

Jaderný reaktor typu VVER 440

T. Matoušek, M. Stehlík

ČVUT v Praze, V Holešovičkách 747/2

74tomm74@seznam.cz, stehlik.milan01@gmail.com

Abstrakt:

Tento článek pojednává o vzniku elektrické energie pomocí štěpení jader izotopu uranu 235 v jaderných elektrárnách, konkrétně s typem reaktoru VVER 440 (Dukovany). Věnuje se nejprve principu samotného jaderného štěpení řetězovou reakcí, následně uspořádání prvků v sekundárním okruhu, kde dochází k výměně energie mezi vodou a turbínou, která roztáčí rotor synchronního generátoru. Dále je zde popsána simulace reálného provozu pomocí výukového programu „EDU-sestava“. Lze na něm simulovat jak běžný provoz například při odstávce (rozběh a pokles výkonu), tak od malých havárií jako je výpadek turbogenerátoru až po úplnou ztrátu napájení bloku vlastní spotřeby.

1. Úvod

Nikdo z nás si v dnešní době už asi nedokáže představit život bez elektrické energie. Potřebujeme ji nejen k nabíjení nejrůznějších zařízení, ale i pro záchranu životů v nemocnicích. Celý svět ji každý den využívá možná více, než je třeba. Ale kde a jak ji vyrobit? Máme spoustu možností jak to udělat. Počínaje točením kliky přes využití energie větru a vody až ke spalování nejrůznějších materiálů. Nejrozšířenějším typem elektráren jsou tepelné, jež fungují na stejném principu. Ohřátá pára proudí ze zdroje tepla na turbínu, kde pomocí své energie roztáčí generátor, jež vyrábí elektřinu. Různé typy elektráren se liší pouze zdrojem tepla. Máme kotle uhlí, nafty a biomasy. Nejefektivnější je však jaderná elektrárna zpracovávající uran. Jeho jádra totiž obsahují navzdory malým rozměrům obrovskou energii. Jak ji z něj dostat? Základem je štěpení těžkých jader uranu 235 neutrony. Na tomto fyzikálním jevu je závislá třetina odběratelů elektřiny v České Republice.

2. Jaderná elektrárna

má několik typů, konkrétně my se budeme zabývat typem VVER 440. Ten má tři základní okruhy, primární (je v něm reaktor a dochází zde k předání energie uvolněné štěpením vodě), sekundární (horká voda se mění na páru a předává energii lopatkám turbíny, která roztáčí rotor generátoru) a terciální (chladí teplou vodu v chladicích věžích).

3. Primární okruh:

3.1.1. Jeho základem je samotný reaktor typu VVER 440, kde dochází k jaderným reakcím. Jádro izotopu uranu 235 je rozštěpeno na dva odštěpky s menším nukleonovým číslem, které odlétají z místa štěpení s velkou kinetickou energií a zpravidla 2-3 další neutrony. Odštěpky srážkami s částicemi prostředí ztrácí svoji energii a vytváří teplo. Je však nutno pro kontinuální provoz štěpnou řetězovou reakci udržovat se stálým počtem neutronů. Štěpení nejlépe vyvolávají pomalé neutrony a neboť nově vzniklé mají příliš velkou rychlost, je potřeba je brzdít. Jako moderátor (zpomalovač) se používá lehká demineralizovaná voda, která zároveň slouží jako chladivo a odvádí teplo do parogenerátoru (sekundárního okruhu). Další součástí aktivní zóny jsou absorbatory, které pohlcují přebytečné neutrony a štěpnou řetězovou reakci řídí.

4. Sekundární okruh:

4.1. Popis začíná v parogenerátoru, kde se voda o teplotě kolem 257°C a tlaku 4,5 MPa mění na páru. Ta je pak parovody vedena na vysokotlaký díl turbíny hřídelí spojené s generátorem, kde předá část své energie. Dále pokračuje do separátorů („sušička“ páry) a do nízkotlakých dílů turbíny. Po expanzi následují kondenzátory (pára zkondenzuje na vodu) a nízkotlaká a vysokotlaká regenerace (ohřev vody na požadovanou hodnotu, aby se mohla vrátit zpátky na parní generátor). Pro odvod kondenzačního tepla slouží chladicí terciální okruh zahrnující vysoké chladicí věže, které toto teplo odvádí do okolí.

5. Jak lze elektrárnu řídit?

5.1. Hlavním centrem řízení je tzv. „bloková dozorna“, odkud lze sledovat celý proces výroby elektřiny a hlavně jej regulovat. Samotné řízení je velmi složité, neboť je třeba sledovat velké množství parametrů a veličin zároveň a upravovat je tak, aby byl provoz co nejefektivnější, nejbezpečnější a nejekonomičtější. Principem řízení celého bloku je bilance energií vznikající v reaktoru a odvodu energie v turbogenerátoru. Operátor primárního okruhu má možnost měnit např. tepelný výkon reaktoru, který je úměrný štěpení, pomocí absorbátorů (regulační kazety). Operátor sekundárního okruhu se stará o turbínu, generátor a hlídá např. vhodné tlakové zatížení různých částí okruhu. Elektrický výkon je pak dán průtokem páry na turbínu

6. Reaktor VVER 440

6.1. Parametry a obecný popis:

Tepelný výkon	1375 MW
Moderátor	destilovaná voda
Chladivo	destilovaná voda
Střední teplota na výstupu z akt. zóny	295±2 °C
Ohřev vody o	28±1 °C

Tlak chladiva na výstupu z akt. zóny	12,26 MPa
Tlak chladiva v reaktoru	13,7 MPa
Rozsah regulace	0÷105%
Nominální průtok vody	9,24 m ³ s ⁻¹
Nominální hladina vody kompenzátoru objemu (vyrovnávač tlaku v reaktoru)	573 cm
Nominální tlak kompenzátoru objemu	12,22 MPa
Elektrický výkon turbogenerátorů	2x218 MWe
Nominální tlak v hlavním parním kolektoru	4,48 MPa

Zdroj: Základy teorie a stavby jaderných reaktorů; Prof. Ing. František Dubšek, DrSc;1989

7. Simulované úlohy a měření

7.1. Běžné stavy

7.1.1. Změna výkonu v TVER v režimu „p“ (I.O. ovlivňuje II.O.) a RCS v režimu „T“ (II.O. ovlivňuje I.O.)

7.2. Havarijní stavy

7.2.1. Výpadek turbogenerátorů

7.2.2. Způsobení havarijní ochrany nejvyššího stupně

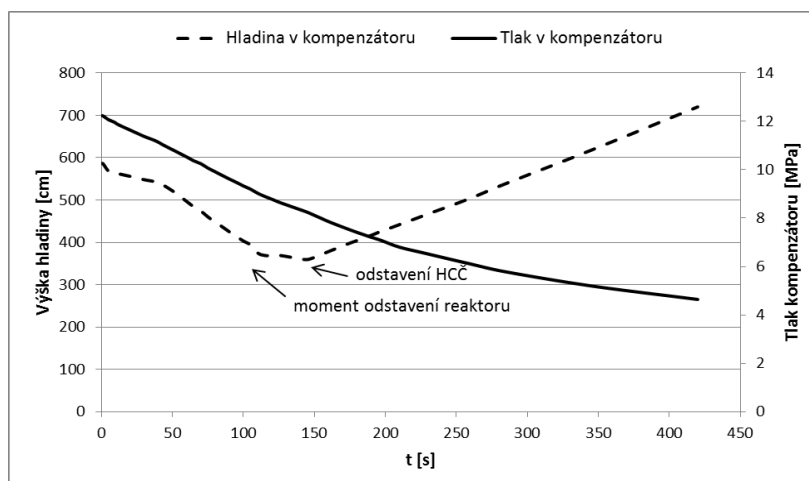
7.2.3. Výpadky hlavních cirkulačních čerpadel

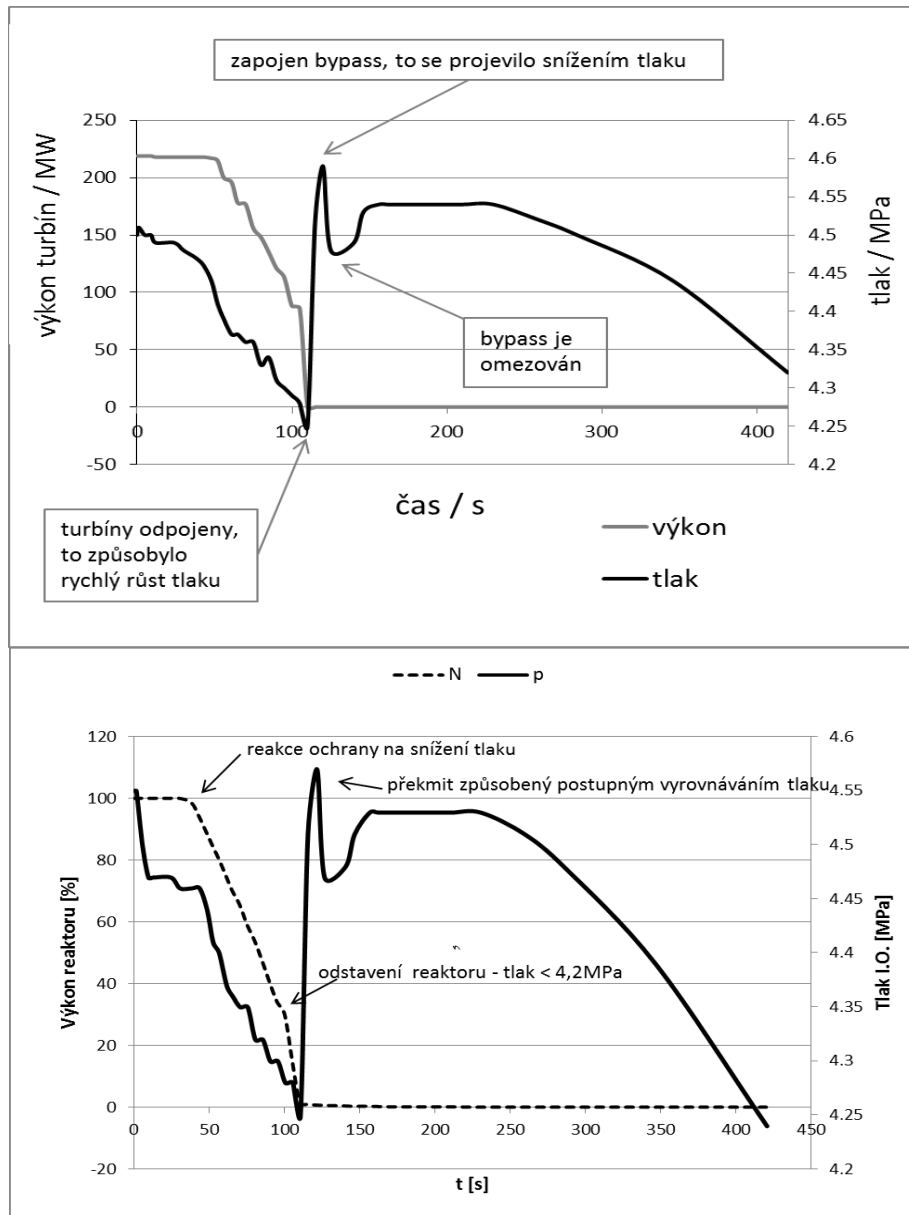
7.2.4. Únik z hlavního parního kolektoru

7.2.5. Zregulování provozu na vlastní spotřebu

7.3. Únik z kompenzátoru objemu

7.3.1. Tato simulace je obdobou havárie, která se stala 28.3.1979 v USA na elektrárně Three Mile Island. Stejně jako u havárie při simulaci začne unikat voda z kompenzátoru objemu. To má za následek hlášení chyby v dodávce vody do parogenerátoru a rapidnímu poklesu nejen hladiny v kompenzátoru ale také tlaku. Správná reakce na tuto situaci je aktivace rezervních napájecích čerpadel, která se snaží udržovat nominální parametry. Pokud stále únik trvá, začne se zavírat ventil odpouštění, aby pomohl vyrovnat tlak. Při nedostatku tlaku (viz graf) se aktivují havarijní ochrany a reaktor je postupně odstaven. To má samozřejmě vliv i na turbogenerátor, který taktéž ztrácí výkon. V důsledku toho se zvyšuje teplota a tlak v reaktoru a proti začne působit ochrana přepouštěním páry rovnou do kondenzátoru (bypass). Snižováním tlaku se však v reaktoru vytvoří parovodní směs, jež přes havarijní systémy a hlášení odstaví hlavní cirkulační čerpadla. Hladina kompenzátoru se opět zvyšuje, je však bez potřebného tlaku a po určitém čase se vrátí na nominál.





8. Závěr

8.1. Řízení jaderné elektrárny je velmi náročné, a to hlavně na psychiku, neboť je třeba pořád dávat pozor na sebenejmenší změnu parametrů. Měli jsme možnost vyzkoušet si simulaci skutečného provozu jaderné elektrárny například v Dukovanech. Cílem měření bylo sledovat parametry, zaznamenávat jejich hodnoty a pozorovat souvislosti různých systémů v závislosti na změnách hodnot.

Poděkování

Ing. Dušan Kobyłka, Ph.D.