

Název příspěvku

Tomáš Toman, Daniel Dudek
Gymnázium Děčín, Církevní gymnázium v Kutné Hoře
tomas.toman2@seznam.cz, danik.dudek@gmail.com

Abstrakt

Příspěvek pojednává o principech a simulaci provozu jaderné elektrárny typu ABWR. Cílem práce bylo vyzkoušet si práci operátora jaderné elektrárny za typického provozu, abnormálních i havarijních stavů.

1 Úvod

Jaderná energie je jeden z nejčistších zdrojů energie. Jaderná elektrárna je nesmírně komplikované zařízení jehož provoz je velmi nákladný a spojen s rizikem havárie a úniku radioaktivního materiálu. Proto je potřeba kvalitně vycvičených operátorů, kteří ji budou řídit. A od toho jsou zde simulátory, které jsou mnohem levnější na provoz a hlavně jsou bez rizika jaderné katastrofy.

2 Principy fungování reaktoru ABWR

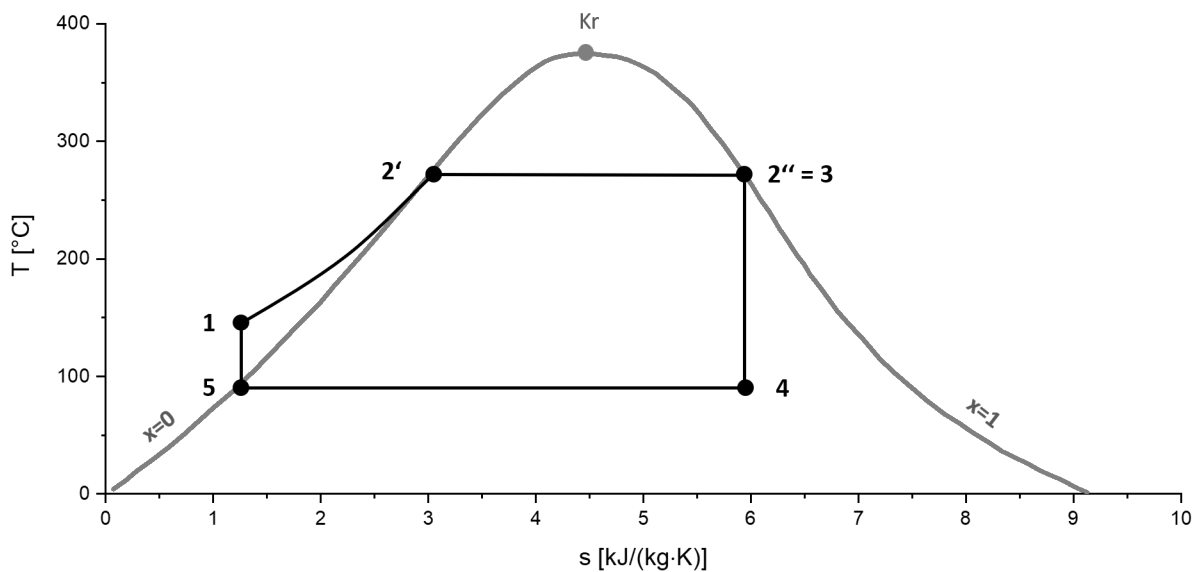
Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny patří mezi tepelné stroje fungující na základě Rankin-Clausiova cyklu. Základní R-C cyklus se skládá ze dvou izobarických a dvou izoentropických dějů, které jsou znázorněny na diagramu níže.

V první části je voda vedena do zdroje tepla (tepelný výměník nebo reaktor), zde je izobaricky ohřívána na dolní mezní křivku (bod 1-2) a poté se vypařuje do stavu syté páry (2-3). V další části vstupuje pára do turbíny, zde se izoentropicky rozpíná na tlak v kondenzátoru a zároveň se jí snižuje teplota (3-4). Následuje kondenzátor, kde je jí izotermicky odebráno teplo a kondenzuje na sytou kapalinu. K uzavření cyklu stačí pouze zvýšit tlak pomocí napájecího čerpadla.

V základní podobě tento cyklus disponuje velmi nízkou účinností. Existují ale různé způsoby jak zvýšit účinnost, nejčastějšími jsou maximalizace teploty páry před turbínou, zvýšení tlaku páry před turbínou, zvýšení vakua v kondenzátoru, mezipřihřívání, binární oběhy, regenerace nebo využití nízkopotenciálového tepla k vyhřívání budov. Díky všem těmto zařízením je ve skutečnosti jaderná elektrárna mnohem komplikovanější zařízení pracující na složitějším cyklu než je zde popsán.

V jaderných elektrárnách se jako zdroj energie používá štěpící se uran. Pokud se neutron srazí s uranovým jádrem, tak dojde ke štěpení jádra na 2 lehčí prvky a 2-3 neutrony. Aby byla reakce řízená potřebujeme přesně 1 neutron na každý rozštěpený atom uranu. Přebytkové neutrony se absorbují ve chladicí vodě, konstrukčních materiálech nebo jsou



pohlčeny uranem ^{238}U za vzniku plutonia. Neutrony po štěpení vylétají s velmi vysokou energií a aby moho dojít k další reakci je nutné je zpomalit. K tomu slouží moderátor, kterým je ve většině moderních reaktorů voda, ale může jím být například i grafit.

Reaktor typu ABWR

ABWR patří mezi varné reaktory. Napájecí voda teče do reaktoru, kde se dohřívá a mění na páru. Z reaktoru jde rovnou na turbínu. K řízení se používají 2 základní mechanismy. Jako první řídicí tyče, které zasunutím do reaktoru zvyšují absorpci neutronů, a jako druhý regulování množství vody protékající aktivní zónou. Snížením průtoku vody dochází ke zvýšení množství páry v reaktoru a slabší moderaci a snížení výkonu a obráceně.

Reaktor má několik seberegulačních mechanismů. Prvním je již zmiňovaný vztah mezi průtokem vody a tepelným výkonem. Dalším je teplotní roztažnost paliva, při vyšší teplotě jsou atomy dále od sebe a znovu dochází ke snížení množství srážek a výkonu.

3 Simulace provozu jaderného reaktoru typu ABWR

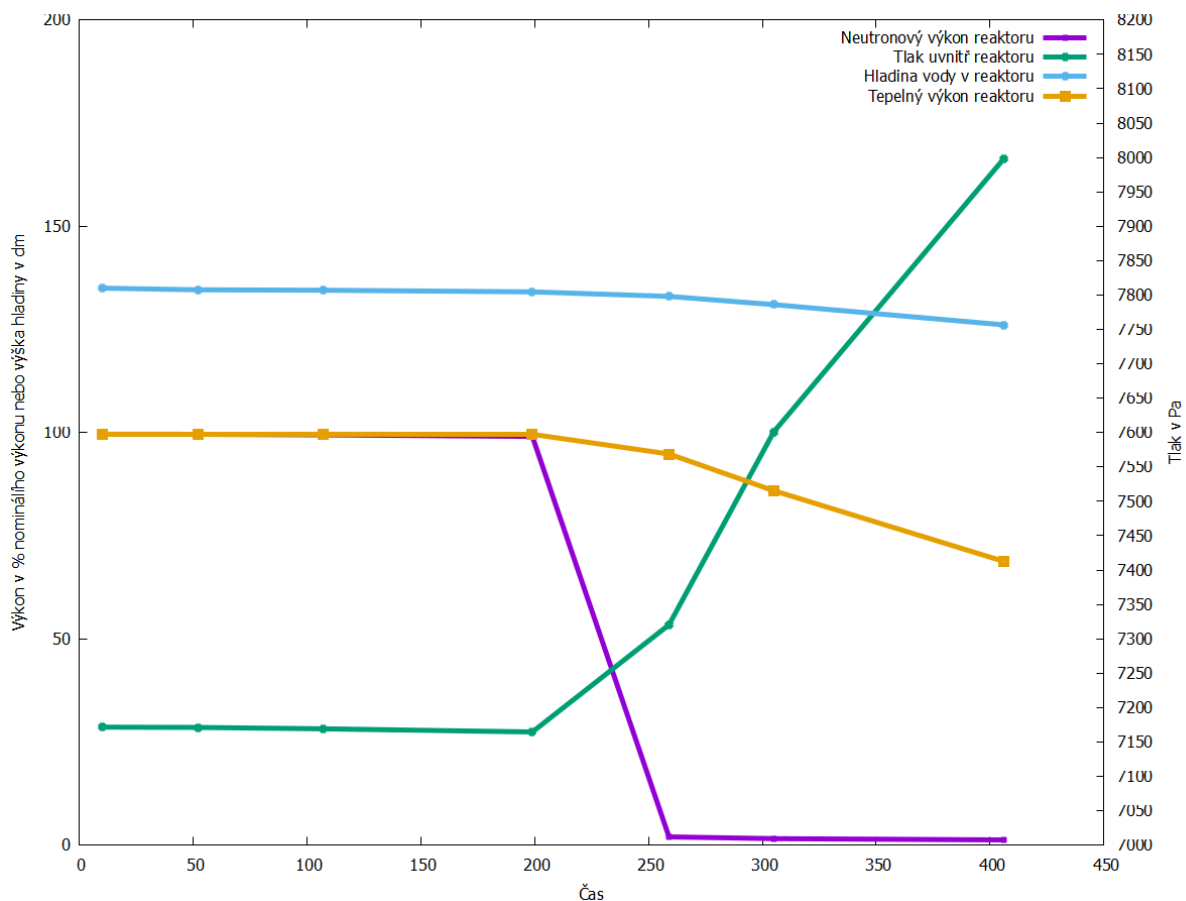
Simulátor

My jsme pracovali na simulátoru *Advanced BWR with Passive Safety Systems Simulator*, který vyvinula společnost *CTI Simulation International Corporation* v roce 2008. Tento simulátor běžel na jednom počítači a k jeho ovládní stačil pouze jeden operátor.

Simulace

Simulovali jsme celkem 9 různých scénářů, od běžné změny výkonu až po několik poruchových a havarijních scénářů a rozhodli jsme se popsat havárii typu LOCA, neboli loss-of-coolant accident. Při simulaci došlo k protržení nádoby reaktoru a úniku chladicí kapaliny, po detekci úniku byl reaktor bezpečnostním systémem okamžitě odstaven.

V čase 200 je z grafu níže patrný pokles hladiny vody a vzestup tlaku v reaktoru, to je pro



řídící systém zpráva, že uniká chladicí kapalina a okamžitě dojde k zasunutí kontrolních tyčí a odstavení reaktoru, to je patrné z poklesu neutronového výkonu téměř na nulu. Tepelný výkon klesá vlivem setrvačnosti pomaleji.

4 Shrnutí

Vyzkoušeli jsme si práci operátora jaderné elektrárny, zjistili jsme jak složité je manuálně udržovat výkon na dané hodnotě, a že dnešní reaktory jsou tak dobře zabezpečené, že se nám nepodařilo způsobit výbuch, ani když jsme se snažili

5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali panu Dušan Kobytkovi za jeho skvělé vysvětlení fungování jaderných elektráren a zodpovězení našich četných dotazů. Dále bychom rádi poděkovali všem organizátorům týdne vědy na jaderce za tuto příležitost vyzkoušet si řídit jadernou elektrárnu.

Reference

[Kobytk(2016)] Dušan Kobytk. *Technická termodynamika s řešenými příklady*. ČVUT v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05902-9.

[Wikipedia contributors(2023)] Wikipedia contributors. Advanced boiling water reactor — Wikipedia, the free encyclopedia, 2023. URL https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Advanced_boiling_water_reactor&oldid=1131883870. [Online; accessed 20-June-2023].

[Wikipedie(2022)] Wikipedie. Rankinův–clausiův cyklus — wikipedie: Otevřená encyklopedie, 2022. URL https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Rankin%C5%AFv%E2%80%93Clausi%C5%AFv_cyklus&oldid=21308399. [Online; navštíveno 20. 06. 2023].