



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

JADERNÁ BEZPEČNOST A DOZORNÉ ORGÁNY

NUCLEAR SAFETY AND INSPECTION AUTHORITIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ALEŠ DVOŘÁK
Ing. HUGO ŠEN

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Aleš Dvořák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Jaderná bezpečnost a dozorné orgány

v anglickém jazyce:

Nuclear safety and inspection authorities

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pozornost má být věnována problematice jaderné bezpečnosti, kterou se zabývají mezinárodní organizace a sdružení.

Dále má být práce zaměřena na technická opatření pro zajištění jaderné bezpečnosti, popisu ochrany do hloubky a metodám hodnocení jaderné bezpečnosti.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracovat přehled dozorných orgánů a významných sdružení světa, které svou činností dohlíží na jadernou bezpečnost nebo jen přispívají ke zvyšování bezpečnosti provozu stávajících i nových jaderných zařízení. Pozornost má být zaměřena také na důvody jejich vzniku, jejich strukturu, vývoj a vzájemnou provázanost.
- 2) Zabývat se technickou stránkou zajišťování jaderné bezpečnosti na současně provozovaných jaderných elektrárnách s tlakovodními reaktory a elektrárnách III. generace.
- 3) Porovnat přístupy zajištění jaderné bezpečnosti u projektů elektráren II. a III. generace.
- 4) Popis principu ochrany do hloubky a metody hodnocení jaderné bezpečnosti

Seznam odborné literatury:

Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Hugo Šen

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 3.11.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o jaderné bezpečnosti. Cílem je přesvědčit prosté obyvatelstvo, že jaderné elektrárny provozované ve světě jsou bezpečné, jak pro ně, tak životní prostředí. práce se zabývá popisem dozorných orgánů dohlížející na bezpečný provoz jaderných elektráren. Dozvíte se o zlepšení bezpečnostních prvků v budoucích projektech. Můžete získat informace o možném namáhání materiálu v jaderné elektrárně, nakládání s radioaktivním odpadem a o vlivu nebezpečných radionuklidů na životní prostředí. Z práce jednoznačně plyne, že nároky na jadernou bezpečnost nezůstávají konstantní, ale s plynoucí dobou mají stále vzrůstající tendenci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dozorné orgány, tlakovodní reaktory, generace reaktorů

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with nuclear safety. The target of it is to convince regular people, that nuclear power plants are safe for them as well as for the environment. Thesis describes the supervisory authority, which oversees the safe operation of nuclear power plants. You find out about improvements in safety features in future projects. You can obtain information about possible stress of materials used in nuclear power plant, radioactive waste and impact of dangerous radionuclids on environment. The theses clearly shows that the claims on nuclear safety aren't constant, but they have increasing trend during the time.

KEY WORDS

Supervisory authority, pressurized water reactor, reactor, steam generator,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, A. *Jaderná bezpečnost a dozorné orgány*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Hugo Šen.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem danou bakalářskou práci vypracoval samostatně s pomocí uvedených internetových zdrojů a cenných informací vedoucího práce pana Ing. Hugo Šena.

V Brně dne 23.5. 2010

Aleš Dvořák

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Hugovi Šenovi za jeho cenné připomínky a trpělivost, kterou musel vynaložit.

OBSAH

1. ÚVOD	2
2. PŘEHLED DOZORNÝCH ORGÁNŮ	3
2.1. SPOLUPRÁCE MEZINÁRODNÍCH ORGANIZACÍ	8
3. TLAKOVODNÍ REAKTORY	9
3.1. REAKTOR PWR	10
3.2. REAKTORY VVER	11
3.2.1 VVER 440-230	11
3.2.2 VVER-440-213	11
3.2.3. VVER 1000	11
3.3. Reaktory BWR	11
3.4. REAKTOR CANDU	12
4. II. GENERACE JADERNÝCH REAKTORŮ	13
4.1. ÚVOD	13
4.2. REAKTOR RBMK	13
4.2.1. CO SE STALO?	13
4.2.2. PO HAVÁRII	14
4.2.3. DOPADY	14
4.3. REAKTOR AGR	15
4.4. OSTATNÍ TYPY	15
5. III. GENERACE JADERNÝCH REAKTORŮ	16
5.1. ÚVOD	16
5.2. REAKTOR EPR	16
5.3. REAKTOR PBMR	17
5.4. DALŠÍ TYPY	17
6. STÁRNUTÍ MATERIÁLU	18
6.1. CHARAKTERISTIKA	18
6.2. HLAVNÍ SOUČÁSTI A JEJICH NAMÁHANÍ	20
7. BEZPEČNOSTNÍ PRVKY	23
8. VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	24
8.1. HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST	24
8.2. INES	25
8.3. Teroristický útok	26
9. NAKLÁDANÍ S VYHOŘELÝM PALIVEM	26
10. ZÁVĚR	28
11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29
12. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	32

1. ÚVOD

Elektrická energie je v dnešní době neodmyslitelnou součástí lidského života. Jenom, když dojde ve firmě k výpadku elektrické energie, první co udělá, že počítá ztráty v důsledku prostoje svých zařízení. Každý je automaticky zvyklý na dodávku elektrické energie do svých domovů a je mu jedno, kde se tato energie vyrábí. Energie je získávána z různých obnovitelných zdrojů, když tomu vyhovují geologické podmínky. Tyto elektrárny nepostačují většinou na pokrytí celkové poptávky. Dále jsou provozovány různé tepelné, uhelné elektrárny, ale elektrárny produkují škodlivý plyn CO₂. Všechny možné elektrárny by nestačili na produkci elektrické energie. Proto se hledala jiná alternativa jak získávat elektrickou energii. Před více než 70 lety bylo objeveno štěpení uranu, které uvolňovalo obrovské množství energie. Vědci dlouho zkoumali jak energii využít a po zhruba 13 letech po objevení štěpné reakce, postavili první jadernou elektrárnu. Postupem plynutí času došlo k velkému rozmachu stavění jaderných elektráren. Státy v jaderné energetice viděli vysoký ekonomický rozmach a zajištění dostatečné poptávky energie. Však, co se nestalo v roce 1985 došlo k havárii reaktoru v Černobylu. Lidé začali být nedůvěřiví v jadernou energetiku. Po této havárii došlo k zesílení dozorných orgánů na provoz jaderných elektráren, aby se už nikdy nic podobného neopakovalo. Dozorné orgány plní důležitou funkci mohou prodloužit licenci jaderných elektráren nebo ji zcela zavřít z důvodu stárí nebo porušování nařízených předpisů. Došlo k odstranění jazykových bariér a jednotlivé elektrárny různých zemí si snaží předávat informace týkající se jaderné bezpečnosti. Jaderné elektrárny jsou jedny z nejvíce kontrolovaných podniků na bezpečnost. S postupem času dochází ke zvyšování bezpečnostních požadavků není to tak, že by byly přesně stanoveny normy na bezpečnost a nedocházelo k jejich změnám. V budoucích projektech se konstruktéři snaží, aby lidský zásah do provozu jaderné elektrárny byl, co nejmenší a jaderná elektrárna byla odkázána na pasivní a inertní bezpečnost především

2.PŘEHLED DOZORNÝCH ORGÁNŮ

V následující kapitole jsou uvedeny jednotlivé mezinárodní orgány jejich vznik, hlavní cíle a struktura.

SÚJB

V roce 1.1 1993 při vzniku samostatné České republiky byla zřízena organizace SÚJB nebo-li Státní úřad pro jadernou bezpečnost podle zákona 2/1969 Sb. (úplné znění z. č. 122/1997 Sb. - §2),[1] který má dohlížet na prospěšné využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Proč vlastně tato instituce vznikla, aby plnila zásadně tyto cíle bezkonfliktní nakládání s jadernou energií, ionizujícím zářením, kontrolovala havarijní připravenost jednotlivých společností, které využívají látky ohrožující lidské životy. Samozřejmě také dohlíží na nakládání s radioaktivním odpadem a připravenost v případě ohrožení radiačním zářením.

Organizace SÚJB sídlí na Senovážné ulici v Praze a v jejím čele je předseda v současné době tedy předsedkyně Ing. Dana Drábová,PhD. od roku 1999. Hlavní finanční prostředky získává SÚJB od státu.V roce 1997 ministerstvo průmyslu a obchodu podle atomového zákona nechalo vybudovat další organizaci SÚRAO, což znamená Správa úložišť radioaktivních odpadů. Až v roce 1995 bylo do SÚJB přidána ochrana před ionizujícím zářením. Ve stejném roce vznikla na našem území další organizace Státní úřad radiační ochrany(SÚRO), jenž má chránit před ionizujícím zářením. Přední cíle SÚRO jsou pozorování umělých radionuklidů na životní ekosystém, vyvolaných jadernými zařízeními dále působení rentgenového záření na člověka a v neposlední řadě pozorování vlivu přírodního ionizujícího záření (radon) na populaci. V roce 1996 bylo v SÚJB vybudována Krizové koordinační centrum (KKC), které má za úkol posuzovat havarijní připravenost a dostává informace z jednotlivých elektráren na základě níž posoudí radiační nebezpečí. Zcela zásadním počinem v SÚJB byla kontrola a inspekce elektrárny Temelín a uvedení nejdříve prvního bloku do provozu a poté i druhého. Roku 2000 se rozrostla činnost SÚJB o kontrolu chemických zbraní a zákazu jejich zneužití. V tomtéž roce byla vytvořena další instituce SÚJCHBO tato zkratka znamená Státní ústav jaderné, biologické a chemické ochrany. Hlavní prioritou této organizace jsou výzkumné práce v oblasti určení chemických, radiačních a biologických látek a v neposlední řadě v jakém množství se vyskytují. O dva roky později je do SÚJB zahrnuta pravomoc nad kontrolou a zákazem používání biologických a toxických zbraní. V roce 2005 přechází do SÚJB odpovědnost nad technickou bezpečností jaderných zbraní.

IAEA

VZNIK: Agentura IAEA byla vytvořena v letech 1957 za účelem prospěšného zacházení s jadernou energií. IAEA byla schválena 81 státy, které podpořily koncepci vytvořenou pár let před její vznikem. O čtyři roky později vzniklo výzkumné středisko v Rakousku za účelem jaderného výzkumu. V letech 1968 vznikla smlouva NPT, která pomohla k zesílení důvěryhodnosti jaderných elektráren. Jaderné elektrárny se tedy začali rozšiřovat však tento pozitivní rozsah netrval dlouho a začal prudce opadat ke konci 80. let. Jakmile se stala havárie v Černobylu veškerý zájem západních zemí opadl. V letech 1988 MAAE a OSN sjednotili své síly i s jinými organizacemi, aby vymítali nemoci hospodářských zvířat. V roce 1991 byly objeveny zbraně v Iráku později se zjistilo, že dohodu NPT porušila i demokratická lidová republika Koreje, což vedlo MAAE k posílení jaderné bezpečnosti. Díky smlouvám mezi jednotlivými státy nehrozila hrozba použití jaderných zbraní. Však riziko zde bylo ze strany KLDK a Iráku.

CÍLE : MAAE je organizace, která má napomáhat k tomu, aby byla jaderná energie využívána kladným způsobem. V souladu se smlouvou o nešíření jaderných zbraní (NPT) se snaží, aby jaderná energie nebyla využívána jako předmět k hromadnému ničení. Československá republika byla členem už od vzniku samostatné organizace MAAE. ČR je členem od roku 1993. MAAE se snaží chránit lidi a přírodu před radiačním zářením.

STRUKTURA: Hlavním jádrem MAAE je rada guvernérů, která je složena z 35 států podle zeměpisné polohy a Česká republika patří do východoevropských států. ČR měla posledního člena v této funkci v letech 2002-2004 jímž byla současná předsedkyně SÚJB Ing. Dana Drábová, Ph.D. Dalšího člena budeme mít v současné době 2010-2012. Rada guvernérů se schází pětkrát do roka, kde řeší odbornou pomoc v oblasti jaderné energetiky dále schvaluje výši rozpočtu a mnohé další věci. Dále se zde nachází generální konference, která se shromáždí jednou do roka kde například přijímá nové členy nebo schvaluje generálního ředitele, který je navržen radou guvernérů. Posledním členem je generální ředitel v současné době Yukiya Amano z Japonska je hlavou sekretariátu. Rozpočet MAAE slouží k realizování technických projektů rozvojových členských států.



Obr. 2.1.. Logo IAEA[29]

WANO

VZNIK: Organizace WANO byla založena před 21 za účelem zvýšení jaderné bezpečnosti ve světě. Hlavním důvodem založení byla Černobylská havárie a WANO má přispět k tomu, aby se nic podobného už neopakovalo. V této instituci působí všechny země, které vlastní alespoň jednu jadernou elektrárnu na svém území. WANO dosáhlo jedné významné věci, že jednotlivé státy mezi sebou spolupracovali na spolehlivosti jaderných zařízení, aniž by jim bránila jazyková bariéra.

CÍLE: Všechny členské státy musí podepsat Chartu WANO. Tato Charta má dva prvotní cíle-

1. Vstupující stát zajistí maximální bezpečnost svých jaderných elektráren
2. Spolupracuje na co nejvyšší bezpečnosti všech jaderných elektráren provozovaných členskými zeměmi a nese svoji odpovědnost za vzniklé nedostatky.

Ve svých srazech probírají hlavně tyto kroky-

1. Hodnotí jadernou bezpečnost mezi jednotlivými státy
2. Praxe z provozu
3. Řešení technických nedostatků
4. Odbornost pracovníku

STRUKTURA: WANO se skládá ze čtyř hlavních center po světě, která se nachází v Tokiu, Moskvě, Atlantě a Paříži. Tyto jednotlivé sídla spolu spolupracují. Všechny tyto sídla jsou řízeny hlavním sídlem WANO v Londýně. WANO je nezisková organizace. WANO zahrnuje 447 jaderných elektráren nacházejících se ve více než 30 zemích.

VÝVOJ: WANO uskutečnilo, aby odborníci z SSSR navštívili západoevropské elektrárny a pracovníci ze západu navštívili jaderné elektrárny v Sovětském svazu. Tyto návštěvy měli za úkol jediné získat nové kroky vedoucí k jaderné bezpečnosti. WANO byla první organizace, která mohla vyhodnotit stávající riziko nebezpečí jaderné elektrárny v Indii.

CTBTO

VZNIK: Tato organizace byla založena v letech 1996 ve Vídni. Byla schválena OSN při jejím vzniku. CTBTO získává finance od zemí, které jsou jejím členem.

CÍLE: Její hlavní prioritou je zákaz provádění jaderných zkoušek. CTBTO se snaží vybudovat smlouvu CTBT pojednávající o zákazu jaderných zkoušek. Jakmile smlouva vstoupí v platnost země se zavazují neprovádět jaderné pokusy vedoucí k zneužití na svém území nebo v jiných zemích zavázaných smlouvou. Snaží se tedy o celosvětové využití jaderné energie.

STRUKTURA: CTBTO je složena z komise, která dohlíží na vykonávání jaderných zkoušek. Tato komise může dojednat smlouvy již s fungujícími organizacemi. Státy po uzavření smlouvy se stávají součástí přípravné komise. Přípravná komise je složena z hlavních orgánů a sekretariátu. Nachází se tu ještě pracovní skupina, která řeší finanční prostředky.

WENRA

VZNIK: WENRA je asociace k posuzování jaderné bezpečnosti ve státech, které chtějí vstoupit do EU nebo jsou již členem. Je složena ze 17 států mezi nimiž je i ČR a Švýcarsko. Z pěti zemí neprovozující jaderné elektrárny (Irsko, Norsko, Lucembursko, Polsko, Rakousko).[5]

CÍLE: WENRA chce dosáhnout stejné vyspělosti z hlediska jaderné bezpečnosti v jednotlivých zemích. Jaderné elektrárny jsou posuzovány podle norem IAEA. Za svoji dobu přispěla ke zvýšení úrovně bezpečnosti MAAE. Nechtějí, aby došlo k nehodě v jaderných elektrárnách a ohrožení lidského života. Snaží se vylepšit bezpečnost již v samotném návrhu reaktoru. WENRA chce dosáhnout stejné bezpečnosti v zemích Evropy. V budoucnu chce vytvořit webové stránky pro Evropu, aby došlo k úplné harmonizaci. WENRA vydává o všech zemích zprávy z hlediska jaderné bezpečnosti. Snaží se, aby elektrárny dosáhly úrovně srovnatelné se západoevropskými zeměmi.

STRUKTURA: WENRA je složena ze dvou skupin RHWG a WGWD. RHWG je organizace, která sleduje stávající provozované reaktory i nové k zajištění co nejvyšší bezpečnosti. Chtějí dosáhnout stejných podmínek ve všech zemích. WGWD sleduje nakládání s jaderným odpadem a odstavení zařízení mimo provoz.

IRPA

VZNIK: IRPA vznikla v Paříži z iniciativy zdravotních organizací jednotlivých států. Slovo IRPA znamená Mezinárodní asociace pro ochranu před zářením.

CÍLE: Hlavní prioritou je, aby záření neohrožovalo člověka a životní prostředí ve světě. Chtějí využívat záření v prospěšné věci pro populaci např. v medicíně. Pořádají setkání jednou za 4 roky pro zlepšení radiační ochrany, kde si jednotlivé státy vymění svoje poznatky. Jednotlivé státy mají mezi sebou dohodu, která vede ke zlepšení ochrany před zářením ve světě.

EU

CÍLE: Pro EU je jaderná bezpečnost jedna z popředních věcí snaží se informovat širokou veřejnost, že jaderná bezpečnost jde stále s dobou vpřed. EU má téměř 30 členských států z toho polovina provozuje jaderné elektrárny. Většina zemí má snahu prodloužit životnost svých elektráren jiné naopak teprve uvažují o výstavbě. Proto chce EU po svých státech stále rozvíjející jaderné programy vedoucí k vyšší úrovni jaderné bezpečnosti. EU je první jaderný dozor, který sjednotil celou Evropu z hlediska jaderné bezpečnosti. Dále pořádá mezi občany členských států různé průzkumy. Příkladem může být jestli by měla EU vydat předpisy na nakládání s vyhořelým palivem, většina občanů by chtěla tuto myšlenku podpořit. EU založila úmluvu, vedoucí ke zdokonalení jaderné bezpečnosti po světě.

INRA

VZNIK: Byla vybudována před více než deseti lety. Hlavní iniciativu ke vzniku dali státy, které měli schůzi ve Washingtonu. Chtěli založit asociaci, která povede ke stálému zlepšení jaderné bezpečnosti.

CÍLE: Organizace se snaží podporovat země, které využívají jadernou energii kladným způsobem a země vylepšující stále jadernou bezpečnost. Zapojila mezi sebe jednotlivé státy, aby spolu spolupracovali ke zvýšení jaderného pokroku. INRA je složena z regulační komise, která pomáhá státům s právními předpisy související ke zvýšení jaderného bezpečí.

NEA

CÍLE: NEA je složena z 28 států OECD. Hlavní myšlenkou NEA je využití jaderné energie pro mírové účely svých členských států. NEA se snaží snížit skleníkové plyny škodící našemu životnímu prostředí. Snahou je podporovat jaderné elektrárny v rozvojových zemích, což by během čtyř desítek let vedlo ke snížení výrobního procesu bez CO. Přece jenom nějaké emise vznikají při těžbě uranu. K roku 2007 jaderná energetika vyráběla necelých 14% celosvětové elektrické energie. Snahou do budoucna, aby jaderné palivo bylo opět znovu přepracováno, což by vedlo ke snížení radioaktivity. NEA má snahu dohlížet na jadernou bezpečnost členských zemí a rozvíjet komunikaci mezi státy.

ICRP

CÍLE: ICRP je mezinárodní komise pro radiologickou ochranu. Její počátky založení sahají do roku 1928, později v letech 1950 byla modernizována, aby lépe ochránila před ionizujícím zářením. ICRP publikuje své opatření ke zlepšení ochrany před zářením. Tyto návrhy není povinné dodržovat, ale většina zemí se jimi řídí. Mezinárodní instituce hledají modernizace v ochraně před zářením. ICRP je složena z komise, ve které dochází každý 4 roky ke změně asi 5 členů. ICRP zastupují největší odborníci.



2.2 Sídlo organizace ICRP[30]

WWER FORUM

CÍLE: Tato asociace byla zřízena v roce 1993 s cílem dosáhnout maximální jaderné bezpečnosti na reaktorech VVER. Instituce provozující tyto reaktory se scházejí na svých zasedáních.

NERS

CÍLE: NERS je organizace, kde si inspektoři vyměňují informace okolo jaderného zabezpečení.

HPA

CÍLE: Nabízí dozimetrické přístroje k ochraně člověka. Dodává své přístroje do lékařství a výzkumu a dalších odvětví.



2.3. Dozimetrický přístroj[31]

UNSCEAR

CÍLE: Tato instituce vznikla v letech 1955 v USA. Vyhodnocuje následky ionizujícího záření OSN. Vydává výsledky ze zasedání UNSCEAR.

INSAG

Je poradní skupina pro generálního ředitele IAEA.

CÍLE: 1.) Využívat webové stránky pro mezinárodní komunikaci za účelem zlepšení jaderné bezpečnosti.
2.) Zpracovávat zprávy ze současných provozovaných elektráren.
3.) Zveřejňovat zprávy ke zlepšení jaderné bezpečnosti.

V roce 1988 vydána zpráva INSAG-3 sloužící ke zlepšení havarijního rizika současně provozovaných elektráren a je důležitým článkem při návrhu nových elektráren.[3]

2.1.SPOLUPRÁCE MEZINÁRODNÍCH ORGANIZACÍ

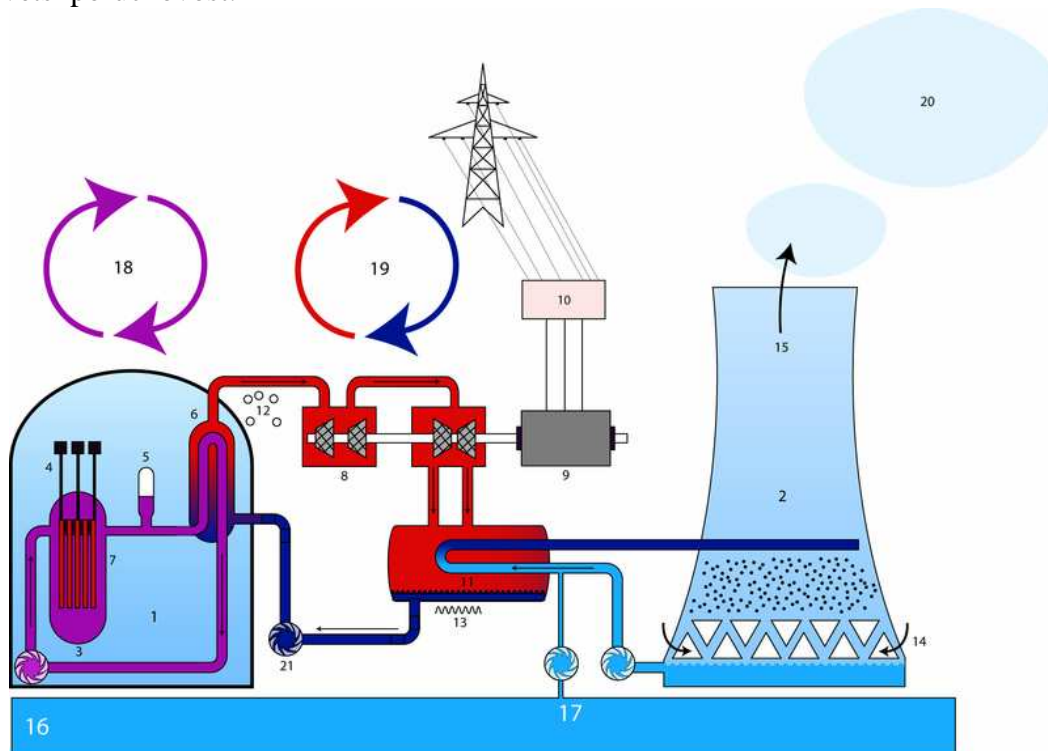
Světové dozory mezi sebou spolupracují a dohlíží na jaderné elektrárny v jednotlivých státech jestli neporušují předpisy vedoucí k ohrožení lidského života nebo životního prostředí. Tyto jaderné dozory mají pravomoc uzavřít elektrárnu z důvodu porušení zásad o jaderné bezpečnosti. Každý stát má provozní licence k provozu elektrárny na určitou dobu. V některých státech je licence stanovena na neurčito a je prodlužována podle vyhotovené zprávy, kterou sestaví dozorné orgány a rozhodnou o další budoucnosti elektrárny. Příslušná elektrárna musí dodat veškerou dokumentaci týkající se všech předpisů elektrárny. Vyhodnocují veškerý stav všech materiálů z hlediska stárnutí, jestli je elektrárna schopna bezproblémového provozu. Rozhodnutí o prodloužení životnosti jsou velice obtížné, jelikož země v Indii mohou porušovat zásadně jaderný program aniž by se to jaderný dozor dozvěděl. Samozřejmě musí kontrolovat přísun odborníků do elektrárny v důsledku postupného stárnutí elektrárny dochází k odchodu špičkových pracovníků do penze.

3. TLAKOVODNÍ REAKTORY

Stejně jako každý jiný odvětví i jaderná výroba má nežádoucí důsledky v opotřebení materiálu. Kdyby došlo k havárii v jaderném zařízení mělo by to nepředstavitelné následky. Jaderný reaktor je vystaven- obrovskému záření

- vysokým tlakům
- teplotám
- korozi

Všechny tyto jevy způsobí únavu materiálu. Se zvyšující délkou provozu jaderné elektrárny hrozí větší poruchovost.



3.1. Schéma elektrárny s tlakovodním reaktorem[32]

1. Reaktorová hala, uzavřená v nepropustném kontejnmentu.
2. Chladicí věž.
3. Tlakovodní reaktor.
4. Řídící tyče.
5. Kompenzátor objemu.
6. Parogenerátor. V něm horká voda pod vysokým tlakem vyrábí páru v sekundárním okruhu.
7. Aktivní zóna.
8. Turbína - vysokotlaký a nízkotlaký stupeň.
9. Elektrický generátor.
10. Transformační stanice.
11. Kondenzátor sekundárního okruhu.
14. Přívod vzduchu do chladicí věže.
15. Odvod teplého vzduchu a páry komínovým efektem.
16. Oběhové čerpadlo primárního okruhu.
17. Napájecí čerpadlo chladicího okruhu.
18. Primární okruh (voda pouze kapalná pod vysokým tlakem).
19. Sekundární okruh (červeně značena pára, modře voda).
20. Oblaka vzniklá kondenzací vypařené chladicí vody.
21. Oběhové čerpadlo sekundárního okruhu.

3.1. REAKTOR PWR

PWR byli vybudovány nejdříve v jaderných ponorkách. První postavená elektrárna tohoto typu byla v Shippingortu. Chladivo je čerpáno do aktivní zóny pod vysokým tlakem. Ohřátá voda proudí do parogenerátoru. Reaktor PWR patří do druhé generace. S elektrárnou PWR je spojena první závažná nehoda, která měla následky na lidských životech. Uranové palivo prochází štěpnou reakcí a ohřívá vodu v primárním okruhu chlazené smyčky. Poté jde ohřátá voda do parního generátoru. Následně postupuje chladící médium přes mnoho trubek a dochází ke snížení tlaku a převedení média v páru v sekundárním okruhu. Následně proudí pára na turbíny a odsud se vzniklá elektrická energie hromadí v generátoru. Po průchodu páry turbínou se vrací pára do kompenzátoru, který převádí páru v kapalinu a vrací ji k dalšímu použití do parního generátoru. U parního generátoru jsou primární a sekundární rozvody odděleny. V primárním okruhu se tlak nachází v rozmezí 15- 16 MPA. Jako chladivo je používána voda, která v reaktoru dosahuje teploty až 315 °C stále si zachovává kapalnou stav díky vysokému tlaku. Chladící kapalina je poháněna obrovskými čerpadly v primárním okruhu. Jako moderátor se u PWR používá lehká voda, která plní funkci zpomalování neutronů, aby došlo k reakci s jaderným palivem. Díky tomuto jevu má reaktor PWR vysoce cenou vlastnost záporný teplotní součinitel reaktivity.

Moderátor nezpomaluje jenom neutrony, ale také některé pohlí. Moderátor z lehké vody je více kompatibilní než moderátor z těžké vody. Palivo u reaktoru PWR tvoří obohacený uran uhličítý. Částečky obohaceného uranu jsou potaženy zirkoniem. Zirkonium má výborné mechanické vlastnosti a malou absorpci. Palivové tyče jsou uspořádány v palivových souborech. u PWR se v tlakové nádobě nachází téměř 300 palivových souborů.

K dosažení stálého výkonu v reaktoru slouží kyselina boritá obsažená v chladivu, která absorbuje neutrony a udržuje je na požadovaném množství. Důležitou funkci plní regulační tyče při odstavení a spouštění reaktoru.

Výhody: Voda v sekundárním okruhu neobsahuje radioaktivní látky

Nevýhody: Chladivo v potrubích a tlakovodní nádobě musí zůstat v kapalnou formě, což vyžaduje vysoké náklady na materiál.

Může dojít ke ztrátě tvárnosti tlakové nádoby z důsledku záření

Reaktory musíme plnit palivem, vždy při odstavení.

Kyselina boritá obsažená ve vodě způsobuje korozi

Produkty koroze se musí odstranit filtrací.

U těchto reaktorů dochází k poškození trubek, které tvoří parní generátor. Proto organizace NRC označila za jeden z hlavních bezpečnostních problémů, jelikož tvoří chladivo aktivní zóny. větší množství poškození těchto trubek by mělo nedozírné následky došlo by k velké ztrátě chladiva v aktivní zóně. Mohlo by dojít k úniku radiačního záření do okolí. Samotná organizace NRC není schopna říci jakou měrou mohou mít rostoucí tendenci praskliny. Nemají momentálně vyhovující technologii, která by přesně popsala za jak dlouho dojde k poškození. Výměna celého parogenerátoru je obrovskou finanční ránou, jelikož celá výměna by vyšla zhruba na 300 milionů dolarů. V důsledku nevyhovujícího parogenerátoru mohou být tyto elektrárny uzavřeny. Reaktor je nejdůležitější článek zajišťuje správné chlazení v aktivní zóně. Zabezpečuje úniky ionizujícího záření mimo reaktor. Reaktor má charakter tlakové nádoby. Pokud dojde k prasknutí tlakové nádoby, aktivní zóna by ztratila veškeré chlazení a došlo by k nekontrolovatelné štěpné reakci. organizace NRC vybrala 15 amerických reaktorů, kde prokázala, že materiál stárne rychleji než se očekávalo. K těmto problémům docházelo v USA.

3.2. REAKTORY VVER

Tyto typy reaktorů jsou provozovány i v ČR. U reaktoru VVER se jako palivo používá mírně obohacený uran. Tlaková nádoba je zaplněna lehkou vodou, která plní úlohu chladiva i moderátoru. Tlak se pohybuje v tlakové nádobě okolo 15 MPA, aby se kapalina nevypařovala. Do jaderných elektráren VVER můžeme zařadit tři typy.

3.2.1 VVER 440-230

První tlakovodní reaktor VVER 440-230 můžeme zařadit do I. generace. Reaktor je chlazený vodou. Má problémy s chlazením aktivní zóny v případě havárie. Byly stavěny kolem 50. let takže má neodstranitelné konstrukční závady. Tyto první reaktory samozřejmě nemají kontajment, který by v případě havárie zabránil úniku radioaktivních látek. Proto se země EU domluvily na ukončení provozu okolo roku 2010 v Evropě. Jedna ze zemí, která bude nadále provozovat tento typ reaktorů je Rusko. Dá se říct, že od tohoto reaktoru bude stále hrozit jaderné nebezpečí.

3.2.2 VVER-440-213

Tento reaktor byl zkonstruován s vyššími požadavky na bezpečnost než předchozí, aby nedošlo k další nehodě protržení potrubí. Tato konstrukce nemá ještě kontejment, ale je opatřena barbotážními věžemi, které by veškerou páru obsahující radioaktivní látky zkondenzovali.

Řízení výkonu se provádí podle množství palivových kazet v aktivní zóně. palivová kazeta je ve spodní části tvořena obohaceným palivem a ve vrchní části absorbatorem neutronů. V případě nebezpečí spadnou palivové kazety do aktivní zóny svoji vrchní částí a dojde k zastavení štěpné reakce.

V případě výměny paliva je ve vodě obsažena kyselina boritá, která zastaví štěpnou reakci. Účinnější způsob zastavení v případě rizika je pomocí řídicích tyčí. Jeden z nejbezpečnějších reaktorů tohoto provedení se bude po dostavbě nacházet v Mochovcích na Slovensku. Při správném rozložení paliva v aktivní zóně může být dosaženo vyššího výkonu až 500 MWe. Kaskáda výměny paliva probíhá jednou za pět let.

3.2.3. VVER 1000

Reaktor je dalším vývojem reaktoru VVER 440-213. Tento pokročilejší reaktor má už kontajment, který zabraňuje úniku radioaktivních látek. Narozdíl od staršího předchůdce má jenom čtyři smyčky parogenerátoru.

Regulace výkonu je řízena pomocí regulačních tyčí, které v případě nebezpečí padnou do aktivní zóny volným pádem. při výměně paliva je reakce zastavena pomocí kyseliny trihydrogenborité obsažené ve vodě. Dále jsou projektovány další nové typy VVER 1000, které se řadí do III. generace reaktorů. Jeden z těchto typů je kandidátem k výstavbě dalších bloků v Temelíně. Díky zdokonalé konstrukci bude riziko nehodovosti téměř nulové.

3.3. Reaktory BWR

Voda se zde používá jako chladivo a moderátor. V tlakové nádobě dochází k varu vody při 285°C, protože se tlak pohybuje při nízkých hodnotách. Vzniklá pára je vedena přímo do turbíny. Z turbíny jde pára do kondenzátoru a zpět do aktivní zóny. Aktivní zóna je umístěna podobně jako u ostatních tlakovodních elektráren. Tlaková nádoba je vybavena separátory, které oddělují kapky vody od páry. Provozní výkon se reguluje pomocí regulace vody k čemuž slouží recirkulační čerpadla a pomocí regulačních tyčí. Regulační tyče jsou zasouvány spodní částí do tlakové nádoby. Musí tedy překonávat gravitační síly, což je jejich negativum. Velká nevýhodou těchto reaktorů je, že v páře proudící na turbínu jsou obsaženy radioaktivní látky. Z tohoto důvodu musí být větší údržba turbíny. Tento strávený čas je vykompenzován

jednoduchou konstrukci elektrárny. V případě porušení ochrany turbíny je přívod páry na turbínu ihned zastaven.

U reaktoru PWR bylo prostrídáno pět typů kontejmentu. První typ byl kulového tvaru navržen pro nízkotlakou páru v dnešní době se už nepoužívá. Druhý druh kontejmentu se skládá ze železobetonu a je dodnes používán. Následující typ je podobný jako předchozí má válcový tvar. Dnešní používané kontejmenty jsou vyrobeny tak, aby odolávaly přírodním vlivům (zemětřesení, tornáda). Největší havárie u BWR byl požár způsobený hořlavým materiálem z pěny. havárie neměla nic společného s nedostatky v konstrukci.

Dalším typem BWR byl v letech 1980 nástupce ABWR. Tato vylepšená verze má většinu systému v automatickém provedení, aby byla zajištěna maximální bezpečnost. Dosahuje výkonu až 1350 MWe. Ve stejném roce byl zkonstruován zjednodušený reaktor SBWR. Byl založen na uvolnění pohlcovačů neutronů v případě nebezpečí. tato koncepce nebyla nikdy schválena k zahájení provozu. Tým inženýru navrhl reaktor BWR, který by vyráběl 1600 MWe a byl by zcela bezpečný.

VÝHODY

- Reaktory BWR pracují při nižším tlaku.
- Nedochozí k poškození tlakové nádoby vyvolané zářením a bombardováním neutronů.
- Štěpná reakce v aktivní zóně probíhá při nižších teplotách.
- Nehrozí nebezpečí ztráty chladiva a roztavení aktivní zóny.

NEVÝHODY

- Náročné výpočty pro využití paliva v aktivní zóně způsobené přítomnosti 2 skupenství (voda, pára).
- Obsah radioaktivních látek proudící přímo na turbínu.
- Zasouvání regulačních tyčí ze spodu nádoby (nutné překonávat gravitační síly).
- Dochází ke korozi v potrubích v chladicím systému.

3.4. REAKTOR CANDU

Reaktor byl vyroben v Kanadě. Koncepce reaktoru je podobná jako u současných provozujících lehkovodních elektráren. jaderná elektrárna má také tlakovou nádobu, kde probíhá štěpná reakce. Jako moderátor i chladivo se používá těžká voda. jako palivo se používá přírodní uran, pokrytý zirkoniem. Palivo je možné kampaňovitě měnit během provozu. Skládá se z primárního a sekundárního okruhu a parní turbíny vyrábějící elektrickou energii. Díky těžké vodě plní úkol moderátoru, může být použit přírodní uran jako palivo bez obohacení. U reaktorů CANDU může být použito vyhořelé palivo z lehkovodních reaktorů k dalšímu použití. Reaktor je vybaven kontejmentem proti úniku radiačních látek. Stavba reaktoru vyžaduje vysoké finanční náklady.

Necnost reaktoru je, že jako vedlejší produkt vzniká tritium, které je součástí jaderných zbraní, ale dá se využít i v lékařských výzkumech. V kanadských elektrárnách se nebezpečné látky obsažené v moderátoru snaží odstranit pomocí extrakce.

4. II. GENERACE JADERNÝCH REAKTORŮ

4.1. ÚVOD

Do II. generace můžeme zařadit téměř většinu reaktorů provozovaných v současnosti ve světě. Mezi hlavní představitele patří PWR, BWR, VVER, CANDU, AGR, CANDU a proslulý reaktor RBMK, na kterém došlo k největší havárii v historii jaderné energetiky.

4.2. REAKTOR RBMK

Reaktor neobsahuje tlakovou nádobu. Místo tlakové nádoby je složen ze souboru technologických kanálů. Do jednotlivých kanálů jsou navedeny palivové soubory. Mezi jednotlivými kanály proudí chladivo ve formě vody. Technologické kanály se nachází v grafitové matici. Grafit slouží jako moderátor. Pro regulaci výkonu jsou používány regulační tyče. pára jde do separátorů na bubnu, kde se odděluje od kapiček vody a následuje přímo na turbínu. Po havárii na 4. bloku v Černobyli byla výstavba RBMK zcela zastavena a na provozovaných reaktorech RBMK došlo k řadě rekonstrukcí, aby byla zajištěna co největší provozní bezpečnost. I přes veškeré snahy nelze odstranit všechny závažné problémy, jak už z hlediska konstruktivního i ekonomického.

4.2.1. CO SE STALO?

Největší katastrofa se stala 26. dubna 1986 kilometr od města Pripjat. Na 4. bloku došlo k výbuchu. Katastrofa vyvolala otázku jestli se má elektrická energie získávat z jaderných elektráren. Čtvrtý reaktor v Černobyli byl v provozu teprve krátkou dobu. RBMK má nevyspítatelné chování při nízkém výkonu. Tu noc prováděli testy na 4. bloku. Test se měl provádět při výkonu 700 MWe, ale hlavní velitel nařídil provést test při 200 MWe. Při malém výkonu došlo ke snížení chladicího média. Došlo k zastavení reaktoru. Reaktor byl zasažen xenonovou otravou. Xenonová otrava měla za následek pokles reaktivity.

Hlavní velitel Djatlov poručil reaktor ihned nastartovat pomocí vysunutí všech regulačních tyčí najednou a zvýšit výkon k provedení zkoušky. Kvůli této uspěchané reakci došlo k ztrátě kontroly nad reaktorem. Výkon opět téměř narostl na 200 MWe. Kontrolní panel znovu hlásil ztrátu chladiva a nikdo tomu nevěnoval opět pozornost, protože tato signalizace byla velice častá v řídicím centru. Tým operátorů začal provádět test při 200 MWe místo nařízených 700 MWe. nikdo nevěnoval ztrátě vody pozornost. mysleli si, že se nemůže za žádnou cenu nic stát. Černobyl měl závažné stavební nedostatky. Docházelo k nahrazování nehořlavého materiálu za hořlavý, aby byla stavba dříve dokončena.

SSSR tajila všechny nedostatky před civilizací. Regulační tyče byly zasunuty jen částečně a docházelo k nárůstu teploty v určitých místech, které nezaznamenaly senzory. při zahájení testu byla odstavena turbína, kterou při odstávce měli zastoupit agregáty. nastává nebezpečí jestli při odpojení turbíny, udrží setrvačné síly v provozu čerpadla. Hrozilo, že dojde ke ztrátě chladicí vody, která se přemění v páru. Co osud nechtěl došlo k tomu nejhoršímu při vypnutí turbíny bylo nedostatek chladicího média, což mělo za následek vznik páry. následoval velký nárůst tlaku. Hlavní středisko s operátory se snažilo zastavit štěpnou reakci, spuštěním regulačních tyčí. jenže regulační tyče měli na svém konci grafit, který vedl ke zvýšení výkonu nepředvídatelně. následkem vysokého výkonu bylo víko vážící téměř 1000 tun odmrštěno jako nic. Z reaktoru uniklo 10 tun radioaktivních látek. Operátoři vůbec nevěděli, že jim vybuchl reaktor. radiace nejvíce postihla Bělorusko. Než dostali civilizaci z města Pripjat uteklo více než týden.

K této události nemuselo vůbec dojít. každý se v Rusku snažil dostat k moci. Hlavní operátor Djatlov chtěl uskutečnit zkoušku za každou cenu, aby byl povýšen. Je neskutečné, že Djatlov tuto havárii přežil a umřel až o několik let později na infarkt a ne na nemoc z ozáření.

4.2.2. PO HAVÁRII

Čtvrtý blok byl špatně vybavený dozimetrickými přístroji a většina personálu si myslela, že radiace nepřesahuje limity ohrožující lidský život, však realita byla úplně jiná v některých místech dosahovala až hodnot 20000 R/hod.

Operátor Akimov se stále snažil reaktor chladit. Sám Akimov zemřel do 21 dnů. Při své smrti řekl, že všechno udělal správně. Brzy po havárii přijeli hasiči s cílem uhasit hořící reaktor, ale kvůli špatné informovanosti od vyšších ruských úředníků, hasili oheň vodou, která se rozkládala na vodík a kyslík, to mělo za následek další výbuchy a úniky radiace. Většina hasičů zemřela na následky ozáření. V důsledku špatné komunikace se hasiči pokoušeli o nemožné a zaplatili nejvyšší daň. Ruští velitelé posílali vojáky na zastavení katastrofy. Neinformované a cílevědomě vystavování vysoké intenzitě záření. Úniky radiace byly dostány pod kontrolu po devíti dnech, kdy byl kolem reaktoru postaven betonový kryt. Z blízkého okolí bylo evakuováno 200 000 civilistů. téměř padesát lidí zemřelo na následky ozáření ihned. Došlo k nárůstu rakoviny.

Sovětský svaz neinformoval o vážné havárii, ale až ve Švédsku zjistili, že v SSSR muselo dojít k rozsáhlé katastrofě. Na likvidaci havárie se podílelo několik set tisíc civilistů, většina nebyla vybavena dozimetrickými přístroji natož ochrannými obleky. Následující léta došlo ke zvýšení rakoviny štítné žlázy u dětí. Za vše může absorbovaný radioaktivní jód v lidském těle. Dodnes se vedou spory jestli nárůst rakoviny štítné žlázy je vyvolán havárií v Černobylu.



4.1. Jaderná elektrárna Černobyl po havárii[33]

4.2.3. DOPADY

Následkem radiace byla zamořena velká část půdy v okolí prvkem césiem a čeká se na jeho rozpad po třiceti letech na baryum. Dodnes je půda kolem Černobylu nejvíce zamořena. I když byl únik radiace několikanásobně větší než při atomovém útoku. Neměla katastrofa tak obrovský dopad na lidské životy. Různé deště a bouřky mají malý vliv na dekontaminaci půdy. V dnešní době přístupné oblasti kolem elektrárny žije několik stovek odvážných lidí. Musí být zásobováni pitnou vodou a dostávají peníze od státu.

Jaderná havárie zasáhla do životů stovkám tisícovek lidí, kteří museli opustit své domovy a začít od znovu. Jednotlivé státy zasáhnuté ozářením musí vynakládat vysoké finance na monitorování kontaminace na svém území.

Definitivní ukončený provoz na jaderné elektrárně byl až v roce 2000. V dnešní době je 4. blok stále pokryt betonovým krytem, který vykazuje známky poškození. V budoucnosti se plánuje postavení nového betonového krytu, protože pod stávajícím krytem se nachází několik tun nebezpečného radioaktivního odpadu.

4.3. REAKTOR AGR

Reaktor AGR je chlazený plynem oxidem uhličitým a moderovaný grafitem. Je nástupcem reaktoru Magnox z I. generace. Teplota plynu postupujícího na turbínu dosahuje teploty až 640 °C. Palivem je mírně obohacený uran okolo 3% v palivovém článku. palivové články jsou pokryty materiálem z nerezové oceli. AGR dosahuje vyšší účinnosti než tlakovodní reaktory, díky větší teplotě chladiva. Palivo lze měnit za provozu nebo při odstavení reaktoru. AGR byl zkonstruován tak, aby dodával levnější elektrickou energii. První stavba reaktoru byla zpožděna o deset let. V současné době je provozováno sedm elektráren AGR a na některých z nich došlo k prodloužení životnosti. U dvou elektráren došlo k prodloužení životnosti jen díky snížení výkonů.

Po zveřejnění informací vyšlo najevo, že u reaktorů AGR docházelo k praskání grafitových souborů zapříčiněné srážkami s neutrony. V současnosti vědci zkoumají jak tomuto jevu zabránit. Pokud se nenajde řešení hrozí při výskytu tohoto problému u více elektráren, úplné uzavření všech elektráren. Elektrárna nemá kontejment v sekundární části.

4.4. OSTATNÍ TYPY

PWR- Při kontrolách byly objeveny praskliny ve víku tlakovodní nádoby. S výskytem této trhliny se začali reaktory více prověřovat v ostatních zemích. Největší trhlina byla objevena ve státě Ohio. Dosahovala rozměrů až 16 cm v tlakové nádobě. Trhlina byla zastavena díky zbývající nepatrné tloušťce oceli, která nebyla ani 1 cm. Naštěstí nedošlo k porušení chladicího okruhu.

VVER- Se vyskytuje ve třech fázích svého provedení od nejstaršího po nejmodernější typ VVER 1000-320. VVER 440-213 byl zdokonalený v chladícím systému a zabránění úniku radioaktivních látek do životního prostředí. V případě teroristického útoku hrozí nebezpečí, jelikož nemá kontejment. VVER 1000-320 byl opět zrekonstruován od svého předchůdce, ale v Německu pozastavili jeho stavbu, protože si myslí, že nejsou spolehlivé jako reaktory PWR.

BWR- Mnoho reaktorů BWR se potýká s korozními problémy na potrubích. U některých projektů došlo už k prasknutí potrubí na chladícím systému. naštěstí nedošlo k poškození důležitých součástí v chladícím okruhu. Tyto necnosti byly spojeny s přeměnou vody na vodík a kyslík, který spolu následně reaguje.

CANDU- Zápornou vlastností těchto reaktorů je kladný teplotní koeficient reaktivity. Reaktory jsou rozšířeny na území Kanady. Kvůli vysokému neutronovému toku dochází k rychlému stárnutí materiálu, který vyžaduje opravu po dvou desítkách let nebo zcela kompletní výměnu. U některých reaktorů tyto problémy přetrvávali a byli zcela uzavřeny v dnešní době dochází k znovu zprovoznění po odstranění problému.

5. III. GENERACE JADERNÝCH REAKTORŮ

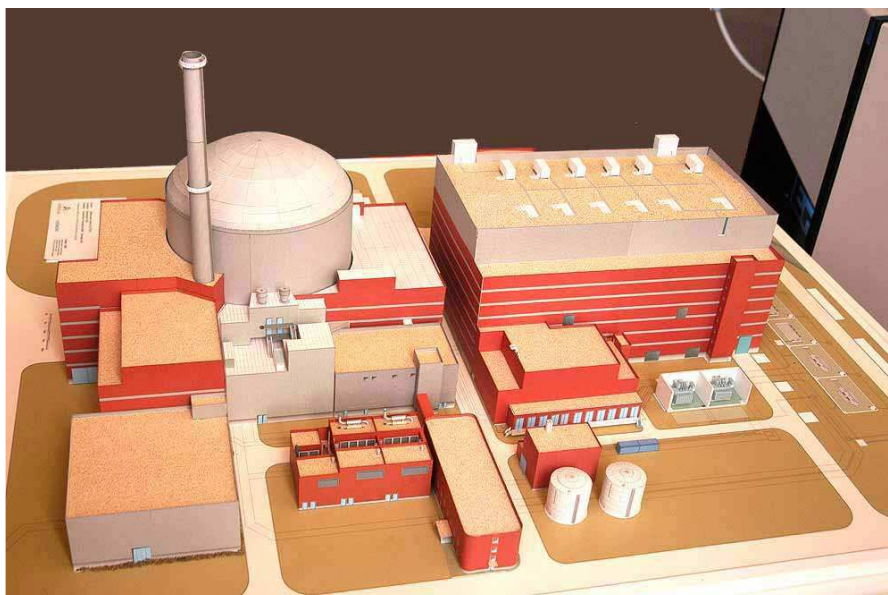
5.1. ÚVOD

- Rychlejší zprovoznění reaktorů než u předchozí generace.
- Delší doba provozu (60 let).
- Vyloučit riziko roztavení aktivní zóny.
- Zabránit ohrožení životního prostředí a lidstva radioaktivními látkami.
- Pracovat při vyšších výkonech díky vhodnému uspořádání paliva v aktivní zóně.
- Konstrukteři navrhují reaktory s jediným cílem, aby poruchovost byla minimální.
- Digitalizace veškerého kontrolního panelu.
- Navrženy pasivní bezpečnostní prvky tak, aby využívali fyzikálních zákonů ke svému provozu a nemuseli být závislé na lidské činnosti.
- V současné době jsou v provozu tři reaktory Japonsku
- Některé reaktory jsou rozestavěné a plánuje se další stavba těchto typů.

5.2. REAKTOR EPR

Reaktor patřil již do II. generace. V dnešní době se pracuje na jeho zlepšení v oblasti výkonu i jaderné bezpečnosti. U těchto provedení došlo ke zmenčení prostorů, ve kterém se jaderný reaktor nachází. Výkon reaktoru byl zvýšen o několik jednotek procent než u staršího provedení, což je způsobeno vyšší dosaženou teplotou v aktivní zóně. Nemělo by dojít k žádné havárii proto je reaktor vybaven jenom čtyřmi chladícími nádržemi. Pod reaktorem se nachází prostory kam by postupovaly složky roztavené aktivní zóny, zde by byly chlazeny radioaktivní látky. Toto zlepšení, ale nezaručuje poškození reaktorů vlivem výbuchu a protrhnutí kontejmentu a únik radioaktivních látek. Konstrukce kontejmentu byla vyrobena jako u jeho předešlého předchůdce. Reaktor je vybaven vodíkovými směšovači sloužící ke snížení koncentrace vodíku v tlakové nádobě.

Francie chce stavět další reaktor EPR, i když první nemá ještě dostavěný. Kontejment této jaderné elektrárny by měl odolat teroristickému útoku. Z důvodu špatné odbornosti výrobců, kteří dodávají materiál dochází ke zpoždění ve výstavbě. Kvůli nedodržení termínu dochází ke ztrátám ekonomickým. Během stavby byly zjištěny prasklé svary. V závislosti na tomto zjištění musel být zvýšen dohled nad stavbou. V současnosti došlo ke zlepšení.



5.1. Projekt reaktoru EPR[34]

5.3. REAKTOR PBMR

Palivem je obohacený uran zabalený v grafitové kuličce. jednotlivé palivové soubory se mění v aktivní zóně a nedosahuje se vysokých tlaků. palivové soubory se nachází v zásobníku. Díky malým tlakům by neměla hrozit havárie. Reaktor by se měl stavět bez kontejmentu. Byla vedena myšlenka, že by reaktor mohl pracovat bez lidské kontroly, což je velice odvážné tvrzení. PBMR je chlazený héliem a moderovaný grafitem. Protože pracuje při nižších výkonech nemělo by docházet k proměnlivému kolísání tlaků.

5.4. DALŠÍ TYPY

ABWR

- Reaktor, který vychází z koncepce BWR.
- Má modernizace v čerpadlové části.
- Regulační tyče jsou zkonstruovány, tak že reagují na nepříznivou situaci do tří sekund.
- Kontrolní systém je z velké části v digitálním provedení. (lepší kontrola)
- Chladicí systém rozmístěn do tří částí.
- Chladicí systém v případě přetlaku vrátí reaktor na provozní tlak.
- Kontejment odolný proti zemětřesení a pádu letadla
- Tlak se v reaktoru pohybuje do 8 MPA.
- V tlakové nádobě se voda přeměňuje na páru při teplotě 285°C po separaci jde přímo na turbínu.
- Při překročení této teploty se chladivo rozdělí na mnoho molekul a nedocházelo ke zpomalování neutronů, což by vedlo k bezpečnému zastavení reaktorů.

APWR

- Vybavena pasivními systémy
- Výkon se pohybuje okolo 1700 MWe
- Je vybaven chladicím systémem, který by zchladil roztavenou aktivní zónu a zabránil úniku radiace.
- První reaktor by měl být dostavěn v Japonsku v roce 2016.
- Čtyři zásobníky s chladicím médiem

CANDU(ACR-1000)

- Zdokonalení chladicího systému.
- Zlepšení využití paliva.
- Produkce těžké vody snížena o polovinu
- Dlouhé periody mezi poruchami
- Ušetření finančních investic

VVER- 1000

- Při nečekaném navýšení výkonů a teploty, by ve vodě používané jako chladicí médium došlo k nárůstu mezer mezi molekulami a nedocházelo by ke zpomalování neutronů a štěpná reakce by byla úplně pozastavena.
- V případě havárie a odpařování vody nebudou neutrony opět zpomalovány a štěpení bude ukončeno.

VVER-1200

- Vychází ze svého předchůdce.
- Má dosahovat životností okolo 60 let.

- Je vybaven chladícím systémem, který by zchladil roztavenou aktivní zónu a zabránil úniku radiace.
- Kontejment je odolný proti vnějším vlivům a teroristickému útoku.
- První koncepty by měli být dostavěny v Rusku

ATMEA

- Dosahovaný výkon okolo 1100 MWe
- Kontejment odolný proti teroristickým útokům a přírodním vlivům
- Je vybaven chladícím systémem, který by zchladil roztavenou aktivní zónu a zabránil úniku radiace.



5.2 Projekt vylepšeného reaktoru CANDU-6[35]

6. STÁRNUTÍ MATERIÁLU

6.1. CHARAKTERISTIKA

V dnešní době se stalo trendem, že státy provozující jaderné elektrárny se snaží prodloužit svoji licenci k dalšímu provozu. Nikdo nechce stavět nové elektrárny, protože je to velice nákladná záležitost. Většina zemí tedy usiluje o prodloužení životnosti svých postavených elektráren, aby došlo k zaplacení jejich nákladů na stavbu.

Stárnutí materiálu je zhoršení mechanických vlastností během provozu. Tento jev se špatně kontroluje, může dojít k trhlině bez předchozích známek poškození. Proces stárnutí se neprojevuje na nových součástech, ale objeví se s postupným časem chodu, někdy po pár letech jindy po desetiletích. S průběhem správného chodu mají firmy tendenci stárnutí materiálu opomíjet. U reaktorů musí být na tento jev brán velký zřetel, když dojde k prodloužení životnosti jaderné elektrárny. V jaderných elektrárnách je stárnutí materiálu vyvoláno:

- Vysokými teplotami
- Vysokými tlaky
- Korozí, křehkostí, degradací
- Neutronovým tokem
- zářením
- časem

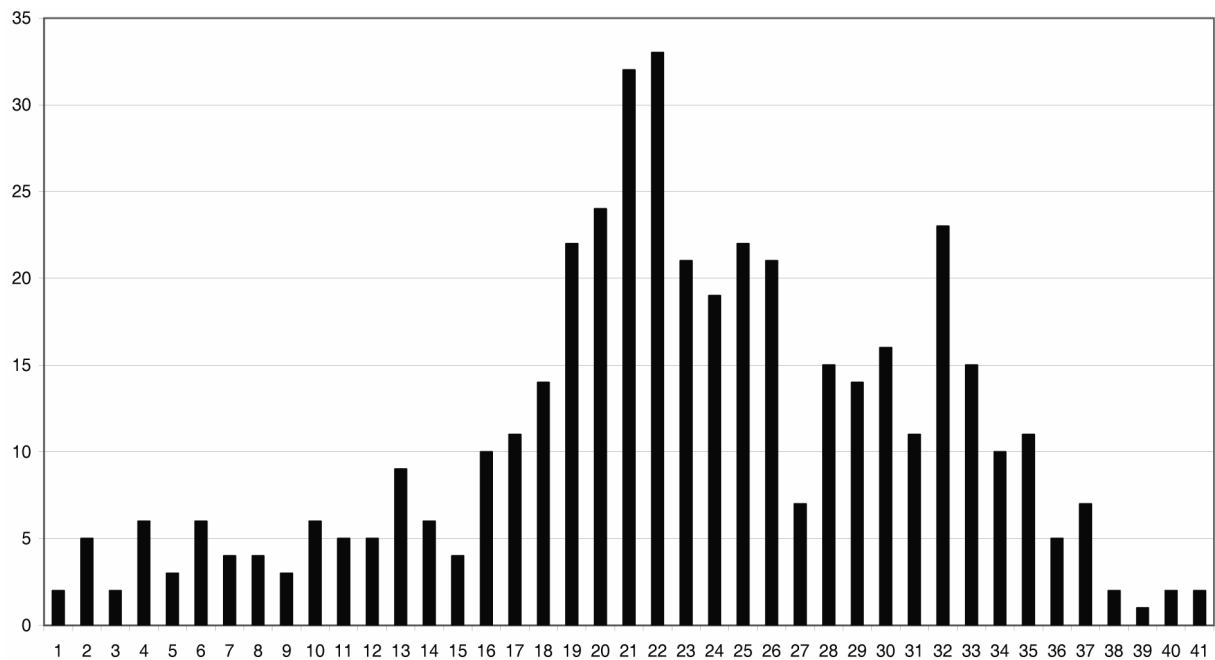
V jaderné elektrárně nemůžou být monitorovány všechny materiály z důvodu vysoké radiace nebo špatné přístupnosti. Proto jsou vedeny různé výzkumy jak se daný materiál bude

chovat za daných podmínek. Tyto výpočty nejsou zcela přesné. Vliv na různé komponenty se může projevit odlišně. Pokud dojde k poškození zařízení, které je sledováno každý den dojde ihned k jeho výměně, ale kdyby došlo k poruše důležité součásti, ke které není přístup mohlo by to mít katastrofické následky. Musíme se tedy spoléhat na provedené simulace a že k ničemu takovému nedojde. Proces stárnutí může vést k vážné havárii s dopady na životní prostředí nebo může dojít jenom ke ztečení potrubí. Mezinárodní organizace, které rozhodují o prodloužení životnosti jaderné elektrárny musí analyzovat všechna zařízení jestli pracují správně po všech letech. Někdy je nutné například vyměnit celý parní generátor, aby mohla jaderná elektrárna fungovat bezpečně dále. Pořád se tyto opravy vyplatí více, kde je to z technického hlediska možné, než stavět novou elektrárnu. V brzké době se můžeme dočkat výměny celé tlakové nádoby. Stárnutí se dnes zamezuje v tlakové nádobě tím, že se palivo procházející kampaní postupem času přesouvá ke stěnám tlakové nádoby. Měli by se vést nové výzkumy, aby byl proces stárnutí materiálu lépe popsán.

6.1. Stáří ve světě provozovaných jaderných reaktorů[16]

osa x-Stáří(roky)

osa y-Počet reaktorů



6.2. Kontrola stavu materiálu[36]

NÁRŮST VÝKONU ELEKTRÁREN

Ve většině elektráren dochází ke zvýšení výkonu, díky technickým zdokonalením:

- Elektrárny dosahují vyšších výkonu zvýšením tepelné účinnosti
- Výkon se zvyšuje vhodným uspořádáním paliva v aktivní zóně, dochází k většímu počtu štěpných reakcí.
- Zvýšením množství páry přicházející na turbínu.

Všechny tyto jevy vedou k většímu namáhání materiálu a zvyšují riziko nehodovosti. Můžeme říci, že některé jaderné elektrárny zvýšili svůj výkon za vidinou zisku aniž by zlepšili své bezpečnostní prostředky.

6.2. HLAVNÍ SOUČÁSTI A JEJICH NAMÁHANÍ

Tlaková nádoba

Je hlavní prvek, ve kterém probíhá štěpná reakce. Tlakové nádoby jsou zkonstruovány z ocelových materiálů, které jsou k sobě svařeny. V současné době jsou kladeny požadavky, aby se svar nacházel mimo oblast aktivní zóny. Materiál musí mít dobré mechanické vlastnosti, aby byl odolný proti neutronovému toku a vysokým teplotám a tlaku. V oceli nesmí být materiály se sklony ke křehnutí. PWR jsou vyrobeny z materiálu se sklony ke křehnutí, protože obsahují prvky náchylné k tomuto jevu. U PWR byly objeveny trhliny ve víku. Mohou vystaveny vysokým teplotním šokům v případě nehody a nahromadění studeného chladiva do tlakové nádoby může vést k trhlinám. U reaktorů PWR byly zjištěny poškození trysek. Tlakové nádoby se těžko kontrolují. Dělá se vizuální kontrola. Narušení ocelového materiálu v důsledku obsažené kyseliny borité v chladivu. Veškeré svary na tlakové nádobě jsou monitorovány rentgenem.



6.3. Tlaková nádoba reaktoru[38]

Kontejment

Kontejmenty mají různé tvarové provedení. Všechny druhy plní stejnou funkci v případě havárie mají zabránit úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Kontejmenty se staví podle předem daných stanovených předpisů. Musí vydržet pád malého osobního letadla, aby nedošlo k poškození ochranné obálky. Jsou zkonstruovány na namáhání vysokého tlaku a teplot, kdyby došlo k poškození tlakové nádoby a úniku páry. Kontejmenty se vyrábí z železobetonu nebo ocelových konstrukcí, které mohou dosahovat tloušťek stěny až tři metry. Kontejmenty by měli vydržet namáhání přírodních jevů během životnosti.

Chladicí věže

Chladicí věže plní funkci odvodu odpařované vody. Stavby u jaderných elektráren jsou až přes sto metrů vysoké se zužujícím průřezem. Jsou postaveny z betonové konstrukce. Chladicí věže rozptylují odpadní teplo do atmosféry, kdyby šla odpařovaná voda do jezer docházelo by k nárůstu teploty vody a úhynu vodního tvorstva. K dosažení stability se chladicí věže staví do tvaru hyperboloidu. Minerály obsažené ve vodě jsou agresivní na betonovou konstrukci. Dochází k mylným omylům, že někteří lidé si myslí, že z chladících věží odchází kouř to je zapříčiněno, že do atmosféry odchází pára nasycená kapičkami vody a vytváří mlhový oblak. Chladicí věže musí odolávat vysokým teplotám a vlivům počasí. V minulých letech došlo k poškození chladících věží silným větrem. Od té doby byly konstrukce ještě více zdokonaleny. Ocelové konstrukce jsou namáhány korozními činiteli. Dosud nebyla u betonových konstrukcí prozkoumána přesná doba životnosti. Je směřodotné, že chladicí věže by měly s přehledem vydržet životnost elektrárny.

Parní turbína

Slouží k výrobě elektrické energie. Turbína je celá pokryta tlakovou skříní, která plní funkci zabránění úniku páry. Důležitá je vyváženost rotoru pro správný chod. Na turbínu musí jít pára zbavena veškerých vodních kapiček, protože jinak by hrozila eroze lopatek a mohlo by dojít k velké poruše. Obsažená voda v páře má za následek poškození ložisek na hřídeli. Turbíny vyžadují vysoké náklady na materiál. Turbíny vykazují známky křehnutí, stárnutí a korozní opotřebení po určité době. U některých turbín byly v minulosti zpozorovány trhliny.



6.4. Oprava parní turbíny[39]

Regulační tyče

Slouží k regulaci neutronů v reaktoru, aby byla štěpná reakce pod stálou kontrolou. Regulační tyče jsou ve svislém směru zasouvány do reaktoru většinou z vrchní části, kde mají svůj vlastní pohon umístěný na tlakové nádobě. Existuje i reaktor BWR, kde regulační tyče musí překonávat gravitační síly. Regulační tyče obsahují chemické prvky, které absorbují neutrony. V případě poruchy hnacího ústrojí, regulační tyče jsou spuštěny do aktivní zóny volným pádem a ukončí štěpnou reakci. U BWR se používá hydraulický systém, protože nemůžeme spustit regulační tyče volným pádem do aktivní zóny. Špatná konstrukce regulačních tyčí vedla v dřívějších dobách k menším haváriím.

Chladicí čerpadla

Plní funkci čerpání chladicí vody do reaktoru pod vysokým tlakem. Čerpadla musí být vyrobeny z vysoce odolných materiálů proti korozi, aby nedošlo k poruše. Z důvodu ušetření finančních prostředků bylo u čerpadel v jaderných elektrárnách, pozorovány poškození na hřídeli. Zřídka se vyskytl i trhliny na materiálech

Parní generátor

Hlavním úkolem parních generátorů je převádění vody na páru. Je takovým bodem, který odděluje primární a sekundární okruh v elektrárně. Parní generátor je vyplněn tisícemi potrubí. Zabraňují úniku radioaktivních látek na turbínu. Vyrábějí se ve dvou základních provedení ve svislém a vodorovném. Ukázalo se, že vodorovné zařízení je méně náchylné k porušení trubkovic. Parní generátory jsou namáhány korozními jevy, dochází ke stárnutí materiálu a ztenčení tloušťek stěny. Nejvíce k poškozením docházelo u reaktoru PWR jak bylo zmíněno v předchozí kapitole. Parní generátor je finančně velice nákladná věc, však byly už provedeny kompletní výměny.



6.5. Parní generátor Temelína[40]

Potrubí

Jsou vysoce namáhány korozními jevy, proto musí být co nejčistší složení chladicí kapaliny. Dochází k únavovému opotřebením. Vlivem namáhání dochází ke ztenčení tloušťky materiálu. Potrubí se postupem času opotřebuje. Než dojde k trhlině měli bychom pozorovat únik média. V elektrárnách však došlo už k prasknutí potrubí bez prvotních příznaků,

7.BEZPEČNOSTNÍ PRVKY

Mají plnit funkci, aby nedošlo k úniku radioaktivních látek.

Systém ochrany(RPS)- Je zařízení k okamžitému zastavení štěpné reakce. většina reaktorů má určité provedení systému RPS.

Nástřik kapaliny- Je vlastně kyselina boritá obsažena v chladicí kapalině, pomocí její koncentrace můžeme snížit výkon reaktoru nebo zcela štěpení zastavit, protože kyselina boritá absorbuje neutrony.

Chladicí systém(ECCS)- Je zařízení provedeno tak, aby v případě havárie ukončilo štěpnou reakci. Tento systém může okamžitě reagovat na nehodu, i když některé strojní zařízení jsou mimo provoz.

Vysokotlaké chlazení(HPCI)- je složen z více čerpadel, které dodávají chladicí médium do reaktoru a hlídají dostatečné množství chladiva v reaktoru.

Ventilační systém(ADS)- Zařízení je provedeno z řady ventilů. Důležité pro snížení tlaku v chladicím okruhu. většina armatur jsou řízena automaticky, aby mohli ihned reagovat na vzniklé problémy.

Vstřikovací systém(LPCI)- Je složen z čerpadel, které opět dodávají chladicí kapalinu do reaktoru v případě nárůstu tlaku. Odstraňují zbytkové teplo z reaktoru.

Rozprašovací systém- Je rozprašovací zařízení v tlakové nádobě, které dodává chladicí kapalinu přímo na palivové soubory. Zajišťují, aby nedošlo ke vzniku páry v tlakové nádobě..

Zařízení z čerpadel a trysek- Spray plní funkci, aby nedocházelo k přeměně kapaliny na páru a nedocházelo k přetlaku.

Záložní elektrický zařízení- V případě výpadku elektrické energie je elektrárna vybavena dieslovými generátory, které zaručují pohon turbíny, aby nedošlo k poškození a dalších elektrických zařízení.

Ochranný systém-Palivo se nachází v palivovém obalu, který je většinou vyroben z materiálu (zirkonium), tak aby zabránil korozním účinkům a měl co nejmenší průřezy pohlcující neutrony. Tlakové nádoby zabraňují úniku radiace mimo aktivní zónu.

Klimatické zařízení- Z neočekávaného úniku radiace do ovzduší jsou elektrárny vybaveny zařízeními pro snížení radiace ve vzduchu, aby nedošlo k ohrožení lidských životů. Ventilátory slouží k odstranění radiace z ovzduší v případě nehody v primárním okruhu. Pomocí větrání opět snížíme přítomnost radiace v ovzduší.

8. VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

V aktivní zóně v tlakové nádobě vznikají radioaktivní látky, které musíme zajistit, aby se nedostali do životního prostředí. další radioaktivní látky jsou ve vyhořelém palivu. Při štěpení mohou uniknout špatnou těsností v palivovém plášťu nebezpečné látky do chladiva, které napadají materiály potrubí. Musí se provádět čištění kapaliny. Ke snížení obsahu radioaktivních látek slouží proces filtrace, kterým dosáhneme snížení aktivity. Poté mohou být látky vypuštěny do ovzduší, když splňují předepsané normy obsahu daných prvků. Pomocí úhlových filtrů se provádí rozpad tritia.

Veškeré odpady z elektráren jsou kontrolovány, aby nedošlo k překročení stanovených norem jednotlivých prvků. Hlavním zdrojem radionuklidů je odpařování vody, která prochází přes mnoho procesů k odstranění nebezpečných látek. Voda, která vyhovuje předepsaným předpisům se používá k dalšímu zpracování. Ostatní se vypouští do řek je samozřejmě zbavena nebezpečných látek. jediná látka, která nelze oddělit je tritium její množství je nebezpečné pro životní prostředí.

Snímání výpusti v elektrárně provádí specializovaná firma, odebírá vzorky z výpusti z elektrárny jestli splňují předepsané stanovy, aby nedošlo k úniku. Voda se přečišťuje k odstranění radioaktivních látek. Stejně kontroly se provádí i u plyných výpustí. Odvod odpadních vod nemají za následek zvýšení teploty v řece a neohrožují vodní tvorstvo. Vypouštěná voda z chladících věží nevede k nadměrnému zvýšení srážek. Jaderné elektrárny nepřesahují normy hluku. jaderné elektrárny jsou projektovány proti přírodním vlivům. Elektrárny jsou projektovány, tak aby byly odolné proti silné vichřici, záplavám a zemětřesením. Stavby jsou stavěny na místech, kde jsou tyto geologické jevy co nejmenší nebo vůbec žádné.

Inhertní bezpečnost

Jsou bezpečnostní prvky bez lidského přičinění. Bezpečnost je zapříčiněna díky přírodním jevům. Moderátor z vody při zvýšení teploty v reaktoru zvětší své mezery mezi molekulami. Poté moderátor nezpomaluje neutrony a nedochází ke štěpné reakci. I kdyby se veškeré chladivo přeměnilo v páru znovu by došlo k zastavení štěpné reakce opět způsobené ještě většími vzdálenostmi mezi molekulami. I samotné palivo je bezpečnostní prvek. Z velké části je složeno z U238, který se zvyšující teplotou pohlcuje více neutronů potřebné pro štěpení.

8.1. HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST

- posouzení vzniklých jevů v elektrárně
- řídicí centra reagují na dané události
- v případě nehody varovat zaměstnance v elektrárně
- informovat lidi v blízkém kontrolním pásmu kolem elektrárny

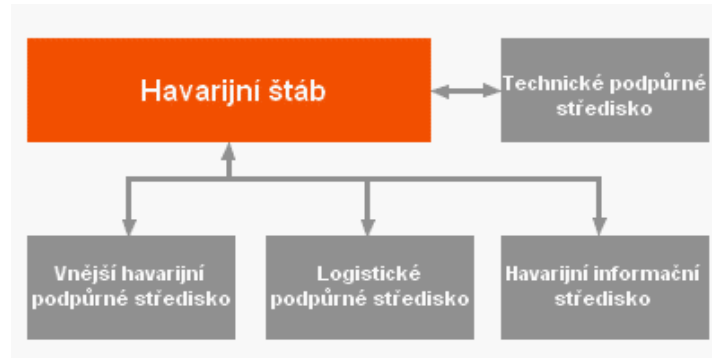
Při současné konstrukci všech elektráren a zajištění bezpečnostních požadavků by nemělo vůbec dojít k úniku radiačních látek a ohrožení lidského života. Přece jenom kdyby jednou nastala havárie v jaderné elektrárně jsou přesně dány předpisy jak se v daném okamžiku zachovat, aby nedošlo k podcenění. Zprávy obsahují ochranné požadavky na záchranu zaměstnanců a populace. tyto analýzy jsou vypracované ve vnitřním havarijním plánu. Požadavky na havarijní připravenost určují dozorné orgány každého státu provozující jadernou elektrárnu. havarijní plán obsahuje postup jak jednat za vzniklé situace. Situace můžeme rozdělit do tří stupňů.

1. stupeň- V tomto případě dojde k ozáření zaměstnanců na pracovišti. Nedojde k úniku radiace do životního prostředí. tyto problémy vyřeší zaměstnanci sami na pracovišti.

2. stupeň- Opět dojde k ozáření zaměstnanců, ale dojde i k úniku radiace do životního prostředí. Jsou potřebné složky, které jsou proškoleny na zvládnutí dané situace.

3. stupeň- Je popsán jako havárie, dojde k velkému úniku radioaktivních látek do životního prostředí. nestačí jenom složky k tomuto pověření. Musí se postupovat podle vnějšího havarijního plánu.

Řídící centra se budují proto, aby v případě vzniku nečekané nehody, byla plnohodnotně zajištěna organizace. Musí reagovat na vzniklé události co nejdříve a varovat zaměstnance a obyvatelstvo v blízkém okolí.



8.1 Struktura havarijní připravenosti[37]

8.2. INES

Je mezinárodní stupnice zavedena pro hodnocení jaderných událostí. Slouží pro informovanost veřejnosti k jaké události došlo v elektrárně.[27]

Význam jednotlivých stupňů

0- odchylka

1-3-nehody

4-7- havárie

7. Velmi těžká havárie

Dojde-li k roztavení aktivní zóny a úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Ohrožující zdravotní stav jedince. Radiace může zasáhnout více zemí. Dojde ke kontaminaci půdy, bohužel k takovéto rozsáhlé havárii došlo v Černobylu.[27]

6. Těžká havárie

Únik radiace do životního prostředí. Došlo by k uplatnění havarijního systému a zabránění ohrožení lidských životů. Jako příklad můžeme uvést přepracovatelský závod v SSSR(1957).[27]

5. Havárie s účinkem na okolí

Dochází opět k úniku velkého množství záření, ale v menší míře než u předchozích dvou stupňů. Opět by bylo použito prostředků v havarijním systému a zabránění ohrožení lidských životů. Jsou sem řazeny velké poškození v aktivní zóně a požáry. Jako příklad můžeme uvést jaderná elektrárna(1979).[27]

4. Havárie bez vnějšího ohrožení

V tomto případě dojde k úniku radiace v nepatrném množství několik milisievertů. Nedošlo by k ohrožení lidského života, ale museli by být snímány potraviny na obsah radioaktivních látek. jako příklad můžeme uvést Jaslovské Bohunice(1977).[27]

3. Vážná nehoda

Tento stupeň je popsán tak, že by došlo k úniku radiace v desítkách milisievertů. Zde nejsou zapotřebí nějaké kontroly. Hrozí ohrožení lidských životů v elektrárně. Ozářený materiál se skladuje na místech k tomu určených, aby poklesla aktivita. Jako příklad můžeme uvést jaderná elektrárna ve Španělsku(1989).[27]

2. Nehoda

Nehoda při níž by došlo k poruše zařízení podílející se na bezpečném provozu, ale nedošlo by k ohrožení bezpečného chodu. Řadí se sem i překročení roční dávky radioaktivních látek na jedince.[27]

1. Odchylka

Malé vychýlení od běžného provozu v důsledku poškození zařízení nebo lidského selhání. Nesprávná manipulace s palivem a vyhořelým odpadem. Porušení nařízených předpisů pro pracovníky.[27]

8.3. Teroristický útok

V dnešní době při provozu různých islámských hnutí, které se snaží zabít co nejvíce lidí. Není vyloučeno, že by teroristé nezaútočili na jadernou elektrárnu. Většina jaderných elektráren je chráněných kontejmentem, který by měl vydržet pád malého letadla. Nemůžeme tedy říci co by se stalo, kdyby do elektrárny narazilo osobní letadlo. Provozované jaderné elektrárny mají jako svoji součást sklad vyhořelého paliva. Tento sklad by mohl být pro teroristy snaží cíl než zničit jaderný reaktor. Kdyby přece jenom došlo k útoku na jadernou elektrárnu a podařilo by se separatistům zničit kontejment, tlakovou nádobu nebo chladicí zařízení. mělo by to nedozírné následky. Došlo by k zasažení zemí radioaktivními látkami, které neměli být ohroženy. pro samotnou zemi zasaženou by to byla obrovská katastrofa došlo by k selhání elektrického rozvodu energie v zemi. Do ovzduší by bylo uvolněno nepředstavitelné množství radioaktivních látek. Mnoho lidí by zemřelo na místě. Další by umírali postupně na následky rakoviny, Docházelo by ke genetickým mutacím, ke kontaminaci půdy. vysoké náklady na dekontaminace.

Znamenalo by to zřejmě zastavení veškerého provozu jaderných elektráren ve světě. K několika útokům na jaderné elektrárny došlo. Útoky byly většinou vedeny na elektrárny, které nebyly v provozu. Důvodem byly obavy, že jaderné elektrárny budou použity k výrobě jaderných zbraní. podařený teroristický útok na jadernou elektrárnu by byl tisícinásobně silnější než atomová bomba. Znamenal by konec jaderné energetiky ve světě. Věřme, že k ničemu takovému nikdy nedojde.

Jaderné elektrárny jsou zařízení s vysokými bezpečnostními prvky. Do prostoru jaderné elektrárny se nemůže dostat neoprávněná osoba přes bezpečnostní složky. Vzdušný prostor nad jadernou elektrárnou je uzavřen v případě porušení dojde k upozornění daného letadla. Nedojde- li k uposlechnutí rozkazu je letadlo sestřeleno.

9. NAKLÁDANÍ S VYHOŘELÝM PALIVEM

Každá jaderná elektrárna na světě produkuje jaderný odpad, který je nutno někde skladovat. Po ukončení kampaně v jaderném reaktoru se musí vyhořelé palivo bezpečně uložit, aby nedošlo k úniku radioaktivních látek do životního prostředí a ohrožení lidského života.

Jednotlivé fáze zacházení s vyhořelým palivem:

- Palivo je pomocí speciálního zařízení vyjmuto z aktivní zóny a umístěno do bazénu s chladícím médiem v blízkosti reaktoru, kde je skladováno několik let, aby došlo k poklesu aktivity.
- Poté palivo vložíme do speciálně vyrobených kontejnerů k tomu určených.
- Kontejnery uskladníme v meziskladu s palivem. Palivo může být uskladněno suchým nebo mokřým způsobem.
- Kontejnery putují do přepracovatelských závodů k dalšímu využití jejich energie.
- Radioaktivní odpad následuje do hlubinného úložiště.

Na zacházení s radioaktivním odpadem jsou vydaná světová nařízení organizace (IAEA). Zaměstnanci manipulující s radioaktivním odpadem musí mít potřebnou kvalifikaci, kterou prověřuje státní dozor každého státu. Kontejnery jsou vyrobeny z kvalitní oceli, ve kterých může být palivo uloženo v meziskladu několik desítek let. Jsou tak vysoce odolné, že vydrží pády z výšek, náraz nákladního kamionu, vlaku, výbuch granátem. Dá se tedy říci, že kontejnery jsou téměř nezničitelné. Došlo by k určité deformaci, ale hlavní úkol zabezpečení úniku radiace do životního prostředí by byl splněn. Kontejnery jsou vyrobeny, aby splňovaly podmínky pro přepravu. V současné době většina států vyhořelé palivo skladuje a sleduje možný budoucí pokrok v technologii transmutace určeného k dalšímu zpracování. Radioaktivní odpad z jaderné elektrárny je slisován do skla a poté uložen do sudů, které jsou opět slisovány. Takto zlisovaný sud je znovu uložen do sudu a vnější mezera mezi sudy je zalita cementem. Následuje uložení sudu do hlubinného úložiště.

Hlubinné úložiště si musí každý stát vybudovat na svém území, jelikož není dnes možné převážet radioaktivní odpad z jednoho státu do druhého. Vedou se jednání o zbudování mezinárodního úložiště kam budou vyvážet jaderný odpad země, které by tento projekt zrealizovaly. V dnešní době jsou některé hlubinné úložiště provozovány. Hlubinné úložiště musí být postaveny na místech, kde nedochází k zemětřesení nebo záplavám a jiným geologickým účinkům. Půda, ve které bude jaderný odpad uskladněn musí obsahovat horniny k tomu vhodné (žula, jílovité povrchy). Kontejnery z uskladňovacích skladů jsou vkládány do dalšího kontejneru, který je potom uložen do hlubinného úložiště. Nehrozí únik radioaktivních látek, díky dobrému podlaží a vysoké životnosti kontejneru.



9.1. Úložiště radioaktivního odpadu[41]

10.ZÁVĚR

V této bakalářské práci je vypracován přehled mezinárodních dozorných orgánů. Je stručně popsána struktura, hlavní cíle a kdy mezinárodní organizace pro jadernou bezpečnost vznikly. V dnešní době si neumíme představit provoz jaderných elektráren bez kontroly těchto složek. Určité elektrárny by se snažily zvýšit svoji produkci energie bez ohledu na jadernou bezpečnost. K ničemu takovému nedojde, díky neustálým kontrolám v jaderných elektrárnách. Kontrolní orgány mají výhradní právo rozhodovat o prodloužení licence jaderné elektrárny, důležité k provozu. Dohlíží, aby státy využívaly jadernou energetiku k mírovým účelům. Mezinárodní organizace odsunuly jazykovou bariéru do ústraní a umožnily předávání současných trendů v oblasti bezpečného provozu elektrárny. V neposlední řadě sledují odbornost personálů.

Je zde popsána postupně narůstající bezpečnost u tlakovodních reaktorů. Dozvíme se jakými poruchami trpěly tlakovodní reaktory. V práci je charakterizována největší havárie od dob provozu jaderných elektráren na reaktoru RBMK v Černobylu. Bylo zjištěno, že spousta lidí zemřela zcela zbytečně kvůli špatné informovanosti. Reaktory třetí generace představují inovaci v jaderné bezpečnosti. Jsou vybaveny mnoha systémy proti roztavení aktivní zóny a úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Reaktory byly zkonstruovány, tak aby pracovaly především na základě inertní a pasivní bezpečnosti, s co možná nejmenším zásahem lidské činnosti.

Stárnutí materiálu je velice nevyspítatelná věc, která není ještě dnes přesně charakterizována a musíme se v určitých zařízeních elektrárny, zcela odkázat na výpočtové modely. V další části jsou popsány funkce hlavních součástí elektrárny a jejich namáhání. Dále důležitou roli v jaderné elektrárně hrají bezpečnostní prvky, které reagují na vzniklé nečekané situace. V práci se také dozvíte informace o nebezpečných radionuklidech působící na životní prostředí. Je zde popsán havarijní plán, jak by jednaly elektrárny v případě havárie. S radioaktivním odpadem je zacházeno podle velice přísných norem, aby nedošlo k ohrožení lidských životů nebo životního prostředí.

Podle mého názoru jsou jaderné elektrárny jedny z nejbezpečnějších průmyslových zařízení ve světě. Ojedinelá nehoda, která se stala v roce 1985 se už nebude opakovat, jelikož bezpečnostní požadavky na jaderné elektrárny mají stále stoupající tendenci. Jaderné elektrárny navrhované pro budoucí generace jsou navrženy, tak aby jejich nehodovost byla téměř nevyčíslitelná..

11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2010-4-23] Dostupné z:
<http://www.sujb.cz/?c_id=840>
- [2] Státní mise České republiky ve Vídni [online] aktualizováno 7. 12. 2009 [cit.2010-4-26]
<http://www.mzv.cz/mission.vienna/cz/organizace_v_pusobnosti_mise/ostatni_mezinarodni_organizace/mezinarodni_agentura_pro_atomovou/index.html>
- [3] Ronald Crawford, World Association of Nuclear Operators (WANO) [cit.2010-4-26]
[online] <http://www.wise.uwaterloo.ca/pdf/Nuclear-Ottawa-Oct09/NP_3_2_Crawford-1.pdf>
- [4] The organization [online] [cit.2010-4-26] < <http://www.ctbto.org/the-organization/>>
- [5] Nuclear Energy Agency [cit.2010-4-26] [online] < www.wenra.org>
- [6] International Radiation Protection Association [online] aktualizováno 20.5.2010
[cit.2010-4-26]< <http://www.irpa.net/>>
- [7] Evropska unie [online] aktualizováno 29.04.2010 [cit.2010-5-2]
<http://ec.europa.eu/energy/nuclear/safety/safety_en.htm>
- [8] United states nuclear regulatory comission [online] [cit.2010-5-2]
<<http://www.nrc.gov/>>
- [9] Nuclear Energy Agency [online] [cit.2010-5-2] <<http://www.nea.fr/>>
- [10] International commission on radiological protection [online] [cit.2010-4-26]
<<http://www.icrp.org/>>
- [11] Spolupráce s dalšíma Mezinárodníma organizacemi [online] [cit.2010-4-26]
<http://www.sujb.cz/?c_id=395>
- [12] Network of Regulators of Countries [online] [cit.2010-5-3]
<<http://www.ners.info/>>
- [13] Health Potection Agency [online] [cit.2010-4-26] <<http://www.hpa.org.uk/>>
- [14] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [online]
[cit.2010-4-26] <<http://www.unscear.org/>>
- [15] Doc. Ing. Karel Matějka, CSc., Doc Ing. Jaroslav Zeman, CSc., Prof. Ing. Bedřich Heřmanský, CSc. VÝVOJ POŽADAVKŮ NA BEZPEČNOST NOVÝCH JADERNÝCH REAKTORŮ [online] [cit.2010-5-4] < <http://stag.zcu.cz/fel/kee/JE-nuclear/bezpecnost.pdf>>
- [16] Antony Froggatt, Bezpečnostní rizika jaderných reaktorů [online] [cit.2010-5-1]
<http://www.calla.cz/data/energetika/seminare/eaje/myth_reality/froggatt.pdf>

-
- [17] Boiling water reactor- [online] aktualizováno 4.05.2010 [cit.2010-5-3]
<http://en.wikipedia.org/wiki/Boiling_water_reactor>
- [18] Pressurized water reactor- wikipedia otevřená encyklopedie [online] aktualizováno 16.5. 2010 [cit.2010-5-3]
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pressurized_water_reactor>
- [19] Bedřich Heřmanský, Ivan Štoll: Energie pro 21. století, ČVUT 1992, VVER-wikipedia otevřená encyklopedie [online] aktualizováno 30.4. 2010 [cit.2010--5-3]
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/VVER>>
- [20] CANDU Reactor- wikipedia otevřená encyklopedie [online] aktualizováno 17.5. 2010 [cit.2010-5-3] <http://en.wikipedia.org/wiki/CANDU_reactor>
- [21] RBMK Reactor-wikipedia otevřená encyklopedie [online] [cit.2010-5-3]
<<http://wikipedia.infostar.cz/r/rb/rbmk.html>>
- [22] Černobylská havárie- wikipedia otevřená encyklopedie [online] aktualizováno 11.5. 2010 [cit.2010-5-10] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Černobylská_havárie>
- [23] Vladimír Wagner, Nové reaktory pro Temelín [online] [cit.2010-5-10]
<<http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/transmutace/novytemelin.htm>>
- [24] Nuclear reactor technology- wikipedia otevřená encyklopedie [online] Aktualizováno 23.5. 2010 [cit.2010-5-12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor_technology>
- [25] Bezpečnost [online] [cit.2010-5-15] <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderna-elektřarny-cez/ete/technologie-a-zabezpečeni/12.html>>
- [26] Zajištění havarijní připravenosti [online] [cit.2010-5-12] <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/jaderna-energetika/jaderna-elektřarny-cez/ete/technologie-a-zabezpečeni/10.html>>
- [27] Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí [online] aktualizováno v roce 2001 [cit.2010-5-14] <<http://www.sujb.cz/docs/INES.pdf>>
- [28] Triada, spol. s r. o., Praha ,Veřejná správa online [online] [cit.2010-5-15]
<<http://denik.obce.cz/go/clanek.asp?id=230795&hledej=recyklace>>
- [29] International News Net World Report, [online] [cit.2010-5-22]
<http://www.innworldreport.net/inn/images/11-6/iaea_image.jpg>
- [30] Westlakes Scientific Consulting [online] [cit.2010-5-22]
<http://www.westlakes.org/environment/media/IMG_1663_rdax_450x337.JPG>
- [31] Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové [online] [cit.2010-5-22]
<http://www.astrohk.cz/experiment/dozimetr_img_3133s.jpg>
- [32] Nuclear power plant/ pressurized water reactor -PWR.png- wikipedia otevřená encyklopedie [online] [cit.2010-5-22]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Nuclear_power_plant-pressurized_water_reactor-PWR.png>

-
- [33] Katastrofa v Černobyli, díl 2 [online] [cit.2010-5-22]
<<http://image.tvnoviny.sk/media/images///600xX/Aug2008//1032.jpg>>
- [34] Kernkraftwerk mit Druckwasser- Reactor EPR (1600 MW) [online] [cit.2010-5-22]
<<http://www.mtp-studio.de/epr-online/epr-08.jpg>>
- [35] Vladimír Wagner, Reaktory III. generace [online] aktualizováno 4.5. 2010
[cit.2010-5-22] <<http://www.osel.cz/popisek.php?popisek=8878&img=1209888468.jpg>>
- [36] Technologie a Bezpečnost [online] [cit.2010-5-22] <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html>>
- [37] Zajištění havarijní připravenosti [online] [cit.2010-5-22] <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/10.html>>
- [38] Jak funguje reaktor byly jsme přímo v srdci [online] [cit.2010-5-22]
<http://technet.idnes.cz/jak-funguje-temelin-byli-jsme-primo-v-srdci-reaktoru-f9n-/foto.asp?foto1=RJA1a6c95_Reaktor_horni_blok.jpg>
- [39] Opravy turbín [online] [cit.2010-5-22] <<http://www.cezenergoserwis.cz/jaderne-elektrarny-udrzba/opravy-turbin/>>
- [40] Ústav aplikované mechaniky Brno, S.R.O. [online] [cit.2010-5-22]
<<http://www.uam.cz/img/03/002.jpg>>
- [41] Richard, temná minulost druhé světové války [online] [cit.2010-5-22] <http://richard-1.com/richard2/surao/sudy-3.jpg>

12. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

SÚJB- Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO- Správa úložišť radioaktivních odpadů
SÚRO- Státní úřad radiální ochrany
KKC- Krizové koordinační centrum
IAEA, MAAE- Mezinárodní agentura pro atomovou energii
WANO- Světová asociace provozovatelů jaderných zařízení
CTBTO- Organizace smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek
CTBT- Smlouvy o všeobecném zákazu jaderných zkoušek
WENRA- Asociace západoevropských jaderných dozorců
IRPA- Mezinárodní asociace pro ochranu před zářením
EU- Evropská unie
INRA- Vnitrozemská severozápadní výzkumná aliance
NEA- Agentura pro jadernou energii
ICRP- Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu
VVER FORUM- Forum pro země s reaktory VVER
NERS- Mezinárodní síť jaderných regulátorů a inspektorů
HPA- Agentura pro ochranu zdraví
UNSCEAR- Organizace USA vědecký výbor o účincích atomové energie
INSAG- Mezinárodní skupina pro jadernou bezpečnost

PWR- Tlakovodní reaktor
VVER- Tlakovodní reaktor
BWR- Varný reaktor
CANDU- Těžkovodní reaktor
RBMK- Reaktor chlazený vodou a moderovaný grafitem
AGR- Plynem chlazený reaktor a moderovaný grafitem
EPR- Evropský tlakovodní reaktor
PBMR- Pebble bed modulární reaktor
ABWR- Rozšířený varný reaktor
APWR- Rozšířený tlakovodní reaktor