

# Simulace provozu JE typu ABWR

Reinštein J., Taborovets S.  
Katedra Jaderných Reaktorů

taborovets.stanislav@gmail.com  
kubareinstein@seznam.cz

## Abstrakt:

Tato práce je zaměřena na problematiku řízení jaderné elektrárny s reaktorem typu ABWR. Cílem této práce je popsání základních způsobů ovládní aktivní zóny, turbín, čerpadel a spousty jiných stejně důležitých pro chod elektrárny systému. Všechny simulace se provedly na simulátoru spolu s vysvětlením chování reaktoru. V závěru demonstrujeme havarijní situace, jejich vysvětlení a řešení.

## 1 Úvod

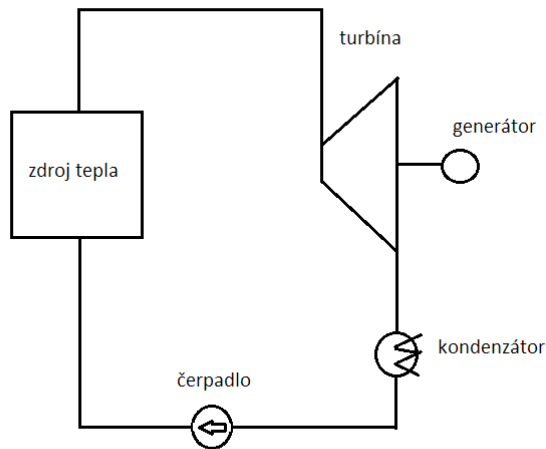
Reaktor ABWR - Advanced Boiling Water Reactor (pokročilý varný reaktor) je jaderný reaktor 3. generace. V provozu je zejména v jaderných elektrárnách v Japonsku. Jaderná elektrárna je složitý komplex vzájemně propojených zařízení, které dokážou přeměňovat energii jaderných vazeb přes tepelné děje na elektrickou energii. V daném projektu jsme si měli prostudovat závislost řízení elektrárny při různých stavech.

## 2 Teorie

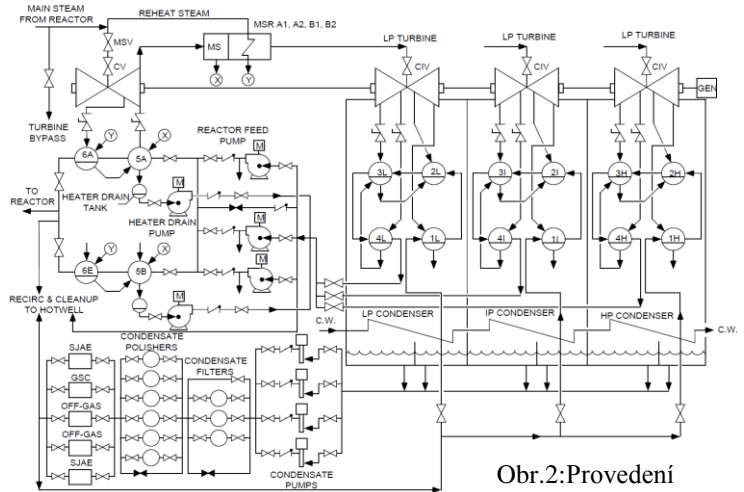
Tepelné pochody v elektrárnách jsou založeny na tzv. Rankin-Clausiůvém cyklu. Rankin-Clausiův cyklus je tepelný oběh s izobarickým ohřevem vody na teplotu varu, jejím vypařováním, ohřevem páry a následné expanze páry v turbíně. Nízkotlaká pára kondenzuje izobaricky v kondenzátoru a celý oběh se uzavírá izoentropickým zvýšením tlaku v napájecím čerpadle. Principiální schéma zařízení je na obr.1.

V jaderné elektrárně se využívá schopnost rozštěpit atomové jádro paliva (nejčastěji  $U^{235}$ ) při čemž se uvolní energie ve formě kinetické energie částic. K rozštěpení dochází v palivě které se nachází v aktivní zóně reaktoru. Částice se srážkami s atomy prostředí zpomalují a při tom se přemění jejich kinetická energie na tepelnou, kterou předají moderátoru. Jako moderátor může sloužit voda, těžká voda, nebo nějaký tuhý prvek (grafit). V tomto typu reaktoru je moderátorem voda, která je zároveň i chladičem, které odebírá vznikající teplo. Voda se ohřívá na teplotu varu a přeměňuje se na páru. Ta se následně pod tlakem přivádí do turbíny, kterou roztáčí a v generátoru umístěném na hřídeli turbíny přeměňuje energii páry na elektrickou. Plyn ztrácí svoji počáteční energii a v kondenzátorech se přeměňuje opět do kapalné podoby a přes další systémy a napájecí čerpadla proudí zpět do

reaktoru pár stupňů pod sytostí. Avšak pro zvýšení účinnosti se zavádějí další prvky, které dělají konstrukci složitější (regenerační ohříváky, napájecí nádrže...) viz obr..2



Obr.1: Rankin-Clausiusův cyklus



Obr.2: Provedení okruhu ABWR, [2]

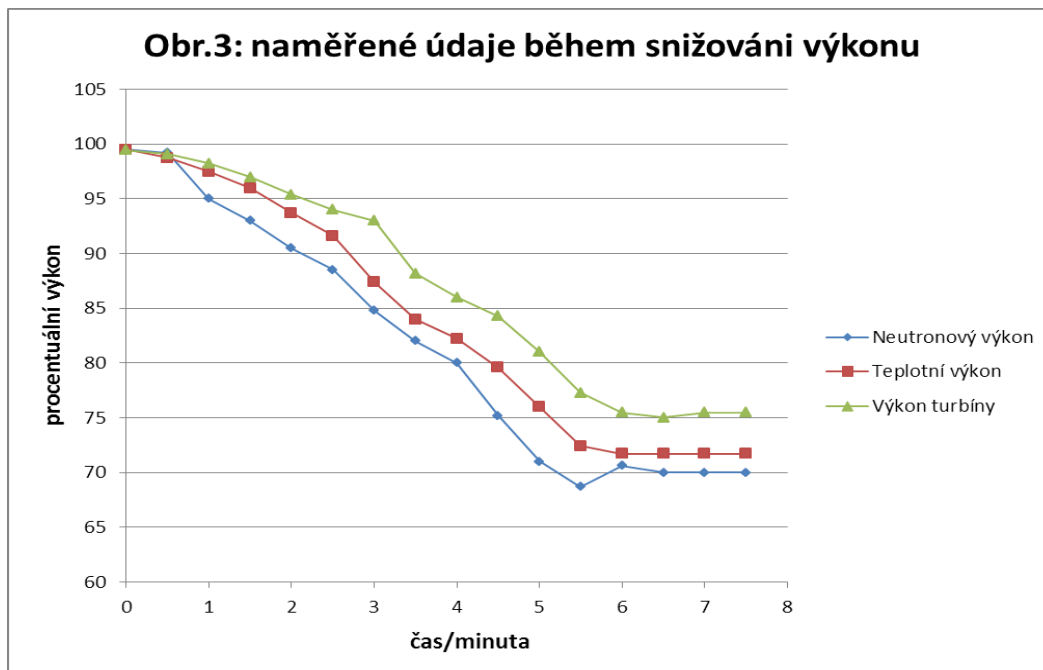
Blok ABWR varný reaktor s jednookruhovým systémem. Jeho vnitřní průměr je až 7,1m a tloušťka stěny je 190mm. Výška dosahuje 21metrů. Jako moderátor se zde využívá voda. Jeho čistý elektrický výkon činí 1300MW avšak tepelný je skoro 4000MW. Lze vidět, že účinnost je něco málo přes 33%. Jednookruhová cirkulace způsobuje lehkou kontaminaci všech systém, do kterých se dostane moderační voda. Jako palivo se využívá oxid uraničitý ( $UO_2$ ). Řízení probíhá pomocí zasouvání a vysouvání řídicích tyčí a regulací průtoku v čerpadlech. V aktivní zóně se nachází 205 regulačních tyčí z  $B_4C$  spojených do 8 skupin. Vysouváním tyčí dolů z aktivní zóny se výkon zvětšuje a zasouváním směrem nahoru do aktivní zóny zmenšuje. Také se výkon dá řídit regulací 10 čerpadel, které zajišťují cirkulaci vody v reaktoru. Když do aktivní zóny čerpadly proteče více vody, tak se zlepši moderace a zvýší se tepelný výkon.

Hlavní výhody tohoto typu reaktoru je větší jednoduchost jeho konstrukce a s tím spojené nižší náklady. Velkou výhodou je taky menší tepelné zatížení, nižší tlak v aktivní zóně a nižší nároky na obhacování paliva.

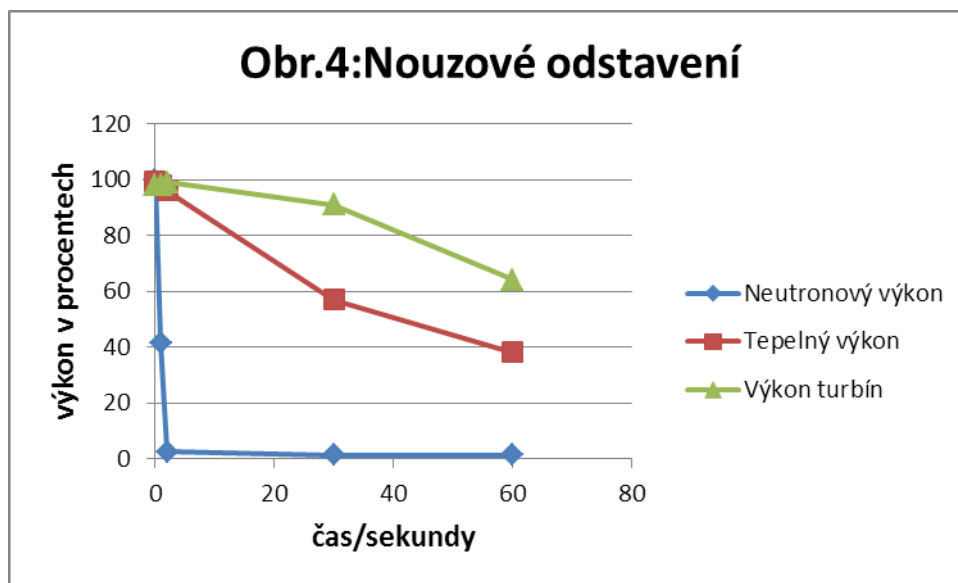
### 3 Experimenty

Pracovali jsme se simulátorem reaktoru ABWR[3], kde jsme se snažili splnit pár simulací a pochopit jak a proč se co při všech postupech děje.

Při první simulaci měl být v automatickém režimu snížen výkon ze 100% na 70%. Pozorovali jsme změny veličin jako je výkon reaktoru, tepelný výkon, výkon turbíny, tlak v reaktoru a průtok vody reaktorem, viz obr. 3. Experiment se nám vydařil a to bezchybně. Lze vidět, že výkon turbíny se zmenšoval déle, což je způsobeno, dostatečnou energií páry a dopravní zpoždění. Snížování výkonu způsobovalo snížení průtoku, kdy se z nominálních 14000kg/s jsme se dostali na 8330 kg/s. Následně byl zase zvýšen výkon ze 70% na 100%. Nakonec byl manuálně snížen výkon ze 100% na 70% pomocí regulace tyčí a regulací průtoku vody. Všechny simulace se nám povedly bez havárie.



Ve druhém pokusu byl nouzově odstaven reaktor a sledovali jsme, jak se budou chovat vybrané veličiny (výkon v reaktoru, teplota v reaktoru a výkon turbíny) Při nouzovém vsunutí všech regulačních tyčí prudce spadl neutronový výkon a turbína neztrácela výkon. Důvodem je dostatečná energie páry a vody, zbytkový výkon a dopravní zpoždění. Tepelný výkon v reaktoru klesal postupně a s ním také klesal výkon turbíny, protože se už nebyl dostatečná energie páry. Tlak v reaktoru se mírně klesl. To je spojeno se potřebou udržet tlak a teplotu sytosti systémů na dostatečné výši.



Další pokusy, které byly provedeny, se týkaly simulace různých havarijních situací jako například havárie napájecích čerpadel, nebo porušení parního kolektoru. Ve všech experimentech bylo pozorováno, že jakmile některé parametry překročí bezpeční limity, reaktor je bezpečnostními systémy zastaven.

## 4 Shrnutí

Úspěšně se podařilo provést všechny experimenty, kde jsme se snažili pochopit, jak daná operace probíhá. Ve chvílích lidského selhání vždy zasáhl bezpečnostní systém, který omezil výkon reaktoru. Ve srovnání s jinými reaktory je reaktor ABWR jednodušší v ovládání. Nesmíme ale zapomínat, že jsme experimentovali na simulátoru. A každý simulátor je pouze přiblížením ke skutečnému zařízení.

## Poděkování

Chceme poděkovat celému organizačnímu týmu týdny vědy, za zprostředkovávání tak dobré činnosti, Katedře jaderných reaktor a obzvláště Dušanu Kobylkovi Ph.D. za základní zasvěcení do problematiky jaderných reaktorů, za ochotu pomoci a úžasnou trpělivost při zodpovídání na naše dotazy.

## Reference:

- [1] KOBYLKA, D.: *Prezentace projektu týdnu vědy*, Praha, 2013
- [2] GE Nuclear Energy: *ABWR Design Control Document - Volume 13*, Rev.4, 1997
- [3] IAEA: *Boiling Water Reactor Simulator*, Workshop materiál, IAEA-TCS-23, Vídeň, 2003