VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY

POSTAVENÍ JADERNÉ ENERGETIKY V EVROPSKÉ UNII - HISTORIE A SOUČASNOST

CHARACTER OF NUCLEAR ENERGY IN EUROPEAN UNION - HISTORY AND PRESENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — ROMAN KORYČANSKÝ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — ING. JIŘÍ MARTINEC, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Roman Koryčanský

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:

Postavení jaderné energetiky v Evropské unii - historie a současnost

v anglickém jazyce:

Character of nuclear energy in European Union - history and present

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozvoj jaderné energetiky v Evropě od druhé světové války procházel několika organizačními a technickými fázemi, které mohou být uváděny v souvislosti s politikou Evropské unie. Legislativní pozadí evropské jaderné energetiky je významným činitelem v rozšiřování a stabilizaci podmínek pro její uplatnění. Součástí strategie EU je participace na prohlubování vývoje nových technologií a zapojování do vědeckých projektů prostřednictvím Evropské komise. Struktura uplatňování obecných hledisek a praktických aplikací v evropské jaderné energetice je jistě jednotná, ale nemusí být příliš srozumitelná. Přehledná studie aktivit ve spojitosti s evropskou jadernou energetikou a její integrací v mezinárodním měřítku se jeví jako výhodná.

Cíle bakalářské práce:

Charakteristika vývoje jaderné energetiky v Evropě od konce druhé světové války.
Popis integrace jaderné energetiky v mezinárodním měřítku.
Rozbor evropských legislativních opatření pro jadernou energetiku.
Charakteristika současných trendů rozvoje jaderné energetiky.
Přibližná prognóza dalšího rozvoje a využití jaderné energetiky v Evropě.

Seznam odborné literatury:

Oficiální webové stránky Evropské unie
Oficiální webové stránky Evropské komise
EUROATOM smlouva
http://www.sciencedirect.com

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Martinec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 9.11.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu	Děkan

Anotace

Práce se zabývá rozvojem a současným postavením jaderné energetiky v Evropě. V první části práce je věnována legislativnímu pozadí v rámci evropské unie – smlouva EURATOM. Dále popisuje historii evropských společností zabývající se jadernou energetikou zejména francouzské AREVY. Největší část práce je věnována vztahu jaderné energetiky a veřejného mínění, zaměřeno na postavení ve vybraných státech a postoj ekologických organizací součástí je i popis historicky nejvážnějších havárií. Závěr je změřen na ekonomické aspekty jaderné energetiky a budoucnost jaderné energetiky.

Klíčová slova

Euratom, Areva, Framatome, veřejné mínění, radiační havárie, mezinárodní organizace, transmutační technologie

Annotation

The thesis deals with the development and current status of nuclear energy in Europe. The first part focuses on the legislative background in the EU – The Euratom treaty. Next, the thesis describes the history of European companies that are engaged in nuclear energy, in particular the French company AREVA. The largest part of the thesis deals with the relationship of nuclear energy and public opinion, and focuses on the status of nuclear energy in selected countries and the attitudes of environmental organizations. This section also includes a description of the history of the most serious accidents. The conclusion focuses on the economic aspects of nuclear energy and its future.

Key words

EURATOM, Areva, Framatome, public opinion, radiation accidents, international organizations, transmutation technologies

Bibliografická citace mé práce:

KORYČANSKÝ, R. *Postavení jaderné energetiky v Evropské unii - historie a současnost.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Martinec, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Postavení jaderné energetiky v Evropské unii - historie a současnost jsem vypracoval samostatně s použitím informačních zdrojů uvedených na konci práce.

V Brně 26.Května 2011 .....

Roman Koryčanský

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Martincovi, Ph.D za rady, které mi velmi pomohli při psaní práce.

1 Úvod 9
2 Legislativa 10
2.1 Mezinárodní spolupráce 10
2.1.1 Mezinárodní agentura pro jadernou energii 10
2.1.2 Světová jaderná asociace (WNA) 11
2.1.3 Světová asociace provozovatelů jaderných elektráren (WANO) 11
2.1.4 Agentura pro jadernou energii (NEA) 11
2.2 Euratom 12
3 Počátky jaderné energetiky 14
3.1 Základní typy reaktorů 14
3.2 Evropská jaderná energetika 15
3.2.1 Framatom 15
3.2.2 Siemens/KWU 17
4 Současné technologie reaktorů 18
4.1 EPR 18
4.2 ATMEA 18
4.3 KERENA 19
5 Veřejné mínění 19
5.1 Havárie 19
5.1.1 Stupnice INES 19
5.1.2 Největší havárie 20
5.2 Podpora veřejnosti v Evropě 23
5.2.1 Postavení jaderné energetiky v některých státech 24
5.3 Ekologie a jaderná energetika 26
5.3.1 Dopady jaderné energetiky na životní prostředí 26
5.3.1.1 Radioaktivní odpady 27
5.3.1.2 Politické pozadí odpadového hospodářství 28
5.3.1.3 Budoucnost nakládání s odpady 28
5.3.2 Protijaderné kampaně ekologických organizací 29
6 ekonomika JE 30
7 Budoucnost jaderné energetiky 32
7.1 Štěpné technologie 32
7.1.1 Transmutační reaktor 32
7.1.1.1 Princip ADS (urychlovačem řízený systém) 32
7.1.1.2 Energetické využití 32
7.1.2 rychlé reaktory 33
7.1.3 Vysokoteplotní reaktory 33
7.2 Jaderná fůze 34
7.2.1 Stručná historie 34
7.2.2 ITER (Mezinárodní Termonukleární Experimentální Reaktor) 34
8 Závěr 35
9 Seznam zdrojů 36

1 Úvod

Historie jaderné energetiky začíná počátkem 50. let. Po válce viděli vlády jednotlivých zemí v jaderné energetice zdroj levné energie, který by uspokojil energetické potřeby zotavujícího světa. Období 60.-80. se vyznačuje rychlím rozvojem jaderné energetiky. První zaváhání se stalo v roce 1979 nehoda Three mile island ukázala, že jaderná energetika může být velmi nebezpečná. V důsledku této nehody došlo k přehodnocení bezpečnostních opatření a celé kultury provozu. Skutečnou ukázkou odvrácené strany jádra se stala nehoda JE Černobyl v roce 1986. Po této nehodě došlo ke stagnaci jaderného průmyslu a poklesu podpory veřejnosti. V posledních letech dochází k renesanci jaderné energetiky, hlavní podíl na tom nese boj s klimatickými změnami a rostoucí ceny fosilních paliv. Nic na tom pravděpodobně nezmění ani nehoda JE Fukušima Daichi v březnu 2011. Ruku v ruce s technickým vývojem šel i vývoj národních legislativ. Počáteční spolupráce byla podmíněna hlavně ekonomickými aspekty. Nutnost mezinárodní spolupráce se plně projevila na pozadí nehod jaderných zařízení.

Práce popisuje historii nejdůležitějších společností a institucí na poli jaderné energetiky, největší část práce je zaměřena na vztah veřejného mínění k jaderné energetice. V závěru jsou nastíněny perspektivní technologie.

2 Legislativa

2.1 Mezinárodní spolupráce

Prvním impulsem pro vytvoření mezinárodní spolupráce byl projev amerického prezidenta Dwight D. Eisenhowera, který vyjadřoval své znepokojení nad rostoucím počtem jaderných zbraní a předložil vizi vzájemné spolupráce národu na poli mírového jaderného výzkumu.

2.1.1 Mezinárodní agentura pro jadernou energii

Na základě Einsenhowerova projevu byla na půdě OSN (organizace spojených národů) zformována statuta IAEA (mezinárodní agentura pro atomovou energii), která byla jednomyslně schválena všemi 81 národy. Statuta vstupuje v platnost 29. července 1957 kdy 26 států ukládá své ratifikační listiny. V říjnu téhož roku se koná první generální konference ve Vídni účastní se jí delegáti z 59 států. V roce 1959 se pod záštitou OSN koná druhá mezinárodní konference o mírovém využití jaderné energie, která zpřístupní mezinárodní komunitě vědecké a technické informace o většině aspektů civilního palivového cyklu s výjimkou obohacování uranu. IAEA zahajuje technickou podporu, odborníci IAEA připravují příručku o bezpečném používání radioaktivních zdrojů.

Agentura stojí na třech základních pilířích : bezpečnost a zabezpečení, věda a technika, záruky a ověřování. IAEA nespadá pod přímou kontrolu OSN, nicméně pravidelně předkládá zprávy Valnému shromáždění OSN a Radě bezpečnosti. [1], [2]

Organizační struktura je rozdělena na 3 hlavní orgány: Generální konference, Rada guvernérů, zaměstnanci.

Generální konference

Každý člen má jednoho delegáta, v současnosti má agentura 151 členů. Generální konference se schází jednou ročně, v případě potřeby ji svolá generální ředitel. Mezi pravomoci konference patří:

- volba rady guvernérů
- schvaluje/pozastavuje členství
- schvaluje rozpočet
- schvaluje obsah zprávy pro OSN
- schvaluje smlouvy s ostatními organizacemi
- schvaluje změny statutu

Rada guvernérů

Skládá se 35 členů, přičemž 22 je voleno Generální konferencí a 13 jmenuje odstupující rada.

Pravomoci:

- volí generálního ředitele
- podává návrhy generální konferenci

Pro kladné vyřízení návrhu musí byt pro dvoutřetinová většina.

Zaměstnanci

Skládá se z kvalifikovaného vědeckého a technického personálu. Zaměstnanci musí být trestně bezúhonní. V čele stojí generální ředitel.

Mezi hlavní cíle IAEA patří podpora mírového využívání jaderné energie. To zahrnuje tvorbu bezpečnostní norem a kontroly bezpečnosti jednotlivých zařízení, poskytování informací a

technické podpory při rozvoji jaderné energetiky, koordinace postupu v případě radiačních nehod. [3]

2.1.2 Světová jaderná asociace (WNA)

Historie organizace sahá do roku 1975 kdy byl založen Uranový institut. Uranový institut byl světovým fórem pro trh s jaderným palivem. V roce 2001 se přejmenovala na Světovou jadernou asociaci. V následujících letech asociace nabalovala další oblasti jaderného průmyslu. V současnosti agentura zahrnuje všechny oblasti jaderné energetiky od těžby a zpracování uranu přes strojírenství po přepravu a nakládání s odpady.

Mezi hlavní cíle patří:

- sdílení informací a znalosti
- podpora rozvoje jaderné energetiky
- zlepšit postavení jaderné energetiky v očích veřejnosti

WNA zaštiťuje na několik institucí:

WNA Public Information Service
Informační servis o otázkách týkajících se jaderné energetiky

World Nuclear University (WNU)
Jejím cílem je zajistit vzdělávání nových odborníků v oblasti jaderné energetiky

World Nuclear News (WNN)
Poskytují online zpravodajství o dění v oblasti jaderné energetiky. [4]

2.1.3 Světová asociace provozovatelů jaderných elektráren (WANO)

Jedná se o neziskovou organizaci se sídlem v Londýně. Hlavním cílem organizace je zvyšování bezpečnosti jaderných zařízení prostřednictvím sdílení informací a vzájemného hodnocení a sdílení provozních zkušeností. Členství je dobrovolné a neplynou z něj žádné závazky.

Vznik společnosti byl reakcí provozovatelů na nehodu v JE Černobyl. První zmínka o nové organizaci padla na jednání v Paříži pořádané pod záštitou Électricité de France (EDF) v roce 1987. V květnu roku 1989 následuje ustanovující jednání. Už v srpnu proběhne první výměna informací mezi JE Catawba (USA) a JE Záporoží (Ukrajina). Konečně v listopadu podepíše chartu WANO 144 společností. V roce 1999 je podepsáno memorandum o porozumění mezi WANO a IAEA o spolupráci a výměně informací. Do roku 2010 obdržela každá komerční JE WANO hodnocení. [5]

2.1.4 Agentura pro jadernou energii (NEA)

Byla založena v roce 1958 jako součást Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD). Původní název byl Evropská agentura pro jadernou energii (ENEA) ačkoliv členem byly i Spojené státy americké. Současný název agentura přijala po vstupu Japonska v roce 1972.

Cílem agentury je pomáhat svým členským zemím při rozvoji jaderné energetiky, prostřednictvím vědecké technické a informační spolupráce. V současnosti má agentura 30 členů většina se nachází v Evropě. Členové agentury představují vesměs země s rozvinutým jaderným průmyslem. Agentura zaštiťuje 85% světové jaderné kapacity.

Některé oblasti práce agentury:

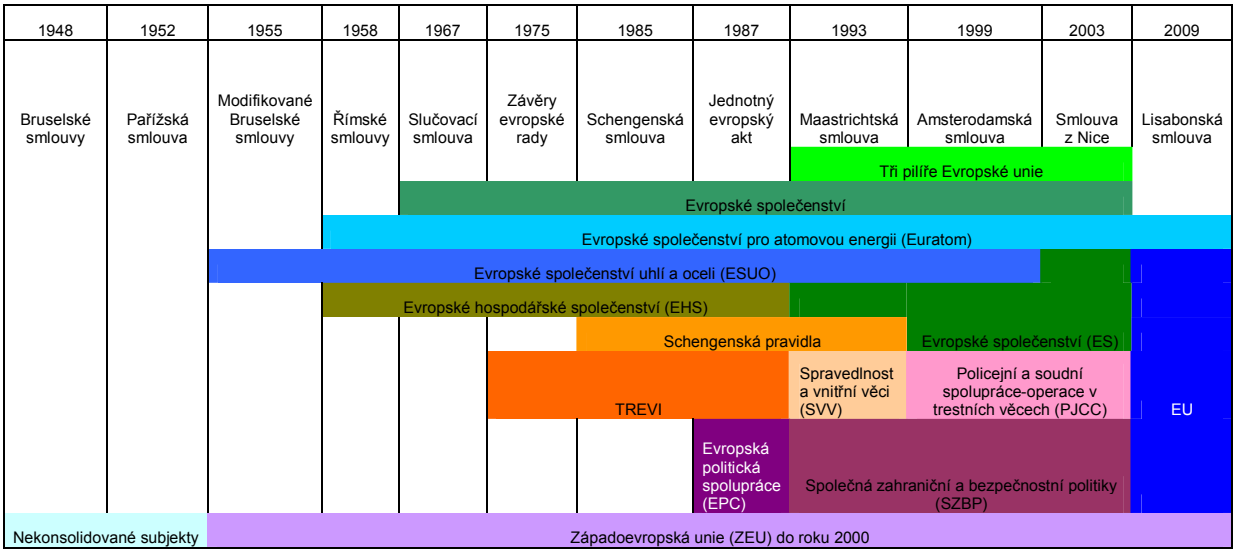
- bezpečnost a regulace – formou sdílení informací a technické pomoci
- rozvoj jaderné energetiky – analýza ekonomických aspektů a udržitelného rozvoje
- nakládání s radioaktivními odpady – rozvoj udržitelné a společensky přijatelné strategie
- legislativa – tvorba a harmonizace mezinárodní legislativy
- věda – rozvoj a třídění vědeckých a technických znalostí, práce na nových technologiích

Mezi hlavní přednosti organizace patří koncentrace většiny zemí s vyspělou jadernou energetikou a s tím související efektivnější koordinace výzkumu a zavádění nových technologií. [6]

2.2 Euratom

Je základní dokument evropské unie vymezující politiku v oblasti jaderné energie.Byla podepsána 25. března 1957 v Římě a vstoupila v platnost 1. ledna 1958. „Evropské společenství pro atomovou energii (dále jen „Společenství“) bylo založeno s cílem vytvořit podmínky rozvoje jaderné energie v Evropě na základě společného využívání zdrojů (finančních prostředků, znalostí, materiálů, odborníků apod.), zajištění ochrany obyvatel a zapojení dalších zemí a mezinárodních organizací.“(citováno z [7]

Jedním z hlavních impulsů byla potřeba dosáhnout energetické nezávislosti a řešit nedostatek konvenčních energií. Jaderná energie se jevila velmi slibně, avšak investiční náklady byly příliš vysoké na to aby je nesl jediný stát.
Smlouva se skládá z 225 článků rozdělených do 6 hlav.



Tab. 1 zařazení euratomu ve struktuře EU
(zdroj: en.wikipedia.org/wiki/European_Atomic_Energy_Community]

Podpora výzkumu

Podpora výzkumu v pravidelných intervalech evropská komise zveřejňuje seznam oblastí možného výzkumu. Projekty týkající se jaderné oblasti se musí ohlásit komisi, která se k nim vyjádří. V roce 1977 byli zavedeny půjčky euratomu, které pomáhají financovat stavbu a modernizaci jaderných elektráren v Evropě v letech 1977-1994 bylo poskytnuto 87 půjček. Program též financuje jaderné aktivity SVS (Společné výzkumné středisko). Nyní je v platnosti v pořadí 7. rámcový program jehož rozpočet byl stanoven na 2750 mil EUR. Program je rozdělen na 2 sekce nepřímý a přímý výzkum. Nepřímý výzkum zaštiťuje výzkum na jednotlivých pracovištích po celé Evropě, přímý výzkum probíhá na SVS.
Nepřímý výzkum: 1,947 miliardy EUR je určeno na výzkum jaderné syntézy do programu Mezinárodního termonukleárního reaktoru jehož se účastní USA, Japonsko, Rusko, Čína,

Jižní Korea a Indie. Evropská unie tím navazuje na první výzkumný program z roku 1978 JET (společný evropský tokamak). 287 milionů EUR štěpení a radiační ochranu. Přímé akce 517 milionů EUR nakládání s jaderným odpadem a jadernou bezpečnost.

Zásobovací agentura euratomu

Byla zřízena 1. 6. 1960 jejím cílem je zajistit pravidelný přístup k rudám a jaderným palivům. Zprostředkovává zásobování v souladu s hlavami II a VI Euratomu.

Agentura poskytuje:

- odborné znalosti, informace a rady o jaderném trhu
- sleduje trendy na trhu s jadernými materiály a službami ,které by mohly mít vliv na bezpečnost dodávek
- spolupracuje s poradním výborem

Poradní výbor se skládá z odborníků z oblasti jaderné energie, výrobců a uživatelů.

Jakožto orgán zodpovědný za řízení nabídky a poptávky u rud, výchozích materiálů a štěpných materiálů (obohacený uran, plutonium, thorium..) má agentura:

- předkupní právo na rudy, výchozí materiály a štěpné materiály
- výlučné právo uzavírat smlouvy o dodávkách rud, výchozích materiálů a štěpných materiálů

Agentura hraje důležitou roli při jednání s podniky 3. zemí tím že poskytuje referenční údaje, z důvodu energetické bezpečnosti schvaluje uzavření smluv, jež nejsou v souladu se společnou politikou zásobování zde se hledí hlavně na zeměpisnou různorodost tj. aby nedocházelo k závislosti unie na jednom zdroji.

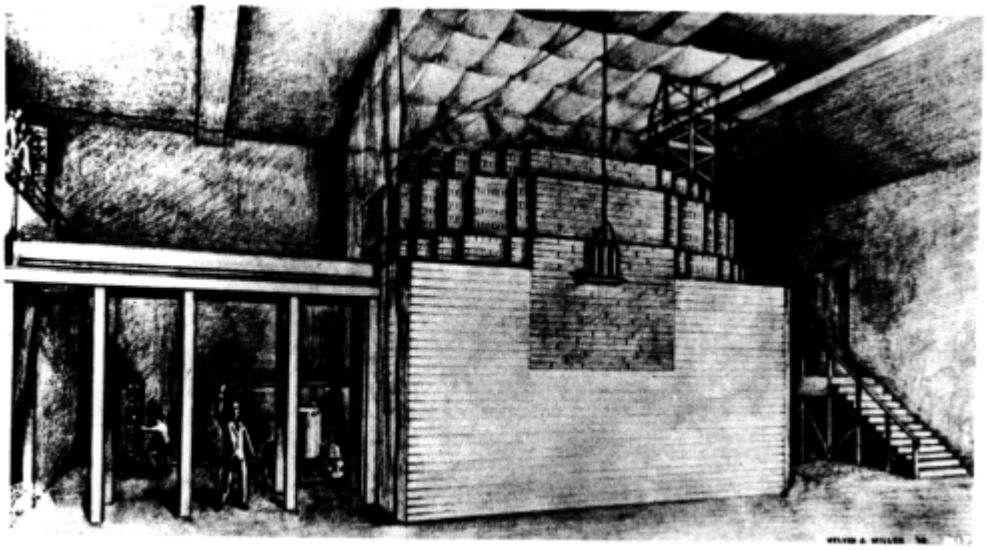
Ochrana zdraví

„Základní standardy pokrývají všechny situace, které mohou vést k vystavení obyvatelstva a pracovníků ionizujícímu záření a které se týkají nejen všeobecně známých oblastí produkce jaderné energie, ale veškerého použití ionizujícího záření v průmyslu a v lékařství. Ozařování pro lékařské účely je přitom hlavním zdrojem vystavování obyvatelstva umělé radioaktivitě. Základní standardy berou ohled na to, že pracovníci a obyvatelstvo mohou být vystaveni přirozené radioaktivitě v situacích, které mohou vyžadovat akci ze strany úřadů nebo zaměstnavatelů.“ (citováno z [7])

Základní standarty obsahují více než 20 právních předpisů a 6 směrnic. Stanovují kontroly pracovních podmínek, informovanost a vzdělávání u osob vystavených záření, radiační ochranu a lékařský dohled. V neposlední řadě minimalizací dopadů na veřejnost. Součástí smlouvy je ujednání o ochraně životního prostředí. Jednotlivé státy musí informovat komisi o projektech týkajících se manipulace s jadernými materiály a odpady,až po té je může povolit. Dále komise provádí revize kontrolních mechanizmů jednotlivých států. [7], [8], [9], [10]

3 Počátky jaderné energetiky

První jaderný reaktor postavil Enrico Fermi na půdě Chicago University uvnitř nepoužívaného squašovém kurtu.Konstrukce reaktoru byla velmi jednoduchá z čehož pramení i název „hromada“.



Obr. 1 První jaderný reaktor

(zdroj: http://www.lanl.gov/history/road/chicago-reactor.shtml)

Experiment proběhl 2. Prosince 1942. O úspěchu pokusu bylo vedení informováno kódovanou zprávou "The Italian navigator has just landed in the New World."- „Italský navigátor právě přistál v novém světě“. (citováno z [14])

Dalším krokem byla stavba experimentálního reaktoru X-10 v Oak Ridge, Tennessee
Reaktor byl navržen a postaven za 10 měsíců a spuštěn byl 4. Listopadu 1943.
Jednalo se grafitový vzduchem chlazený reaktor. Palivem byl U_{235} zároveň docházelo k transmutaci U-238 na Pu-239. Reaktor sloužil k výzkumu štěpení a z počátku zásobil laboratoře v Los Alamos plutoniem. Reaktor se skládal s velkého bloku grafitu, ve kterém byly kanály pro palivové články a průtok chladícího vzduchu.
Prvotní výzkum zaštiťoval projekt Manhattan jehož cílem bylo vyrobit atomovou bombu. Po válce se pokračovalo ve výzkumu využití jádra jako zdroje energie. První jaderná elektrárna byla uvedena do provozu 26.6.1954 v ruském městě Obninsk. Elektrárna měla výkon 30MWt a 5MWe. Reaktor měl grafitový moderátor a chlazení vodou. Byl předchůdcem RBMK reaktoru. První komerční jadernou elektrárno světa se stala Calder Hall ve Velké Británii do sítě byla připojena 27.8.1956. Elektrárna byla postavena jako zdroj plutonia pro vojenské účely a jako experiment energetického využití jaderné energie. Reaktor byl moderován grafitem a chlazen oxidem uhličitým (Magnox). [12], [13]

3.1 Základní typy reaktorů

Dnes nejpoužívanějším typem je PWR (VVER) byl vyvíjen pro americké námořnictvo, pro jeho značné výhody byl přizpůsoben pro užití v civilních JE. Reaktor byl vyvinut americkou firmou Westinghouse. Prvním reaktor tohoto typu byl uveden do provozu v roce 1961 v Yankee Rowe. Licenci na stavbu PWR reaktorů koupily firmy: Kraftwerk Union (dnešní Siemens), Framatom (dnes Areva) a Mitsubishi Heavy Industries. Paralelně s Westinghouse byl tlakovodní reaktor vyvíjen v SSSR pod názvem VVER první elektrárnou tohoto typu byla

Novoroněžská jaderná elektrárna o výkonu 210MW do provozu byla uvedená v roce1964. Díky tomu se staly tlakovodní reaktory páteří jaderné energetiky, v současnosti je ze 443 reaktorů provozovaných ve světě 270 tlakovodních což představuje 60,9%.

Hlavní předností tlakovodních reaktorů je bezpečnost, reaktor má záporný teplotní součinitel reaktivity tudíž rostoucí teplota chladiva způsobuje pokles výkonu reaktoru. Na PWR reaktory navazuje evropská koncepce EPR.

Druhým nejrozšířenější typ reaktoru je BWR první experimentální reaktor byl uveden do provozu v roce 1954 v USA. Varné reaktory mají pouze jeden okruh což na jednu stranu zvyšuje energetickou účinnost v důsledku lepších parametrů páry ovšem na úkor bezpečnosti neboť radioaktivní pára jde přímo na turbínu. Na světě je v provozu 92 reaktorů typu BWR což představuje 20,77%. Reaktory typu BWR běží hlavně v USA a Japonsku několik jich bylo postaveno v Evropě Švédsko, Německo, Finsko. Třetím nejrozšířenějším typem je těžkovodní reaktor PHWR 10,6% jeho hlavní předností jsou moderační vlastnosti těžké vody, které umožňují použití přírodního uranu jako paliva. Těžkovodní reaktory používá zejména Kanada (CANDU), Indie, Jižní Korea. [14], [15]

3.2 Evropská jaderná energetika

V Evropě probíhal vývoj ve dvou samostatných blocích, nicméně postup vývoje byl velmi podobný, první elektrárny byly stavěny pro využívání přírodního uranu neboť závody na obohacování byly pro válkou zdevastovanou Evropu příliš nákladné. V západní Evropě po prvních pokusech s GCR přešly na dnes nejpoužívanější PWR. Sovětský svaz po projevu Atomy pro mír uvolnil jadernou technologii pro své spojence. Nejrozšířenější technologií se stala tlakovodní koncepce VVER. Druhým typem byl RBMK jeho vývoj byl po tragické nehodě v Ukrajinské elektrárně Černobyl zastaven, dnes dosluhují poslední reaktory tohoto typu v Rusku.

3.2.1 Framatom

Po 2. světové válce se svět obrátil k mírovému využívání jaderné energie. Francie, která měla omezené přírodní zdroje se z důvodu zachování energetické nezávislosti rozhodla vytvořit svůj vlastní jaderný reaktor. V roce 1955 se Francie s Anglií rozhodli společně vytvořit jaderný program schopný soupeřit s rozvinutým Westinghousem v USA. Evropský atomový summit uznal francouzsko-anglický projekt GCR (plynem chlazený reaktor) spolu s americkým PWR za nejživotaschopnější projekty, celkem bylo hodnoceno 12 projektů. Prototypy obou reaktorů byly už v provozu. Jelikož Francie hledala energetickou nezávislost byla stavba PWR reaktoru zavržena ,neboť palivový cyklus PWR vyžaduje obohacený uran. Pro poválečnou ekonomiku bylo obohacování příliš nákladné, Amerika nabídla dodávky obohaceného uranu. Francouzská vláda však trvala na udržení energetické nezávislosti. Z toho důvodu Francie podporovala GCR, který pracoval s přírodním uranem. Dalším aspektem, který umocnit toto volbu byla Suezská krize, která ukázal závislost Francie na zahraničních dodávkách paliv. První 3 reaktory postavené ve francii byli typu GCR. Další vývoj směřoval k reaktoru PWR, zásluhu na to měla Belgie, která preferovala PWR technologii. Belgická vláda se nakonec rozhodla pro projekt Chooz elektrárna měla ležet na francouzsko-anglické hranici v Ardenách, ačkoliv CEA (francouzská komise pro atomovou energii) preferovala GCR koncepci část inženýrů viděla příležitost prozkoumat PWR technologii. V roce 1958 se spojili společnosti Schneider,Empain, Merlin Gerin a Westinghouse spojili a založili novou společnost Framatome (Franco-Américaine de Constructions Atomiques). Společnost se skládala ze 4 inženýrů 1 od každého zakladatele. Jejím cílem bylo vyvinout elektrárnu shodnou se specifikacemi Westinghouse. Électricité de France (EDF) měla narozdíl od CEA měla zájem na PWR. Kontrakt Chooz umožnil EDF prozkoumat PWR technologii bez narušení národní hrdosti k GCR technologii.

V roce 1960 obdržel Framatome neformální souhlas k zahájení projektových prací. Formální smlouva byla podepsána v září roku 1961, Framatom měl dodat celý systém tzv. na klíč. Součástí kontraktu byly kromě reaktoru potrubní systémy, kabeláž a podpůrné systémy. Rozsah kontraktu posunul Framatom z jaderného inženýrství do oblasti strojírenství. Framatome pracoval pod dohledem Westinghouse, vývoj byl omezen jen a požadavky Westinghouse. Chooz 1 byl připojen do sítě 15. 4 1967. O několik měsíců později došlo k deformaci tepelného štítu v aktivní zóně reaktoru. Reaktor musel být odstaven. Následné opravy postavily Framatome a Westinghouse na stejnou úroveň ,neboť s podobnou opravou neměl nikdo zkušenosti. Po 2 letech oprav se Chooz 1 vrátil do provozu. Tato událost je považována za počátek nezávislé francouzské jaderné energetiky. V roce 1966 EDF a CEA ve své zprávě doporučují, aby se Francie dále zajímala o PWR.

Dalším velkým projektem byla stavba elektrárny Tihange 1 v Belgii roce 1969. Jednalo se o čistě francouzsko-belgický projekt. To se projevilo v řešení a designu, které se odchylovalo od koncepce Westinghouse. Téhož roku došlo k zásadnímu, francouzská armáda vytvořila pro svůj jaderný program vlastní závod na obohacování uranu tím padla poslední překážka zabraňující vyvíjení PWR technologie ve francii. Se zdrojem obohaceného uranu ustoupila technologie GCR z francouzského zájmu. Následně se Framatome účastnil výběrového řízení na stavbu JE Fessenheim, konkurenční nabídku podala firma General Electric (GE) se svým varným reaktorem (BWR).

Framatome byl schopen díky probíhající stavbě Tihange 1 stanovit lepší cenu, výběrové řízení proto vyhrál. Současně s kontraktem na stavbu Fessenheim 1 získal možnost stavět Fessenheim 2. I přes neúspěchy ve výběrových řízeních francouzská vláda nadále podporovala obě koncepce.

Ropná krize roku 1973 byla pro Framatome výrazným mezníkem, neboť Francie závislá ze ¾ na dodávkách paliv byla nucena úplně přehodnotit svou energetickou politiku. Výsledkem byl požadavek francouzské vlády na dosažení 50% podílu jaderné energetiky na výrobě elektrické energie. EDF změnila způsob zadávání zakázek z jednotlivých řízení na dlouhodobé základní smlouvy, Framatome tak získal v roce 1974 kontrakt na stavbu 16 elektráren. Následující rok EDF přehodnotila svou politiku podpory obou technologií a nadále podporovala jen PWR.

V následujících letech se Framatome stal lídrem celosvětového jaderného průmyslu. Rozvoj jaderné energetiky narazil v roce 1979 kdy došlo k nehodě v americké elektrárně Three Mile Island, následkem čehož došlo v mnoha zemích k pozastavení jaderných programů. Nicméně Francie nadále stála za jadernou energií. Což dalo Framatome další výhodu proti konkurenci navíc v roce 1982 skončila platnost licenční smlouvy s Westinghouse a mohla rozvíjet své vlastní specifikace. V následujících letech došlo ke stagnaci vývoje v důsledku nasycení trhu.

Další ránou byla nehoda v ukrajinské elektrárně Černobyl 26.4.1986, která měla za důsledek zhoršení veřejného mínění a pozastavila další projekty v oblasti jaderné energetiky. Společnost orientovala na údržbu a dodávky pro jaderná zařízení. Dalším krokem byla snaha o diverzifikaci, Framatome se orientoval hlavně na strojírenství. V roce 1988 se pokusil převzít společnost Telemecanique, bylo dosaženo dohody, nicméně CGE (Compagnie Générale d'Electricité) jakožto největší akcionář Framatomu kontrakt zablokoval. V letech 1987-1992 byly jeho snahy o diverzifikaci úspěšné. V roce 1989 se Framatome dohodl s německým Siemensem na vývoji nové generace jaderných reaktorů (EPR). Tímto zároveň odsunul svého největšího akcionáře CGE přejmenovaný na Alcatel-Alsthom. Odpovědí ze strany Alcatel-Alsthom byla snaha získat majoritní podíl ve Framatomu. V roce 1990 získal povolení francouzské vlády pro zvýšení podílu na 52%, následně byl však nucen 8% odprodat EDF a managementu framatomu.

Alcatel-Alsthom se pokusil získat framatome ještě dvakrát v roce 1994 při jeho privatizaci a v roce 1996 oba tyto pokusy selhaly.Nynější Areva vznikla fůzí Framatome Cogema a Technicatom v roce 2001 Francie je prostřednictvím EDF majoritním akcionářem. Areva se podílí na výstavbě reaktorů EPR, v roce 2006 zahájila spolupráci s japonskou firmou Mitsubishi Heavy Industries na vývojní PWR reaktoru ATMEA. [16]

3.2.2 Siemens/KWU

Společnost byla založena jako společný projekt německých společností Siemens a AEG. Siemens a AEG spolupracovali již od počátku 60. let. Siemens stavěl na základě licence od Westinghouse PWR reaktory, AEG se zaměřila na technologii BWR licencované společností General Electric (GE). Nová společnost byla založena v roce 1969. O pět let později převzala KWU jaderné divize AEG. V důsledku probíhající diskuze o bezpečnosti jaderných elektráren v Německu začalo odvětví stagnovat, následkem čehož byli finanční problémy AEG, které vyústili v prodej podílu v KWU Siemensu. Od roku 1977 je jediným akcionářem KWU Siemens. V následujících letech se situace jaderného průmyslu zlepšila a Siemens/KWU se podílel na výstavbě tří německých jaderných elektráren, dalším projektem byla výstavba nikdy nespuštěné rakouské JE Zwentendorf. Mimo Evropu se společnost podílela na stavbě 1. Íránské JE Atucha. Druhý íránský projekt Bushehr byl po islámské revoluci v roce 1979 přerušen. Elektrárna byla později dokončena s použitím technologie VVER. Mimo komerční projekty se Siemens/KWU podílel na výstavbě několika experimentálních reaktorů. V následujících letech se KWU spoji s mateřskou společností do skupiny Siemens. Od roku 1990 spolupracuje s Framatome na projektu EPR. Vzhledem ke zhoršujícímu se postavení jaderné energetiky v Německu se Siemens zabývá pouze údržbou stávajících zařízení. V roce 2001 vzniká Framatome ANP (od roku 2006 Areva NP) Siemens v ní vlastní 34% akcií. Po havárii v japonské JE Fukušima Daichi se Německo opouští jadernou energetiku. Managament Siemensu na to reaguje odprodejem svého podílu v Areva NP za 1,62 miliardy eur. [17], [18]

4 Současné technologie reaktorů

4.1 EPR

Evropský tlakovodní reaktor je společným projektem francouzské Arevy a německého Siemensu. EPR navazuje na dlouhou tradici PWR rektorů, které jsou již více než 50 let páteří světové jaderné energetiky. Po nehodě v Ukrajinské elektrárně Černobyl došlo ke zpřísnění požadavků na bezpečnost. Hlavními požadavky na nový typ reaktoru byly:

-větší bezpečnost
-zvýšení účinnost
-větší palivová flexibilita

Vývoj

Smlouva o spolupráci byla uzavřena v roce 1989. V roce 1991 se k nim připojily EDF a německé E.ON, EnBW a RWE Power. Návrh musel splňovat EUR (European Utility Requirements) na bezpečnost. Dále musel projekt splňovat francouzské a německé požadavky pro další generaci jaderných reaktorů. První realizací projektu EPR je elektrárna Olkiluoto ve Finsku, povolení k výstavbě bylo vydáno v únoru 2005. Elektrárna měla být podle projektu uvedena do provozu v roce 2009 ,nicméně v důsledku problému při výstavbě se uvedení do provozu posunuje na rok 2013.

Návrh reaktoru byl zrevidován MDEP (Multinational Design Evaluation Program). Projekt má nyní licenci ve Francii, Číně, Finsku. V USA a Velké Británii je ve fázi schvalování.

Bezpečnost

Hlavní bezpečnostní systémy jsou rozděleny na 4 nezávislé podsystémy, každý z nich je schopen plnohodnotně vykonávat bezpečnostní funkce. Navzájem jsou fyzicky oddělené, umístěny v oddělených částech elektrárny a 2 z nich dokáží odolat leteckému neštěstí. Tyto oddělené části mají své vlastní systémy ochrany.

Reaktor je umístěn v dvojitém kontejmentu který má 2 základní funkce:

-Lepší izolace okolí proti případnému úniku radioaktivních látek.
-Ochrana proti vnějšímu poškození zejména pádu letounu.

V případě roztavení aktivní zóny bude tavenina zachycena v nádrži pod reaktorem a zalita vodou z okolních zásobníků.

Celá elektrárna bude ležet na jedné železobetonové základní desce, což má minimalizovat následky zemětřesení dalším prvkem bude minimální výška budov.

Efektivita

Kromě zvýšení bezpečnostních standardů bylo dalším cílem EPR projektu zlepšit ekonomickou bilanci reaktorů. A to zejména zvýšení instalovaného výkonu na 1650 MWe což snižuje náklady na stavbu v relaci na 1kWe instalovaného výkonu. Zvýšení termické účinnosti na 37% díky zabudovanému ekonomizéru čímž se blíží účinnostem konvenčních parních elektráren. Další schopnost štěpit různé druhy paliv včetně MOX (přepracované palivo). V současné době jsou na světě ve výstavbě 3 EPR reaktory výše zmíněná Olkiluoto 3, dále Flamanville 3 ve Francii a Taishan 1 & 2 v Číně. [19], [20]

4.2 ATMEA

Je společným podnikem francouzské Arevy a japonského Mitsubishi Heavy Industries. Smlouva byla podepsána v červenci 2006, v říjnu bylo podepsáno memorandum o vytvoření společného podniku. V roce 2007 vznikla firma ATMEA pod níž probíhá vývoj reaktoru. Obě zakládající firmy mají v ATMEA 50% podíl. Vývoj byl ukončen v roce 2009 ATMEA je

tlakovodní reaktor o výkonu 1100 MWe čímž spadá do kategorie středně výkonných reaktorů. Ve francii byl projekt podstoupen k posouzení v roce 2010. Návrh reaktoru přezkoumává od 15. Února 2011 CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission).

Co se týče technických a bezpečnostních parametrů ATMEA je v mnohém podobná EPR ,ze kterého vychází. Hlavním rozdílem oproti EPR je výkon, ATMEA se svými 1100 MWe spadá do kategorie středně výkonných reaktorů. Bezpečnostní systémy jsou rozděleny do 3 nezávislých systémů podobně jako u EPR je každý schopen na 100% plnit bezpečnostní požadavky. Kontejment je navržen na pád velkého dopravního letadla. ATMEA se účastní soutěže na výstavbu 1. jaderného reaktoru v Jordánsku, dále je uvažována jako 1. reaktor 3. generace postavený ve francii. [20], [21]

4.3 KERENA

Jedná se o varný reaktor (BWR) je pokračováním projektu SWR-1000, který byl vyvinut ve spolupráci se Siemensem pro jadernou elektrárnu Gundremmingen. Hlavním rozdílem oproti předchozím generacím BWR je zvýšená bezpečnost zejména zavedení pasivních bezpečnostních prvků.

Výkon reaktoru je 1250MWe. [22]

5 Veřejné mínění

Jedním z nejdůležitějších aspektů ne-li nejdůležitějším pro rozvoj jaderné energetiky je podpora veřejnosti. Jaderná energetika si sebou od počátku nese stín jaderných výbuchů nad Hirošimou a Nagasaki, zde jádro ukázalo naplno svou ničivou sílu a tím si jádro vysloužilo v očích veřejnosti pochopitelnou nedůvěru. První protesty se zaměřovali zejména na boj proti šíření jaderných zbraní. S tím souvisel i odpor proti výstavbě a provozu jaderných elektráren neboť ty při svém provozu mimo jiné produkují i materiály použitelné na výrobu jaderných zbraní. Mezinárodní smlouvy o nešíření jaderných zbraní tuto skupinu odpůrců částečně uklidnily, nicméně mnozí stále poukazují na možnost zneužití. Obecně veřejná podpora závisí hlavně na informovanosti obyvatelstva. Dále pak v okolí jaderných elektráren je veřejná podpora nejvyšší což je způsobeno zejména lepším přístupem k informacím a kladnými ekonomickými dopady na okolí: zaměstnanost, finanční kompenzace, investice do infrastruktury a záchranných složek. Výrazný vliv na veřejné mínění mají havárie jaderných zařízení.

5.1 Havárie

Historie jaderné energetiky je poznamenána řadou havárií většina havárií nepřesáhl rámec vlastního provozu. Nejznámějšími nehodami je řazeno dle rozsahu Černobyl, Fukušima Daichi a Three Mile Island tyto nehody v následujícím textu rozeberu podrobněji. Dle závažnosti stojí za zmínku ještě nehoda v sovětském závodu na přepracování jaderného paliva Kyshtym INES 6 nehoda byla sovětskými úřady tajena více než 30 let. [23]

5.1.1 Stupnice INES

Stanovuje hodnocení jaderných havárií v závislosti na jejich závažnosti. Je rozdělena do 8 stupňů. Byla sestavena pro snazší komunikaci s veřejností. Byla vytvořena pod záštitou IAEA na základě stupnic používaných v Japonsku a Francii. Stupnici lze rozdělit na 3 části. První část se skládá pouze ze stupně 0 jedná se o výchylku od normálu, která nemá vliv na bezpečnost v rámci zařízení a ni v okolí. Stupně 1-3 značí nehody, jedná se závažnější stav může dojít k většímu ozáření zaměstnanců dopad na okolí je minimální. Poslední 4 stupně značí havárii, havárie má vždy dopad na okolní prostředí v závislosti na jejím stupni. [24]

	OBLAST DOPADU		
	DOPAD VNĚ ZAŘÍZENÍ	DOPAD UVNITŘ ZAŘÍZENÍ	DOPAD NA OCHRANU DO HLOUBKY
7 VELMI TĚŽKÁ HAVÁRIE	ROZSÁHLÝ ÚNIK: ŠIROCE ROZŠÍŘENÉ DOPADY NA ZDRAVÍ A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ		
6 TĚŽKÁ HAVÁRIE	ZÁVAŽNÝ ÚNIK: PRAVDĚPODOBNÉ NASAZENÍ VEŠKERÝCH PLÁNOVANÝCH PROTIOPATŘENÍ		
5 HAVÁRIE S RIZIKEM VNĚ ZAŘÍZENÍ	OMEZENÝ ÚNIK: PRAVDĚPODOBNÉ ČÁSTEČNÉ NASAZENÍ PLÁNOVANÝCH PROTIOPATŘENÍ	VÁŽNÉ POŠKOZENÍ AKTIVNÍ ZÓNY REAKTORU/ RADIAČNÍCH BARIÉR	
4 HAVÁRIE BEZ VÁŽNĚJŠÍHO RIZIKA VNĚ ZAŘÍZENÍ	MENŠÍ ÚNIK: OZÁŘENÍ OBYVATELSTVA ŘÁDOVĚ V POVOLENÝCH MEZÍCH	VÝZNAMNÉ POŠKOZENÍ AKTIVNÍ ZÓNY REAKTORU /RADIAČNÍCH BARIÉR/ SMRTELNÉ OZÁŘENÍ ZAMĚSTNANCŮ	
3 VÁŽNÁ NEHODA	VELMI MALÝ ÚNIK: OZÁŘENÍ OBYVATELSTVA ZLOMKEM POVOLENÝCH LIMITŮ	VELKÉ ROZŠÍŘENÍ KONTAMINACE /AKUTNÍ ÚČINKY NA ZDRAVÍ ZAMĚSTNANCŮ	TÉMĚŘ HAVARIJNÍ STAV NEZŮSTALY ŽÁDNÉ BEZPEČNOSTNÍ BARIÉRY
2 NEHODA		VÝZNAMNÉ ROZŠÍŘENÍ KONTAMINACE/ NADMĚRNÉ OZÁŘENÍ ZAMĚSTNANCE	NEHODA S VÝZNAMNÝM POŠKOZENÍM BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ
1 ANOMÁLIE			ANOMÁLIE OD SCHVÁLENÉHO PROVOZNÍHO REŽIMU
0 ODCHYLKA	ŽÁDNÝ BEZPEČNOSTNÍ VÝZNAM		

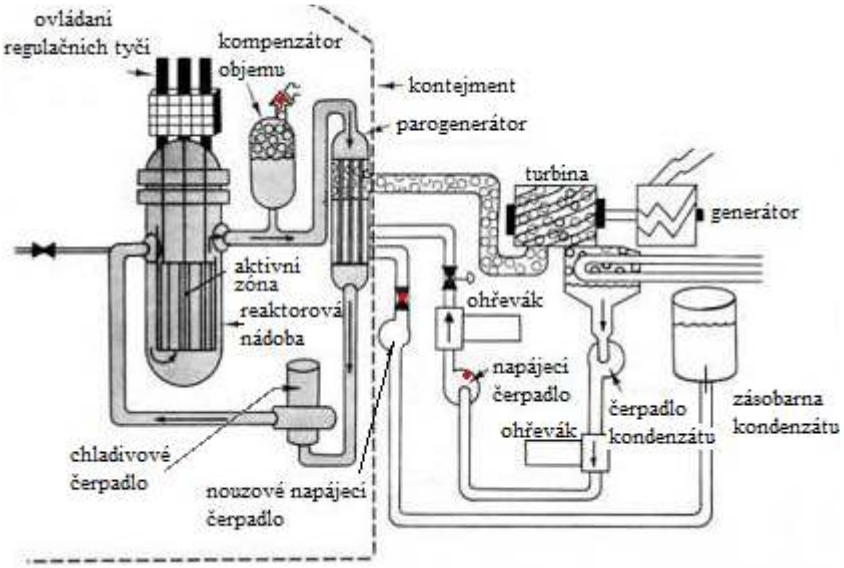
Tab 2 stupnice INES (zdroj: http://www.sujb.cz/?c_id=165)

5.1.2 Největší havárie

Three mile island

Klasifikace INES 5

Porucha hlavního napájecího čerpadla v kombinaci s nešťastnou interpretací situace ze strany vyústilo do do té doby největší havárii v jaderném zařízení. V ranních hodinách 28.3. 1979 došlo k poruše napájecího čerpadla, které přivádí vodu do parogenerátoru. Následkem tohoto výpadku přestal fungovat odvod tepla přes parogenerátor.



Obr. 2 schéma TMI červené body značí místa poruchy (zdroj: threemileisland.org)

Systém odstavil turbínu a spouštěním regulačních tyčí začal snižovat výkon. To nestačilo a v systému rostl tlak. Automatický systém zareagoval otevřením pojistného ventilu pro snížení tlaku a úplným zpuštěním regulačních tyčí. Regulační ventil se po odpuštění přebytečného tlaku nezavřel což špatně navržená signalizace nedokázala indikovat. Po výpadku hlavního napájecího bylo automaticky spuštěno nouzové napájecí čerpadlo, nouzová čerpadla byla kontrolována před 42 hodinami a pracovníci poté zapomněli otevřít ventil, proto nedocházelo k přívodu vody. V důsledku otevřeného ventilu klesal tlak v systému což mělo za následek var vody. Vznikající pára tlačila vodu do kompenzátoru objemu. Pracovníci proto došly k závěru ,že vody je v systému přebytek a vypli systém havarijního chlazení který se automaticky spustil. Následkem bylo odkrytí a roztavení části aktivní zóny. Ze záchytné nádrže za pojistným ventilem zatím unikla voda do prostoru kontejmentu, část se dostala ven. Po té si operátor konečně všiml otevřeného pojistného ventilu a uzavřel jej. Následně byl obnoven systém havarijního chlazení a reaktor byl opět zaplaven. Po 12 hodinách od vzniku havárie se podařilo obnovit provoz hlavních cirkulačních čerpadel-reaktor byl opět pod kontrolou.

Následky nehody

Ohledně dopadů na okolní obyvatelstvo se liší postoj oficiálních úřadů a ekologických organizací. Podle oficiálních zdrojů nedošlo v důsledku úniku radioaktivních látek k žádnému případu úmrtí nebo jiných zdravotních následků. Více než 30 000 lidí kteří žily v nejtěsnější blízkosti elektrárny bylo zapsáno do speciálního registru Pennsylvánskéno ministerstva zdravotnictví. Registr byl ukončen v roce 1997, nebyly nalezeny žádné neobvyklé trendy ve zdraví populace. Po havárii proběhlo několik nezávislých studií žádné nepříznivé dopady nebyly odhaleny.

Dopady na jadernou energetiku

Následkem nehody došlo k pozastavení většiny probíhajících projektů s výjimkou silně projaderné Francie.
Po nehodě došlo k přehodnocení a zpřísnění bezpečnostních opatření.
-Vyšší kontrola lidského faktoru zejména důslednější proškolení, přísnější kontroly.
-Modernizace a zvýšení požadavků na spolehlivost systémů.
-Zvýšení kontroly ze strany úřadů
-Instalace dalších bezpečnostních a monitorujících prvků [25]

Černobyl

Klasifikace INES 7
Nejzávažnější nehoda jaderného zařízení nastala 26.4.1986 v ukrajinské elektrárně Černobyl. Na počátku byl pokus který měl ověřit zda při setrvačném doběhu turbín bude dost energie pro napájení oběhových čerpadel primárního okruhu po dobu 50 sekund. Před samotným experimentem došlo téměř k odstavení reaktoru, aby byla reakce obnovena musely být vytaženy všechny regulační tyče. Po dosažení výkonu 200 MWt se přešlo k samotnému testu. Po uzavření přívodu páry na turbíny začal klesat průtok vody z čerpadel poháněných dobíhající turbínou. Následkem čehož bylo nedostatečné chlazení a nárust teploty. Vzhledem ke kladnému dutinovému součiniteli reaktivity typu RBMK. Výkon reaktoru neustále rostl. Obsluha spustila všechny regulační tyče. Tyče měli špičku z grafitu což způsobilo další nárust výkonu. Některé regulační tyče se zasekly ve tepelně zdeformovaných kanálech. Poté výkon vzroste natolik, že se veškerá voda promění v páru. Načež tlak páry odhodí víko reaktoru. Za přístupu začne hořet grafitový moderátor požár trvá několik dalších dnů. Zanedlouho se ozve druhý výbuch tentokrát jde o výbuch vodíku který vznikl termickým rozpadem vody. Při havárii se uvolnilo 5% štěpných produktů, radioaktivní spad zasáhl velké území. Nad reaktorem byl spěšně postaven betonový sarkofág který zabraňuje dalšímu úniku radioaktivních látek. V důsledku nedostatku energie byly po nehodě nadále provozovány zbývající 3 bloky. Poslední 3. blok byl uzavřen v roce 2000, výměnou za mezinárodní finanční podporu na dostavbu bloků Khmelnitski 2 a Rovno 4.

Následky nehody

Nemoc z ozáření byla pozorována u 134 osob dalších 600.000 v nejbližším okolí obdrželo vysokou dávku. Došlo ke kontaminaci velkého území zejména zemí bývalého SSSR a Střední Evropy.V důsledku havárie vypracovaly státe sdružené v IAEA úmluvu o včasném oznamování jaderné nehody a úmluvu o pomoci v případě radiační nehody. [26]

Úmluva o včasném oznamování jaderné nehody

Byla uzavřena 26.9.1986 v platnost vstoupila 6.10.1986

Ukládá povinnost informovat o jaderné nehodě všechny státy které mohou být ovlivněny jadernou havárií. Povinnost se vztahuje na všechny oblasti použití radioaktivních látek včetně vojenského použití. Výslovně je zde uvedeno využívání jaderného zařízení jako pohonu vesmírného objektu. Oznamovací povinnost nese stát na jehož území se zařízení nachází, v případě lodní a letecké dopravy stád ve kterém je dopravní prostředek registrován, u vesmírného objektu spadá povinnost na stád odkud byl objekt vypuštěn. Smluvní stát nehodou postižení má právo požadovat další informace. V případě že stát na jehož území došlo k nehodě není stranou smlouvy se odpovědnost na IAEA. [27]

Úmluva o pomoci

Má za úkol usnadnit mezinárodní spolupráci při řešení radiační nehody. O pomoc může požádat stát na jehož území došlo k nehodě nebo jehož území bylo nehodou zasaženo. Stejně jako úmluva o včasném oznamování se vztahuje na všechny oblasti použití radioaktivních látek. O pomoc může požádat kterýkoliv stát sdružený v Úmluvě o vzájemné pomoci nebo IAEA. Při podávání žádosti uvede je-li to rozsah požadované pomoci. Dále poskytne straně poskytující pomoc informace na jejichž základě 2. strana určí rozsah pomoci kterou je schopna poskytnout. Případně podstoupí žádost dalším státům. [28]

Fukušima Daichi
Klasifikace INES 7

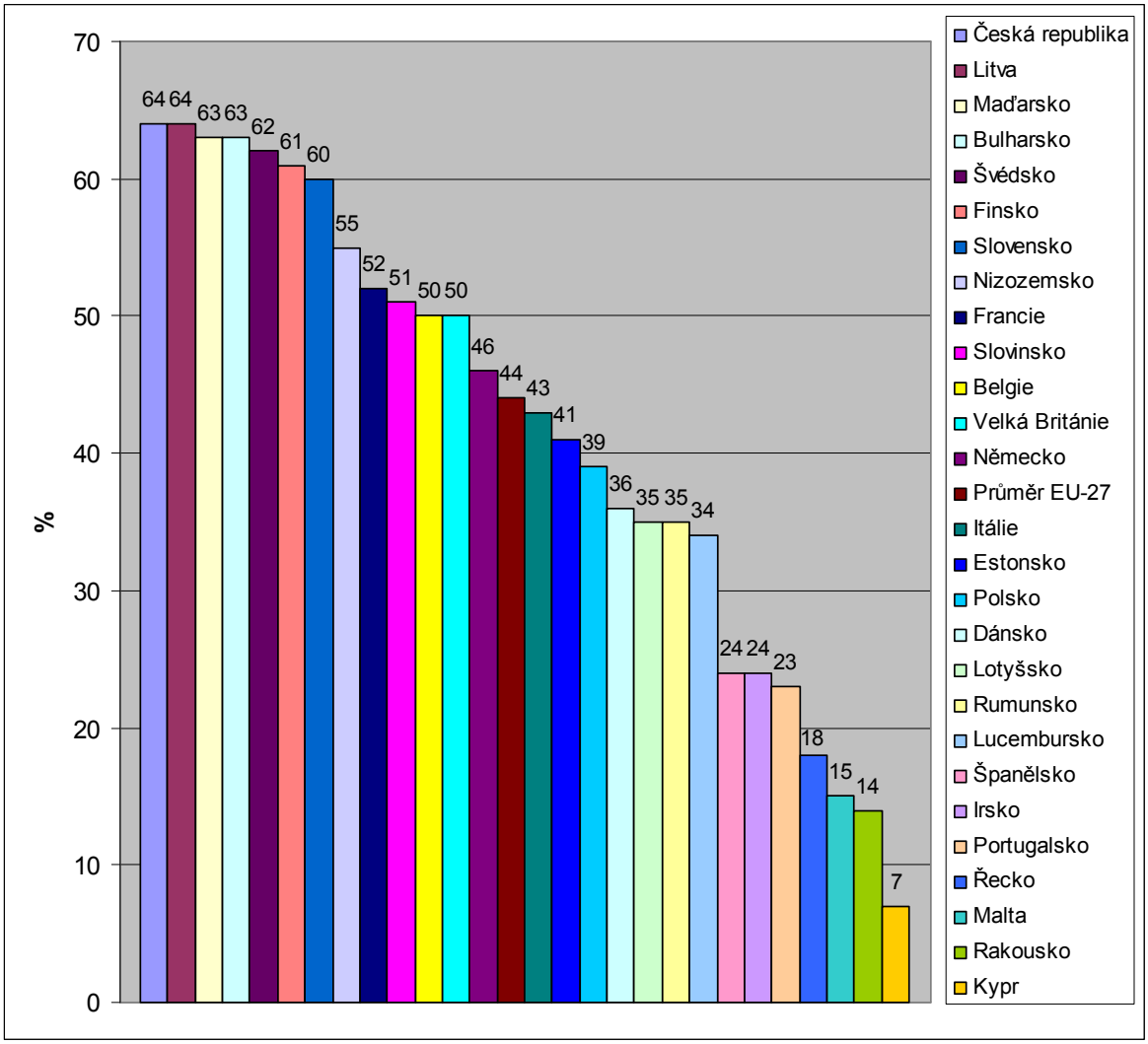
Nehoda se stala v důsledku zemětřesení a následné vlny tsunami. Po prvních otřesech 11.3.2011 bezpečnostní systém automaticky odstavil 3 pracující reaktory. Následná vlna tsunami poškodila generátory napájející chladící systém, následkem byl nárust teploty. Následkem čehož rostla teplota a tlak v reaktorových nádobách, pro snížení tlaku se přistoupilo k odpouštění páry. Následkem odpouštění páry se v budovách reaktoru nahromadil vodík, který následně explodoval. Provozovatel poté přistoupil na chlazení mořskou vodou.
Následky
Během výbuchu reaktorových budov došlo k úniku radioaktivních látek, díky příznivým povětrnostním vlivům se většina radioaktivity rozptýlila nad mořem, dále byl detekován únik radioaktivní vody do moře.
V návaznosti na nehodu německá vláda odstavila 7 nejstarších reaktorů. Čínská vláda pozastavila schvalování dalších reaktorů v době havárie bylo v Číně ve výstavbě 27 reaktorů což představuje 40% světové výstavby. Dále pak evropská unie rozhodla o provedení zátěžových testů všech evropských jaderných elektráren. Testy by měli zahrnovat rizika zemětřesení, povodní a letecké havárii. Testy budou dobrovolné, nicméně vzhledem k veřejnému mínění je pravděpodobně podstoupí všechny provozující jaderné elektrárny. Přesná podoba testů bude stanovena 12.5.2011. Havárie ovlivní tendry na stavbu nových bloků ve světě.V dubnu 2011 řekl mluvčí ČEZ Ladislav Kříž deníku E15: „Jaderná energetika funguje na výměně informací a poučení se z událostí. Celý průběh v Japonsku se zanalyzuje a vzniknou doporučení. Ty budeme chtít zakomponovat v tendru na nové bloky.“
V případě tendru o dostavbu Temelína získá jistou výhodu Westinghouse jehož koncepce AP1000 je postavena zejména na pasivních bezpečnostních prvcích. [29], [30]

Poznámka: k nehodě došlo v průběhu psaní práce. Nehoda ještě nebyla úplně vyřešena.

5.2 Podpora veřejnosti v Evropě

V evropské unii podle průzkumu eurobarometr 297 z roku 2008 je 44% obyvatelstva pro nebo spíše pro viz. graf 1. Negativní postoj zastává 45% obyvatelstva. V porovnání s průzkumem z roku 2005 došlo nárustu podpory o 7%, vzhledem k nehodě JE Fukušima Daichi lze očekávat pokles podpory.

Nejvyšší podporu má JE ve státech, které provozují jaderné elektrárny. S výjimkou Německa, Rumunska a Španělska v nich podpora dosahuje alespoň 50%. Jadernou energetiku podporují spíše muži 54% než ženy 34%, podpora roste s úrovní dosaženého vzdělání a nakonec lidé, kteří se považují za dobře informované se přiklánějí spíše na stranu podpory 61% než lidé, kteří považují svou informovanost za nedostatečnou 38%. Odpůrci odpovídali na doplňující otázku „Kdyby existoval trvalý a bezpečný způsob nakládání s radioaktivním odpadem byl/a by jste pro nebo proti JE“ 39% odpůrců by svůj postoj změnilo na kladný.[31]



Graf 1 Podpora jaderné energetiky v zemích EU
(zdroj: http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/dostavba-ete/podpora-je-evropa.gif)

5.2.1 Postavení jaderné energetiky v některých státech

Státy byli vybrány na základě reprezentace jednotlivých postojů.

Česká republika

Spolu s Litvou patří mezi největší stoupence jaderné energie.V současnosti je v ČR v provozu 6 jaderných bloků o celkovém výkonu 2880 MWe. Podpora veřejnosti se dlouhodobě drží nad 50% výjimku tvoří rok 2000 kdy veřejná podpora klesla na 47% a to v důsledku problémů při spouštění jaderné elektrárny Temelín. S jadernou energetikou počítá dlouhodobá energetická koncepce vlády. Podpora jaderné energetiky je součástí volebních programů většiny politických stran. Protijaderné postoje zastává Strana zeleních, ačkoliv ve výzkumu veřejného mínění pořádaného agenturou STEM v roce 2008 54% procent jejich sympatizantů vyjádřilo jaderné energetice podporu. V současnosti probíhá tendr na dostavbu dvou bloků jaderné elektrárny Temelín což by mělo zvednout podíl jaderné energetiky v energetickém mixu na 50 až 60%. Pro jadernou energetiku v České republice hraje v očích veřejnosti značně pošramocená pověst obnovitelných zdrojů zejména fotovoltaiky. Jaderná energetika v ČR se potýká s odporem sousedního Rakouska a Bavorska. [32], [33]

Rakousko

V současnosti je Rakousko největším odpůrcem výroby elektřiny jaderným štěpením.
V současnosti je v Rakousku provozován pouze výzkumný reaktor TRIGA Mark II.

Rakousko začalo budovat svou jedinou jadernou elektrárnu Zwentendorf v roce 1972. Elektrárna měla být uvedena do provozu v roce 1976, celý projekt měl zpoždění. Téhož roku začala intenzivní veřejná a politická diskuze na téma využívání jaderné energie, která vyústila do referenda. Rakušané v referendu těsnou 50,47% většinou zamítli využívání jádra k výrobě energie.

Rakouský odpor proti jaderné energetice posílil po nehodách TMI a Černobyl. V říjnu 1978 ustanovila vláda komisi pro bezpečnost reaktorů (RSC). Komise se skládala z odborníků v oblasti jaderné energetiky. Komise byla v roce 1990 rozpuštěna a nahrazena Fórem pro atomové záležitosti (FAF). Tato skupina je složena převážně z proti atomově smýšlejících lidí a svými posudky podporuje rakouskou protijadernou politiku. Postupy FAF se jasně projevily při uvádění prvních 2 bloků JE Mochovce v Rakousku to pochopitelně odstartovalo vlnu nevole. Slovenská vláda po dohodě s Rakouskem poskytovala FAF všechny informace o projektu. Výsledek posudku FAF byl předvídatelný v několik set stránkovém materiálu uvádí, že Mochovce nesplňují mezinárodní standarty jaderné bezpečnosti a představuje ohrožení rakouského obyvatelstva. Současně probíhali i prověrky vedené týmem IAEA, které potvrdily bezpečnostní úroveň Mochovců za srovnatelnou se standarty západních zemí. S blížícím se termínem uvedení Mochovců do provozu se rakouský tlak stupňoval, jedním z kroků bylo zablokování úvěru od EBRD (evropská banka pro obnovu a rozvoj). Paradoxně tím Slovensko osvobodili od přísných podmínek EBRD pro zvyšování jaderné bezpečnosti. Posledním pokusem rakouské vlády byla hrozba negativní rakouské intervence při jednání Slovenska do EU. Rakouský protijaderný postoj je do značné míry způsoben přílišnou medializací, kdy sebemenší odchylka je interpretována jako vážná nehoda ne-li havárie, tento postup byl z počátku politicky využíván a podporován. Na druhou stranu lze říct, že díky rakouské „bdělosti“ má Střední evropa jedny z nejbezpečnějších elektráren na světě.

Česko-Rakouský jaderný spor

Jaderná elektrárna leží v Jihočeském kraji přibližně 50 km od rakouských hranic. Projekt byl zahájen v roce 1981, stavební práce započaly v roce 1986. Mezi Rakouskem a Československem v té době platila bilaterální smlouva, která upravovala sdílení informací o provozu jaderných elektráren vzhledem k rakouskému odstoupení z jaderné energetiky fungovala pouze jednostranně. Původní smlouva byla v roce 1990 nahrazena novou ze strany Rakouska byl patrný mnohem agresivnější postoj. Rakouská kampaň proti Temelínu začala v roce 1989. Jako první navštívila Československo rakouská Greenpeace, při tiskové konferenci poukazovali na nebezpečnost, zbytečnost a nárust nákladů. Temelín jako největší jaderná elektrárna budovaná v Evropě se stal symbole boje proti jádru. Počáteční rakouské kroky byli převážně ekonomického rázu, rakouská strana tvrdila ‚že přestavba Temelína do stavu odpovídajícího evropským standardům by byla ekonomicky neúnosná a navrhovali přestavbu Temelína na plynovou elektrárnu. Při posouzení projektu v roce 1990 našla IAEA nedostatky na řídících a kontrolních systémech. Řešením bylo nahradit sovětské systémy západními firmy Westinghouse. Tento kontrakt se Rakousko pokusilo zablokovat u vlády USA ale tvrdě narazilo, podle vyjádření americké vlády je tato otázka věcí České Republiky a Rakouska. Po prohraném boji proti slovenským Mochovcům se pozornost protijaderných aktivistů obrátila na Temelín. Koncem devadesátých let se blížil termín spuštění Temelína. Rakušané proto vytáhli „poslední trumf“, v případě spuštění byla rakouská vláda připravena vetovat vstup ČR do EU. V roce 2000 přistoupily rakouské protijaderné organizace k blokádám hranic. Česko-Rakouské vztahy se zlepšili po uzavření Melkské dohody. Předseda Komise EU Romano Prodi odmítl Temelínský spor jako důvod k „Vetu“ přistupující zemi. [34]

Německo

Postoj Německa k jaderné energii se potupně vyvíjel od podpory k odporu v roce 1960 vstupuje v platnost zákon na podporu jaderné energie, v roce 1970 vrcholí ropná krize a

německo buduje několik JE. První protesty proti jaderné energii se konali v roce 1975 proti výstavbě JE Wyhl. Od té doby nabíralo německé protijaderné hnutí na síle. Zlomové byli jaderné nehody TMI a Černobyl. V roce 1998 schválila vláda Gerharda Schrödera odklon Německa od jaderné energie. V roce 2002 vstupuje v platnost „Zákon o strukturované fáze-z využívání jaderné energie pro komerční výrobu elektřiny“ podle něj měli být všechny německé jaderné elektrárny uzavřeny do roku 2021.
Nový kabinet s kancléřkou Angelou Merkelovou na základě problémů z dodávkami plynu z Ruska přehodnotil termín odstavení, nakonec v roce 2010 prošel zákon umožňující prodloužení životnosti 17 německých JE do roku 2036. Havárie JE Fukušima Daichi byla pro německé protijaderné hnutí poslední kapkou. Německo odstavilo 7 nejstarších JE původně na 3 měsíce vzhledem k vítězství zelených ve je odstávka nejstarších reaktorů trvalá, předchozí koncepce prodlužování životnosti byla též pozastavena do června 2011 má Německo uzákonit odstoupení od jaderné energie. Součástí zákona bude i přesné datum ukončení provozu JE v zemi vzhledem neexistující náhradě je pravděpodobné dodržení původního termínu tj. okolí roku 2020. Odklon od jaderné energetiky má v Německu masovou podporu veřejnosti. Německo se na půdě evropského parlamentu po boku Rakouska prosazuje co nejpřísnější kontrolu jaderných zařízení. [35], [36]

5.3 Ekologie a jaderná energetika

Mezi hlavní cíle světového hospodářství potažmo energetiky je snížení emisí CO_2, toho lze dosáhnout pouze nahrazením stávajícího fosilního základu ekologičtějšími alternativami. Mimo ekologické aspekty je tento krok nutný z hlediska klesajících zásob fosilních paliv. V současnosti k tomuto cíli vedou dvě cesty obnovitelné zdroje a jaderná energetika. Obě cesty jsou nákladné a volba jednotlivého zdroje značně závisí na podmínkách státu. Obnovitelné zdroje trpí dvěmi hlavními nedostatky a těmi jsou nízká koncentrace energie pro získání požadovaného výkonu je třeba velké zařízení, druhým je nestabilita zdroje ta lze řešit dalším zvýšením plochy a akumulací nebo zálohováním jiným zdrojem. Jaderná energetika naopak disponuje vysokou koncentrací energie a vysokou stabilitou. Nevýhody jaderné energie spočívají v potenciálním nebezpečí havárie a na to navazující nákladná bezpečnostní opatření, hlavní nevýhodou je dosud nevyřešený palivový cyklus. Volba zdroje energie by měla reagovat na energetickou náročnost státu, pro zemi s rozvinutým průmyslem se jeví vhodnější stabilní zdroj o vysokém výkonu.

5.3.1 Dopady jaderné energetiky na životní prostředí

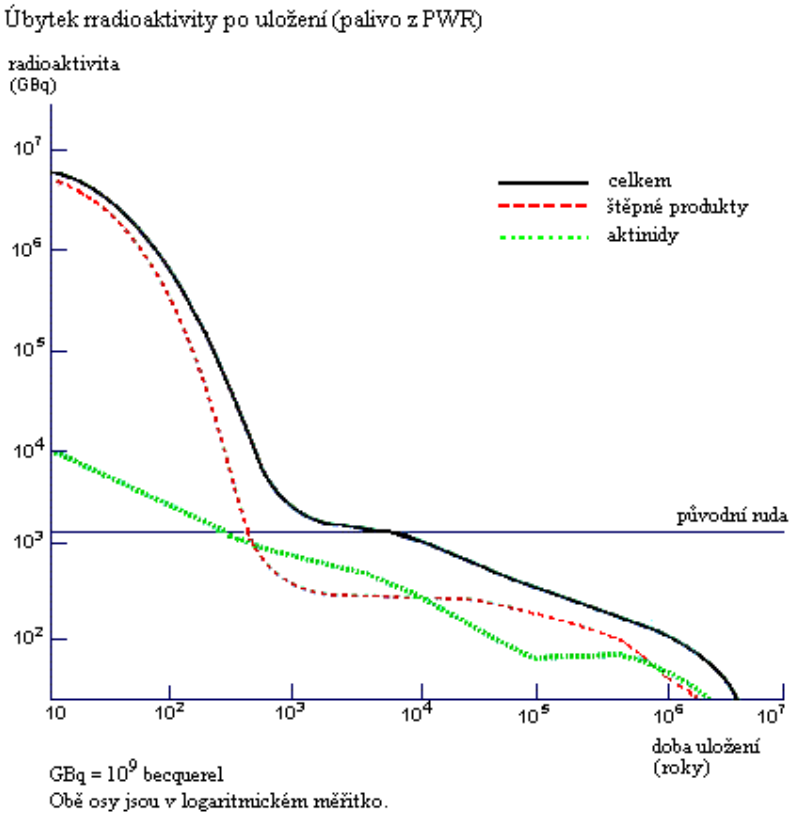
Samotný provoz jaderné elektrárny lze považovat za „čistý“, neboť přímé dopady na životní prostředí jsou velmi malé. Při provozu reaktoru sice vznikají silně aktivní produkty štěpení, ty jsou však uzavřeny v vnějším obalem palivového prutu. Těsnost palivových prutů je kontrolována v případě porušení obalu a úniku štěpných produktů dojde k lokálnímu zvýšení aktivity, která je detekována poškozený palivový soubor se poté vyjme z aktivní zóny a po vychladnutí je uzavřen v kontejneru. Část radionuklidů se uvolňuje z reaktoru do chladiva nebo následkem záření v chladivu vzniká. Tyto úniky se skládají zejména z vzácných plynů ($_{133}Xe$), aktivovaných plynů ($_{41}Ar$, $_{16}N$), rozpuštěných částic ($_{14}C$,$_{35}S$) a tritia (izotop vodíku) v podobě těžké vody. Množství vypouštěných látek je regulováno aby nepřekročily povolené limity. Rozpuštěné částice a plyny lze efektivně filtrovat na základě fyzikálních a chemických vlastností. U tritia je situace odlišná jelikož má prakticky stejné fyzikální a chemické vlastnosti jako běžný vodík, vypouštění tritia, se proto řeší silným naředěním vodou. Vzhledem k povaze radioaktivních látek lze přesně měřit intenzitu unikající radiace. Množství unikající radiace je při běžném provozu výrazně menší než přirozené pozadí. Hlavní ekologické riziko představuje havárie. Štěpné produkty jsou izolovány třemi stupni bariér první tvoří samotné pokrytí palivového prutu slitinou zirkonia, druhou bariérou je tlaková

nádoba reaktoru. Poslední bariérou je kontejment u starších elektráren VVER 440 je místo něj hermetický box. Aby měla havárie vážnější dopady na okolní prostředí musí dojít porušení všech bariér.

Poslední ekologickou zátěží jaderné elektrárny je její demontáž. V částech primárního okruhu zejména v tlakové nádobě je za dobu provozu naindukovaná vysoká radioaktivita. S likvidací velké komerční elektrárny nejsou zatím zkušenosti, nicméně došlo již k demontáži malých výzkumných reaktorů a zkušenosti při tom načerpané se uplatní při likvidaci stávajících komerčních elektráren. [37]

5.3.1.1 Radioaktivní odpady

Problematika ukládání radioaktivních odpadů je v očích veřejnosti asi nejpalčivějším problémem. V současnosti je na radioaktivní odpad pohlíženo jako na potencionální zdroj energie. Ve vyhořelém palivovém článku se nachází přibližně 94% U_{238} 1% U_{235} a 1% Pu_{239}, zbytek tvoří produkty štěpení a minoritní aktinidy. Separací plutonia a U_{235} lze připravit nové palivo nicméně tento proces je v současnosti příliš nákladný, s rostoucí cenou fosilních paliv se stane tento postup rentabilní, proto provozovatelé jaderných elektráren upřednostňují ukládání odpadu do meziskladů místo trvalého uložení. Možnost shromáždit odpady na malém prostoru lze považovat za jistou výhodu, neboť máme nad odpadními produkty nadále kontrolu, což není možné ve většině oblastí lidské činnosti.
Při bližším pohledu na složení jaderného odpadu vidíme že většinu přibližně 95% tvoří uran, jehož aktivita je poměrně nízká. Ve zbývajících 5% je vázána téměř veškerá radioaktivita vyhořelého paliva, z toho 1% představuje plutonium s nímž se počítá při přepracování. Tím se nám objem odpadu zredukoval na dvě hlavní složky a to na štěpné produkty a minoritní aktinidy. [38]



Graf 2 radioaktivita uloženého paliva
(zdroj: www. world-nuclear.org/info/inf04.html)

5.3.1.2 Politické pozadí odpadového hospodářství

Existuje několik koncepcí jak nakládat s radioaktivními odpady. V současnosti nese odpovědnost za jaderné odpady každá země ne jejímž území byly vyprodukovány. Nevýhodou této koncepce je, že ne všechny země produkující jaderný odpad mají vhodné podmínky pro vybudování trvalého úložiště nebo vzhledem k malému objemu vyprodukovaného odpadu jsou náklady na sklad neúměrně vysoké. Jedním z řešení je zavedení tzv. palivového leasingu, princi spočívá v tom, že dodavatel jaderné palivo vlastně pronajme a po jeho využití si jej opět odveze pro uložení případně přepracování.

Pangea
Cílem projektu bylo vytvořit velké centrální skladiště jaderného odpadu v geologicky nejvhodnější oblasti. Úložiště by byl komerční podnik s vlastní infrastrukturou, dodržování bezpečnostních standardů by bylo pod mezinárodní kontrolou. Hlavním posláním by bylo ukládání vysoce aktivního odpadu z jaderných reaktoru. Samotná možnost ukládat celosvětový odpad je způsobena jeho nízkým ročním objemem. V roce 1990 proběhl výzkum vyhledávající vhodná místa pro stavbu úložiště. Z geologického hlediska vyhovovalo několik regionů (Jižní Afrika, Argentina, Západní Čína a Austrálie) z politického a ekonomického hlediska byla zvolena Austrálie. Australské vládě byla v roce 1999 předložen návrh. Obě hlavní politické strany se shodují na politice nedovážení cizích jaderných odpadů. Toto stanovisko bylo později potvrzeno postavení nakládání s cizími odpady mimo zákon.
ARIUS (sdružení pro regionální a mezinárodní podzemní uložení)
Je dalším projektem ukládání jaderného odpadu geograficky je orientován zejména na Evropu. Projekt byl zahájen v roce 2002 a narozdíl od projektu Pangea se zaměřuje na podmínky spolupráce několika malých producentů odpadu. Cílem je vytvořit sdružení států za cílem ukládání odpadu. Samotné úložiště by mělo být nekomerční financované členskými státy. V roce 2002 se Evropská komise vyjádřila, že upřednostňuje geologické ukládání odpadu. Dále podporuje regionální přístup zahrnující spolupráci několika zemí. V roce 2003 byl zahájen pilotní projekt SAPIERR (Strategický Akční plán pro zavádění evropských regionálních repositářů) projekt byl schválen evropskou komisí.
V roce 2006 Evropská unie uznala, že ukládání odpadů do 25 národních úložišť není optimální řešení, zejména z ekonomických a v neposlední řadě bezpečnostních důvodů.
Odstartoval tedy druhý projekt SAPIERR jeho cílem bylo posouzení možnosti zbudování regionálních úložišť. Závěrečné sympozium se konalo v lednu 2009. Hlavní výsledkem bylo založení organizace ERDO (Evropská organizace pro rozvoj úložišť) 14 zeměmi a vytvoření pracovní skupiny, která měla připravit koncepci ukládání odpadu na základě výzkumu provedeného v rámci SAPIERR. Výsledky by měli být k dispozici v průběhu roku 2011. Zainteresované strany poté rozhodnou zda chtějí být součástí či zůstanou u národního odpadového hospodářství. [39]

5.3.1.3 Budoucnost nakládání s odpady

V průběhu let bylo prezentováno několik teorií konečné likvidace odpadu, mezi nejodvážnější patřil výzkum v průběhu 70. let zkoumající možnost vystřelování odpadů do kosmu, z důvodu velkých bezpečnostních rizik byl zavržen. Jediným řešením nakládání s odpady jejich uložení v bezpečném složišti. Zde se vynořil problém v podobě velmi pomalému rozpadu štěpných produktů a s tím související dlouhodobé požadavky na zajištění bezpečnosti úložiště. Možným řešením je transmutace štěpných produktů na prvky s kratším poločasem rozpadu, více v kapitole 6.

5.3.2 Protijaderné kampaně ekologických organizací

Odpor proti jaderné energetice je jedním ze základních rysů všech ekologických organizací. Mezi hlavní znaky protijaderné argumentace patří zdůrazňování nedostatků a negativních dopadů, zatím co pozitivní přínosy nebývají zlehčovány nebo přímo zlehčovány. Mezi hlavní cíle současného věta ekologické patří boj s klimatickými změnami. Řešením je omezení emisí CO2, zde by mohla jaderná energetika být velkým přínosem neboť je kompatibilní s fungováním současných přenosových soustav, nebyly by tedy nutné zásadní přestavby energetické soustavy. Vidinou ekologických organizací a zelených politických stran je nahrazení pokud možno co největší výroby obnovitelnými zdroji, nicméně používání obnovitelných zdrojů v širším měřítku je značně problematické. Když pomineme ekonomické náklady, jsou zde hlavně vysoké nároky na prostor, prostor který je nutno zabrat z přírodních biotopů.

Mezi hlavní argumenty proti patří vysoké investiční náklady, zde stojí za zmínku, že tyto vysoké náklady jsou vyváženy nízkou cenou paliva a dlouhou životností až 80 let. Investiční náklady na obnovitelné zdroje při uvažování životnosti, která se pohybuje kolem 25 let jsou srovnatelné.

Dalším argumentem jsou dopady těžby, tento argument je zcela opodstatněný a ekologické dopady těžby jsou velmi závažné. V případě radiačních dopadů je nutné brát v úvah, že radiace obsažená v hlušině tu byla i před zahájením těžby a tedy po rehabilitaci krajiny což obnáší zahrnutí hlušiny zpět do dolu a přikrytí vrstvou zeminy bude radiace na podobné úrovni jako před zahájením těžby. Během samotné těžby je pak vytěžený materiál zaplaven pro omezení emisí radonu.

Následkem havárie JE Fukušima Daichi se posílil argument jaderné havárie. Pro ilustraci samotné zemětřesení o síle 8,9 stupňů Richterovy škály přečkala elektrárna bez úhony, smrtící pro ni byla až porucha generátorů napájecích čerpadel způsobená zaplavením vlnou tsunami. Nejnovější koncepce obsahují pasivní bezpečnostní prvky, které dokáží pracovat 3 dny, neméně riziko havárie nebude nikdy zcela eliminováno.

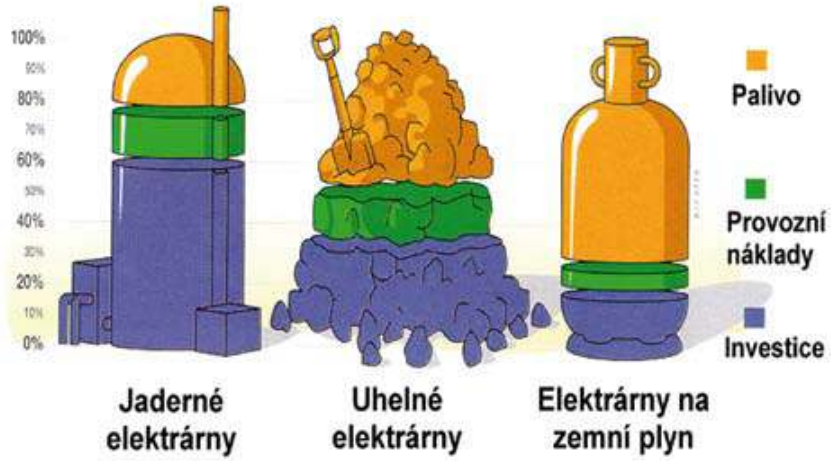
Posledním a asi nejsilnějším argumentem je nakládání s radioaktivními odpady. Z de je značně rozšířen argument, že palivový cyklus dosud není dořešen a není možné garantovat bezpečnost úložiště na desítky tisíc let. To je pravda jen z části, v současnosti skutečně neexistuje žádné trvalé úložiště a v nejbližší době se ani nemá budovat, příčinou obsah štěpitelných materiálů a jejich skladování pro pozdější přepracování. V současnosti probíhá výzkum transmutačních technologií, které dokáží rozbít dlouhožijící aktinidy na prvky s mnohem kratším poločasem rozpadu.

Zkreslování dat

Na výsledcích studie porovnávající dopady jednotlivých států na světové klima předložené na summitu G8 v roce 2009 je vidět situace kdy ideologie zcela převrací fakta. Studie měla za cíl porovnat objemy emisí vypouštěných jednotlivými zeměmi G8. Podle výsledků studie produkovala Francie 362 gCO_2/kWh údaj byl doplněn vysvětlivkou: „WWF (světový fond přírody) nepovažuje jadernou energii za životaschopnou možnost politiky. Ukazatele "emisí na obyvatele", "emise na jednotku HDP" a "CO_2 na kWh elektrické energie" pro všechny země byly proto upraveny, jako kdyby výroby elektřiny z jaderných elektráren se vyrábí 350 gCO_2/kWh (emisní faktor pro zemní plyn). Bez úpravy, by byly původní ukazatele pro Francii mnohem nižší, 86 gCO2/kWh.“ Jedná se tedy o zcela účelové potlačení přínosu jaderné energetiky klimatu. [40], [41], [42]

6 Ekonomika JE

Z ekonomického hlediska je třeba rozlišovat Elektrárny, které jsou již delší dobu v provozu a elektrárny nově budované. Elektrárny budované před 40 lety jsou z ekonomického hlediska bezkonkurenčně nejvýhodnější to je způsobeno podmínkami při nichž byly budovány. V 70. letech bylo pro mnohé státy prioritní zajistil energetickou bezpečnost. Jaderné elektrárny v porovnání s fosilními elektrárny mají mnohem nižší nároky na intenzitu dodávek paliva, proto byla stavba jaderných elektráren na státní úrovni výrazně podporována buď to formo výhodných půjček či přímo dotací. S tímto pozadí nebyl problém překlenout pro jadernou elektrárnu nejsložitější období tj. dlouhá a nákladná výstavba. Nynější provozovatelé již nejsou zatíženi splácením nákladů na výstavbu a plně profitují z hlavní přednosti jaderné elektrárny, kterou je nízká cena paliva. Typickým příkladem je česká JE Dukovany, která byla do provozu uvedena v letech 1985-1987 a současné výrobní náklady jsou provozovatelem uváděny na 0,70 Kč / kWh. Vzhledem k výše zmíněnému se u většiny dnes provozovaných elektráren jedná o prodloužení životnosti řádově o 20 let.



Obr 3 struktura nákladů na elektrárny
(zdroj: www. pro-energy.cz/clanky3/4.pdf)

V případě budování nového zdroje je situace mnohem složitější. V současnosti již není možná intervence států v podobě záruk dotaci či půjček. Při posuzování konkurenceschopnosti projektu je nutné uvažovat i s dobou návratnosti investice ta se v současnosti pohybuje v rozmezí 15-20 let vzhledem k rostoucí ceně energií a obchodování s emisními povolenkami se předpokládá zkrácení doby návratnosti.
Vysoké investiční náklady ve spojení s dlouhou výstavbou a návratností jsou hlavními překážkami masovější výstavby.

	výrobní náklady [Kč/kWh]	investiční náklady [Kč/kWh]	plošná náročnost [kW/m2]
větrná	8; 30	26000 ÷ 40000	3
solární (fotovoltaika)	5; 20	15000 ÷ 20000	0,1
biomasa	1,7	35000	0,000166
vodní	1,0; 0,8	55000	-
tepelná-uhlí	0,65 ; 3	25000 ÷ 40000	500
tepelná-jaderná	0,2; 2,5	40000 ÷ 80000	650
paroplyn	1,0; 3	10000	400

Tab. 3 náklady na jednotlivé zdroje
(zdroj: sf.zcu.cz/rocnik06/cislozv/budouc2.html)

Jaderná energie je z dlouhodobého hlediska jeden z ekonomicky nejstabilnějších zdrojů což je způsobenou stavbou celého palivového cyklu kdy je největší část ceny vázána v technologických postupech a nákladech na zařízení, které se během doby provozu téměř nemění

uhelná	plynová	jaderná		fotovoltaika,vítr,voda
		uran	ceková cena paliva	
75	40	4	15	0

Tab. 4 vliv zdvojnásobení ceny paliva na konečné náklady v [%] (zdroj: www. pro-energy.cz/clanky3/4.pdf)

Mezi hlavní výhody jaderné energetiky je stejně jako u fosilních zdrojů vysoký koeficient způsobilosti zdroje, který vyjadřuje jakou část roku dokáže zdroj dodávat jmenovitý výkon, u jaderných elektráren koeficient dosahuje 84% což představuje 7350 provozních hodin ročně. Koeficient způsobilosti zdroje je hlavní předností jaderné energetiky v porovnání s obnovitelnými zdroji zejména solární a větrnou energií. Pro srovnání koeficient způsobilosti zdroje pro fotovoltaickou elektrárnu se pohybuje mezi 10-25%, větrná elektrárna 15-45%. Poslední předností jaderné elektrárny je vysoká plošná koncentrace energie jak je patrné z tab.3. Díky vysoké koncentraci energie klesají nároky na množství stavebního materiálu a plochu zabrané půdy.

	ocel [kg/GWhe]	měď [kg/GWhe]	hliník [kg/GWhe]
černé uhlí	1750 - 2310	2	16 - 20
hnědé uhlí	2100 - 2170	7 - 8	18 - 19
zemní plyn	1207	3	28
jádro	420 - 490	6 - 7	27 - 30
fotovoltaika	3690 - 24250	210 - 510	240 - 4620
vítr	3700 - 11140	47 - 140	32 - 95
voda	1560 - 2680	5 - 14	4 - 11

Tab. 5 nároky na materiál (zdroj: www. pro-energy.cz/clanky3/4.pdf)

	Plocha [km2]
jaderná	0,25-4
uhelná	0,85-1,5
plynová	0,16-0,25
fotovoltaická	20-50
větrná	50-150
biomasa	4000-6000

Tab. 6 zábor půdy pro elektrárnu o výkonu 1000MW (zdroj: www. pro-energy.cz/clanky3/4.pdf)

Nedostatkem jaderné energetiky je obtížná regulace, kdy jaderná elektrárna narozdíl od konvenčních fosilních zdrojů ze své podstaty nemůže reagovat na výkyvy v síti zejména nízkou noční spotřebu. Proto je nutné při výstavbě jaderného zdroje uvažovat i případnou akumulaci nejčastěji formou přečerpávací elektrárny. Problém akumulace zatěžuje i obnovitelné zdroje, zde je problém o to palčivější, že výkyvy obnovitelných zdrojů jsou nahodilé, systém akumulace proto musí pružněji reagovat. Hlavním nedostatkem obnovitelných zdrojů je nízká plošná koncentrace energie, která znásobená nízkým koeficientem způsobilosti enormně zvyšuje nároky na prostor.

V současnosti jsou v Evropě ve výstavbě 2 jaderné elektrárny Olkiluoto ve Finsku a Flamanville 3 ve francii. Oba projekty se potýkají s problémy které způsobil zpoždění projektů o 3 a 2 roky, s čímž souvisí i výrazné prodražení projektů v případě finského Olkiluoto byl původní rozpočet navýšen z 3 mld na 5.3 mld eur. [43], [44]

7 Budoucnost jaderné energetiky

Další vývoj jaderné energetiky bude zaměřen hlavně na řešení otázky radioaktivních odpadů, zvyšování energetické účinnosti a širší využívání surovinových zdrojů. Paralelně s vývojem technologií štěpení probíhá výzkum jaderné fůze.

7.1 Štěpné technologie

7.1.1 Transmutační reaktor

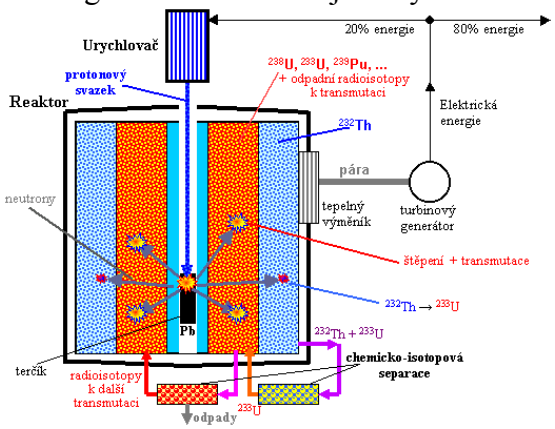
Aby byl provoz jaderných elektráren společensky přijatelný je nutné v první řadě uspokojivě vyřešit otázku jaderných odpadů. Při provozu jaderných reaktorů vzniká relativně malé množství štěpných produktů a minoritních aktinidů. První jmenované se vyznačují vysokou aktivito ale relativně krátkou životností, aktinidy mají nižší aktivitu a dlouhou životnost řádově statisíce až miliony let. K transmutaci odpadních produktů dochází i v samotném reaktoru, podmínky v reaktoru nejsou pro intenzivní transmutaci odpadních produktů vhodné zejména z důvodu nedostatku neutronů, jež je nutný k udržení stability samotné štěpné reakce. I po vyjmutí z reaktoru jsou štěpné produkty vnitřně nestabilní prodělávají radioaktivní přeměny, tento proces je velmi pomalí a tomu odpovídá i poločas rozpadu. Hlavní oblastí využití transmutace je tedy přeměna štěpných produktů zejména aktinidů na prvky s kratším poločasem rozpadu nebo jejich přeměna na stabilní prvky.

7.1.1.1 Princip ADS (urychlovačem řízený systém)

Jedná se o podkritický systém což je velkou předností z hlediska bezpečnosti, celý systém je poháněn urychlovačem částic a v případě jeho vypnutí je reakce přerušena. Urychlovač produkuje proud protonů o vysokých energiích 500-1000 MeV. Proud protonů je poté zaveden do terčíku, ten je obvykle tvořen těžkými prvky vhodné je například Olovo. Při zasažení terčíku dojde k tříštivé štěpné reakci při které se uvolní velké množství neutronů řádově 20-30 neutronů na proton. Obal terčíku je vystaven neutronovému toku a dochází v něm k radioaktivním přeměnám.

7.1.1.2 Energetické využití

Mino odpadové hospodářství lze ADS využít i jako zdroj energie. Při energetické využití bude palivem U_{233} v podkritickém množství okolo paliva bude plodivá zóna Th_{232}. Celý systém bude závislí na protonech z urychlovače což umožňuje okamžité ukončení reakce a tím zvyšuje bezpečnost zařízení. Při spuštění urychlovače vznikne následkem tříštivých reakcí silný neutronový tok, který způsobí štěpení paliva. Zároveň bude podobně jako u rychlých reaktorů v plodivé zóně probíhat přeměna Th_{232} na U_{233}. Vzhledem k principu funkce reaktoru je možné kombinovat různá paliva při zachování podkritičnosti a současně likvidovat odpad. Z energetického hlediska je nevýhodou energetická náročnost urychlovače. [45], [46], [47]



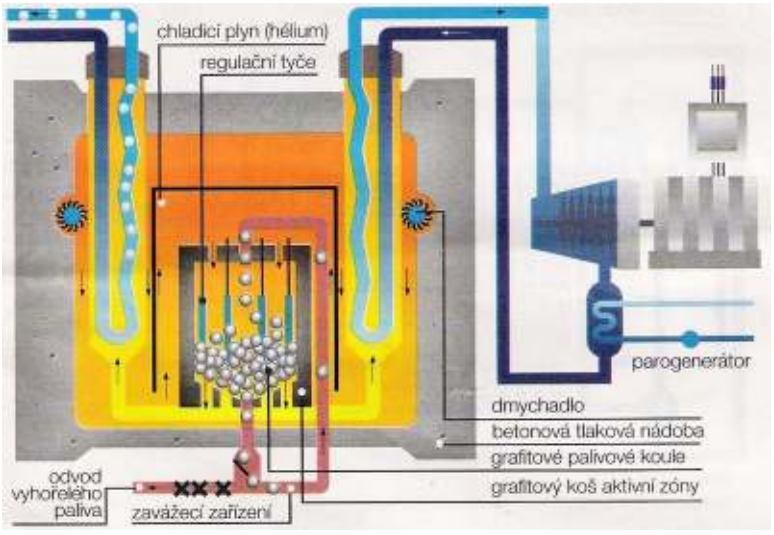
Obr. 3 urychlovačem řízený reaktor (zdroj: web.vscht.cz/hrotkovr/jadro/jebudoucnosti.html)

7.1.2 rychlé reaktory

Palivem v současných reaktorech je izotop U_{235} Ačkoliv je uran v zemské kůře poměrně hojný prvek ,který se používá jako palivo v současných reaktorech představuje pouhých 0,7% a při současné palivovém cyklu dostupné zásoby vydrží přibližně na 100 let.
Řešením jsou množivé reaktory jedna z možností byla popsána výše (ADS reaktory), alternativou jsou rychlé reaktory. Oproti v současnosti používaným lehkovodním reaktorům (PWR, BWR) se liší absencí moderátoru, z toho důvodu je nutné vysoké obohacení paliva 20-30%. Konstrukce reaktoru se skládá z aktivní zóny tvořené vysoce obohaceným palivem U_{233}, Pu_{239} obklopeným plodivou zónou tvořenou Th_{232} a U_{238}. Při provozu reaktoru dochází v plodivé zóně k přeměnám Th_{232} na U_{233} a U_{238} na Pu $_{239}$. Reaktor tedy při svém provozu jadernými přeměnami plodivé zóny vyprodukuje více paliva než spotřebuje v aktivní zóně. Dalším přínosem plodivé zóny je ochran tlakové nádoby před intenzivním neutronovým tokem. Systém chlazení rychlých reaktorů je komplikovanější než u reaktorů na tepelných neutronech. Chladivo musí mít co nejmenší moderační vlastnosti, druhou podmínkou je velký součinitel přestupu tepla neboť aktivní zóna rychlých reaktorů má větší objemový vývin tepla. Těmto požadavkům vyhovují tekuté kovy nejčastěji sodík. Z důvodu vysoké reaktivity sodíku s vodou mají rychlé reaktory 3 vnitřní okruhy, Primární okruh prochází aktivní zónou a je naplněn sodíkem, na něj navazuje sekundární okruh též naplněn sodíkem a na něj navazuje terciární okruh s vodou. Důvodem této konstrukce je vyvést rizikový výměník sodík/voda mino oblast reaktoru. [15], [46], [47]

7.1.3 Vysokoteplotní reaktory

Hlavním cílem vývoje vysokoteplotních reaktorů je zvyšování termické účinnosti. Vysoká teplota vystupujícího chladiva umožňuje použít Braytonův cyklus, který má větší účinnost než cyklus parní elektrárny. Nejvhodnějším chladivem je helium které spojuje výhody chemické netečnosti a dobré tepelné vodivosti. Palivo je ve formě malých kuliček vysoce obohaceného paliva obalených karbidem křemíku, které jsou rozptýleny v grafitové matrici. Celý palivový soubor má tvar koule nebo bločku. Proces výměny paliva může probíhá kontinuálně, kdy je palivo přisypáváno v horní části a postupně propadává celým reaktorem. V případě nehody dokáže grafitový obal po několik hodin akumulovat přebytečné teplo. Grafitový obal paliva funguje též jako radiační stínění. [15], [46], [47]



Obr. 4 vysokoteplotní reaktor
(zdroj www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_a_pokrocile_jaderne_technologie_-_nahled.pdf)

7.2 Jaderná fůze

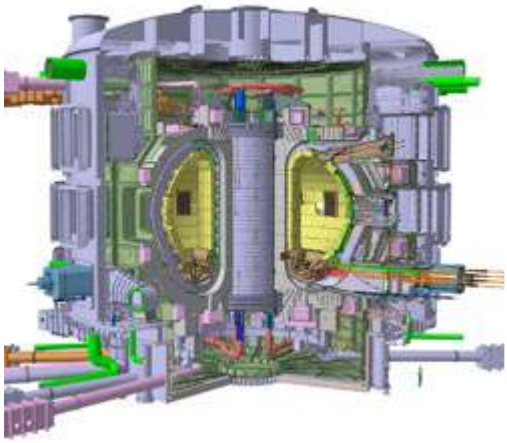
Veškeré zdroje energie na světě s výjimkou jaderné a geotermální mají svůj původ v energii vzniklé termonukleární reakcí v našem slunci. Na jadernou fúzi je pohlíženo jako na „nevyčerpatelný zdroj budoucnosti“. Pro spuštění jaderné fůze je nutné dosáhnout vysokých teplot řádově miliony kelvinů , při kterých se látky nacházejí ve formě plazmatu. Vysoké teploty jsou hlavní překážkou neboť každý materiál se při kontaktu s plazmou vypaří. Plazma jakožto ionizovaný plyn má naštěstí výrazné magnetické vlastnosti a lze ji tak držet v magnetickém poli. Pro tento účel slouží zařízení tokamak.

7.2.1 Stručná historie

V roce 1920 Francis William Aston hmotnostní rozdíl mezi čtyřmi jádry vodíku a jádrem helia.Roku 1939 publikoval německý fyzik Hans Bethe svou práci „Výroba energie ve hvězdách“, kde popisoval fúzní princip výroby energie ve hvězdách. V roce 1952 vznikl první experimentální fúzní reaktor. Mezinárodní spolupráce začala po konferenci „ Atomy pro mír“ v roce 1958. V roce 1968 vznikl v sovětském svazu Tokamak, jež umožňoval dosáhnutí teplot 10 milionů stupňů. [48]

7.2.2 ITER (Mezinárodní Termonukleární Experimentální Reaktor)

Projekt byl zahájen v roce 2001 s plánovaným rozpočtem 10mld eur. Cílem projektu je demonstrovat proveditelnost jaderné fúze. ITER by měl být schopen vyrábět 500MW energie což představuje desetinásobek jeho příkonu, předchozí projekty spotřebovávali na provoz více energie než vytvářely. V letech 2001 až 2005 se rozhodovalo o místě výstavby. Místo pro stavbu nabídla Kanada, Japonsko, Španělsko a Francie. Nakonec bylo rozhodnuto pro Cadarache ve Francii. Výstavba začala v roce 2007, první provoz je očekáván v roce 2018. Následkem hospodářské krize se projekt potýká s finančními problémy, v důsledku čehož bylo zahájení stavby reaktoru odsunuto až na rok 2012. Rostoucí náklady spolu s průtahy posilují hlasy kritiků, kteří se obávají o ekonomickou návratnost projektu. [49], [50]



Obr. 5 ITER (zdroj: http://www.efda.org/the_iter_project/introduction_to_iter.htm)

8 .Závěr

Jaderná energetika prošla složitým vývojem nejen po technologické stránce ale hlavně po stránce politické a oblasti veřejného mínění. Vliv jaderné energetiky na společnost byl a je značně rozpoluplnný. Na jedné straně stojí společné úsilí mnoha národů při hledání bezpečného a spolehlivého zdroje energie. Na straně druhé nesmířlivý postoj jejích odpůrců na pozadí jaderných havárií. Na mezinárodní úrovni byl nejvýznamnějším mezníkem projev „Atomy pro mír“, který nastavil podmínky pro vývoj civilní jaderné energetiky. Po počátečním jaderném optimismu přišlo první varování v podobě nehody TMI. Následkem čehož musely být přehodnoceny bezpečnostní standarty. Teprve následující havárie JE Černobyl ukázala světu nutnost co nejužší vzájemné spolupráce v oblasti bezpečnosti a vývoje. Tato událost v posunula jadernou energetiku v očích veřejnosti zpět, blíže k děsivé jaderné bombě. Důvěra k jaderné energii se vracela velmi pozvolna, teprve v posledních několika letech mluvíme o její renesanci. Využívání jaderné energie se opět vrací do návrhů energetické politiky jednotlivých států. Celkově je ve výstavbě 60 reaktorů v 15 zemích. V Evropě jsou ve výstavbě dvě jaderné elektrárny 3. generace. V několika dalších zemích se o výstavbě uvažuje nebo již probíhá tendr. Vstříc klimatickým změnám a tenčícím se zásobám fosilních paliv si uvědomujeme nutnost změnit složení energetického zásobování. Nové jaderné technologie nám dokáží zajistit energii na tisíce let.

Cílem této práce je popsat historický vývoj jaderné energetiky z hlediska vývoje technologie samotné, organizací s ní souvisejících a veřejného mínění. Druhá kapitola představuje profily mezinárodních jaderných organizací, v druhé části je popsána historie a přínosy smlouvy Euratom. Třetí kapitola popisuje historický vývoj evropských společností dodávajících jadernou technologii, největší část je věnována francouzské Arevě. Čtvrtá kapitola popisuje evropské jaderné technologie 3. generace. Pátá kapitola popisuje vztah veřejnosti k jaderné energetice a faktory, které tento postoj přímo ovlivňují. Jsou zde popsány postoje jednotlivých států v rámci Evropy. Šestá kapitola nastiňuje ekonomické podmínky provozu a výstavby jaderné elektrárny vzhledem k ostatním zdrojům. V poslední kapitole jsou popsány principy plánovaných technologií. Do budoucna před námi stojí několik velkých výzev hlavní z nich je konečné řešení odpadů. Poslední velkou výzvou je ovládnutí jaderné fúze.

9 Použitá literatura

[1] www.iaea.org/About/history.html
[2] en.wikipedia.org/wiki/International_Atomic_Energy_Agency
[3] www.iaea.org/About/statute.html
[4] www.world-nuclear.org/about.htm
[5] www.wano.info/
[6] www.oecd-nea.org/
[7] eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0124:FIN:CS:HTML
[8] en.wikipedia.org/wiki/European_Atomic_Energy_Community
[9] europa.eu/legislation_summaries/institutional_affairs/treaties/treaties_euratom_en.htm
[10] cordis.europa.eu/fp7/euratom/home_en.html
[11] europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/l27052_en.htm
[12] www.lanl.gov/history/road/chicago-reactor.shtml
[13] www.chemcases.com/nuclear/nc-08.html
[14] www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.oprconst.htm
[15] vesecky.wz.cz/work/Diplomka.pdf
[16] www.fundinguniverse.com/company-histories/Framatome-SA-Company
[17] de.wikipedia.org/wiki/Kraftwerk_Union
[18] www.siemens.com/history/en/affiliated_companies/former_affiliates.htm
[19] atominfo.cz/2010/11/spusteni-prvniho-reaktoru-treti-generace-odlozeno-na-druhou-polovinu-roku-2013/
[20] www.areva-np.com/scripts/info/publigen/content/templates/show.asp?P=494&L=US&SYNC=Y&ID_CAT=305
[21] www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=13980
[22] www.nuclearcounterfeit.com/?tag=kerena
[23] www.timewaster.de/liste-aller-bekannten-nuklearen-unfalle-und-katastrophen-seit-1945/
[24] www.sujb.cz/docs/INES.pdf
[25] www.threemileisland.org
[26] Černobyl-Nultá hodina (televizní dokument)
[27] www.sujb.cz/docs/III_2_CJ.pdf
[28] www.sujb.cz/docs/III_3_CJ.pdf
[29] www.iaea.org/newscenter/news/tsunamiupdate01.html
[30] atominfo.cz/2011/04/fukusima-ovlivnila-souboj-jadernych-gigantu-o-temelin-e15/
[31] ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_297_en.pdf
[32] stem.cz/clanek/1525
[33] www.finance.cz/zpravy/finance/307313-mpo-podil-energie-z-jadra-by-se-mel-v-cr-zvysit-nad-50-procent/
[34] www.csvts.cz/cns/news06/temcase.pdf
[35] www.dw-world.de/dw/article/0,,2306337,00.html
[36] www.coolhandnuke.com/Cool-Hand-Blog/articleType/ArticleView/articleID/47/Germanys-Merkel-approves-nuclear-reactor-life-extension.aspx
[37] www.world-nuclear.org/info/inf25.html
[38] www.world-nuclear.org/info/inf04.html
[39] www.world-nuclear.org/info/inf21.html
[40] old.greenpeace.cz/uran/dopady.shtml
[41] www.boell.de/downloads/oekologie/3_Jaderny_palivovy_cyklus_Oekologie.pdf
[42] www.scienceblogs.de/primaklima/G8_Scorecards_2009.pdf

[43] www.pro-energy.cz/clanky3/4.pdf
[44] sf.zcu.cz/rocnik06/cislozv/budouc2.html
[45] www.world-nuclear.org/info/inf35.html
[46] web.vscht.cz/hrotkovr/jadro/jebudoucnosti.html
[47] www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_a_pokrocile_jaderne_technologie_-_nahled.pdf
[48] www.efda.org/
[49] www.euractiv.cz/energetika/clanek/eu-dochazeji-prostredky-na-projekt-jaderne-fuze-007606
[50] www.iter.org/proj/buildingiter

Seznam tabulek

Tab.1 zařazení euratomu ve struktuře EU....12
Tab.2 stupnice INES....20
Tab.3 náklady na jednotlivé zdroje....30
Tab.4 vliv zdvojnásobení ceny paliva na konečné náklady....31
Tab.5 nároky na materiál....31
Tab.6 zábor půdy pro elektrárnu o výkonu 1000MW....31

Seznam obrázků

Obr. 1 první jaderný reaktor....14
Obr. 2 schéma TMI červené body značí místa poruchy....21
Obr. 3 urychlovačem řízený reaktor....32
Obr. 4 vysokoteplotní reaktor....33
Obr. 5 ITER....34

Seznam grafů

Graf 1 Podpora jaderné energetiky v zemích EU....24
Graf 2 radioaktivita uloženého paliva....27