

Katastrofy jaderných elektráren

M. Vaněk, M. Horáček*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
vanek.m@centrum.cz, *horacek.martin@seznam.cz

Abstrakt

Práce Katastrofy jaderných elektráren pojednává ve své první části o hlavních prvcích jaderné bezpečnosti. Zabývá se podmínkami pro výběr lokality, dále technickými podmínkami nebo také nejnovějšími systémy ochrany. Dále jsme porovnali dvě generace reaktorů a také jsme provedli srovnání různých druhů elektráren. Ve druhé části seznamujeme čtenáře s největšími katastrofami jaderných elektráren. A v poslední části je shrnuta diskuze účastníků přednášky.

1 Úvod

V moderní době je trendem stále stoupající spotřeba elektrické energie. Díky tomu se nutně musí zefektivňovat její výroba. V současnosti nejúčinnější volbou je použití jaderných elektráren (dále JE). Jelikož je využití jaderného rozpadu doprovázeno radioaktivním zářením, jsou právě na tuto oblast kladeny velké bezpečnostní nároky. V počátcích vývoje této oblasti energetiky s tím byly menší a bohužel i jeden větší problém. Havárie v Černobylu je tedy smutným okamžikem v historii JE.

2 Bezpečnost jaderných elektráren

Uplatňování principů jaderné bezpečnosti začíná již při výběru místa, kde má být elektrárna postavena. Takové místo musí vyhovovat rozsáhlému souboru umisťovacích kritérií, která vylučují, že by nějaké přírodní podmínky nebo katastrofa mohly elektrárnu ohrozit. Přesto musí být elektrárna schopna těmto přírodním a všem ostatním vlivům odolat - jaderné elektrárny jsou projektovány tak, aby pravděpodobnost havárie, spojená s únikem radioaktivity, byla co nejmenší. Ke stejnému cíli směřuje i kontrola kvality všech technologických zařízení elektrárny a systém, jakým je kontrolována kvalita její výstavby. Tento systém je natolik důsledný, že investorovi předepisuje kontrolovat kvalitu výroby důležitých technologických částí elektrárny přímo u výrobců.

Dalším prvkem je hloubková ochrana, sestávající se z těchto 5 prvků: 1. bariéra : pevná keramická struktura samotného paliva, 2. bariéra : pokrytí palivových tyčí, 3. bariéra : tlaková hranice primárního okruhu, 4. bariéra : železobetonová šachta reaktoru, 5. bariéra : ochranná obálka (kontejment).

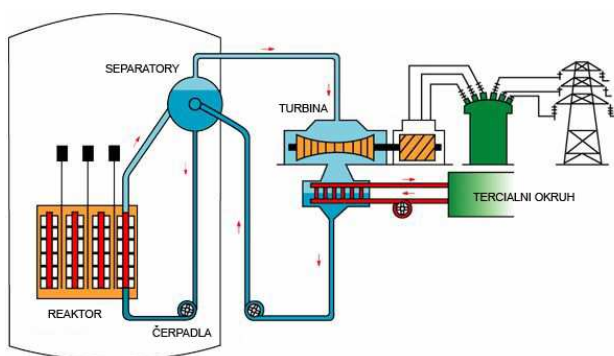
Dalším prvkem v systému zajištění jaderné bezpečnosti jsou informační a diagnostická zařízení, která neustále monitorují chod elektrárny a stav jednotlivých součástí. Jejich úkolem je pracovníky elektrárny dostatečně dopředu upozornit na zařízení, která se začínají chovat jinak, než jak předpokládá projekt. V případě, že se řídicím a limitačním systémům nepodaří odchylku od pracovního režimu odstranit, systém ochrany okamžitě, bez zásahu člověka, odstaví jaderný reaktor. Pro případ, že by přes všechna opatření k poruše došlo, musí být elektrárna vybavena zařízeními, která nedopustí, aby jakákoliv z myslitelných poruch nebo havárií ohrozila pracovníky elektrárny či obyvatele v jejím okolí. Na tyto bezpečnostní a havarijní systémy jsou kladeny nesmírné nároky, protože by nikdy neměly selhat. Ale protože jednotlivá zařízení teoreticky selhat mohou, jsou tato zařízení diverzifikována a zálohována. Diverzifikace odstraňuje nebezpečí, že by dvě nebo několik zařízení mohlo selhat ze stejné příčiny, právě proto jsou některé mnohonásobné bezpečnostní systémy, které mají plnit stejnou funkci, postaveny

např. na různých fyzikálních principech nebo jsou různé konstrukce a jsou umístovány v navzájem oddělených prostorech. Zálohování bezpečnostních zařízení znamená, že stejné bezpečnostní systémy jsou v elektrárně vybudovány několikrát, přestože by ke zvládnutí svého úkolu stačil jediný.

Př. ochrany: tzv. inherentní bezpečnost. Tento termín vyjadřuje, že k bezpečnému provozu reaktoru významně přispívají fyzikální principy využitě při jeho konstrukci. Např. u tlakovodních reaktorů voda, která protéká reaktorem a ochlazuje ho, zároveň umožňuje, aby jaderná reakce vůbec probíhala. Tato voda zpomaluje totiž uvolněné neutrony tak, aby se zvýšila pravděpodobnost, že při srážce s jádrem atomu uranu ^{235}U toto jádro rozštěpí. Pokud tato pravděpodobnost přesáhne určitou hranici, dochází k řetězové štěpné reakci. Fyzikální vlastnosti vody tedy umožňují, aby řetězová štěpná reakce probíhala, ale zároveň nedovolují, aby se její intenzita libovolně zvyšovala, protože se vzrůstající teplotou vody a její přeměnou v páru se snižuje její brzdicí účinek na neutrony.

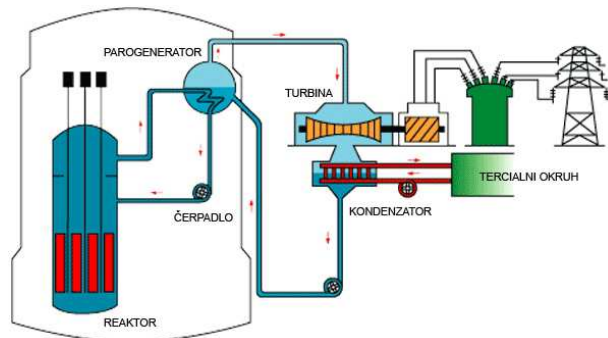
3 Srovnání

Pro srovnání jsme vybrali 2 generačně a bezpečnostně zcela odlišné typy reaktorů.



Obr. 1 Reaktor RBMK1000 [1]

Palivové pruty jsou uloženy ve válcovém grafitovém bloku. Voda se v tomto bloku přemění z větší části na páru. V celém primárním okruhu tedy proudí radioaktivní pára. Nelze uplatnit inherentní bezpečnost.



Obr. 2 Reaktor VVER 1500 [2]

Palivové články jsou uloženy uvnitř tlakové nádoby s vodou. Tlak vody je 15,7 MPa, který dovoluje ji přivést v kapalném stavu až k teplotě kolem 325°C. Lze tedy uplatnit významné inherentní bezpečnostní prvky.

Tab. Srovnání elektráren [3]

Zdroj energie			Počet mrtvých na 1GW/rok		
typ e.	neštěstí	mrtvých	svět	OECD	ne-OECD
uhlí	1221	25107	0,876	0,157	1,605
ropa	397	20283	0,436	0,135	0,879
plyn	125	1978	0,093	0,080	0,111
LPG	105	3921	3536	1957	14896
voda	11	29938	4,267	0,003	10,285
jaderná	1	31	0,003	0	0,048

Pozn. čísla u JE jsou zřejmě počty úmrtí bezprostředně po havárii Černobylu, další následky havárie zřejmě autor v nebral v ohled.

4 Three Mile Island (USA 1979) INES - 5

My si asi nedovedeme představit paniku, která zachvátila obyvatele, když v noci z 28. na 29. března 1979 zazněly z elektrárny sirény a o hodinu později pohotovostní oddíly policie začaly s evakuací okrajových čtvrtí. Co poplachu předcházelo?

Ve 4:05 h ohlásil operátorům bloku jedoucího na plný výkon 900 MW poplašný signál výpadek dodávky vody do jednoho parogenerátoru. Rezervní napájecí čerpadla se sice o 4 sekundy později rozběhla, vodu však nedodávala, protože opraváři z předchozí směny zapomněli otevřít ručně ovládaná šoupátka. Havarijní automatika proto odstavila oba turbogenerátory a vstřelila do reaktoru tyče havarijní ochrany. Teplota v aktivní zóně začala výrazně narůstat, a proto automatika zapnula doplňující čerpadla primárního okruhu. Obsluha nemohla tušit, že jeden



z ventilů regulujících tlak se zasekl a voda pod vysokým tlakem tudy vystříkovala a stékala pod tlakovou nádobu. Na to přišla obsluha až po dramatických dvou hodinách zápolení o udržení nouzového průtoku aktivní zónou. Následkem kolísání hladiny došlo k roztavení obnažených částí článků a jejich tavenina ucpala postupně průtok dalšími kanály. Skupina přivolaných specialistů až do rána pokračovala v dochlazování, aby nedošlo k obávanému vzniku vodíku, hrozícího explozí. Nádrže pod blokem se mezitím zaplnily unikající kontaminovanou vodou a automatika spustila nekontrolovaně kalové čerpadlo, které ji začalo odčerpávat mimo ochrannou obálku (hrubá chyba techniky!)

do pomocného zásobníku. A z jeho ventilačního komínku začal větrem směřujícím k Harrisburgu unikat radioaktivní mrak, na který reagovaly sirény.

Nikdo nepřišel o život, nikdo nebyl zraněn ani postižen vyšší dávkou radiace. Ovšem panika, kterou vyvolali televizní reportéři obléhající brány elektrárny, vyděsila celé Spojené státy. Případ "Harrisburg" měl obrovský negativní dopad na jaderný program USA. Stal se mezinárodní "školou" reaktorové techniky a varováním, že na jaderné bezpečnosti nelze šetřit. Likvidace nehody trvala dvanáct let a vyžádala si desetkrát vyšší náklady než stavba původního bloku.

5 Černobyl (Ukrajina 1986) INES - 7

Obr. 4. Černobyl [5]



Dva mohutné výbuchy krátce po sobě v noci 26. dubna 1986 zničily čtvrtý blok jaderné elektrárny Černobyl poblíže Kyjeva v SSSR a radioaktivní zplodiny vzniklého požáru roznesené větrem ohrožily nejen její okolí, ale i řadu sousedních států. Chladicí systémy jinde ve světě nepoužívaného sovětského typu kanálového grafitového reaktoru RBMK-1000, v jehož víc než šestnácti stech samostatně chlazených kanálech varem vody vzniká přímo pára, jsou samy o sobě mimořádně komplikované. Fyzikálně značně nestabilní aktivní zóna reaktoru, obklopená navíc hořlavým grafitem, postrádá ochrannou obálku, a ani systém řízení reaktoru neodpovídal bezpečnostním požadavkům MAAE. Tzv. inherentní nestabilita těchto reaktorů spočívá v tom, že dojde-li k růstu teploty a v kanálech roste

počet bublinek páry, pak reaktivita a tím i výkon mají tendenci stoupat, na rozdíl od vodovodních reaktorů, u kterých by byla reakce naopak tlumena. V osudné noci měli operátoři provést neodborně připravený pokus o využití elektrického výkonu dobíhajícího turbosoustrojí ke krátkodobému nouzovému chlazení reaktoru. Se souhlasem nadřízených vyřadil vedoucí směny bezpečnostní automatiku bránící připustit riskantně nízké hodnoty výkonu reaktoru. Regulační tyče byly zdviženy v takovém počtu a tak vysoko, že když se v 1 h 23 min 40 s ukázalo, že následkem zmíněného kladného koeficientu reaktivity začíná výkon snížený jen na 200 MW s růstem páry v kanálech bouřlivě stoupat, nestačily dostatečně rychle klesnout zpět do aktivní zóny. O pouhé 4 sekundy později tepelný výkon vzrostl nejméně na stonásobek a došlo k parní explozi, která odhodila tisícitunové víko reaktoru stranou. Do rozžhavené masy rozervaného bloku vnikl vzduch a reakcí vodíku vzniklého stykem vodní páry a žhavého grafitu došlo vzápětí k druhé explozi, která rozmetala část aktivní zóny. Vyletující žhavé trosky zapálily asfaltový potah střechy. Když se střecha propadla, bylo tudy s mračnem kouře do vzduchu vyvrženo 5 tun radioaktivních látek

6 Diskuze

V diskuzi se účastníci shodli na několika názorech, ale také se v mnoha názorech rozcházel. Například se účastníci shodli na názoru, že jaderné elektrárny jsou v nynější době velmi hlídány a jsou na jejich bezpečnost kladeny velmi přísné podmínky. Tedy strach některých ekologických organizací je trochu bezpředmětný. Ale diskutující se neshodli na velikosti vlivu katastrofy v Černobylu na životní prostředí. Jelikož věrohodné materiály nebyly k dohledání, tak nemůžeme potvrdit ani vyvrátit názory diskutujících, které se velmi rozcházel.

7 Závěr

Jak jste tedy mohli z prezentace sami usoudit, jaderná energetika nás rozhodně neohrožuje více, než jiné druhy získávání energií, či než běžné činnosti jako je jízda automobilem. Jaderná energetika zažila jen jednu opravdovou katastrofou, kterou byla havárie v jaderné elektrárně Černobyl. Byla to velká průmyslová havárie netradičního (nebezpečného) reaktoru zaviněná absolutním nedodržením bezpečnostních předpisů. Následky této havárie jsou však plně srovnatelné s jinými průmyslovými haváriemi. K podobné těžké nehodě u dnešních reaktorů (VVER, BWR...) nemůže dojít! Avšak ani s tímto stavem se jaderná energetika nespokojuje. Nové reaktory - EPR, HTGR, VVER1500, AP 1000 a další mají opět zvýšenou tzv. inherentní bezpečnost postavenou na fyzikálních zákonech. Strach z většiny dnešních jaderných elektráren je iracionální, avšak vzhledem k propagandě, kterou vedou ekologické organizace (Jihočeské matky) ve sdělovacích prostředcích, vcelku pochopitelný.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing. Vojtěchu Svobodovi Csc. za možnost vyzkoušet si vědeckou přednášku a získat tím cenné zkušenosti. Dále bychom chtěli poděkovat všem, od kterých jsme čerpali materiál.

Reference

- [1] <http://proatom.luksoft.cz/jaderneelektrarny/index.php?akce=reaktor&idtypbloku=4>
- [2] <http://proatom.luksoft.cz/jaderneelektrarny/index.php?akce=reaktor&idtypbloku=18>
- [3] ExternE (Externalities of Energy), Methodology 2005, <http://www.externe.info/brussels/methup05a.pdf>
- [4] CNN, <http://www.cnn.com/US/9903/28/3mile.anniversary/link.3mile.island.jpg>
- [5] Tomáš Kostka, <http://www.volny.cz/kostka2000/Cernobyl.htm>