

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Fakulta životního  
prostředí

*BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

***Environmentální dopady jaderné energetiky  
a jejich porovnání s jinými zdroji výroby  
elektrické energie.***

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Autor práce: Badashkeeva Valentina

Praha 2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Valentina Badashkeeva

Aplikovaná ekologie

Název práce

**Environmentální dopady jaderné energetiky a jejich porovnání s jinými zdroji výroby elektrické energie**

Název anglicky

**Environmental impacts of nuclear energy and to compare them with other sources of electricity generation**

---

### Cíle práce

Tato bakalářská práce se zabývá zjištěním environmentálních dopadů jaderné energetiky a jejich porovnáním s jinými zdroji výroby elektrické energie. Nejprve práce popisuje environmentální dopady jaderné elektrárny Temelín a analyzuje jejich kladné i záporné vlivy na životní prostředí. Životní prostředí je přitom chápáno v jeho širším slova smyslu, tedy jako komplexní prostředí pro život. Potom následuje krátký popis jiných zdrojů energie. Při porovnání vlivů technologii výroby elektrické energie na životní prostředí je třeba vyhodnotit celý řetězec činnosti od získávání primárního zdroje až po likvidaci odpadů. Na závěr budou zjištěny výhody, nevýhody využití jaderné energetiky z pohledu vlivu na životní prostředí.

### Metodika

Jako metody práce pro zjištění environmentálních dopadů jaderné energetiky a jejich porovnáním s jinými zdroji výroby elektrické energie můžeme použít doporučenou literaturu. V praktické části vyhodnotím celý řetězec činnosti od získávání primárního zdroje až po likvidaci odpadů.

**Doporučený rozsah práce**

40

**Klíčová slova**

environmentální dopady,elektrická energie,jaderná energetika,životní prostředí

**Doporučené zdroje informací**

Comby B., 2007: Environmentalisté pro jadernou energii. Robert Němec – PRAGMA, Praha, 324 s.

Janouch F., 2011: Myslím zeleně, proto volím jádro (úvahy o energii a budoucnosti lidstva). Akropolis, Praha, 364 s.

Vach, M., Duong, V.M., 2011: Numerical Modeling of Flow Fields and Dispersion of Passive Pollutants in the Vicinity of the Temelín Nuclear Power Plant. Environmental Modeling and Assessment 16 (2), p. 135-143.

Vorobiev V.V., 2009: Úvod do radioekologie (učebnice). Logos, Moskva, 357 s.

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FŽP

**Vedoucí práce**doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.**Garantující pracoviště**Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelováníElektronicky schváleno dne 10. 12. 2015**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**Vedoucí katedryElektronicky schváleno dne 10. 12. 2015**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**DěkanV Praze dne 12. 04. 2016

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „Environmentální dopady jaderné energetiky a jejich porovnání s jinými zdroji výroby elektrické energie" vypracovala samostatně a použila jsem pouze primární a sekundární zdroje informací uvedené v seznamu použitých zdrojů.

V Praze 12.04.2016

.....

## Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu své bakalářské práce doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za jeho pomoc v napsání bakalářské práce.

## Abstrakt :

Předmětem bakalářské práce je zjištění environmentálních dopadů jaderné energetiky a jejich porovnání s jinými zdroji výroby elektrické energie. Nejprve práce popisuje environmentální dopady jaderné elektrárny Temelín a analyzuje jejich kladné i záporné vlivy na životní prostředí. Potom následuje krátký popis jiných zdrojů energie. Práce analyzuje celý řetězec činností od získávání primárního zdroje paliva až po likvidaci odpadů v jaderné elektrárně. Srovnává vliv technologii výroby elektrické energie na životní prostředí. Na závěr tato práce zjistí výhody a nevýhody využití jaderné energetiky z pohledu vlivu na životní prostředí.

Klíčová slova:

environmentální dopady, elektrická energie, jaderný reaktor, jaderná energetika, životní prostředí.

## Abstract :

The object of the bachelor's thesis is a detection of environment impacts of nuclear power and comparing them with other sources of production of electrical energy. Firstly the thesis describes environmental impacts of the electrical nuclear power station Temelin and analyzes positive and negative influence on environment. Then follows shor description other sources of power. The thesis analyzes a full order of actions from gaining a primal source of fuel to a disposal of the impacts in nuclear power station. Comparing the influence of the technologies of production of electrical energy on environment. In conclusion to find out pros and cons of using nuclear eneregtics from the viewpoint of the influence on environment.

### Keywords:

Environmental impacts, electrical energy, nuclear reactor, nuclear power plant engineering,

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce.....	11
3. Literární rešerše.....	12
3.1. Elektrická energie.....	12
3.1.1. Zdroji elektrické energie.....	12
3.1.1.1. Fosilní paliva.....	12
3.1.1.2. Obnovitelní zdroje elektrické energie.....	13
3.1.1.3. Jaderna energetika.....	14
3.2. Historie jaderné energetiky ve světě a v ČR.....	14
3.2.1. Černobylská a Fukušimská havárie JE a jích následky.....	16
3.3. Jaderná fúze.....	18
3.4. Jak funguje jaderná elektrárna.....	18
3.5. Jaderné palivo.....	20
3.6. Ukládání jaderného odpadu.....	22
4. Metodika práce.....	24
5. Praktická část.....	25
5.1. Základní informace o Jaderné elektrárně Temelín.....	25
5.2. Charakteristika studijního území.....	25
5.3. Enveromentální dopady jaderné energetiky.....	27
5.4. Porovnání působení jaderné elektrárny s elektrárnami spalujícími fosilní paliva.....	29
5.5. Porovnaní s alternativními zdroji energii.....	32
6. Diskuse.....	33
7. Závěr.....	35
8. Přehled literatury.....	36
9. Přílohy.....	38



# 1. Úvod

V dnešní době, kdy je zaznamenáváno hodně globálních problémů vzniklých v souvislosti činností člověka, měl by se každý člověk zamyslet nad řešením těchto problémů a hledat vhodná východiska.

Jaderná energetika dnes uspokojuje 17 procent potřeb elektrické energie ve světě. Poptávka pro elektrickou energii se zvyšuje a bude se zvyšovat se stále rostoucí rychlostí. Je pravděpodobné, že v nadcházejících desetiletích to bude 50 procent nad současnou úroveň. Koncem století se pravděpodobně zdvojnásobí nebo dokonce ztrojnásobí (Kolier D., Chjuitt D., 1989)

Pro EU jaderná energetika představuje významný energetický zdroj zajišťující zhruba čtvrtinu výroby elektřiny. Nicméně ze 132 aktuálně provozovaných evropských jaderných reaktorů bude více než 40 % do roku 2025 provozováno čtyřicet let, což staví provozovatele před volbu dodatečných investic a zahájení programu prodloužení životnosti nebo odstavení bloků. (Comby B., 2007)

Jaderná energie je popsána jako systém, který je schopen dodávat energetické potřeby lidské civilizace po celou dobu lidského energetického využití. (Kristinna Malkova, 2013)

Tato bakalářská práce se bude zabývat environmentálními dopady jaderné energetiky v České republice a jejich porovnáním s jinými zdroji výroby elektrické energie. Jaderná energie je udržitelná z hlediska zdrojů, je také udržitelná s ohledem na životní prostředí a lidské zdraví, včetně těch, které vyplývají z vážných nehod. Použití jakéhokoli druhu energie a výroba elektrické energie jsou doprovázeny vznikem mnoha znečišťujících látek ve vodě, půdě a ovzduší.

Zastánci jaderné energie kladou důraz na skutečnost, že jaderná energie nepřispívá k emisím skleníkových plynů a prokazují schopnost jejího využití v jiném rozsahu v dnešní době. Na otázky spojené s odpady z jaderného štěpení, rizika zneužití štěpných materiálů na vytváření jaderných zbraní, a možnost závažných havárií, které zahrnují rozsáhlé úniky radioaktivní materiálu do biosféry, -poukazují kritici (Pamela J., 2006).

První kapitola uvádí základní informace o elektrické energii a jejích zdrojích, historii jaderné energetiky ve světě a v České republice, o Černobylské a Fukušimské havárii, a dále o principu jaderné fúze a o celém palivovém cyklu. V druhé kapitole je probírána jaderná elektrárna Temelín jako taková, faktory ovlivňující její

provozování, a ostatní zdroje energie a jejich porovnání. Třetí kapitola obsahuje zhodnocení celé práce a analýzu v diskusi.

Vliv jakéhokoliv zdroje energie je rozsáhlý, může zahrnovat různé složky životního prostředí jak vcelku tak i zvlášť. Proto je ve čtvrté kapitole popsán pouze vliv Temelína na životní prostředí, emise CO<sub>2</sub> a ukládání jaderného odpadu. (Margulova T. H., 1989)

Závěrem bude bakalářská práce obsahovat hodnocení radiační situace a jaderných zařízení v Česku a výsledky porovnání jaderné energie s jinými zdroji výroby energie na příkladu elektrárny Temelín.

## 2. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zjištění environmentálních dopadů jaderné energetiky a jejich porovnání s jinými zdroji výroby elektrické energie.

Nejprve práce popisuje environmentální dopady jaderné elektrárny Temelín a analyzuje jejich kladné i záporné vlivy na životní prostředí. Životní prostředí je přitom chápáno v jeho širším slova smyslu, tedy jako komplexní prostředí pro život.

Potom následuje krátký popis jiných zdrojů energie. Při porovnání vlivů technologií výroby elektrické energie na životní prostředí je třeba vyhodnotit celý řetězec činností od získávání primárního zdroje až po likvidaci odpadů.

Na závěr budou zjištěny výhody a nevýhody využití jaderné energetiky z pohledu vlivu na životní prostředí.

## **3. Literární rešerše**

### **3.1. Elektrická energie**

Jednou z nejdůležitějších potřeb moderního lidstva je elektrická energie. Veškeré činnosti, průmysl a dokonce i lidské životy, v souvislosti například s výrobou pitné vody, závisí z velké části na elektrické energii, jejíž výroba, distribuce a spotřeba je nedílnou součástí každodenního života na Zemi. Pojem energie je uložena práce a také schopnost práce vykonávat. Energetika je přitom zodpovědná za téměř polovinu všech emisí oxidu uhličitého, které Česká republika vypouští do ovzduší a kterými přispívá k urychlování globálních změn klimatu, zřejmě největšího ekologického, sociálního i ekonomického problému lidstva v 21. století (Reichl J., Všeticka M., 2006).

#### **3.1.1. Zdroje elektrické energie**

Základním druhem energie, který v současné době potřebujeme k existenci a plnohodnotnému životu, je elektrická energie. K výrobě elektřiny získáváme přeměnou z energie vázané v nějakém zdroji (uhlí, větru, vodě, jaderném palivu apod.). Elektrická energie nejdříve přeměněna na tepelnou a mechanickou energii. Alternativou je využití působení slunečního záření (fotovoltaického jevu v solárních elektrárnách). Obor zvaný energetika se zabývá výrobou elektrické energie (Antonov V.F., Chernysh A.M., Pasechnik V.I., Voznecenckii S.A., Kozlova E.K., 2000).

##### **3.1.1.1. Fosilní paliva**

Fosilní paliva jsou směsí pevných, kapalných a plyných uhlovodíků. Patří k nim: ropa, uhlí, zemní plyn.

Ropa je zdrojem energie na výrobě spalovacími procesy a taky průmyslovou surovinou. V České Republice průmysl vypotřebovává více ropy než vytěží. Energie z tohoto zdroje používaná k zajištění dopravy(57,2%), jak energetická surovina(20%) a chemická surovina(23%). Při využívání ropy dochází k znečištění litosféry, hydrosféry, atmosféry a v oceánech přibývá uhlovodíků (Jenkins T., 2001).

Uhlí používání v tepelných elektrárnách. Těží se uhlí povrchové a velkolomy, výrazně ovlivňují okolní prostředí. V České republice se dobývá černé uhlí, hnědé uhlí a druh nejmladšího hnědé uhlí- lignit(na jižní Moravě). K výrobě elektřiny se

používá větší část uhlí v parních a spalovacích elektrárnách. Při využití uhlí dochází k znečišťování povrchových toků a ovzduší. Haldy, popílek, odkaliště a emise jsou důsledky využívání uhlí (Skupina ČEZ, 2009).

Zemní plyn převážně metan se transportuje dálkovými plynovody a speciálními tankery, jako zkapalněný plyn. Na jižní Moravě ve vienské pánvi jsou ložiska zemního plynu v České Republice. Z uhelných ložisek je možné získat plyn těžbou z uzavřených hlubinných dolů (degradací). Úniky do ovzduší se zvyšují obsah skleníkových plynů v atmosféře (Quaschnig V., 2010).

### **3.1.1.2. Obnovitelné zdroje energie**

Sluneční energie je primárním zdrojem energie, který je čistým a šetrným způsobem výroby elektřiny. Ze solární energie lze získat elektrickou energii přímo a nepřímo. Přímá přeměna je závislá na získání energie působením světla uvolňující elektrony. Fotovoltaický články jsou tvořeny z krystalu nejčastěji křemíku. Když dopadnou fotony na panel, záporné elektrony se uvolní, když kladně nabitá zůstávají "díry". Dáme na obě strany panely elektrody a spojíme s vodičem a začne protékat elektrický proud. Nepřímá přeměna je závislá na hodnotě tepla, získané pomocí slunečních sběračů (Motlík J., 2007)

Existuje několik zdrojů energie z vody: energie tepelná z oceánské vody, energie vlnobití zprostředkovaná větrem a energie přílivová je energie gravitační (pomocí přitažlivých sil Slunce a Měsíce). Tepelná energie z mořské vody je energie, která používá rozdíl teplot na povrchu a v hloubce. Na principu válce s instalovaným v něm pístem, pohyb kterého (stlačení vlnami a zvedání plynem) se mění na elektřinu pomocí lineárního generátoru. Přílivové elektrárny obsahují horizontální nebo vertikální turbíny. Vyskytuje se různé umístění turbíny: v tělese betonové hráze nebo na svislých stožárech. Přes turbíny v tělese hráze, voda při přílivu protéká a se zadržuje za hrází ve velkém jezeru, při odlivu vytéká opět přes turbíny zpět do oceánu. Na stožáre je vrtulová turbína, která se otáčí podle rychlosti a směru proudění, které příliv a odliv vyvolávají. Při přílivu a odlivu se otočí vrtule v turbině a se vyrobí elektřina (Comby B., 2007).

Větrná energie je energie, kterou dostáváme pod vlivem aerodynamických sil. Větrná turbína převádí energii větru působením na listy rotoru, které mají tvarový

profil stejný jako křídlo letadla, na rotační energii. Takým způsobem pomocí generátoru vznikají elektrická energie (Motlík J., 2007).

Biomasa, tj. hmota organického původu, byla hlavním zdrojem energie. Biomasu nebo recentní biopaliva bereme jak topné dřevo, dřevní odpad, slámu a zemědělské zbytky. Po nějaké době byla tato biopaliva nahrazena uhlím a ropou. Při používání biopaliva roste produkce energetických plodin, tzn. kukuřice, brambor, palem atd. Využití biomasy má také nevýhody, jako velké množství zemědělských plochů, likvidace tropických pralesů, zvýšení ceny na potraviny, emise skleníkových plynů, velkou výtěžnost energie. V České Republice je využívána také pevná biomasa, komunální a průmyslové odpady, kromě řepkového oleje (Škvarčil J., 2005).

Geotermální energie je nejstarší přírodní zdroj energie tvořící se pomocí fyzikálně-chemických reakcí uvnitř Země, který vzniká vyvěráním gejzírů, horských pramenů nebo par. Velkou výhodou geotermální energie je stabilní výkon a žádný negativní vliv na životní prostředí. Teplo se čerpá v hloubce cca 3- 5 km z hlubinných vrtů. Elektrárna funguje jako uzavřený bezodpadový cyklus (Comby B., 2007).

### **3.1.1.3. Jaderná energie**

V atomovém jádru jaderná energie se uvolňuje pomocí jaderných reakcí. V naše době díky novým technologiím je tuto energii možné využívat. Činnost, která se zabývá jadernou energií, se nazývá jaderná energetika. Průmyslově se často využívá štěpná reakce uranu, plutonia pro jaderné elektrárny, uvažuje se i o využití thoria. V současnosti na světě existuje více než 440 jaderných reaktorů. Jaderné elektrárny jsou ekologickým způsobem výroby obrovského množství energie, kterou potřebujeme v současné době a v budoucnu. Zájem o jadernou energetiku se zvyšuje (Vorobiev V. V., 2009).

## **3.2. Historie jaderné energetiky ve světě a v ČR**

Filozof Epikúros (341-270 př.n.l.) vyjadřuje světovou teorii, která říká, že atom a prázdnota se nacházejí za všemi přírodní jevy. Elektrický proud odhalil Ampere (1775-1836). V roce 1879 první žárovku, která svítila 45 minut, vytvořil Thomas Edison. Radioaktivitu v 1896 roce objevil Henri Becquerel. Rozpad

atomového jádra za sekundu (1Bq), to je jednotka radioaktivity. Polonium a radium jsou radioaktivní prvky, které objevili Pierre a Marie Curie. Zákon exponenciálního rozpadu radioaktivity formuloval v roce 1903 Rutheford. A také objevil pojem známý jako poločas rozpadu. V roce 1905 uveřejnil Albert Einstein teorii relativity a ekvivalence ( $E=mc^2$ ). A v roce 1913 reprezentoval Niels Bohr planetární model atomu. Tento model vypadal tak, že se kolem pozitivně nabitého jádra točí negativně nabitě elektrony (Comby B., 2007).

Roku 1938 němečtí chemici Otto Hahn a Fritz Strassman objevili reakci rozpadu jádra, při které se uvolňuje velké množství energie. Tuto reakci nazvali jaderným štěpením a tento rok se stal zlomový pro objev jaderné energie. V současném období na principu jaderného štěpení pracují všechny jaderné elektrárny (Vaněk, 2008).

Poprvé v reaktoru CP-1 na začátku prosince 1942 byla realizována první řízená řetězová štěpná reakce. Reaktor v podzemí Chicagské univerzity postavil italský fyzik Enrico Fermi se svým týmem (velvyslanectví Běloruské republiky v České republice, 2001).

Došlo také k tvorbě atomových zbraní v období druhé světové války. Pak v roce 1945 na města Nagasaki a Hirošimu shodily pumy s jadernou energií Spojené státy americké. Sovětský svaz také použil atomovou pumu, ale o 4 roky později (Janouch F., 2011).

Do provozu v roce 1954 byla spuštěna jaderná elektrárna v Obninsku u Moskvy s elektrickým výkonem 5 MW. Od té doby začal rozvoj jaderné energetiky. V roce 1990 tyto elektrárny vyráběly 19% světové produkce elektrické energie. Ve světě v provozu bylo 426 reaktorů s celkovým výkonem 320000 MW a dalších 100 reaktorů bylo ve výstavbě. Jaderné elektrárny s největším výkonem elektřiny jsou v USA - 98000 MW, Francii - 52000 MW, bývalém Sovětském svazu - 34000 MW, Japonsku - 29000 MW, Německu - 24000 MW, Kanadě - 12000 MW a Velké Británii - 11000 MW (Reichl J., Všetická M., 2006).

Hodně prvku uranu se nachází a používá na území ČR jako palivo v jaderných elektrárnách. V současné době používáno v Dukovanech a Temelínu (Obr.1). Po 2. světové válce hodně uranu bylo odváženo do SSSR na zpracování uranu po dohodě o československo - sovětské spolupráci (Daniš D., Cabánková M., 2006). Za období 1946 – 2004 celková produkce uranu v České republice dosáhla přibližně 109 tisíc tun, což ji řadí na 7. místo za velké producentké země jako

Kanada, USA, Německo, JAR, Ruská federace a Austrálie. Kvůli snížení cen uranu na světovém trhu a zájmu ruského odběratele měl další vliv i tlak ze strany ochránců životního prostředí, takže v devadesátých letech začal pokles těžby uranu, až nakonec byla uzavřena většina dolů v ČR (Comby B., 2007).

V poslední době těžba probíhá jen už v Dolní Rožince u Žďáru nad Sázavou, ale její využívání by mělo trvat ještě několik let. Tento zdroj uranu je jediné místo v celé Evropě a dobývání je podle těžařů pořád rentabilní. (Jelínek P., 2011).



Obr. 1: JE Temelín, [www.google.cz](http://www.google.cz)

### **3.2.1. Černobylská a Fukušimská havárie JE a jejich následky.**

Nyní se zmíníme o následcích dvou nejhorších jaderných havárií v historii jaderné energetiky. Každá ze dvou havárií má do dnešní doby efekty, které se projeví v obsahu radioaktivních nuklidů cesia v ovzduší, v potravních řetězcích a v lidském těle u zvolených skupin populace (Zpráva o výsledcích činnosti SÚJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou, 2014).

Havárie na černobylské jaderné elektrárně 26. dubna 1986 v Sovětském svazu poblíž města Prypjat' byla nejzávažnější pro celý svět. Elektrárna se skládala ze čtyř



1000megawattových kanálových varných reaktorů s grafitem jako moderátorem (RBMK). To byl zastaralý a nestabilní model reaktorů postavený bez ochranného obalu. Výbuch byl způsoben porušením provozních a bezpečnostních postupů a kvůli vážným technickým nedostatkům a omylům v bezpečnostním systému a v designu. Po havárii v průběhu několika dnů radioaktivní mrak, který byl odnášen větrem, způsobil na Ukrajině a především v Bělorusku silnou kontaminaci (Comby B., 2007). Havárie způsobila uvolňování radionuklidů ve velkých oblastech Evropy. Únik radioaktivních látek celkově po Rusku, Evropě, Bělorusku a Ukrajině byl přibližně 14 EBq (Balonov M.I., 2007). Z celkového počtu uvolněných látek jsou 50% vzácné plyny. Území Evropy po explozi dosáhla úroveň  $^{137}\text{Cs}$  na 37 kBq/m<sup>2</sup> na vzdálenost více než 200.000 km<sup>2</sup>. Asi 70% radioaktivních nuklidů bylo nad Ukrajinou, Běloruskem a Ruskem a 20% se rozšířilo i mimo Evropu (De Cort et al., 1998). Dnes už větší část postižených míst je bezpečná pro život a ekonomickou aktivitu (Balonov M.I., 2007).

V Japonsku 11. března začalo zemětřesení o síle 8,9 a 9,1 podle RichtEROVY škály, pak následně vlny tsunami zasáhly východní pobřeží (WNA, 2011; IAEA, 2011). Při zemětřesení proběhlo automatické odstavení reaktoru a zapínání havarijního chlazení reaktorů. Ale vlna tsunami zničila chlazení, kvůli čemuž se stala havárie (Srinivasan T.N. and Gopi Rethinaraj T.S., 2013). Tato katastrofa je jedna ze dvou velkých havárií jaderných elektráren. Nejčastěji byly identifikované antropogenní radionuklidy  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ , and  $^{131}\text{I}$  bez denního příspěvku (Livingston a Povinec, 2000; Matsuda N. et al., 2013). Radioaktivní nuklidy byly přenášeny větrem od elektrárny do dalších oblastí severozápadním směrem a kontaminovaly rozsáhlé oblasti na japonském ostrově Honšú. V okruhu 30 km od elektrárny a v dalších oblastech poblíž havárie byli evakuováni lidé (Srinivasan T.N. and Gopi Rethinaraj T.S., 2013; Matsuda N. et al., 2013). Radioaktivní voda se dostala do oceánu a způsobila kontaminaci mořské vody na japonském pobřeží. Také se vysoké dávky radioizotopu  $^{137}\text{Cs}$  objevily v potravinách. Sledovat množství radioaktivních nuklidů ve vodě a v potravinách z oblastí rizika kontaminace bylo doporučeno japonským Ministerstvem zdraví, práce a sociálních věcí (Health Sciences Council, 2011; WHO, 2012). Velmi malé množství radioaktivních látek, které nějak neovlivní lidské zdraví a životní prostředí, uniklo do Evropy a Severní Ameriky.

První nejhorší havárii v historii jaderné energetiky byla černobylská havárie, druhou byla fukušimská havárie. Obě havárie byly ohodnoceny sedmým stupněm INES.

Následky poruchy obou elektráren jsou rovněž nesrovnatelné. Radioaktivní kontaminace životního prostředí po fukušimské havárii byla značná, ale nedosáhla „globálních“ rozměrů (Balonov M.I., 2007).

### **3.3. Jaderná fúze**

Začátkem 20. století se začala tvořit a uplatňovat teorie poznání energie hvězd (McCracken G., 2006). Jaderná fúze je reakce sloučení mezi dvěma atomovými jádry s malým atomovým číslem v jedno větší jádro a při tomto spojování uvolní hodně energie v podobě světla Slunce a jiných hvězd (Bruno C., 2007). Na Slunci jsou tři reakce, které přemění vodík na helium, během kterých je energie uvolněna. Hustota výkonu této energie na zemském povrchu je přibližně 1,4 kW/m<sup>2</sup> (McCracken G., 2006).

Termonukleární fúze má velký energetický potenciál. Jako palivo při fúzi se může použít vodík nebo deuterium (Comby B., 2007). Například deuterium na zemi existuje ve vodě, 1 m<sup>3</sup> vody obsahuje asi 35 g deuteria. Pomocí elektrolýzy můžeme ho získat z vody (Evropská komise, 2006). Na produkci 1000 MV elektřiny bude dostatečné 50 kilogramů. Ve srovnání s jinými zdroji elektrické energie tato energie vyráběná v jaderných elektrárnách pomocí štěpení těžkých atomů má mnoho výhod. Při fúzi by množství odpadu bylo 10 000 krát menší než teď (Comby B., 2007; Evropská komise, 2009).

Dalším programem je rychlý reaktor, který pracuje s rychlými neutrony. Takový reaktor, chlazený sodíkem nebo olovem, prodlouží používání uranu na desítky tisíciletí a vyprodukuje 50krát více elektrické energie než v dnešní době tlakovodní reaktory (PWR). Rychlé reaktory jsou ekologicky výhodné a mohly by se stavět po roce 2030 (Comby B., 2007).

Jaderná fúze by ze všech stránek byla ideální odpovědí na nynější otázky energie a životního prostředí. Kvůli čistotě pro okolní prostředí a neomezenosti tohoto zdroje je to energie na dlouhé období v budoucnosti (Pamela J., 2006).

### **3.4. Jak funguje jaderná elektrárna**

Na začátku musíme správně vybrat místo vhodné pro stavbu elektrárny. Místo pro jadernou elektrárnu musí splňovat hodně mezinárodních pravidel a požadavků. Takových jako vhodné geologické podloží s dlouhodobou stabilitou a s velkým

čistým zdrojem vody, množství vody pro provoz Temelína je dostatečné z Vltavy a Hněvkovické přehrady v okolí. Také více obtížný pro Českou republiku je požadavek, při kterém nesmí nikdo v blízkosti 1,5 kilometru od jaderného reaktoru trvale bydlet (Margulova T. CH., 1984).

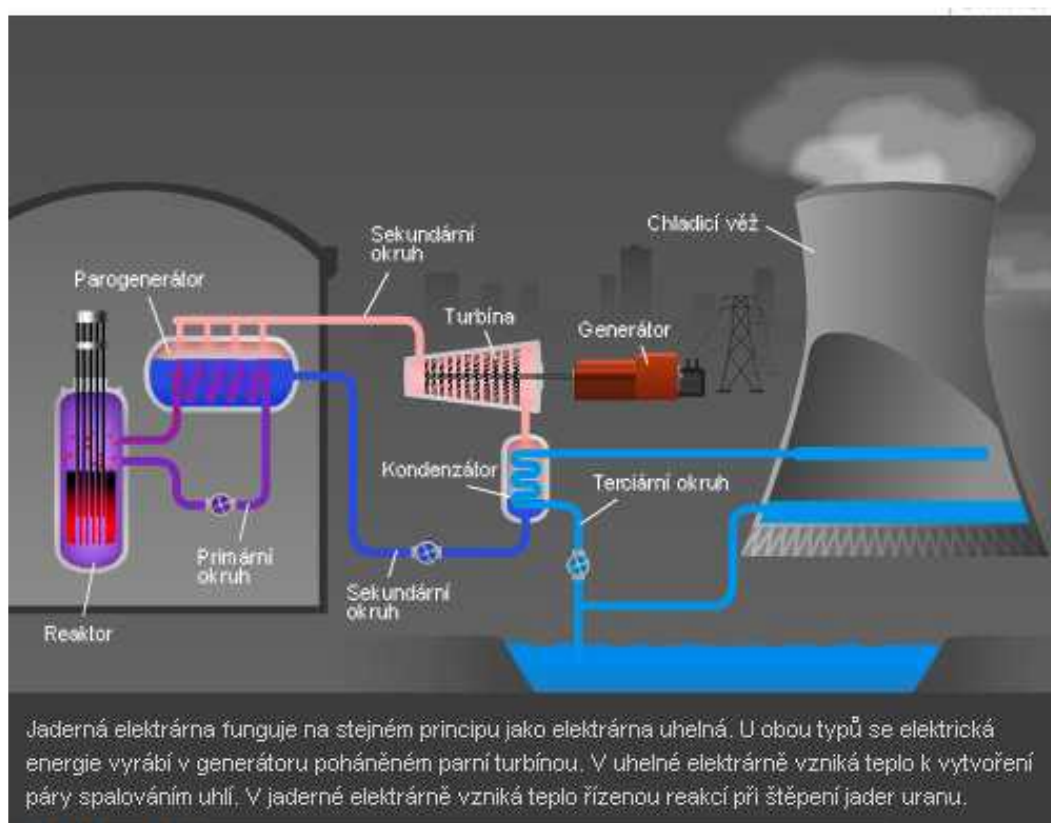
Z energie uvolněné jaderným štěpením jaderná elektrárna vyrábí elektřinu. Uran je palivo, které se používá nejčastěji v elektrárnách vzhledem ke svým fyzikálním a chemickým vlastnostem, a také velkému výskytu na Zemi, vytěžené extrahováním přírodních nuklidů uranu z uranové rudy. Uran  $^{235}\text{U}$ , převeden na oxid uraničitý, je přetvořen do tablet a pak sestaven do formy palivových tyčí (Reichl J., Všetická M., 2006).

V ocelové nádobě o střední hodnotě 5 metrů a výšce 10 metrů je potopená aktivní zóna jaderného reaktoru obsahující uranové tyče do vody primárního chladicího systému. Systém funguje tak, že uvnitř reaktorové nádoby voda, která proudí kolem palivových tyčí, se ohřívá pomocí produkovaného tepla z reakce jaderného štěpení (Comby B., 2007).

V jaderné elektrárně Temelín je aktivní zóna, která se nachází ve spodní části tlakové nádoby reaktoru. Tvoří ji 163 palivových souborů uspořádaných v hexagonální mříži a 61 regulačních klastů a má výšku 3,5 metru a průměr 3,1 metru. Každý soubor se skládá z 312 palivových proudků, 18 vodicích trubek a z centrální měřicí trubky. Hlavní čtyři cirkulační čerpadla zabezpečují cirkulaci chladiva primárního okruhu. Jaderný okruh odvádí teplo do parogenerátoru. Čerpadla jsou vysoká 11,9 m a jejich příkon je 5,1MW. Temelínský reaktor je nádoba ze speciální oceli 20 cm, která má vnější klenbu 4,5 metru a je vysoká cca 11 metrů. Reaktor v ochranné obálce – to je kontejnment. Kontejnment je železobetonová konstrukce 56 metrů vysoká ve formě válce. Stěny konstrukce jsou 1,2 metru, vnitřní střední hodnota je 45 metrů, vnitřní povrch ochranné obálky je 8 milimetrů nerezové oceli. Okolo konstrukce kontejnmentu je obestavba s řadou dalších zařízení (Skupina ČEZ, 2009).

Jaderný reaktor, zjednodušeně, je nádoba se zahřátou vodou z horkého paliva. Potrubím tato voda pod tlakem (v tlakovodním reaktoru - PWR) se odvádí do výměníku tepla, kde zahřívá sekundární okruh (Obr. 2). V okruhu se vytváří pára pohánějící turbínu. Ve varném reaktoru BWR pohání turbínu pára, která je vzniklá v primárním okruhu v reaktoru na jaderné elektrárně. Elektrický generátor, který se spojen s turbínou, převádí mechanickou energii na elektrickou (Kessler G., 1986).

Shrnutí celkem: jaderná reakce radioaktivní látky- vytváří teplo- zahřívá vodu- vytváří páru- otáčí turbínou- rotace turbíny pohání generátor- generátor vymění otáčivý pohyb v elektřinu- elektřina je přenášena po drátech vysokého napětí k budovám občanům a společnostem(Comby B.,2007).



Obr. 2. Schéma PWR (reaktor chlazený tlakovou vodou), [www.google.cz](http://www.google.cz)

### 3.5. Jaderné palivo

Jaderné palivo jsou radioaktivní látky, které pomocí reakcí rozpadu (štěpení) nebo fúze uvolňují velké množství energie. V jaderných elektrárnách se používá uran obohacený o  $^{235}\text{U}$ . Palivové látky jsou ve formě malých tablet oxidu uranu, které jsou uzavřeny v trubkách ze slitiny zirkonia (Comby B., 2007).

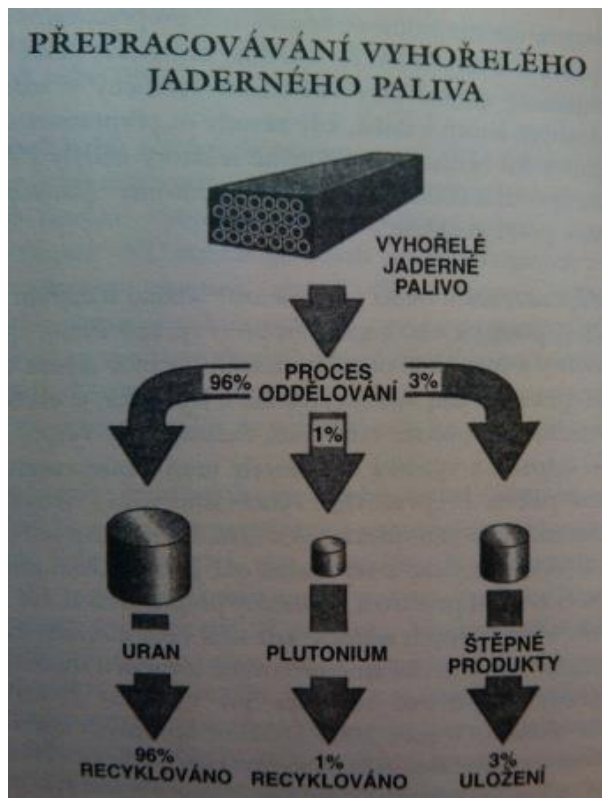
Pomalý spontánní rozpad probíhá v uranu  $^{235}\text{U}$  při štěpení a uvolňování energie. Při jaderném štěpení se vytvářejí dvě malá jádra, která se nazývají produkty štěpení. Nová rozštěpení jádra od sebe vysokou rychlostí se vzájemně odpuzují a při zpomalování neutronu srážkami s okolními částicemi se jejich energie mění v teplo.

Pak dále štěpí jádra  $^{235}\text{U}$  a udržují tak jadernou řetězovou reakci (Vorobiev V., 2009).

Přeměňuje se absorpcí neutronu a dvěma rozpady beta v plutonium  $^{239}\text{Pu}$ , které získané přepracováním paliva může být užitečné buď jako součást směsného kysličnickového paliva MOX pro termální reaktor, nebo jako palivo pro reaktor pracující s rychlými neutrony (FNR), jako je Monju v Japonsku. Palivo musí být obohaceno  $^{235}\text{U}$ , aby PWR pracoval a produkoval energii. V přírodním stavu uran obsahuje 99,3 %  $^{238}\text{U}$  a 0,7 %  $^{235}\text{U}$ . Podíl  $^{235}\text{U}$  musí být pro zavážení do typického BWR nebo PWR mezi 3 a 4 procenty (Comby B., 2007).

Podíl  $^{235}\text{U}$  v palivu poklesne po třech nebo pěti letech provozu a tím i zásoba reaktivity. Vyhořelé palivo, které obsahuje kolem 1 procenta  $^{235}\text{U}$  a plutonia a také úbytek  $^{235}\text{U}$  nahrazují obsah různých štěpných produktů; vytažené z reaktoru je pak obvykle několik let uloženo v elektrárně ve speciálně zkonstruované nádrži. V palivu během této doby se radioaktivní štěpné produkty rozpadají a radioaktivita klesne tak hodně, že palivové tyče lze transportovat (Janouch F., 2011).

Palivo je dále ukládáno (Spojené státy, Švédsko, Finsko) nebo znovu zpracováno (Japonsko, Velká Británie, Francie), aby se oddělily štěpné produkty jako odpad (3 procenta recyklovaného paliva), zpětně získaný uran a plutonium. V dnešní době je přepracování tohoto paliva stejně nákladné jako použití čerstvého uranu. Ale cílem je možnost znovu použít nevyužitou energii obsaženou ve vyhořelém palivu. Jestliže chceme zachovat zdroje uranu a zmenšit ohrožení prostředí, je přepracování vyhořelého paliva ekologickou a strategickou výhodou (Vaněk V., 2008).



Obr.3. Přepřacovávání vyhořelého jaderného paliva, Comby B.

### 3.6. Ukládání jaderného odpadu

Libovolná lidská činnost se neobejde bez produkce odpadů, stejně tak i jaderná energetika. Země Evropské unie produkují 2 miliardy tun odpadu všeho druhu každoročně. Z toho klasifikováno jako “nebezpečný odpad“ (pesticidy, asbest, těžké kovy atd.) je 35 milionů. Přibližně 80 kg na člověka je nebezpečného a 0,00013 m<sup>3</sup> na obyvatele jsou radioaktivní odpady (Skupina ČEZ, 2009).

Jaderný odpad na rozdíl od jiných průmyslových odpadů, které jsou nebezpečné pro zdraví v jakémkoliv věku, svou nebezpečnost postupně ztrácí. Radioaktivní látky z použitého paliva se přeměňují na neaktivní prvky (Skupina ČEZ, 2009). Následující množství aktinidů obsahuje toto palivo: Pu ~ 3000 tun, np ~ 140 t, Am ~ 120 t, trvanlivé štěpné produkty: Tc - 250 t, Cs - 90 t, I - 60 tun. V průběhu řízení a uspořádání jaderných zbraní by to mělo být nahromaděné do stovek tun na vysoké úrovni výrobků. Radioaktivity těchto produktů činí více než  $5 \times 10^8$  Cu s celkovou dlouhou životností více než 105 let. Kvůli tomu izolace jaderných odpadů po dobu nejméně tisíce let je naléhavě celosvětovým problémem (Zrodnikov A., 2005).

V mnoha zemích jejich geologické podloží není vhodné pro dlouhodobou izolaci radiačních odpadů. Vzhledem k tomu je důležité vědět, jaké horniny jsou nejlepší pro garantovanou dlouhodobou nízkou propustnost a nejlepší iontoměniče, redoxní systémy pro snímání, uchovávání nejnebezpečnějších nuklidů (Pearce J. M., 2012; Gauthier A. et al., 2000).

Obě jaderné elektrárny v České republice vyprodukují v provozu přibližně 3000 tun odpadu v průběhu celého palivového cyklu. Výpusti představují pouhých 0,001 mSv a ozáření obyvatel z přírodních zdrojů je 3 – 3,5 mSv (nejvíce z radonu z podloží a v podzemních vodách). Jednu šestinu z celkového ozáření představuje průměrné ozáření z umělých zdrojů vytvořených člověkem, například lékařská vyšetření a radioaktivní spad při zkouškách jaderných zbraní (Janouch F., 2011).

Existují způsoby vyřešení problému s vysoce radioaktivním odpadem:

- Konzervativní – použití dlouhodobých úložišť v ekologickém podloží s očekávanou zaručenou izolací po dobu více než 100 000 let (Fyfe W.S., 1999).
- Dynamické – s cílem snížit celkovou životnost radioaktivity pomocí přepracování vyhořelého jaderného paliva kvůli procesu transmutace aktinidů a štěpných produktů. Pro snížení životností radioaktivity v odpadech na úroveň umožňující konečnou likvidaci za přepracování dobrými a spolehlivými metodami (Laciok A. et al., 2000; Fyfe W.S., 1999).

Vzhledem k údajům z uvedených čísel a informací lze tvrdit, že jaderná energetika pro obyvatelstvo a plochy, kontaminované radioaktivním materiálem, nepředstavuje významné nebezpečí. Ale stejně při nakládání s radioaktivními odpady se musí dodržovat přísná opatření a bezpečnostní pravidla. Jaderná energetika je výhodnější pro populace, protože při výrobě obrovského množství energie produkce odpadu není tak velká. Z tohoto odpadu je část přepracována a malé množství je v podstatě izolováno od okolního prostředí (Skupina ČEZ, 2002).

## 4. Metodika práce

Při zpracování bakalářské práce byly stanoveny jednotlivé dílčí cíle v rámci metodického postupu směřujícího k naplnění hlavního cíle práce, kterým je popsání a analýza dopadů Jaderné elektrárny Temelín. Práce je členěna na literární rešerši, praktickou část, diskuzi, analýzu a závěr.

K provedení vlastního hodnocení bylo třeba získat analýzou sekundárních informací z odborné literatury potřebný teoretický základ. K tvorbě literární rešerše je použita metoda deskripce s využitím odborných knih, internetových zdrojů i platné legislativy. Sekundární zdroje zahrnují nejprve informace z oblasti jaderné energetiky. Další zdroje využité ke zpracování této práce se zabývají průzkumem a vnímáním jaderné energetiky. Získané poznatky byly následně aplikovány v praktické části práce.

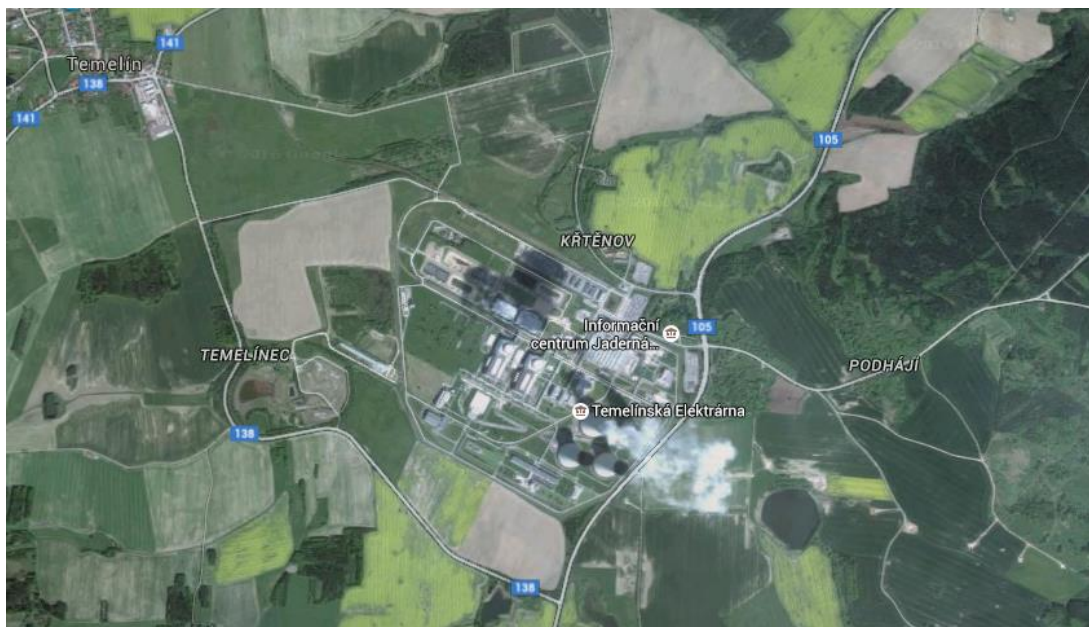
Po ukončení výzkumu jsem informace zpracovala do tabulkové a grafické podoby a dále analyzovala. Pak jsem je zpracovávala samostatně s využitím standardního počítačového programu MS Office.



## 5. Praktická část

### 5.1. Základní informace o Jaderné elektrárně Temelín

Elektrárna leží v jižních Čechách, přibližně 24 km od Českých Budějovic a 5 km od Týna nad Vltavou (Obr.4.). Ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320 se vyrábí elektrická energie. O snížení počtu bloků na dva bylo rozhodnuto v nových politických a ekonomických podmínkách po listopadu 1989. Elektrárna od roku 1990 podstoupila řadu prověrek inspektorů z MAAE. První blok vyrobil poprvé elektřinu 21. prosince roku 2000. Na výkonu  $1 \times 1078 \text{ MWe} + 1 \times 1055 \text{ MWe}$  elektrárna nadále pracuje (Bromová E., Vargončík D., Sovadina M., 2013).



Obr. 4. Umístění Temelínu, zdroj: [www.googlemaps.cz](http://www.googlemaps.cz)

#### 5.1.1. Historie elektrárny Temelín

V roce 1985 byl vytvořen projekt vybudování nové jaderné elektrárny se dvěma bloky. V roce 1985 byl projekt zpracován. V jihočeské lokalitě Temelín, která leží asi 24 km od Českých Budějovic, byla stavba zahájena roku 1987. V roce 1990 podstoupila elektrárna řadu prověrek inspektorů MAAE s cílem zvýšit spolehlivost a bezpečnost na úroveň západních elektráren (Bromová E., Vargončík D., Sovadina M., 2013).

V roce 2002 byl zahájen provoz prvního bloku, o rok později začal fungovat i druhý blok. Jižní Čechy nemusely již být závislé na dodávkách elektrické energie ze

severních Čech a staly se soběstačnými díky uvedení do provozu elektrárny Temelín. Temelín, který nahradil řadu zastaralých bloků v uhelných elektrárnách severních Čech, přispěl k řešení jejich tíživé energetické situace. Největším energetickým zdrojem České republiky se na jaře 2003 se stala elektrárna Temelín (Skupina ČEZ, 2012).

Protesty, které provázely stavbu Temelína, byly ještě bouřlivější, než protesty proti stavbě elektrárny Dukovany. Koncem osmdesátých let začaly první významnější protijaderné aktivity a v jejich čele stály především místní organizace. V červnu 1989 na náměstí v Českých Budějovicích Český svaz ochránců přírody dokonce uspořádal masové shromáždění k problematice životního prostředí, na němž se sbíraly podpisy na petici proti výstavbě Temelína. Po sametové revoluci, jak již bylo zmíněno výše, nastala nejmohutnější vlna protestů. Vznikla občanská sdružení jako Děti země, Jihočeské matky nebo Zelený kruh. Tato sdružení psala otevřené dopisy politikům, organizovala petice a vedla informační kampaně (Listy, 2008).

Po několik let poblíž JE Temelín Hnutí Duha a Greenpeace pořádaly letní tábory, na nichž se organizovaly blokády příjezdových bran do elektrárny. V roce 2000 petici o vypsání referenda o elektrárně podepsalo 70 tisíc občanů, ale žádný poslanec návrh na vypsání referenda v parlamentu nepředložil. Většina obyvatelstva byla pro dostavbu elektrárny (71 % v roce 2000) přes všechny snahy protijaderných nevládních organizací ( Daniš D., Cabáneková M., 2006).

## **5.2. Charakteristika studijního území**

Pro jadernou elektrárnu byla vybrána jihočeská lokalita Temelín na principu vyhodnocení parametrů území podle kritérií legislativních a odborných. Nachází v nadmořské výšce 510 m.n.m v pahorkatině a od lokality v 10 km vzdálenosti se nevyskytují výrazné výškové body. Rozsáhlý komplex lesů se rozprostírá severozápadním směrem.

Podle vyhodnocení parametrů území po legislativních a odborných kritériích byla pro umístění JE vybrána oblast Temelín. Staveniště se leží v pahorkatině v nadmořské výšce 510 m n.m. Do dálky 10 km od místností se neexistuje žádné významné výškové body. Směrem severozápadním se táhne rozlehlý komplex lesů. Také sousední území, které se nachází na obou březích přehradní nádrže Hněvkovice na řece Vltavě cca 5 km východně od oblastí, je většinou zalesněno. Elektrárna se

nachází ve vzdálenostech 45- 50 km od státních pomezí s Rakouskem a se SRN (Skupina ČEZ, 2009).

### **5.3. Environmentální dopady jaderné energetiky**

Každá průmyslová činnost, stejně jako i provoz jaderné elektrárny, ovlivňuje okolní prostředí. Jaderná energetika v porovnání s jinými zdroji výroby energie z hlediska jejich vlivu na okolní prostředí však je efektivnější, bezpečnější a k okolnímu prostředí šetrnější (Bruno Comby, 2007)

Po monitorování v roce 2014 složek životního prostředí v okolí JE Temelín, například ovzduší (aerosoly, plyny, spady a srážky), pitné a povrchové vody, vodárenské kaly a říční sedimenty, půda a porost, bylo zjištěno, že celková výpust' do ovzduší odpovídala méně než 0,466 % (jednotlivých radionuklidů) hodnoty ročního limitu, aktivity 3H a aktivačních, korozních a štěpných produktů, které byly vypouštěny z kontrolních nádrží do vodotečí, jsou na úrovni 73,25 % autorizované hodnoty ročního limitu (Obr. 5,6).

Pomocí programu RDETE, který zohledňuje skutečnou meteorologickou situaci v lokalitě ETE v roce 2014, byla vypočtena efektivní dávka pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva v důsledku výpusti. Efektivní dávka výpusti do ovzduší byla 0,03  $\mu\text{Sv}$ , což představuje čerpání 0,06% z autorizovaného limitu 40  $\mu\text{Sv}$ . Největší podíl na efektivní dávce (75,6 %) představují výpusti 14C. Efektivní dávka výpusti do vodotečí byla 0,84  $\mu\text{Sv}$ , což představuje čerpání 27,9% z autorizovaného limitu 3  $\mu\text{Sv}$ . Největší podíl na efektivní dávce (99,9 %) představují výpusti 3H (Zpráva o výsledcích činnosti SUJB, 2014).

Jaderná elektrárna JE Temelín je podle vlivu na životní prostředí nejšetrnější z jiných zdrojů. V České republice pro obě jaderné elektrárny (Dukovany a Temelín) SÚJB (Státní úřad jaderné bezpečnosti) stanovil autorizované limity pro efektivní dávkový ekvivalent: pro plyné výpusti 40 mikroSievert za rok a pro kapalně 6 (Dukovany), resp. 3 mikroSievert (Temelín) za rok (Mýty a fakta o jaderné energii, 2013).

V Ruské federaci pro jaderné elektrárny jsou limity efektivní dávky 20 mikroSievert za rok jak pro plyné, tak pro kapalně výpusti podle Sanitárních pravidel navrhování a provozování jaderných elektráren - SP AS- 99 od roku 2001, která omezila vliv z elektráren na okolní prostředí a zmenšila množství výpustí 6 - 40

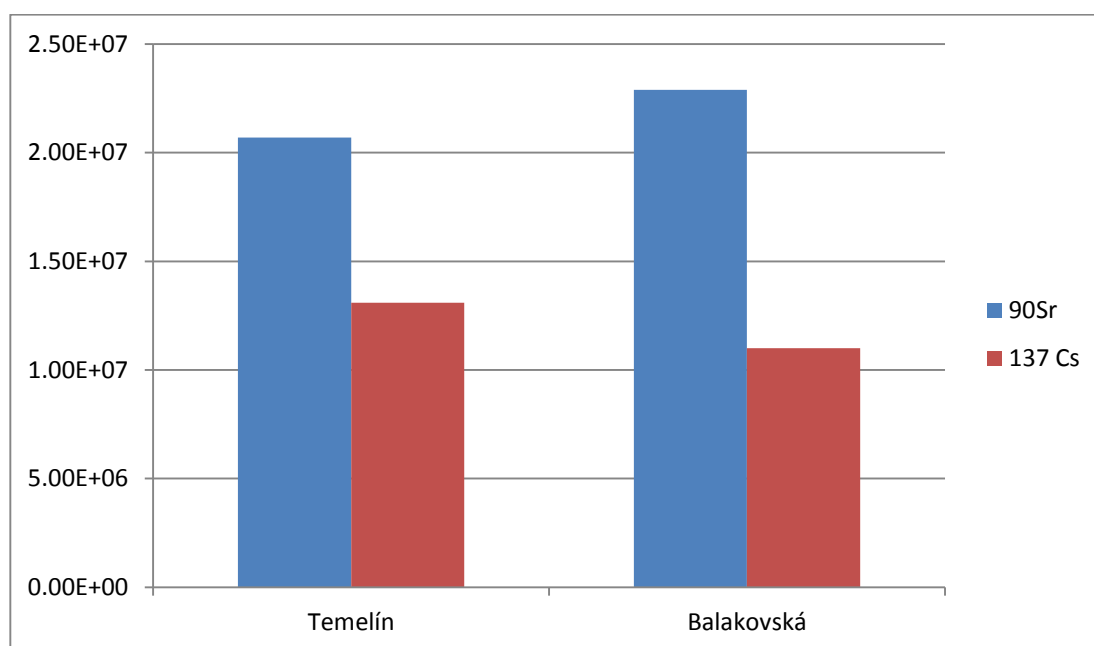
krát, což záleží na typu reaktoru a množství bloku. Efektivní dávka výpustí v Rusku činila 27% limitu 20 mikroSievert (Sanitární pravidla navrhování a provozování jaderných elektráren - SP AS- 99 SP 2.6.1.27-2000). Podle kontrol IAEA mezinárodní organizace (International Atomic Energy Agency) (Mezinárodní agentura pro atomovou energii, 1997).

Balakovská AES (Atomová energetická stanice) je největší jaderná elektrárna v Ruské federaci. Elektrárna leží 10,5 kilometru od města Balakovo, v severní části Saratovské oblasti. Nejbližší zdroj vody je Volha.

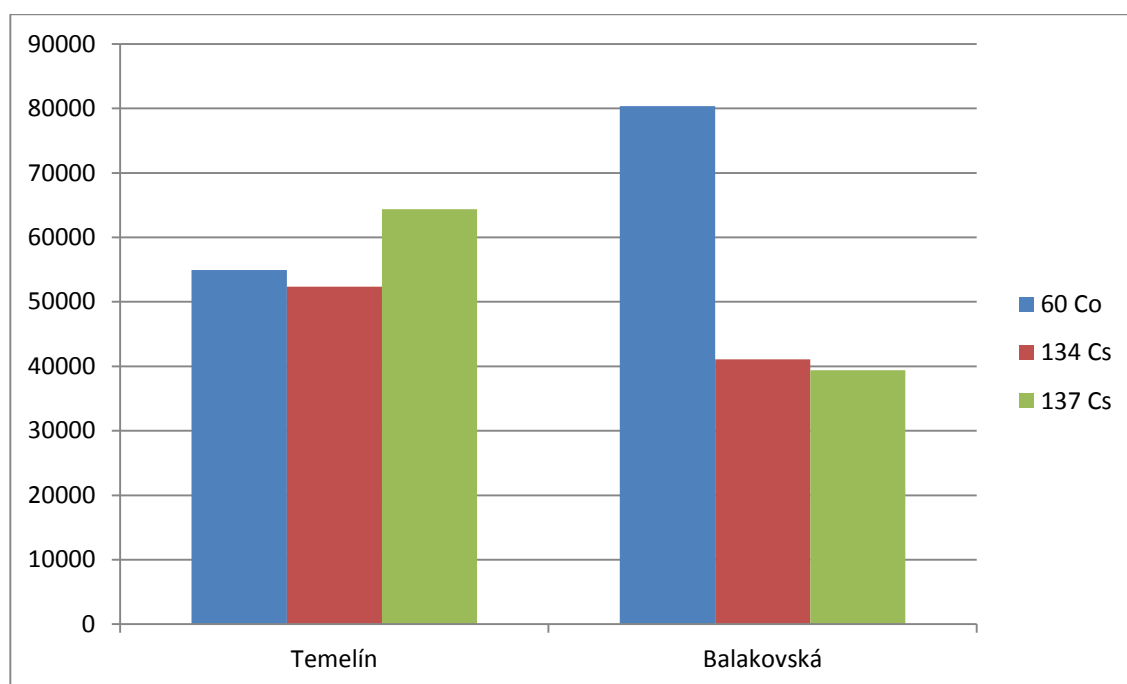
Z Balakovské jaderné elektrárny, která má 4 výrobní bloky s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu, se vyrábí elektrická energie v rozsahu 1000 MV každý den. Elektrárna Balakovská produkuje elektrickou energii pro Povolží (76%), centrální část Ruské federace (13%), Ural (8%) a Sibiř (3%). Množství elektřiny, která je vyrobena elektrárnou, je dost pro využití 30 milionů lidí v zemi (Zprava, 2014).

JE Balakovská je jedna z nejšetrnějších elektráren pro životní prostředí v Ruské federaci. A zcela odpovídá bezpečnostním normám a pravidlům mezinárodní organizace IAEA (Obr. 5, 6).

Mezi největšími jadernými elektrárnami ve světě Balakovská AES je na 51. místě. V elektrárně pracuje 3 770 zaměstnanců (Dokumentace, 2014).



Obr. 5: Přehled radioaktivních látek vypouštěných v JE do vodotečí v roce 2014, vlastní zpracování



Obr. 6: Přehled aktivit jednotlivých radionuklidů vypouštěných do ovzduší v roce 2014, vlastní zpracování

Jak vidíme, při provozu JE Temelín není poškozováno životní prostředí, nevznikají skleníkové plyny, nespotřebovává se kyslík a suroviny (ropa, uhlí), které mají nenahraditelný význam pro chemický průmysl. A radiační složky nemají velký vliv na zdraví obyvatelstva a na životní prostředí.

#### 5.4. Porovnání působení jaderné elektrárny s elektrárnami spalujícími fosilní paliva

Bývalý ministr životního prostředí Brice Lalonde, řekl: Jestli máme za cíl snížit objem emisí, musíme používat alternativní zdroje energie a používat je efektivněji (Comby B., 2007).

Hlavní roli ve vypuštěných emisích má oxid uhličitý, který se při spalování fosilních paliv vyprodukuje (Jenkins T., 2001). Libovolná elektrárna, která spaluje naftu nebo uhlí, bude produkovat CO<sub>2</sub> a při tom spotřebuje hodně kyslíku z atmosféry (Tab.1). Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) je plyn existující v přírodě. Zásadní spalovací reakce je  $C + O_2 \rightarrow CO_2$ , kde uhlík (C) přichází z paliva a kyslík (O<sub>2</sub>) z atmosféry (Comby B., 2007).

Velké množství vědců, kteří se zabývají atmosférou, se domnívá, že CO<sub>2</sub> vypouštěný průmyslovou činností je důvodem ke skleníkovému efektu a také k oteplování planety. Úroveň atmosférického CO<sub>2</sub> je vysoká a stále se zvyšuje v porovnání s více než 400 000 let zpátky (Kadrnožka J., 2006).

Všechny elektrárny na fosilní paliva vypouštějí obrovská množství CO<sub>2</sub> a přispívají ke skleníkovému efektu, zatímco jaderné elektrárny jej nevypouštějí vůbec. Výroba 1 kWh elektřiny spalováním uhlí, plynu nebo topné nafty uvolní do atmosféry přibližně 1m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, který přispívá ke vzniku skleníkového efektu. Výroba 1 kWh elektřiny v jaderné elektrárně neuvolní vůbec žádný CO<sub>2</sub> (Jenkins T., 2001).

Oxid uhelnatý, CO, je vysoce toxický plyn neexistující v přírodě. Během reakce neúplného spalování se uvolňuje oxid uhelnatý,  $C + O \rightarrow CO$ .

Jakékoliv zařízení, které spaluje palivo na bázi uhlíku (uhlí, topný olej, přírodní plyn, LPG, jiné benzinové produkty či dřevo) vyprodukuje do atmosféry oxid uhelnatý, plyn, který je smrtelně nebezpečný ve vysokých dávkách. Množství CO emitovaného průmyslovými zeměmi dosahuje stovek milionů tun ročně. Jaderná elektrárna nevyrábí a kvůli tomu neemituje oxid uhelnatý (Kadrnožka J. ; Comby B., 2006).

Velké množství sirných nečistot je v uhlí a topném oleji. Oxid siřičitý SO<sub>2</sub> se vypouští při spalování CO<sub>2</sub> ( $S+O_2 \rightarrow SO_2$ ). Oxid siřičitý se směšuje s vodní párou v atmosféře na H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (kyselinu sírovou). Kyselina sírová ze vzduchu padá jako kyselá dešť, které oslabují rostliny a stromy. Jaderné elektrárny vůbec neuvolňují žádný SO<sub>2</sub>(Tab.1).

Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) jsou toxické plyny, které škodí životnímu prostředí i živým organismům. V přírodě jsou v malém množství a u člověka obvykle vyvolávají dýchací potíže. Elektrárny a další zařízení, která spalují fosilní paliva, vylučují velké množství oxidů dusíku do atmosféry (Tab. 1). Oxid dusíku je součástí smogu a hlavní příčinou znečištění ovzduší měst, takže silně škodí zdraví obyvatel. Množství vypuštěné látky v průmyslových zemích do atmosféry dosahuje stovek milionů tun za rok, ale jaderné elektrárny neprodukují vůbec žádné emise NO<sub>x</sub> (Comby B., 2007).

Tab. 1: Jednoroční provoz 1000 megawattové elektrárny s výrobou 6,6 miliard kWh lze ukázat těmito způsoby, Comby B.

	Tepelná elektrárna na uhlí	Tepelná elektrárna na naftu	Jaderná elektrárna
	spálí 2,3 miliony tun uhlí a vypustí do atmosféry	spálí 1,52 milionů tun nafty a vypustí do ovzduší	spotřebuje 27 tun tříprocentního obochaceného uránu
CO <sub>2</sub>	3 miliardy kubických metrů	2,4 miliardy kubických metrů	Žadný
SO <sub>2</sub>	3 miliardy tun	91 000 tun	Žadný
NO <sub>x</sub>	cca 12214 tun NO, 986 tun NO <sub>2</sub>	6400 tun	Žadný
Prach	1200 tun prachu	1650 tun	Žadný
Popel	377 000 tun poletavého popílku 250 000 tun pevného popela	Prakticky žádný popel	Žadný
vysoce radioaktivního použitého paliva	Žadný	Žadný	vyprodukuje jen 14 kubických metrů, z něhož 97 procent
středně a nízko-radioaktivních odpadů	Žadný	Žadný	Vyprodukuje asi 500 kubických metrů
Radioaktivita	Žadný	Žadný	emituje do ovzduší asi 300 curie ročně

## 5.5. Porovnaní s alternativními zdroji energií

Při výrobě elektrické energie jaderná elektrárna se čtyřmi 1300 megawattovými jednotkami se nachází na ploše přibližně jednoho kilometru čtverečního a uvolňuje dostatek elektřiny ke spotřebě obřích metropolí (Tokio, New York). Aby produkovala stejné množství elektrické energie pomocí fotočlánků, musely by se použít na to velké plochy a oblasti, ale energie by nebyla dosažitelná v noci a i ve dnech při zatažené obloze. Zhotovení slunečních panelů, které spotřebují tisíce tun oceli a syntetických materiálů, znečišťuje životní prostředí. K tomu by fotočlánky musely být vyměňovány každých dvacet let (Comby B., 2007).

Větrné turbíny na produkce podobného množství elektřiny by zabíraly horské oblasti a narušily vzhled krajiny a bylo by jich potřeba mnoho tisíc na mnoho kilometrů. Jeden tlakovodní reaktor (EPR- European Pressurized Reactor) produkuje tak hodně elektrické energie, jak by musela nahradit celá postavená řada nejmodernějších větrných elektráren. Tyto elektrárny by vypadaly jako gigantická ocelová monstra vysoká jako dvě pařížské katedrály (Notre Dame de Paris), která by vedla od Janova v Itálii do Barcelony ve Španělsku. A ve dny s klidným počasím, když nefouká vítr, by stejně nemohla být vyprodukována žádná energie (Motlík J., 2007).

Množství vypouštěných chemických a radioaktivních látek do prostředí z jaderných elektráren je velmi malé. Uvnitř uzavřeného prostoru elektrárny půda a vzduch mají mnohem nižší radioaktivitu než pláž v Bretani. V této oblasti jsou žulové skály významně radioaktivnější než půda sedimentárních rovin. Hlavními jadernými účinky na okolní prostředí jsou její dopady na pozadí a mírné oteplení vody (moře, jezera nebo řeky). U chladicí vody se zvyšuje teplota ne více než o pár stupňů, což prospívá růstu řas a ryb (Jenkins T., 2001).



## 6. Diskuse

Jaderná energie je velmi diskutabilní téma. Mnoho lidí má o jaderné energetice představu jako o průmyslu, který produkuje velké množství vysoce radioaktivního odpadu. Tak to ale není, a pomocí této bakalářské práce bude možné dozvědět se a porovnat výpusti z elektráren na jaderná paliva a fosilní paliva. Také budou určeny výhody jaderné energetiky oproti alternativním zdrojům energie.

V této bakalářské práci jsme porovnali jadernou elektrárnu Temelín v České republice a Balakovskou elektrárnu v Ruské federaci. Limity pro efektivní dávkový ekvivalent v různých státech se trochu liší, ale stále odpovídají mezinárodním bezpečnostním normám IAEA. V České republice jsou stanoveny limity pro elektrárnu Temelín na výpusti plynné 40 mikroSievert a do vodotečí 3 mikroSievert. V Rusku jsou limity stanoveny pro všechny jaderné elektrárny na 20 mikroSievert za rok, tj. 10 mikroSievert do ovzduší, a 10 mikroSievert do vodotečí.

Jak můžeme vidět na grafu (Obr. 5), výpusti z elektráren Temelín a Balakovská do vodotečí za rok 2014 se liší jen trochu. Výpust'  $^{90}\text{Sr}$  z JE Temelín je 2,07 kiloBecquerel a z Balakovské AES 2,29 kiloBecquerel.  $^{137}\text{Cs}$  se do vodotečí dostal v množství 1,31 kiloBecquerel z temelínské a 1,10 kiloBecquerel z Balakovské elektrárny.

Na grafu (Obr. 6) přehledu aktivit jednotlivých radionuklidů vypouštěných do ovzduší v roce 2014 lze vidět, že rozdíl je větší než na prvním grafu. Z Balakovské jaderné elektrárny vychází radioaktivních nuklidů  $^{60}\text{Co}$  80350 Becquerel a z Temelína 54957 Becquerel, což je největší rozdíl mezi látkami, které jsme porovnali. Pak vidíme, že elektrárna Temelín vyprodukuje  $^{137}\text{Cs}$  ve množství 64378,2 Becquerel a JE Balakovská 39390 Becquerel. Vypouštěných nuklidů  $^{134}\text{Cs}$  je 52340 Becquerel z Temelína a 41100 Becquerel z Balakovské.

V praktické části bakalářské práce máme porovnání působení jaderné elektrárny s jinými zdroji elektrické energie. Zdroje elektrické energie se dělí na obnovitelné a neobnovitelné. K obnovitelným alternativním zdrojům energie a k neobnovitelným zdrojům energie se řadí fosilní paliva, jaderná energetika.

Pomocí tabulky (Tab. 1) vidíme, že jaderná elektrárna oproti tepelným elektrárnám, které vyprodukují  $\text{CO}_2$  na uhlí 3 miliardy kubických metrů a na naftu 2,4 miliardy kubických metrů, nevypouští žádný oxid uhličitý. Zato tepelné elektrárny na uhlí vypustí 3 miliardy tun a  $\text{SO}_2$  na naftu 91 000 tun  $\text{SO}_2$ . Množství

NO<sub>x</sub> z elektráren tepelných je u uhlí cca 12 214 tun NO, 986 tun NO<sub>2</sub> a u nafty jako paliva 6400 tun jaderná elektrárna nemá ve výpusti žádný oxid dusíku.

Takže tepelné elektrárny vypouštějí prach a popel, jaderná energetika nic takového nevypouští. Z elektráren na uhlí se vyprodukuje 1 200 tun prachu, 377 000 tun polétavého popílku a 250 000 tun pevného popela. Tepelné elektrárny na naftu vypouštějí 1 650 tun prachu a prakticky žádný popel.

Jaderná elektrárna produkuje 14 kubických metrů vysoce radioaktivního použitého paliva, 500 kubických metrů středně- a nízkoradioaktivních odpadů. Radioaktivita se emituje do ovzduší 300 curie ročně. Výpusti z jaderných elektráren jsou malé a nemají velký vliv na životní prostředí.

V porovnání s alternativními zdroji energie jaderná energie má výhody v tom, že produkuje stabilně hodně elektrické energie, která by mohla pokrýt spotřebu celého velkého města s miliony obyvateli, nepotřebuje velké plochy a je nezávislá na okolních podmínkách.

V naší době jaderné elektrárny patří z hlediska vlivu na životní prostředí mezi nejšetrnější zdroje výroby elektrické energie. Při jejich provozu nevznikají skleníkové plyny, nespotřebovává se kyslík ani neobnovitelné suroviny.

## 7. Závěr

V této bakalářské práci jsem probrala jadernou energii, výhody, nevýhody, vliv na životní prostředí a porovnání s jinými zdroji energie. Doba využití fosilních paliv se pomalu blíží ke konci. Jaderná energetika představuje jednu z nejvýhodnějších drah pro zajištění energetické energie.

Pomocí této bakalářské práce vidíme, že jaderná energie je dostatečně čistý zdroj energie, který neškodí okolnímu prostředí. JE Temelín v České republice nepřesahuje normy a limity výpustí jak pro ČR, tak i mezinárodní organizace IAEA. Při výrobě elektřiny nespotřebuje kyslík a neprodukuje velké množství chemických látek, jako u fosilních paliv. A tím nezpůsobí vznik skleníkových plynů a globálního oteplování. Výpusti radioaktivních látek při provozu elektráren jsou velmi malé, nemají významný vliv na prostředí a dávka z ozáření obyvatelstva ani v nejnepříznivějším publikovaném případě nepřesahuje v okolí jaderných elektráren 1% přirozeného výskytu radiace v jakékoli lokalitě.

JE, oproti alternativním zdrojům výroby energie, nepotřebuje velkou stavební plochu a je tak hodně nezávislá na podmínkách okolního prostředí.

Na závěr bych chtěla zdůraznit, že jaderná energie je praktickým, bezpečným a k životnímu prostředí šetrným zdrojem energie.

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

1. Comby B., 2007: Environmentalisté pro jadernou energii. Robert Němec - PRAGMA, Praha, 324 s.
2. Janouch F., 2011: Myslím zeleně, proto volím jádro (úvahy o energii a budoucnosti lidstva). Akropolis, Praha, 364 s.
3. Vorobiev V.V., 2009: Úvod do radioekologie (učebnice). Logos, Moskva, 357 s.
4. Quaschnig V., 2010: Obnovitelné zdroje energií. Grada Publishing, a.s., Praha, 296 s.
5. Velvyslanectví Běloruské republiky v České republice, 2001 Černobyl: katastrofa, která pokračuje. Inpress, České Budějovice, 20 s.
6. Vaněk V., 2008: Bez jádra to nepůjde. Pragma, Praha, 20 s.
7. Zpráva o výsledcích činnosti SUJB, 2014: Při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou za rok 2014, Praha, 15 s.
8. Státní úřad, 2002: Vyhláška státního úřadu pro jadernou bezpečnost 307/2002. Praha, 86 s.
9. Antonov V.F., Chernysh A.M., Pasechnik V.I., Voznecenckí S.A., Kozlova E.K., 2000: Biofyzika. Vldos. Moskva, 236 s.
10. Mezinárodní agentura pro atomovou energii. 1997: Mezinárodní základní normy bezpečnosti pro ochranu před ionizujícím zářením a bezpečnostní hování s zdroji radiace. Věna, 403 s.
11. Kluchnikov A.A., Pazychin E. M., Shigera U.M., Shigera V.U., 1984: Radioaktivní vypustí z AES a metody jích uložení. Státní zpráva, Moskva, 30 s.
12. Reichl J., Všeticka M., 2006: Encyklopedie fyziky. Copyright, Praha, online: <http://fyzika.jreichl.com/>, cit. 14.3.2016.
13. Jelínek P., 2011: Zkušenosti z Rakouska. Biom.cz, Praha, online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-z-rakouska-vyuziti-biomasy-jako-zdroje-energie-a-tepla-v-oblasti-hradska-a-styrska>. cit. 10.3.2016.
14. McCracken G., 2006: Fúze: Energie vesmíru. Peter Stott. Praha: Mladá fronta, 2006. Kolumbus, 183. ISBN 80-204-1453-3.

15. Pamela J., 2006: Čistá energie pro budoucnost: Vývoj fúzní energie. Mnichov: EFDA.
16. Evropská komise, 2009: Ředitelství Euratom. Jaderná fúze a průmysl společně pro budoucnost. Lucemburk: Úřad pro úřední tisky Evropských společenství.
17. Evropská komise, 2006 Ředitelství Euratom. Výzkum fúze: volba energie pro budoucnost Evropy. Lucemburk: Úřad pro úřední tisky Evropských společenství.
18. Kessler G., 1986: Jaderná energetika. Energoatomizdat, Raduga, Moskva, 248 s.
19. Koller D., Chjuitt D., 1989: Uvod do jaderné energetice. Energoatomizdat, Raduga, Moskva, 300 s.
20. Margulova T. H., 1989: Atomová energie dnes a zítra. Věda, Moskva, 75 s
21. Margulova T. H., 1984: Jaderné elektrárny. Věda, Moskva, 100 s.
22. Motlík J., 2007: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR. ČEZ a.s., Praha, 220 s.
23. Jenkins T., 2001: Porovnání emisí CO<sub>2</sub> mezi evropskými státy využívajícími jadernou energetiku a jejich bezjadernými protějšky. Hnutí DUNA, 15 s.
24. Petr I., 1979: Radioaktivita v životním prostředí minulosti, současnosti a budoucnosti. Atom, Praha, 465 s.
25. Hill J., 1978: Nuclear power in the public eye. Atom. 257 46-55
26. Singer J., 1997: Vliv jaderných elektráren na životní prostředí. České noviny 23: 55-68.
27. Bromová E., Vargončík D., Sovadina M., 2013: Jaderná energie a energetika. Simopt. Praha, online: <http://www.simopt.cz/cz/uvodni-stranka>. cit. 6.3.2016.
28. Skupina ČEZ, 2009. Základní informace. Praha, online: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika.html>. cit. 8.3.2016.
29. Skupina ČEZ, 2012. Historie a současnost Elektrárny Temelín. Praha, online: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/historie-asoucasnost.html>. cit. 16.3.2016.
30. Listy, 2008. Temelín v česko- rakouských vztazích. Praha, online: <http://www.listy.cz/archiv.php?cislo=085&clanek=050816>. cit. 5.3.2016.

## 8. Přílohy

Tabulka 34: Přehled monitorovaných položek životního prostředí a potravního řetězce v okolí JE Temelín v roce 2014 (dodavatel dat SÚJB)

Monitorovaná položka	Jednotka	Nejvyšší hodnota aktivity	Počet měření	Z toho >MVA
<sup>137</sup> Cs				
Spady	Bq/m <sup>2</sup>	0,147	48	5
Mléko	Bq/l	0,072	4	1
Krmiva	Bq/kg	0,642	6	3
Obiloviny	Bq/kg	< 0,077	4	0
Ovoce	Bq/kg	< 0,015	1	0
Lesní plody	Bq/kg	8,38	2	1
Houby	Bq/kg	85,9	5	5
Med	Bq/kg	2,94	1	1
Voda povrchová <sup>1)</sup> a <sup>2)</sup>	Bq/l	< 0,007	31	0
Půda	Bq/m <sup>2</sup>	194	1	1
<sup>3</sup> H				
Voda povrchová <sup>1)</sup>	Bq/l	140	36	10
Voda povrchová <sup>2)</sup>	Bq/l	3,9	31	4
Voda dešťová	Bq/l	2,9	48	12

Příloha 1. Přehled monitorovaných položek životního prostředí a potravního řetězce v okolí JE Temelín v roce 2014 (Zpráva o výsledcích činnosti SÚJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou).

Plynné výpusti			
Reaktor: Temelín/PWR (VVER 1000-V320)		Monitorované období: 2014	
Objem vzduchu uvolněný za uvedené období (m <sup>3</sup> ): 5,234 x10 <sup>9</sup>			
Kategorie a radionuklid	Maximální hodnota MDA pro příslušný nuklid (Bq/m <sup>3</sup> )	Celková vypuštěná aktivita (Bq) (*)	Komentář (†)
<b>Vzácné plyny</b>			
<sup>41</sup> Ar	9,70 x10 <sup>0</sup>	1,73 x10 <sup>12</sup>	
<sup>85</sup> Kr	1,00 x10 <sup>0</sup>	<DL	
<sup>85m</sup> Kr	4,99 x10 <sup>0</sup>	4,63 x10 <sup>11</sup>	
<sup>81</sup> Kr	1,10 x10 <sup>1</sup>	2,38 x10 <sup>11</sup>	
<sup>88</sup> Kr	1,63 x10 <sup>1</sup>	7,35 x10 <sup>11</sup>	
<sup>89</sup> Kr			
<sup>131m</sup> Xe			
<sup>133</sup> Xe	1,90 x10 <sup>1</sup>	4,03 x10 <sup>12</sup>	
<sup>133m</sup> Xe			
<sup>135</sup> Xe	6,83 x10 <sup>0</sup>	2,58 x10 <sup>12</sup>	
<sup>135m</sup> Xe	1,00 x10 <sup>1</sup>	7,26 x10 <sup>10</sup>	
<sup>137</sup> Xe			
<sup>138</sup> Xe	1,90 x10 <sup>1</sup>	5,45 x10 <sup>9</sup>	
<b>Aerosoly</b>			
<sup>51</sup> Cr	9,75 x10 <sup>-5</sup>	2,11 x10 <sup>4</sup>	
<sup>54</sup> Mn	1,13 x10 <sup>-5</sup>	3,16 x10 <sup>4</sup>	
<sup>58</sup> Co	1,05 x10 <sup>-5</sup>	1,83 x10 <sup>4</sup>	
<sup>59</sup> Fe	2,50 x10 <sup>-5</sup>	<DL	
<sup>60</sup> Co	1,31 x10 <sup>-5</sup>	5,93 x10 <sup>4</sup>	
<sup>65</sup> Zn	2,61 x10 <sup>-5</sup>	<DL	
<sup>89</sup> Sr	1,17 x10 <sup>-5</sup>	<DL	
<sup>90</sup> Sr	1,87 x10 <sup>-6</sup>	<DL	
<sup>95</sup> Zr	1,90 x10 <sup>-5</sup>	1,10 x10 <sup>5</sup>	
<sup>95</sup> Nb	1,41 x10 <sup>-5</sup>	2,17 x10 <sup>5</sup>	
<sup>110m</sup> Ag	1,19 x10 <sup>-5</sup>	3,72 x10 <sup>5</sup>	
<sup>122</sup> Sb			
<sup>124</sup> Sb	1,39 x10 <sup>-5</sup>	3,69 x10 <sup>5</sup>	
<sup>125</sup> Sb	3,56 x10 <sup>-5</sup>	1,45 x10 <sup>5</sup>	
<sup>134</sup> Cs	1,00 x10 <sup>-5</sup>	3,31 x10 <sup>5</sup>	
<sup>137</sup> Cs	1,23 x10 <sup>-5</sup>	3,02 x10 <sup>5</sup>	
<sup>140</sup> Ba	5,46 x10 <sup>-5</sup>	9,11 x10 <sup>4</sup>	
<sup>140</sup> La	2,02 x10 <sup>-5</sup>	4,85 x10 <sup>4</sup>	
<sup>141</sup> Ce	1,73 x10 <sup>-5</sup>	3,86 x10 <sup>4</sup>	
<sup>144</sup> Ce	6,77 x10 <sup>-5</sup>	<DL	
<sup>238</sup> Pu	2,75 x10 <sup>-6</sup>	<DL	
<sup>239+240</sup> Pu	1,61 x10 <sup>-6</sup>	<DL	
<sup>241</sup> Am	1,29 x10 <sup>-6</sup>	<DL	
<sup>242</sup> Cm	1,29 x10 <sup>-6</sup>	<DL	
<sup>243</sup> Cm			
<sup>244</sup> Cm			
<b>Celková aktivita alfa (‡)</b>			
<b>Jódy</b>			
<sup>131</sup> I	2,46 x10 <sup>-4</sup>	7,70 x10 <sup>7</sup>	plynná a aerosolová forma
<sup>132</sup> I			
<sup>133</sup> I	1,08 x10 <sup>-4</sup>	9,14 x10 <sup>5</sup>	plynná a aerosolová forma
<sup>135</sup> I			
<b>Tritium</b>			
<sup>3</sup> H	1,00 x10 <sup>-1</sup>	1,58 x10 <sup>12</sup>	
<b>Uhlík</b>			
<sup>14</sup> C	1,00 x10 <sup>-1</sup>	7,30 x10 <sup>11</sup>	organická a anorganická forma

Příloha 2. Přehled aktivit jednotlivých radionuklidů vypouštěných do ovzduší z Temelín v roce 2014 (Zpráva o výsledcích činnosti SUJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou).

Kapalné výpusti			
Reaktor: Temelín/PWR (VVER 1000-V320)		Monitorované období: 2014	
Objem vody uvolněný za uvedené období (m <sup>3</sup> ): 2,149 x10 <sup>4</sup>			
Kategorie a radionuklid	Maximální hodnota MDA pro příslušný klíčový nuklid (Bq/m <sup>3</sup> )	Celková vypuštěná aktivita (Bq) (*)	Komentář (†)
<b>Tritium</b>			
<sup>3</sup> H	1,00 x10 <sup>4</sup>	5,27 x10 <sup>13</sup>	
<b>Ostatní (aktivační a štěpné produkty)</b>			
<sup>51</sup> Cr	8,45 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>54</sup> Mn	9,11 E+02	<DL	
<sup>55</sup> Fe			
<sup>59</sup> Fe	1,60 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>58</sup> Co	8,36 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>60</sup> Co	9,41 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>63</sup> Ni		<DL	
<sup>65</sup> Zn	1,85 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>89</sup> Sr	8,21 x10 <sup>1</sup>	<DL	
<sup>90</sup> Sr	2,07 x10 <sup>1</sup>	<DL	
<sup>95</sup> Zr	1,55 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>95</sup> Nb	9,94 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>103</sup> Ru	9,54 x10 <sup>2</sup>	<DL	
<sup>106</sup> Ru			
<sup>110m</sup> Ag	1,17 x10 <sup>3</sup>	7,82 x10 <sup>5</sup>	
<sup>122</sup> Sb			
<sup>123m</sup> Te			
<sup>124</sup> Sb	1,39 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>125</sup> Sb	3,12 x10 <sup>3</sup>	2,78 x10 <sup>6</sup>	
<sup>131</sup> I	9,99 x10 <sup>2</sup>	6,16 x10 <sup>6</sup>	
<sup>134</sup> Cs	1,41 x10 <sup>3</sup>	7,88 x10 <sup>6</sup>	
<sup>137</sup> Cs	1,31 x10 <sup>3</sup>	2,58 x10 <sup>7</sup>	
<sup>140</sup> Ba	3,39 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>140</sup> La	9,54 x10 <sup>2</sup>	<DL	
<sup>141</sup> Ce	1,48 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>144</sup> Ce	6,56 x10 <sup>3</sup>	<DL	
<sup>238</sup> Pu	2,20 x10 <sup>1</sup>	<DL	
<sup>239+240</sup> Pu	1,49 x10 <sup>1</sup>	<DL	
<sup>241</sup> Am	1,59 x10 <sup>1</sup>	<DL	
<sup>242</sup> Cm			
<sup>243</sup> Cm			
<sup>244</sup> Cm			
Celková aktivita alfa (‡)			

Příloha 3. Přehled aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných z JE Temelín do vodotečí v roce 2014 (Zpráva o výsledcích činnosti SUJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou)