

Simulace provozu JE typu VVER-440

Lucie Sladká, Martin Kovanda

VOŠ, SPŠ a JŠ, Kutná Hora

Gymnázium Žďár nad Sázavou, Neumannova 2

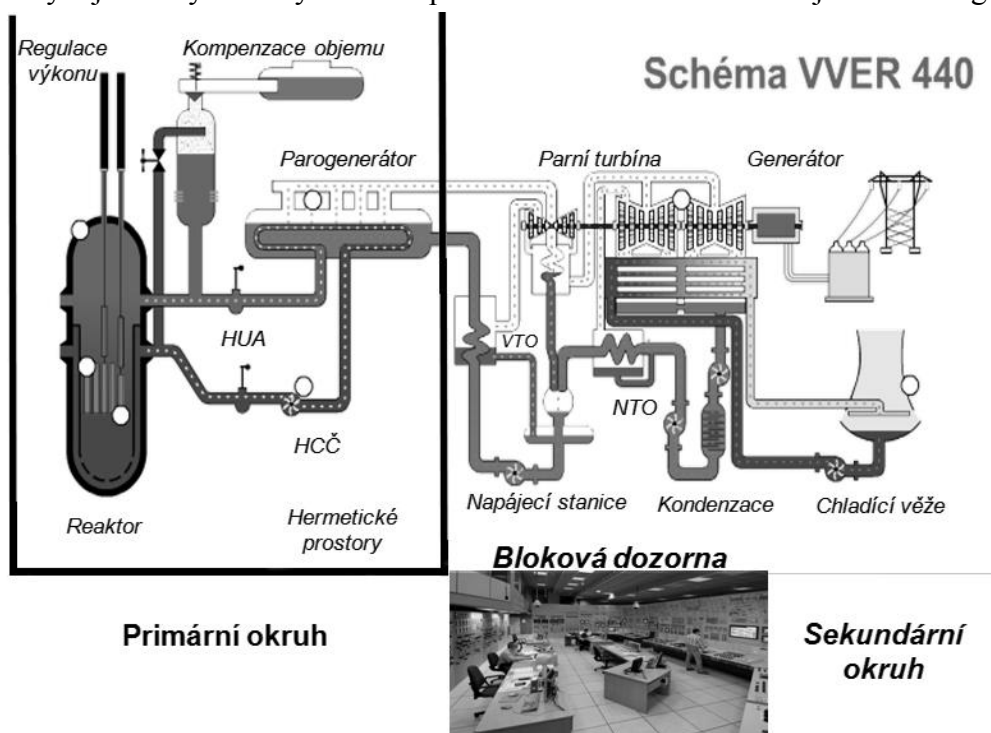
sludlu1@seznam.cz, maertinkovanda@email.cz

Abstrakt:

V tomto článku je popsán tlakovodní reaktor typu VVER 440/V213, který je například v Dukovanech a simulace jeho provozu v nominálním stavu i abnormální a havarijní situaci. Pro většinu abnormálních a havarijních situací, jako jsou například poruchy turbogenerátorů, čerpadel, úniky vody nebo závada na reaktoru, je JE soběstačná a automaticky řeší vzniklé problémy. Jedná se o displejovou – výkonovou simulaci, některé hodnoty tedy nemusí plně souhlasit se skutečností. Hluběji jsme si rozebrali situaci se ztrátou napájení vlastní spotřeby (VS).

1 Úvod

V dnešní době, kdy energie a informace znamenají svět a zároveň si uvědomujeme, že elektrárny na fosilní paliva nevydrží vyrábět elektřinu věčně, je jaderná energetika všestrannou hvězdou. Nejenže nevytváří skoro žádné emise a je tím pádem velmi ekologická, navíc je to stabilní a regulovatelný zdroj elektrické energie na rozdíl od větrné a solární energie. S vývojem recyklace vyhořelého paliva se blížíme k udržitelné jaderné energetice.



Zkratka VVER 440 znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor s výkonem 440 MWe. Reaktory typu VVER 440 typ 213 najdeme například v Dukovanech, kde má díky modifikaci výkon 510 MWe. Dále je můžeme nalézt ve slovenské Mochovce, Jaslovské Bohunici nebo maďarském Paksi. Tlakovodní elektrárna se skládá z primárního, sekundárního a chladicího okruhu. V aktivní zóně primárního okruhu probíhá řízená štěpná řetězová reakce, která ohřívá vodu. Ta díky vysokému tlaku dosahuje teplot až 300°C aniž by začala vřít. Další důležitou částí je kompenzátor objemu, který vyrovnává objemové rozdíly díky různým poklesům a následným nárůstům teplot.

Voda proudí do parogenerátoru, kde se prudkým ohřátím vody vytváří pára. Ta v sekundárním okruhu roztáčí turbínu napojenou na generátor a poté míří do kondenzátoru, kde pára kondenzuje na vodu a míří zpět do parogenerátoru. [1][2] Nedávno byly upgradovány systémy pro dukovanskou elektrárnu, díky které se zlepšila účinnost i výkon elektrárny.

Stejný typ elektrárny však už další rozšiřování nečeká, protože tento typ už je zastaralý a není nikdo, kdo by se chystal vystavět JE s generátory typu VVER 440/V213. To ovšem dává prostor pro rozvoj nových typů i systémů. Reaktory VVER 440/V213 sloužily dlouho a dobře, ale čas jejich vývoje již nadešel.

Elektronické komponenty JE se dělí na tři kategorie podle jejich příkonu a důležitosti.

I. kategorie. Tyto komponenty smí být bez napájení maximálně zlomky sekund. Jsou velmi důležité z hlediska jaderného bloku a mají malé příkony. Patří sem nouzové osvětlení, napájení systémů MaR a ochrana automatik. Je nutné tyto komponenty udržet v provozu a proto se musí napájet z baterie, avšak jen po dobu nezbytně nutnou pro naběhnutí diesel generátorů.

Spotřebiče II. kategorie jsou ty, které smí být bez napájení maximálně desítky sekund až několik minut. Mají celkem velké příkony, a proto není možné zajistit jejich provoz na energii z baterie. V momentě, kdy dieselové generátory vyrábějí elektřinu, se k využívání této energie přidávají i spotřebiče I. kategorie, aby se zbytečně neopotřebovala baterie. Patří sem například vysokotlaké doplňování primárního okruhu, sprchový systém a havarijní napájecí čerpadla (HNČ).

Spotřebiče III. kategorie jsou spotřebiče s velmi velkou spotřebou, které se spouští až s elektrárnou po vyřešení problému. Není možné je napájet z dieselových generátorů a nejsou kriticky potřebné pro udržení elektrárny stabilizované. Je to hlavní cirkulační čerpadla (HCČ), které přivádí vodu k reaktoru, kondenzátní čerpadla, nebo čerpadla vody chladicího okruhu.

Pro vyzkoušení, jak vše funguje v provozu, jsme použili simulátor. Přesněji to byl displejový – výukový simulátor SPVS⁺EDU/ETE, který se používá i pro nácvik na zlepšování schopností a rozhodování pro pracovníky operačních bloků JE ETE a EDU. [3] Vyzkoušeli jsme si zde nominální chod elektrárny, kdy byly všechny hodnoty přednastavené na normální provozní hladině, a upravovali jsme výkon reaktoru nebo vypínali turbogenerátory.

Zažili jsme si i horké chvíle s reaktorem, když nám simulace spustila kritické stavy. Čelili jsme spolu s elektrárnou poruchám na reaktoru, vypnutí všech čerpadel i zastavení obou turbogenerátorů. Nejzajímavějším a nejkompexnějším jsme však shledali výpadek proudu, kdy se elektrárna nedostávala elektrická energie, která by napájela velikány jako čerpadla chladicí vody, sprchový systém a hlavní cirkulační čerpadla.

2 Simulace provozu

Simulátor SPVS⁺EDU/ETE (Simulační Počítačový Výukový Systém) je stupeň mezi výukovým a výcvikovým displejovým simulátorem. Tento simulátor můžeme spustit

na počítačích ve třídě, ale zároveň má pěkně vyvedený interface i reakce elektrárny na různé zásahy. Jsou zde mírné odchylky od reality, ale jinak je program velmi přesný. Začali jsme spuštěním programu a navolením nominálního nastavení.

Výkon reaktoru	Střední teplota v reaktoru	Rozdíl teplot vstupní a výstupní vody	Výstupní teplota z reaktoru	Tlak v HPK	Výkon jedné turbíny
100.0 %	279,8°C	29,4°C	294,5°C	4,5 MPa	220 MWe

Elektrárnu kontroluje a reguluje SARV, což je Systém Automatické Regulace Výkonu Bloku a má podsystémy. Mezi tyto podsystémy patří TVER, to znamená turbínový výkonový elektronický regulátor. Řídí turbogenerátory, které přetvářejí mechanickou energii na elektrickou a v ručním režimu přes něj můžeme snižovat výkon turbín nebo Přepouštěcí Systém do Kondenzátoru (PSK).

Další regulační systém je RCS –Reactor Control System, neboli Řídicí Systém Reaktoru. Pomocí něj můžeme zasouvat nebo vysouvat 6. skupinu regulačních kazet v ručním režimu.

Zkusili jsme snížit výkon s TVER v režimu P. Rozdělili jsme si primární a sekundární okruh a zadaná byla regulace PO → SO. Při tomto typu regulace upravuje primární okruh výkon a sekundární okruh se tomu přizpůsobuje. TVER v režimu P poté sleduje změny tlaku v HPK a podle toho přizpůsobuje množství páry, která protéká na turbíny a tím vyrovnává tlak v sekundárním okruhu. Vše je kontrolováno systémem elektrárny, ale i přes to mu být operátor trpělivý a opatrný. V případě jednání, které by bylo pro elektrárnu nebezpečné, se některé systémy mohou zablokovat a může dojít i k odstavení turbogenerátoru, nebo i reaktoru.

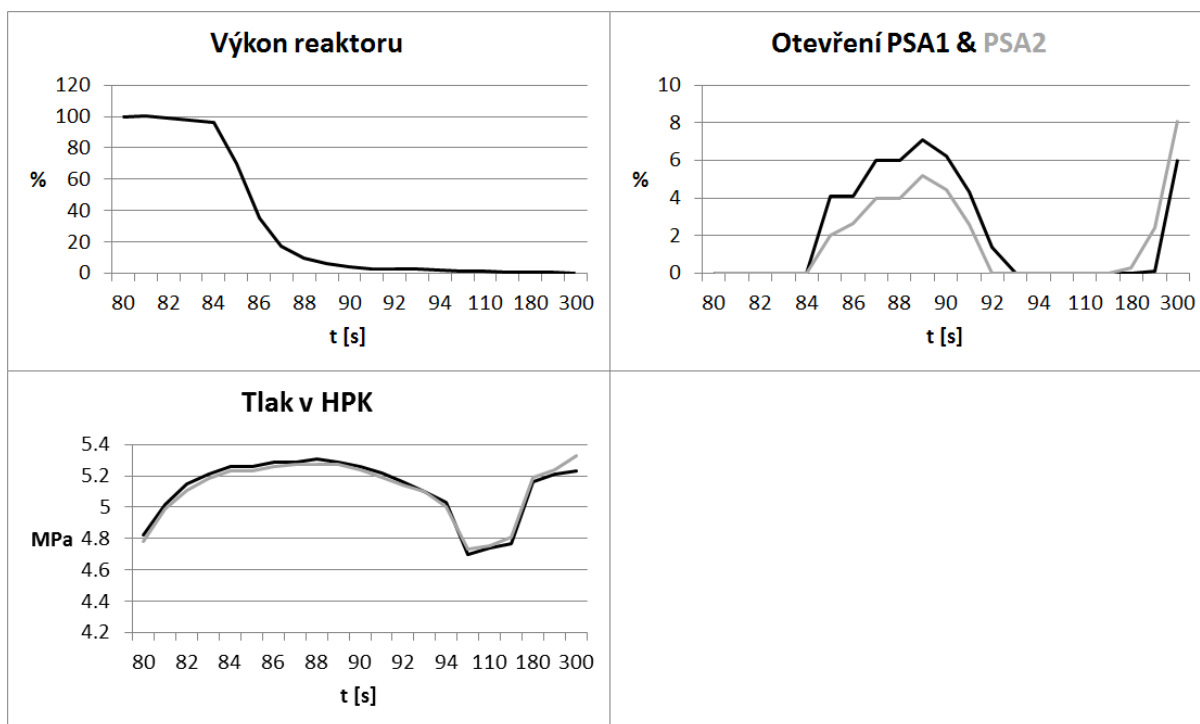
Tím jsme se se simulátorem seznámili a přešli na krizové stavy. Elektrárna zvládne díky preciznímu návrhu většinu abnormálních a havarijních stavů vyřešit bez zásahu pracovníka. Často jsme jen sledovali, jak se elektrárna sama vypořádává s nefunkčními čerpadly a jak vyrovnává tlaky. Nejzajímavější krizový stav byl již zmiňovaná ztráta napájení VS.

Ztráta napájení VS by mohla nastat v případě závady na přenosové soustavě elektrárny. V případě, že se do elektrárny nedostává elektřina, začíná soubor kroků, které musí JE podniknout, aby se předešlo poničení komponent elektrárny. Začali jsme simulaci s nominálními hodnotami.

Po ztrátě napájení VS se okamžitě odstaví turbogenerátory. Zapínají se havarijní systémy HO-1 až HO-4 systémy. Odstavení turbogenerátorů JE prudce zvýší tlak v parním kolektoru. Havarijní kazety ihned padají do aktivní zóny a odstavují reaktor. JE automaticky vyrovnává tlaky v sekundárním okruhu pomocí přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA). PSA řídí průběh tlaku a reguluje tak teplo kolem reaktoru. Všechna čerpadla kolem reaktoru plynule pomocí zbývající mechanické energie čerpají vodu primárního okruhu. PSA udržuje přijatelný tlak sekundárním okruhu.

Po limitu pro naběhnutí dieselového generátoru začne systém postupně spouštět v sekundárním okruhu havarijní čerpadlo. PSA v HPK drží vyšší než provozní tlak, aby se v primárním okruhu udržela teplota, ale zároveň pomocí ventilů zachovává tlak v sekundárním okruhu udržitelný.

Po cca čtyřech minutách už je elektrárna stabilizovaná a PSA už jen udržuje tlak v sekundárním okruhu stabilní.



3 Shrnutí

Systémy jaderné elektrárny VVER 440 typu V231 jsou na velmi vysoké úrovni a zvládají kontrolovat a regulovat JE bez větších zásahů člověka. Velmi dobré jsou i v abnormálních a havarijních situacích, kdy přebírají kontrolu nad elektrárnou a vedou akci bez nutnosti zásahu zaměstnanců elektrárny. Člověk chybuje a snad i proto systém nenechá člověka v krizové situaci moc co dělat. Vylučuje se tak lidské pochybení a zvyšuje se tím bezpečnost našich elektráren.

Simulátory pro výuku i výcvik jsou velmi kvalitní programy pro přípravu budoucích zaměstnanců, tak i pro prohlubování zvyků a znalostí těch stávajících.

Poděkování

Za naši dvojici bychom chtěli poděkovat Týdnu vědy na Jaderce za úžasný program plný nových věcí, které jsme se dozvěděli. Dále nesmíme opomenout vedoucího naší práce pana Ing. Dušana Kobylku Ph.D., který nám představil simulátory a jaderné elektrárny a byl tu vždy, aby nám odpovídal na naše nekonečné dotazy.

Reference:

- [1] [HTTPS://WWW.CEZ.CZ/CS/VYROBA-ELEKTRINY/JADERNA-ENERGETIKA/JADERNE-ELEKTRARNY-CEZ/EDU/TECHNOLOGIE-A-ZABEZPECENI.HTML](https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html) [CIT. 21. ČERVEN 2016]
- [2] [HTTPS://CS.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/VVER#VVER-440_TYP.C2.A0213](https://cs.wikipedia.org/wiki/VVER#VVER-440_TYP.C2.A0213) [CIT. 21. ČERVEN 2016]
- [3] *SPVS⁺ EDU/ETE příručka uživatele VUJE, 2008, Úvod*
- [4] https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDpadek_dod%C3%A1vky_elekt%C5%99iny [CIT. 21. ČERVEN 2016]
- [5] *Schéma VVER-440; Ing. Pavel Slabák, ELEKTRICKÁ ČÁST JADERNÉ ELEKTRÁRNÝ DUKOVANY, ČEZ, 2016*