

Simulace provozu JE s bloky VVER 440 a CANDU 6

P. Říha*, M. Košťálek**

*Gymnázium Velké Meziříčí

**Gymnázium Vysoké Mýto

*pavel.dkl@centrum.cz

**freebroom@yahoo.com

Abstrakt

Jaderná elektrárna je velice složité zařízení. Při jejím řízení se její součásti vzájemně ovlivňují a obsluha musí nejen přesně vědět, k čemu která část elektrárny slouží, ale i mít nacvičené, co se stane po provedení určité změny a jak reagovat na neočekávané problémy. A právě proto jsou důležité simulátory, které umožňují nacvičení řešení všech problémů. Hlavním předmětem tohoto článku je simulace provozu jaderné elektrárny a s ní spojený popis součástí jaderné elektrárny.

1. Úvod

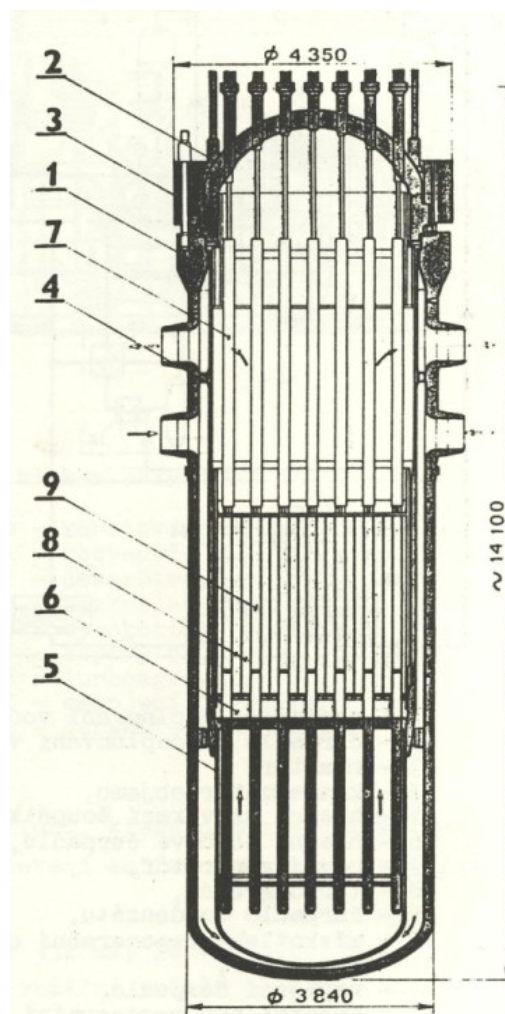
V Evropě a Severní Americe mají jaderné elektrárny dodávající elektřinu do sítě průměrně zastoupení instalovaného výkonu několik desítek procent. Mají mnoho zastánců i odpůrců, ale ne všichni mají správnou představu o jejich činnosti. My jsme v rámci našeho miniprojektu „Simulace provozu JE s bloky VVER 440 a CANDU 6“ vyslechli přednášku o činnosti jednotlivých zařízení jaderné (v sekundárním okruhu i tepelné) elektrárny. Na simulátorech jsme poté využili získané vědomosti při simulaci řízení JE (jaderné elektrárny) s bloky VVER 440 a CANDU 6.

2. VVER 440

Popis částí reaktoru typu VVER 440:

1. těleso tlakové nádoby
2. víko tlakové nádoby
3. volná příruba
4. nosný válec (šachta)
5. dno nosného válce (dno šachty)
6. koš aktivní zóny
7. blok ochranných trub
8. palivový soubor
9. HRK (havarijní a regulační kazety)

Vodo-vodní reaktor VVER je nejčastější v zemích bývalého východního bloku. Je nainstalován v JE Dukovany (typ 440) a JE Temelín (typ 1000). Je to tlakovodní reaktor a



Obr. 1: Reaktor VVER 440

odpovídá koncepci označované v západní Evropě a USA jako PWR (Pressurized water reactor).

Palivem reaktoru VVER 440 je izotop ^{235}U obohacený o několik procent oproti přírodnímu uranu. Pracuje se s ním ve formě oxidu uraničitého. Lehká voda slouží zároveň jako chladivo i moderátor. Aktivní zóna je ve střední části reaktoru a chladivo do ní vstupující dosahuje teploty okolo 260 °C a ohřívá se o cca 30 °C. Chladivo se nachází pouze kapalné fázi díky vysokému tlaku (12,2 MPa).

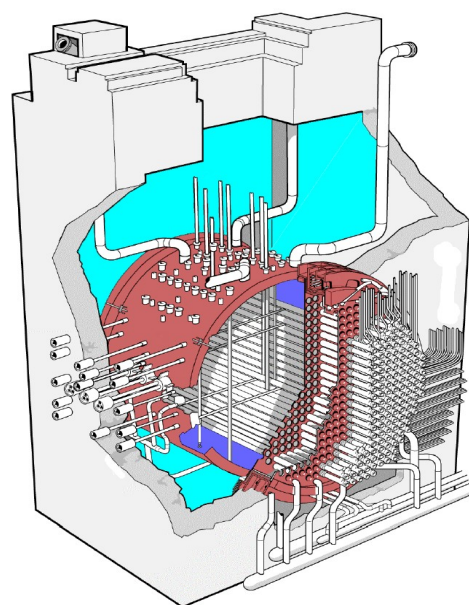
Elektrický výkon jednoho bloku (obsahuje dvě turbíny) je 440 MW, účinnost se pohybuje kolem 32 %.

Řízení je zajištěno regulačními kazetami s obsahem boru. K bezpečnosti přispívá i záporná zpětná tepelná vazba (při zvýšení teploty se sníží hustota a reakce se zpomalí).

3. CANDU 6

Sekundární okruh CANDU 6 se principiálně neliší od VVER 440 a jiných reaktorů. Hlavní rozdíl je v reaktoru samotném. Je umístěn ve vodorovné poloze, chlazen a moderován těžkou vodou a jeho palivo tvoří neobohacený (nebo mírně obohacený) uran. Využívá se hlavně v Kanadě.

380 palivových tyčí je umístěno horizontálně v tlakových kanálech a mezi nimi proudí těžká voda. Kolem reaktoru je lehká voda a beton, zajišťují stínění.



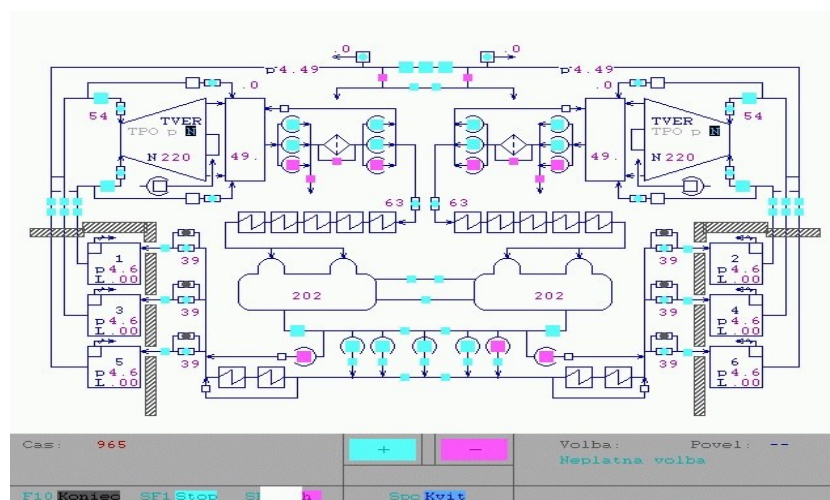
Obr. 2: CANDU 6

4. Prostředí simulátoru

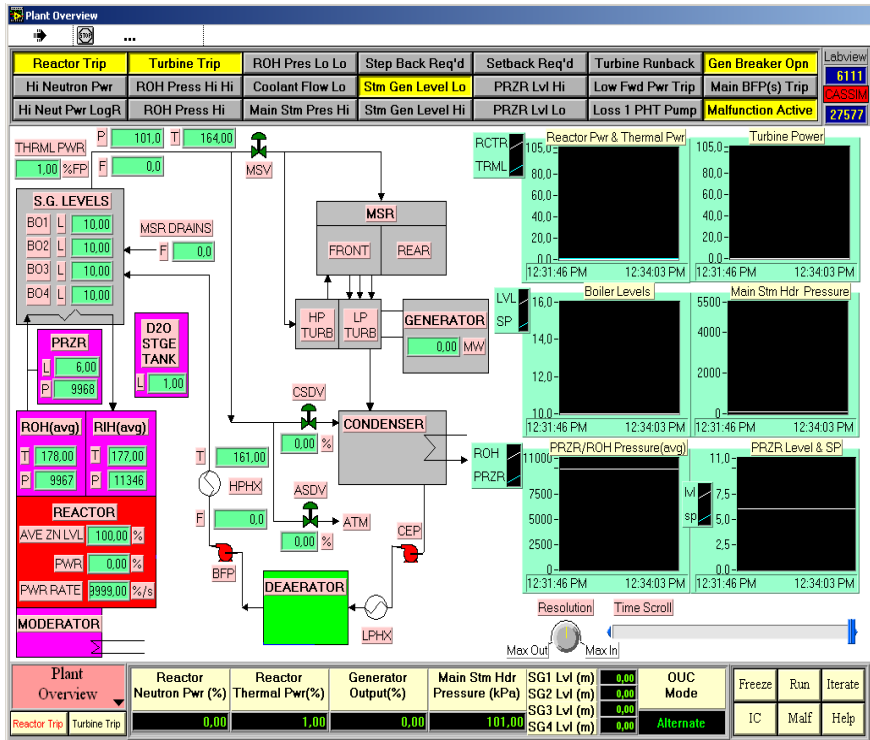
Simulátor VVER 440 je počítačový program běžící na 4 PC. Obsluhují ho 2 osoby. Jedna řídí primární okruh a druhá sekundární okruh. Výpočtové jádro zajišťuje výpočet událostí, jako by probíhaly ve skutečnosti. Lze simulovat standardní chod elektrárny nebo přesně nastavit požadovanou poruchu.

Simulátor CANDU 6 pracuje na 1 PC a ovládá ho 1 osoba.

Simulátory slouží k výcviku operátorů v jaderných elektrárnách. Umožňují bezpečný výcvik nových zaměstnanců a bezpečné testy nových způsobů řízení elektráren.



Obr. 3: Simulátor VVER 440 – sekundární okruh



Obr. 4: Simulátor CANDU 6

5. Simulace provozu reaktoru VVER 440 s únikem páry v sekundárním okruhu.

Na seznámení se simulátorem byl vybrán standardní provoz elektrárny, ve kterém byl plynule snížen výkon na 80 % a následně zvýšen. Poté bylo vyzkoušeno řízení elektrárny při nějaké poruše. Byla vybrána závada na sekundárním okruhu, konkrétně vadná přepouštěcí stanice do atmosféry na hlavním parním kolektoru.

První minutu šlo vše standardně. Po poruše ventilu začal klesat tlak v parním kolektoru a na turbínách začal padat elektrický výkon.

Záznam některých hodnot ze simulace:

Čas (s)	Teplota reaktoru (°C)	Tlak primáru (MPa)	Výkon reaktoru (%)	Výška tyči (cm)	Výška vody v kompenzátoru (cm)	Výkon turbín (MW)		Únik vody v SO (%)	Hladina v PG (m)	Tlak v SO (MPa)	
						1.	2.			1.	2.
Řídicí systém reaktoru nastaven na ty T (tlak) a turbíny N (výkon)											
9	279	12,2	100	175	372	220	220	0	4,6	4,49	4,49
Porucha na ventilu v SO. Pára uniká do atmosféry.											
64	279	12,2	102	175	370	214	214	81	4,5	4,45	4,5
70	279	12,2	101	175	367	210	210	99	4,5	4,43	4,43
94	279	12,2	99	174	363	206	206	99	4,5	4,42	4,42
Řídicí systém reaktoru je automaticky přepnut na typ N (výkon), neúspěšná snaha uzavřít ventil před únikem páry											
154	278	12,2	99	175	362	203	203	99	4,5	4,42	4,42

Pára ze SO (sekundární okruh) uniká do atmosféry, v případě netěsnosti mezi primárním a sekundárním okruhem by unikla radiace do okolí. Z toho důvodu by měl být celý blok odstaven a opraven. Na simulátoru jsme zkusili ještě pokračovat a postupně odstavit jen pravou turbínu a několik dalších ventilů. Pára z 2. bloku po chvíli začala unikat do kondenzátoru. Přesto se nám únik ani po dalších cca 3 minutách zastavit nepodařil, navíc mírně poklesla hladina vody v napájecí nádrži.

Také jsme zkusili nastavit stejnou poruchu a nechat vše na automatickém řízení elektrárny. Automatika nic neodstavila, stabilizovala výkon turbín na 206 MW, ale únik páry nemohla zastavit. V tomto stavu elektrárna čekala na zásah obsluhy.

6. Shrnutí

Většina zařízení jaderné elektrárny je ovládána automaticky. Je možné převzít jejich řízení, ale ve většině případů k tomu není důvod. Při nebezpečí havárie se naopak kontrolní systémy chopí řízení a odstaví reaktor. Nedovolí obsluze riskovat vážnou havárii. Tím je vyloučena chyba lidského faktoru.

V běžném provozu je elektrárna řízena za pomoci automatů s minimálními vnějšími zásahy. Operátoři spíše kontrolují a zasahují při poruchách.

Operátoři jaderných elektráren navíc pravidelně cvičí na simulátorech a připravují se na všechny situace, které by mohly nastat.

Jaderné elektrárny jsou podle našeho názoru vhodným, bezpečným a životní prostředí nepoškozujícím zdrojem energie na další desítky let a konkurenci jim vytvoří zřejmě až fúze.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT za pořádání Fyzikálního týdne a v souvislosti s miniprojekty supervizoru Ing. Dušanu Kobylkovi, Ph.D.

Reference

1. Doc. Ing. Bedřich Heřmanský, CSc.: Jaderná zařízení I, České vysoké učení technické v Praze, 1990, strana 81
2. J. L. Gray: why CANDU? its achievements and prospects, Chalk River Nuclear Laboratories, 1974