do reaktoru. K případnému vyrovnávání tlaku při změnách teploty slouží kompenzátor objemu, který je vybaven elektroohříváky a sprchovým systémem.

Sekundární okruh

Díky výměně tepla z primárního okruhu v parogenerátorech vzniká pára, která se shromažďuje v hlavním parním kolektoru. Odtud pokračuje přes ventily na vysokotlaké díly 2 paralelních turbín. Po průchodu vysokotlakým dílem pokračuje pára do separátoru, kde jsou z ní odstraněny vodní kapky, poté pokračuje pára do přehříváče a na dva nízkotlaké díly turbíny. Turbína roztáčená parou je připojena na generátor, který ve finále převede kinetickou energii na elektrickou, která je transformována a odesílána do rozvodné sítě. Pára z nízkotlakých dílů pokračuje do kondenzátoru, kde kondenzuje. Odtud se kondenzát čerpá do nízkotlaké regenerace a poté do odplyňovacího zásobníku. Odtud pokračuje přes hlavní napájecí čerpadla a přes vysokotlakou regeneraci zpět do parogenerátoru.

Terciální okruh

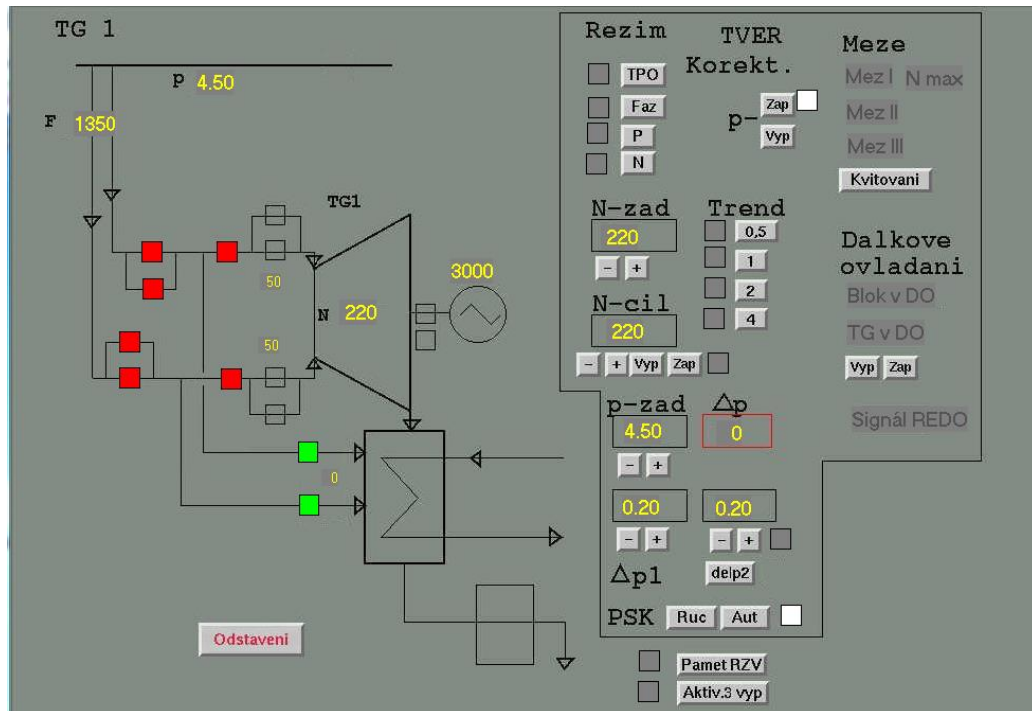
Chladicí okruh má za úkol odvádění kondenzačního tepla ze sekundárního okruhu. Získané teplo v něm odvádí do chladících věží. Chladivo terciálního okruhu bývá chemicky neupravená voda z přirozeného zdroje, například v Jaderné elektrárně Dukovany z řeky Jihlavy.

3. Simulace

Pro simulaci elektrárny, byl použit program SPVS EDU, na kterém se v počátečních fázích výcviku školí operátoři. Simulace probíhá na čtyřech počítačích současně, pro každý okruh dva. Bylo nasimulováno mnoho scénářů, běžný a abnormální provoz, dokonce i různé havarijní stavy. Bylo možné pozorovat změny parametrů, které způsobují fyzikální jevy uvnitř zařízení.

Mezi simulované scénáře patřil například výpadek obou turbín najednou. Dalším typem úloh byly výpadky hlavních cirkulačních čerpadel. Při výpadku dvou byl reaktor schopen stále provozu za sníženého výkonu, při simulaci výpadku všech byl reaktor odstaven a dochlazován přirozenou cirkulací přes smyčky a parní generátory.

Další simulací byl například výpadek napájení vlastní spotřeby. Simulován byl i zásah do provozu člověkem při ovládní „od reaktoru“ tj. měnit výkon reaktoru a sledovat přízpusobení turbíny a vice versa „ovládání od turbíny“.

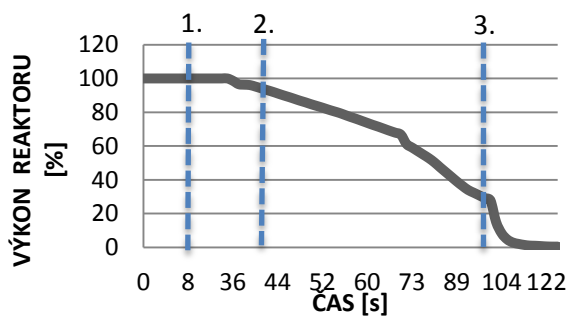


Obrázek 1 Rozhraní simulátoru SPVS EDU [2]

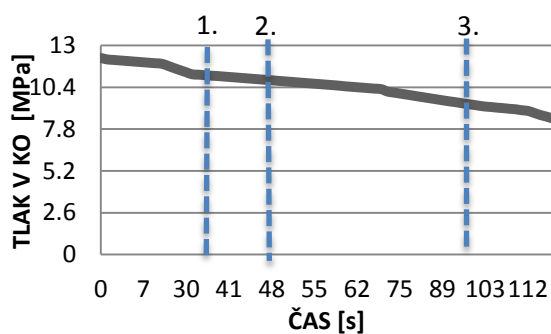
- **Simulace poruchy přepouštěcích ventilů kompenzátoru objemu**

V rámci miniprojektu byla nasimulována i obdoba havárie elektrárny Three Mile Island (1979, USA)[1]. Simulace havárie počíná neplánovaným otevřením přepouštěcích ventilů kompenzátoru objemu (KO), výsledkem bylo snižování tlaku v primárním okruhu.

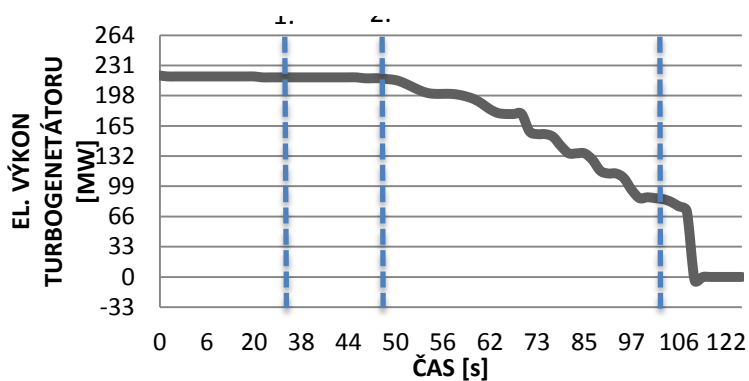
Elektroohřívačky se v prvních momentech pokouší o vyrovnání tlaku uvnitř KO. 35 sekund od počátku havárie jsou aktivovány havarijní ochrany, dochází k vsunutí regulačních kazet do aktivní zóny a ke snižování výkonu (viz čas 1., graf 1). V čase 49 sekund přechází turbína do režimu odstavování, což vede ke snižování výkonu turbogenerátorů (viz čas 2., graf 3). V čase 103 sekund je aktivováno havarijní odstavení, regulační tyče jsou zcela zasunuty do aktivní zóny, nastává rychlé snížení výkonu reaktoru (viz čas 3., graf 1). V čase 132 sekund od počátku havárie je reaktor odstaven, reaktor produkuje již zbytkový tepelný výkon, hlavní cirkulační čerpadla jsou odstavena a primární okruh je chlazen pouze za pomoci přirozené cirkulace.



Graf 1



Graf 2



Graf 3

4. Shrnutí

Byli jsme blíže seznámeni se základy procesů uvnitř jaderné elektrárny, mohli jsme si alespoň lehce vyzkoušet, jaké by to asi bylo na blokové dozorně. Vyzkoušeli jsme si práci v týmu, utvrdili jsme se v tom jak důležitá je komunikace mezi operátory, ale taky jsme si uvědomili při simulaci havárií, jak málo dokáže člověk ovlivnit a došlo nám jak důležitá je práce ochranných systémů, na kterých jsme prakticky zcela odkázáni a na které spoléháme.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Dušanu Kobyolkovi, PhD. za jeho čas, ochotu a vstřícnost. Dále bychom ještě rádi poděkovali organizátorům Týdne vědy na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze

Reference

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_accident
- [2] Obrázek 1 ze simulátoru