Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor: Ochrana životního prostředí

Kamila Procházková

Jaderná energetika v České republice a její vliv na životní prostředí

Nuclear power industry in the Czech Republic and its influence on environment

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Matějíček, Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13. 8. 2015

Podpis

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Luboši Matějíčkovi, Ph.D. za velmi cenné rady, ochotu a trpělivost při konzultacích a zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

Abstrakt **7**

Abstract **8**

Seznam použitých zkratek **10**

1. Úvod **11**

2. Historie jaderné energetiky **11**

3. Historie jaderné energetiky v ČSSR **12**

3.1 Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice 12

3.2. Jaderná elektrárna Mochovce 14

4. Jaderné elektrárny v České republice **15**

4.1. Jaderná elektrárna Dukovany 15

4.1.1. Historie 16

4.1.2. Technické parametry 16

4.1.3. Bezpečnost 17

4.1.4. Vodní dílo Dalešice na řece Jihlava 17

4.2. Jaderná elektrárna Temelín 17

4.2.1. Historie 17

4.2.2. Technické parametry 18

4.2.3. Bezpečnost 18

4.2.4. Vodní dílo Hněvkovice 18

4.2.5. Česko-rakouské vztahy 19

5. Energetický mix České republiky **19**

6. Jaderné elektrárny **21**

6.1. Princip jaderné elektrárny 21

6.2. Jaderné reaktory 21

6.2.1. Palivo 22

6.2.2. Moderátor 23

6.2.3. Absorbátor 23
6.2.4. Chladivo 24
6.2.5. Typy jaderných reaktorů 24
7. Jaderný odpad 27
7.1. Nízko aktivní odpad (Low level waste) 27
7.2. Středně aktivní odpad (Intermediate level waste) 27
7.3. Vysoce aktivní odpad (High level waste) 27
8. Vliv jaderné energetiky na životní prostředí 28
8.1. Radiační zatížení 28
8.2. Tepelné znečištění 32
8.3. Jaderné elektrárny a oxid uhličitý 33
9. Nakládání s radioaktivním odpadem v České republice 34
9.1. Nízko a středně radioaktivní odpad 34
9.2. Vysoce radioaktivní odpad 35
9.2.1. Mezisklad vyhořelého paliva Dukovany 36
9.2.2. Mezisklad vyhořelého paliva Temelín 37
9.3. Hlubinné úložiště 37
10. Havárie jaderných elektráren 37
10.1. Havárie v JE Jaslovské Bohunice 38
11. Tepelné elektrárny 38
11.1. Vliv na životní prostředí 39
12. Vodní elektrárny 41
12.1. Vliv na životní prostředí 41
13. Solární elektrárny 42
13.1. Vliv na životní prostředí 42
14. Větrné elektrárny 43
14.1. Vliv na životní prostředí 43

14.1.1. Hluk 43
14.1.2. Vliv na volně žijící živočichy 44
15. Dotazníkový průzkum 44
16. Vyhodnocení dotazníku 45
17. Závěr 52
18. Seznam literatury 54

Abstrakt

Cílem mé práce je zhodnotit vlivy jaderných elektráren při běžném provozu na životní prostředí v České republice a porovnat je s vlivy ostatních druhů elektráren jako jsou tepelné uhelné elektrárny, vodní elektrárny, solární elektrárny a větrné elektrárny.

Vzhledem ke stále rostoucí spotřebě elektrické energie se jaderné elektrárny ukazují jako vhodné řešení. Díky svému instalovanému výkonu se jaderné elektrárny s energií získanou pomocí obnovitelných zdrojů nedají srovnávat. Porovnávat vlivy na životní prostředí různých způsobů získávání elektrické energie je velmi složité. Jakýkoli zásah do přírody krajinu ovlivňuje. Velkou výhodou obnovitelných zdrojů je, že nevypouštějí žádné emise, ale jejich instalovaný výkon nepostačuje na rostoucí spotřebu elektrické energie. Naopak tepelné uhelné elektrárny mají dostatečný instalovaný výkon, ale produkují velké množství emisí do ovzduší včetně skleníkových plynů a výrazně tak ovlivňují životní prostředí.

Vlivy jaderných elektráren na životní prostředí nejsou tak zásadní, jak se někteří lidé domnívají. Naopak jaderná energetika přispívá ke snižování skleníkový plynů, hlavně oxidu uhličitého. Radioaktivní látky v menší míře unikají, ale jejich únik je velmi přísně kontrolovaný a monitorovaný. Lidské zdraví ani životní prostředí není ohroženo. Největší část radioaktivního odpadu vznikajícího při provozu jaderné elektrárny tvoří vyhořelé jaderné palivo. Toto vyhořelé jaderné palivo je bezpečně ukládáno v meziskladech vyhořelého paliva a následně v hlubinných úložištích. Zvolením tohoto postupu jsou minimalizovány negativní vlivy na životní prostředí.

Součástí mé bakalářské práce je dotazník, který měl zjistit povědomí veřejnosti o jaderné energetice v České republice. Z dotazníku vyplývá, že s rostoucím vzděláním respondentů povědomí o jaderné energetice roste, stejně jako jejich zájem o její rozvoj. Naopak obava z negativního vlivu na životní prostředí či případné havárie s rostoucím vzděláním respondentů klesá. Tato obava vyplývá například z toho, že respondenti se základním vzděláním jsou proti výstavbě nových bloků v JE Temelín a v JE Dukovany a nepreferují možnost bydliště v blízkosti jaderných elektráren. Navzdory těmto obavám se respondenti se základním vzděláním stejně jako respondenti se středoškolským a vysokoškolským vzděláním shodli v tom, že má jaderná energetika v budoucnu v České republice velký potenciál.

Klíčová slova: jaderná energetika, Česká republika, životní prostředí

Abstract

The aim of this thesis is to evaluate the impact of a nuclear power plant during normal operation on the environment in the Czech Republic, and to compare it with the impact of other types of power plants such as coal-fired power plant, hydroelectric power plant, wind farm or solar power plant.

Considering the continuous increase in consumption of the electric energy, nuclear power plants seem like a suitable solution. Due to its installed capacity, we can hardly compare it to the energy generated from renewable sources. Comparison of the environmental impact of various types of power stations is very complicated. Any interference with the environment influences the natural landscape. Major advantage of renewable sources is that they do not emit emissions, however, their installed capacity is not big enough to fulfil the increasing consumption of the electric energy. On the contrary, coal-fired power plants a sufficient installed capacity, however, they produce high level of emissions into the air, including greenhouse gasses, and therefore significantly influence the environment.

The impact of nuclear power plantations on the environment is not as serious as some people assume. In fact, nuclear energy contributes to a reduction of the level of greenhouse gasses, mainly of the carbon dioxide. Radioactive substances do escape in a small degree, however, their escape is strictly controlled and monitored. Human health and the environment are not in danger. The largest part of a radioactive waste created during the operation of the nuclear power plant is a spent nuclear fuel. The spent nuclear fuel is safely stored in an interim storage of a spent fuel and subsequently moved into a deep geological repository. By choosing this process, the negative impact on the environment is minimized.

Part of my thesis is a questionnaire that focused on researching the level of public knowledge about the nuclear power in the Czech Republic. The findings of the questionnaire show that with increasing educational level of respondents, the knowledge of nuclear energy increases, along with their interest about its development. Furthermore, fear of a negative impact on the environment or possible accidents decreases with higher educational level of respondents. This fear is based on, for example, that respondents with only primary education are against construction of new sectors of the Temelin and TE Dukovany and prefer not to live near nuclear power plants. Despite these worries, respondents with a primary education as well as

respondents with a secondary and higher education agreed that the nuclear power has a great future potential in the Czech Republic.

Keywords: Nuclear power industry, Czech Republic, environment

Seznam použitých zkratek

ČEZ, a. s. – České energetické závody

ČR - Česká republika

ČSSR - Československá socialistická republika

EIA - Posuzování vlivů na životní prostředí (z angl. Environmental Impact Assessment)

EU - Evropská unie

JE - Jaderná elektrárna

SSSR - Svaz sovětských socialistických republik

USA - Spojené Státy Americké

β - záření beta

γ - záření gama

1. Úvod

Energie, slovo pocházející z řeckého „energeia“, které znamená vůle, síla či schopnost k činům (Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016). Vyskytuje se v mnoha různých formách. Je známa energie mechanická, tepelná, elektrická, chemická, jaderná a další různé formy. Energie může přecházet z jedné formy do druhé konáním práce (Encyclopaedia Britannica).

Zdroje elektrické energie můžeme rozdělit na zdroje obnovitelné a neobnovitelné. Jaderná energetika patří společně s energetikou využívající jako zdroj tepla fosilní paliva ke zdrojům neobnovitelným. Mezi obnovitelné zdroje elektrické energie můžeme zařadit solární, vodní a větrnou energetiku aj. (EIA, 2015b)

V dnešní době si už ani nedovedeme představit život bez neustálého a neomezeného přístupu k elektrické energii. Bereme to jako samozřejmost, ale kdo z nás se zamýšlí nad vlivy výroby elektrické energie na životní prostředí?

V dnešní době máme více možností, jak elektrickou energii získávat. Každá metodika má své klady a své zápory, své příznivce i své odpůrce.

Cílem mé bakalářské práce je zjistit vlivy běžného provozu jaderných elektráren v České republice na životní prostředí a porovnat je s vlivy běžného provozu některých ostatních druhů elektráren provozovaných na území České republiky.

V praktické části mé práce je cílem zjistit úroveň povědomí široké veřejnosti v České republice o problematice jaderné energetiky.

2. Historie jaderné energetiky

Důležitý milník v oblasti jaderné energetiky bylo vědecké poznání o jaderném štěpení. Věda zabývající se jaderným zářením a jaderným štěpením byla vyvinuta v letech 1895-1945, přičemž největší pokrok v této oblasti byl v posledních šesti letech (World Nuclear Association, 2014).

V roce 1938 němečtí chemikové Fritz Strassmann a Otto Hahn ve spolupráci s rakouskou fyzičkou Lise Meitnerovou a jejím synovcem Ottem Robertem Frischem díky výzkumu přišli na to, že pokud izotop uranu 235 (^{235}U) ozařují pomocí neutronů, mezi produkty se objeví baryum (Ba), z čehož plyne, že se jádro rozštěpilo (World Nuclear Association, 2014, August, P. et al., 2001).

Roku 1939 Strassmann a Hahn zjistili, že kromě toho, že štěpení uvolňuje energii, se zároveň uvolňují neutrony, které mohou štěpit další jádra, a tím může dojít k soběstačné řetězové štěpné reakci, při které se uvolní obrovské množství energie. Na toto zjištění navazoval objev italského fyzika Enrica Fermiho, který ukazuje, že při štěpné reakci je štěpení jádra mnohem pravděpodobnější, pokud emitované neutrony mají nižší rychlost. Té se dá docílit použitím vhodného moderátoru, který rychlost neutronů sníží. Za vhodný moderátor označil látku, která obsahuje větší počet atomů vodíku. Přišel na to při pokusu, kdy ozařovaný kov obalil v parafínu, a ten potom vykazoval stonásobně větší radioaktivitu. Tento pokus poté vyzkoušel pod vodou, a výsledky tohoto pokusu potvrdily jeho domněnky (World Nuclear Association, 2014, August, P. et al., 2001).

Mimo jiné to byl právě on, kdo zjistil, že je mnohem výhodnější ozařovat jádra neutrony místo protony. (World Nuclear Association, 2014, August, P. et al., 2001)

Enrico Fermi se do dějin zapsal také jako první člověk, který vlastnoručně nastartoval první řízenou řetězovou reakci. Bylo to 2. prosince 1945 v Chicagu. (August, P. et al., 2001)

Teprve od roku 1945 se využití štěpných reakcí orientovalo na výrobu energie. V letech 1939-1945 se pozornost zaměřovala na jaderné zbraně (World Nuclear Association, 2014).

První jaderný experiment, který měl za cíl výrobu energie, se uskutečnil 20. prosince 1951 v americkém Idahu pod vedením W. Zinna. Reaktor EBR-I (Experimental Breeder Reactor I) při tomto experimentu rozsvítil čtyři žárovky (Osička, J., 2012; Lidová Universita, 1957).

První jaderná elektrárna, která byla uvedena do provozu, byla v SSSR ve městě Obninsk. Následovaly ji roku 1956 jaderné elektrárny Calder Hall ve Velké Británii a roku 1957 Shippingport v USA (Osička, J., 2012).

K 1. prosinci 2015 je ve 30 státech světa 439 jaderných reaktorů a v dalších 14 zemích jich je 64 ve výstavbě. Celkově se ve světě předběžně uvažuje o výstavbě dalších 329 bloků (ČEZ, a. s., 2016).

3. Historie jaderné energetiky v ČSSR

3.1 Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice

JE Jaslovské Bohunice byla první jadernou elektrárnou na území tehdejšího Československa. Nachází se na území dnešního Slovenska, přesněji u obce Jaslovské Bohunice, asi 20 km od krajského města Trnava.

Nejedná se zde pouze o jednu elektrárnu, ale na tomto území se nachází tři jaderné elektrárny. Každá ze tří elektráren má své označení. Jedná se o A1 s jedním reaktorem, V1 a V2 obě dvě se dvěma reaktory (Atom Info, 2015; Pro Atom Web, 2007; Jaslovské Bohunice, 2012).

Jako první začala výstavba elektrárny označované jako A1. Rozhodnutí o výstavbě padlo roku 1956 a roku 1958 se začalo stavět.
Pro A1 byl navržen nový, nevyzkoušený reaktor KS-150 (A1). Byl vyroben v Československu a nikdy nebyl použit v jiné jaderné elektrárně. Reaktor KS-150 byl zvláštní tím, že byl konstruován na neobohacený uran a jako palivo se využíval přírodní uran. Jako moderátor se používala těžká voda (D_2O) a chladilo se oxidem uhličitým (CO_2) (Atom Info, 2015; Pro Atom Web, 2007; Jaslovské Bohunice, 2012).
Vzhledem k náročnosti jak technologické, tak finanční se stavba protáhla až do roku 1972. Výkon elektrárny přinesl rozvodné síti 110 MW (Atom Info, 2015; Pro Atom Web, 2007; Jaslovské Bohunice, 2012).
Již od začátku provozu elektrárny doprovázely její provoz technické potíže. Během pěti let svého provozu byl blok více než třicetkrát odstaven. Tyto potíže nebyly jedinou slabou stránkou elektrárny. Do historie se zapsaly také dvě jaderné havárie v letech 1976 a 1977. Havárie roku 1977 byla přelomová. Škody po havárii nebyly neopravitelné, ale vláda ČSSR se v roce 1979 usnesla na úplném odstavení bloku, a to vzhledem k problematickému chodu a neustálým finančním výdajům (Atom Info, 2015; Pro Atom Web, 2007; Jaslovské Bohunice, 2012).

Roku 1970 byla podepsána smlouva mezi ČSSR a SSSR o vybudování dalších dvou jaderných elektráren na území Československa. Jako první vybraná lokalita byly Jaslovské Bohunice a jako druhá jihomoravské Dukovany (Jaslovské Bohunice, 2012).
Výstavba začala roku 1972 a první reaktor bloku V1 byl na rozvodnou síť byl připojen roku 1978. Druhý reaktor bloku V1 ho následoval o dva roky později, tedy roku 1980. Do československé rozvodné sítě bylo v tuto dobu díky bloku V1 dodáváno 4,5% elektrické energie. Dostavba a připojení na rozvodnou síť bloku V2 se díky změně projektu opozdilo. Změna projektu spočívala v použití modernějších reaktorů. První reaktor byl spuštěn roku 1984 a roku 1985 ho následoval i druhý reaktor (Jaslovské Bohunice, 2012).
V případě bloku V1 byl použit reaktor VVER-440 typ 230. Zkratka VVER znamená Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor (August, P. et al., 2001). Jedná se o tlakovodní reaktor.

Původně byl vyvinut v USA, proto se můžeme setkat s označením PWR neboli Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor. Koncepci USA později převzalo právě Rusko (August, P. et al., 2001). V případě tohoto reaktoru se jako palivo používá obohacený uran. Uran se obohacuje tabletkami oxidu uraničitého (UO_2). Jako chladivo a zároveň i jako moderátor se v tomto typu reaktoru využívá obyčejná voda. Voda je zde pod velkým tlakem a její teplota se pohybuje kolem 300 °C (Pro Atom Web, 2007; August, P. et al., 2001).

Po rozdělení Československa nebylo k jaderné energetice přistupováno tak pozitivně. Negativní postoj zaujímali především občané Rakouska a členové organizace Greenpeace. Jejich protesty byly mířeny především proti prvnímu a druhému reaktoru bloku V1. Z tohoto důvodu byla provedena rekonstrukce obou reaktorů. Rekonstrukce proběhla ve dvou etapách: První rekonstrukce byla provedena v letech 1991-1993 a byla označována jako malá rekonstrukce. Následovala ji rekonstrukce postupná, která proběhla v letech 1996-2000. Celá rekonstrukce vyšla společnosti Slovenské elektrárne a. s., na 10 miliard slovenských korun. Přesto byly oba dva reaktory bloku V1 v letech 2006 a 2008 odstaveny z provozu. Stalo se tak pod nátlakem z EU a ze strany Rakouska (Pro Atom Web, 2007).
V současné době je v provozu pouze elektrárna V2. Od roku 1987 elektrárna zásobuje okolí nejen elektřinou, ale také teplem, a to obce Leopoldov, Hlohovce a okresní město Trnava (Pro Atom Web, 2007).
Na obou blocích proběhly v letech 2000-2010 modernizace ve výši 500 mil. eur. Tato modernizace vedla ke zvýšení výkonu na 505 MW na obou blocích (Slovenské elektrárny, a. s., a).

3.2. Jaderná elektrárna Mochovce

JE Mochovce se nachází na území bývalé obce Mochovce, v jižním Slovensku v okrese Levice. Obec Mochovce se roku 1990 spojila s obcí Kalná pod Hronom (Wikipedia, 2015).

Stavba začala v roce 1982 výstavbou prvního a druhého bloku. Stavbu provázely finanční problémy, a tak byla v roce 1991 pozastavena a obnovena byla až v roce 1995. Do provozu byly bloky uvedeny postupně, a to v letech 1998 první blok a druhý blok v roce 2000 (Slovenské elektrárne, a. s., b).
Jako reaktor se v obou blocích požil tlakovodní reaktor VVER-440 typ 213. V roce 2008 byl původní výkon 440 MW zvýšen na 470 MW u obou bloků (Slovenské elektrárne, a. s., b).

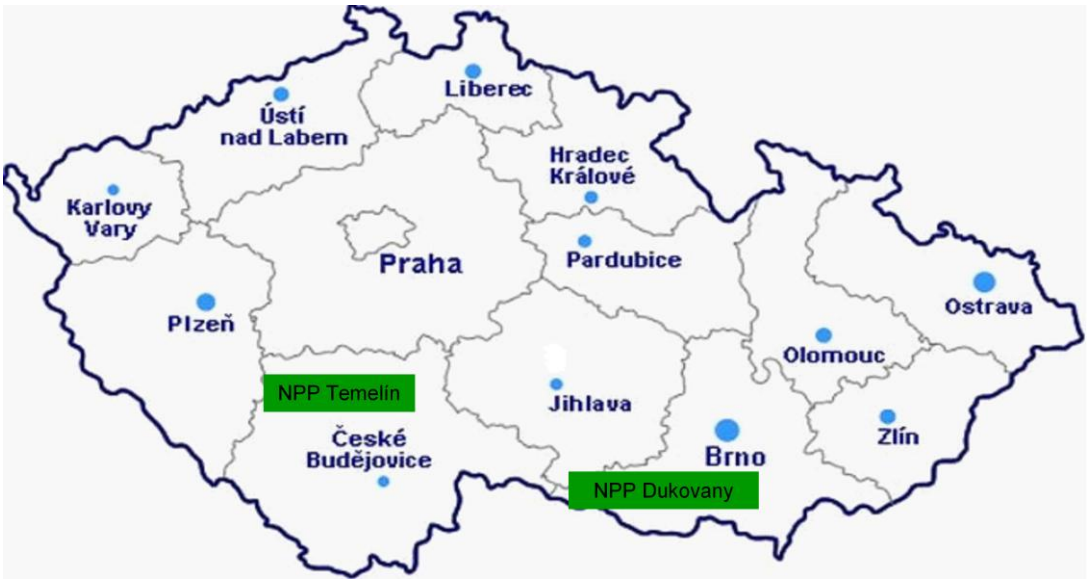
Výstavba třetího a čtvrtého bloku byla zahájena o pět let později než výstavba prvních dvou bloků, tedy v roce 1987. Jak už bylo zmíněno, roku 1991 došlo k pozastavení stavebních prací elektrárny z důvodu finančních problémů. K obnovení stavebních prací v případě těchto bloků došlo o něco později než v případě prvního a druhého bloku, a to až v roce 2008 (Slovenské elektrárne, a. s., b). Dodnes stavba nebyla dokončena a její dostavba se stále posouvá. Aktuálně je dostavba třetího bloku naplánovaná na rok 2016 a čtvrtého bloku na rok 2017 (Slovenské elektrárne, a. s., c).

Také zde by měl být využit jaderný reaktor VVER-440 typ 213 s výkonem každého bloku 471 MW, čímž by každý blok přispěl do rozvodné sítě 13% z celkové spotřeby elektrické energie na Slovensku (Slovenské elektrárne, a. s., c).

4. Jaderné elektrárny v České republice

V ČR jsou v současné době dvě jaderné elektrárny, a to JE Temelín a JE Dukovany. Provozovatelem obou jaderných elektráren je nyní ČEZ, a. s.

Obrázek 1: Umístění jaderných elektráren Temelín a Dukovany



Zdroj: IAEA, 2014

4.1. Jaderná elektrárna Dukovany

JE Dukovany je první elektrárnou tohoto typu v ČR. Leží asi 30 km jihovýchodně od Třebíče v trojúhelníku mezi obcemi Dukovany, Slavětice a Rouchovany.

4.1.1. Historie

Stavba první JE na území dnešní ČR měla být zahájena v roce 1974, ale díky změnám v projektu byla stavba posunuta na rok 1978 (Blažková, I., 2008). Důvodem změny projektu bylo použití modernějších reaktorů, přesněji reaktor VVER 440 typ 213 místo zastaralého typu VVER 440 typ 230 (Oenergetice.cz, 2016). Výstavbě elektrárny předcházelo podepsání mezivládní dohody mezi tehdejším Československem a SSSR o výstavbě dvou jaderných elektráren s výkony 1760 MW v roce 1970 (ČEZ, a. s., b).

Hlavními dodavateli komponentů byly české firmy Škoda Plzeň a Vítkovice. Reaktor a turbíny dodala firma Škoda Plzeň a parogenerátor firma Vítkovice (Oenergetice.cz, 2016).

Uvedení do provozu prvního reaktorového bloku proběhlo 4. května 1985 a posledního 20. července 1987 (Blažková, I., 2008).

Postupem času prošly jednotlivé bloky elektrárny modernizací, poslední byla dokončena v květnu roku 2012 a místo původního elektrického výkonu 1760 MW dodává elektrárna 2040 MW. Celková cena výstavby se vyšplhala na 25 mld. Kč (Oenergetice.cz, 2016).

4.1.2. Technické parametry

V JE Dukovany pracují čtyři reaktory. Jedná se o reaktor typu VVER-440 typ 213, který se řadí mezi lehkovodní reaktory. Jako chladivo a moderátor se v tomto typu reaktoru požívá obyčejná voda (August, P. et al., 2001). Jako palivo zde slouží oxid uraničitý obohacený průměrně o 3,82% izotopem ^{235}U. Toto palivo je ve formě 349 palivových článků, přičemž každý článek se skládá ze 126 palivových proutků. Palivo dodává ruská firma TVEL. V JE Dukovany se uplatňuje čtyřletý palivový cyklus (Blažková, I., 2008).

Elektrárna je tvořena dvěma hlavními bloky. V každém hlavním bloku jsou dva reaktory a související zařízení jako jsou například strojovny s turbínami a generátory (Oenergetice.cz, 2016).

JE Dukovany je dvouokruhová elektrárna. Chladicí voda primárním okruhu odvádí a předává teplo do sekundárního okruhu v parogenerátoru, kde se voda přeměňuje na páru, která slouží k pohonu turbíny. Každý reaktor je opatřen dvěma turbínami a v celé JE jich je osm. V kondenzátorech za turbínami pára opět kondenzuje na vodu. Kondenzátory jsou napájený terciárním chladícím okruhem, který je vyveden do chladicích věží. Voda se zde ochlazuje přirozeným tahem vzduchu. Je zde celkem osm chladicích věží a ke každému bloku náleží dvě věže (Blažková, I., 2008).

4.1.3. Bezpečnost

Kontejnment jako bezpečnostní prvek v elektrárně chybí. Neznamená to ale, že elektrárna není dostatečně chráněna. Bezpečnost je zajištěna hermetickým boxem a v případě havárie nastupuje systém barbotáží (Oenergetice.cz, 2016).

V listopadu roku 2014, byla v JE Dukovany provedena kontrola mezinárodním týmem odborníků v čele s Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE, angl. zkratka IAEA – International Atomic Energy Agency). Kontrola byla provedena na základě žádosti společnosti ČEZ, a. s. a byla zaměřena na bezpečný dlouhodobý provoz čtyř reaktorů této elektrárny.

Tým odborníků zde zaznamenal řadu osvědčených a správných postupů, ale také oblasti, pro které podali návrhy na zlepšení provozní bezpečnosti. To se týkalo například toho, aby příslušné dokumenty, údaje a poznatky byly systematicky přezkoumávány, archivovány a šířeny (IAEA, 2014).

4.1.4. Vodní dílo Dalešice na řece Jihlava

V letech 1970 až 1978 vzniklo v blízkosti JE Dukovany na řece Jihlava vodní dílo Dalešice. Skládá se z nádrže v Dalešicích, vyrovnávací nádrže Mohelno, přečerpávací elektrárny Dalešice a průtočné vodní elektrárny Mohelno.

Nádrž Dalešice je používána jako zásobárna technologické vody pro JE Dukovany a dále vytváří spád pro přečerpávací vodní elektrárnu Dalešice. Tato elektrárna díky svému výkonu a schopnosti najetí na plný výkon za 60 sekund, slouží i jako okamžitá poruchová rezerva. Mimo to se podílí na výrobě elektrické energie ve špičkách (ČEZ, a. s., c).

4.2. Jaderná elektrárna Temelín

Jako druhá JE na území dnešní ČR byla vystavěna JE Temelín. JE Temelín leží v jižních Čechách v obci Temelín nedaleko města Týn nad Vltavou (ČEZ, a. s., d).

4.2.1. Historie

Výstavba JE Temelín začala v únoru roku 1987. Samotné výstavbě předcházely přípravné práce, které probíhaly již od roku 1983. O tom, že se jaderná elektrárna vybuduje, bylo rozhodnuto již v roce 1980. V původním plánu se počítalo, že se JE Temelín bude skládat ze čtyř bloků. Po listopadu roku 1989 došlo ke změnám plánu, a to hlavně z důvodu nových

ekonomických a politických podmínek. Z původně naplánovaných čtyř bloků mělo dojít k výstavbě pouze bloků dvou. O výstavbě pouze dvou bloků rozhodla Vláda ČR v roce 1993. Vzhledem k náročnosti stavby se termín dokončení stále posouval. Nakonec byla JE Temelín dostavěna až v roce 2000 a ještě v tomto roce JE Temelín vyrobila první elektřinu (ČEZ, a. s., d).

4.2.2. Technické parametry

V JE Temelín pracují dva reaktory, umístěné ve dvou blocích. Jedná se o reaktory typu VVER-1000 typ V320 (ČEZ, a. s., d). Také tento reaktor vyrobila firma Škoda Plzeň. Jako palivo se v tomto typu reaktoru využívá přírodní uran obohacený izotopem ^{235}U, a to v rozmezí 3-4%. Palivo je tvořeno ze 163 palivových kazet, přičemž každá kazeta se skládá z 312 proutků (August, P., et al., 2001). Palivo nejprve dodávala americká firma Westinghouse, ale později se přešlo ke stejnému dodavateli, jako tomu je u JE Dukovany, k ruské firmě TVEL (Oenergetice.cz, 2015).

I v tomto reaktoru se jako chladivo a moderátor používá obyčejná voda (August, P., et al., 2001).

Také JE Temelín je dvouokruhová jaderná elektrárna. Celkový instalovaný elektrický výkon je 2110 MW (SÚJB, 2014).

4.2.3. Bezpečnost

U JE Temelín bezpečnost mimo jiné zajišťuje kontejnment, který v JE Dukovany není. Kontejnment je železobetonová konstrukce, ve které je umístěn celý primární okruh JE a další bezpečnostní a pomocná zařízení.

Kontejnment má válcovitý tvar a jeho stěny mají tloušťku 1,2 m a navíc jsou zevnitř pokryty vrstvou nerezové oceli. Tato vrstva nerezové oceli je 8 mm silná a brání úniku radionuklidů a zároveň celý kontejnment hermeticky uzavírá. Svrchní část kontejnmentu je zakončená kopulí, jejíž tloušťka je jen o 10 cm slabší než stěny válcovité části kontejnmentu (ČEZ, a. s., e).

4.2.4. Vodní dílo Hněvkovice

Vodní dílo Hněvkovice bylo vytvořeno v letech 1986 – 1992. Vodní dílo slouží jako zásobárna technologické vody pro JE Temelín.

Součástí tohoto vodního díla je malá vodní elektrárna s instalovaným výkonem 2 x 4,8 MW (ČEZ, a. s., f).

4.2.5. Česko-rakouské vztahy

JE Temelín leží asi 60 km od česko-rakouských hranic. Rakousko jako stát je proti výstavbám a provozování jaderných elektráren. Tento postoj byl potvrzen v celostátním referendu v roce 1978, ve kterém se rozhodlo o uzavření jediné jaderné elektrárny v Rakousku. Vzhledem k tomu, že se Rakousko staví k jaderným elektrárnám negativně, protestovalo i proti výstavbě JE Temelín. Vše se ještě více rozvířilo s blížícím se vstupem ČR do EU. Až 92% Rakušanů bylo pro, aby byl vstup ČR do EU spojen s uzavřením JE Temelín. Rakouští občané bojkotovali dostavbu a zprovoznění JE Temelín například blokádami hranic na několik dní. Rakouská vláda svůj nesouhlas potvrdila v říjnu 2000, kdy oznámila rozhodnutí bojkotovat českou elektřinu (Fawn, R., 2006).

ČR přesto neustoupila a na dostavbě JE Temelín trvala. ČR se nechtěla vracet k rozsáhlému využívání hnědého uhlí v tepelných uhelných elektrárnách. V ČR nebyly a nejsou podmínky pro získávání elektrické energie ve větší míře z obnovitelných zdrojů. Právě jaderné elektrárny přispívají do energetického mixu ČR velkým dílem (Fawn, R., 2006).

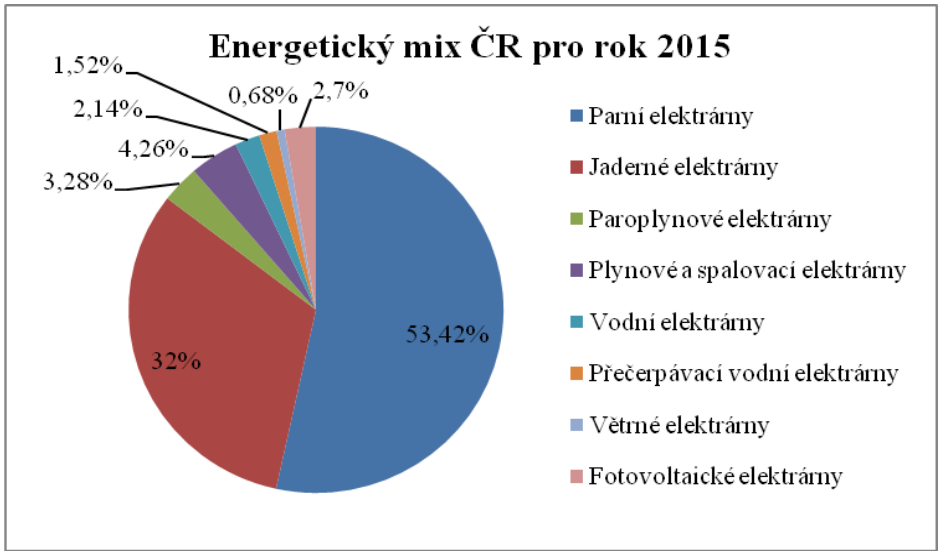
Vztahy mezi oběma státy měl za úkol zklidnit tzv. Protokol z Melku. Účastněni byli evropský komisař Günter Verheugen a rakouský a český premiér. V tomto procesu se jednalo o jaderné bezpečnosti JE Temelín, jejím vlivu na životní prostředí, připravenosti na havárie apod. Další schůzka proběhla 29. listopadu 2001 v Bruselu, kde byl přijat dokument Závěry melkského procesu a následná opatření, se kterým se můžeme setkat také pod názvem tzv. Bruselský protokol (SÚJB, a).

5. Energetický mix České republiky

Podíl elektrické energie získané v jaderných elektrárnách v energetickém mixu ČR stále roste stejně jako například energie získaná pomocí obnovitelných zdrojů. Naopak podíl energie získané pomocí tepelných uhelných elektráren je na ústupu a na energetickém mixu se podílejí stále menším podílem (Economia, a. s., 2013).

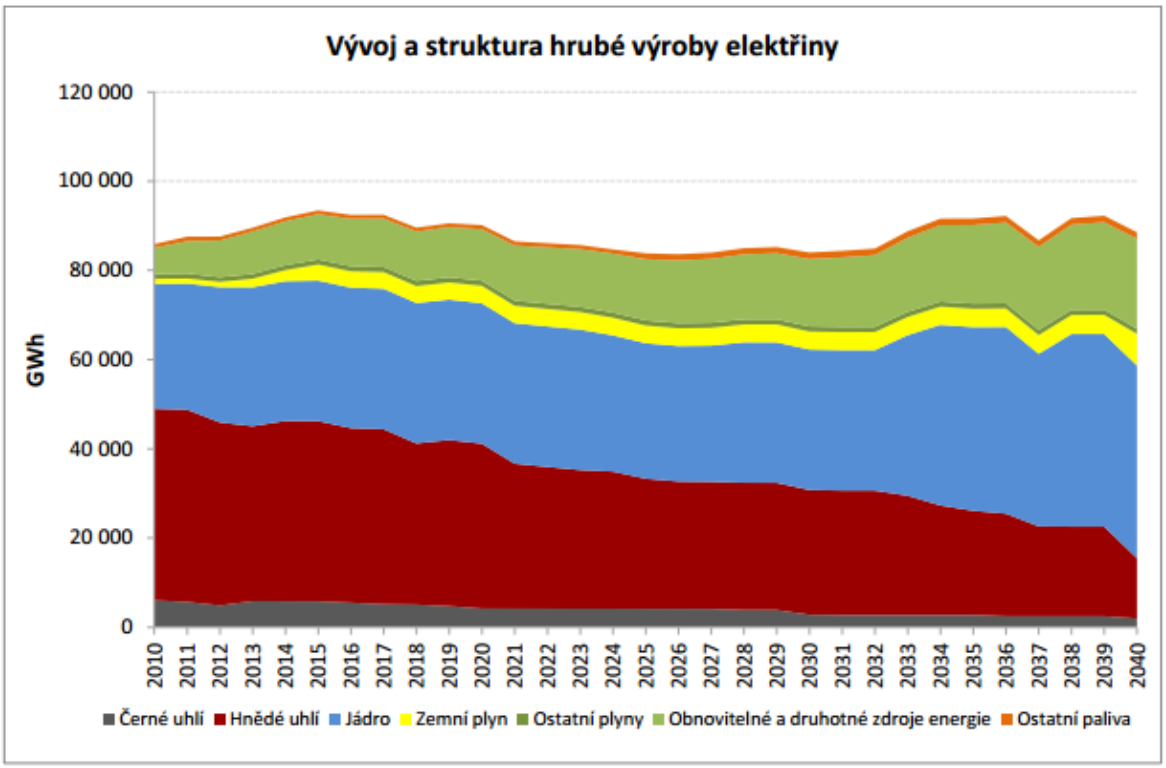
Na energetický mix ČR v roce 2015 se můžeme podívat na grafu č. 1.

Graf 1: Energetický mix ČR pro rok 2015



Zdroj: ERÚ, 2016

Graf 2: Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny



Zdroj: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2014

Dle Státní energetické koncepce aktualizované a schválené 18. května 2015 bude celková výroba elektřiny stoupat (Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2014).

Vzhledem k zahájení provozu nových jaderných bloků se jaderné elektrárny budou na celkové výrobě elektřiny podílet stále větší částí. V plánu je výstavba alespoň jednoho nového reaktoru v JE Temelín i v JE Dukovany. Přednost ve výstavbě nového reaktoru bude mít JE Dukovany vzhledem k ukončení provozu prvního ze čtyř reaktorů v roce 2035. V dlouhodobějším horizontu se počítá se čtyřmi novými reaktory na obou místech (Mitev, L., Zavodsky, P., 2015).

Stejně tomu bude u elektrické energie získané pomocí obnovitelných zdrojů a zemního plynu, kdy podíl energie získané tímto způsobem bude také narůstat.

Naopak podíl energie získané v tepelných uhelných elektrárnách bude stále klesat, a to hlavně z důvodu odstavováním zastaralých tepelných uhelných elektráren z provozu v letech 2016 – 2025 (Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2014).

6. Jaderné elektrárny

6.1. Princip jaderné elektrárny

Principem JE je přeměna mechanické energie na energii elektrickou, což je stejný princip jako u ostatních elektráren kromě elektráren solárních. Rozdíl mezi JE a tepelnými elektrárnami spočívá ve zdroji tepla, potřebného k přeměně vody na páru.

V JE dochází ke vzniku tepla v aktivní zóně jaderného reaktoru pomocí řízené řetězové štěpné reakce izotopu uranu. Při této řetězové reakci neutrony štěpí jádra izotopu ^{235}U za vzniku 2-3 neutronů, které dále štěpí další jádra izotopu uranu. Zároveň se při této reakci uvolňuje velké množství tepelné energie. Tato energie se využije v podobě tepla a chladivem se odvede do parogenerátoru. Tím končí primární okruh a následuje okruh sekundární. Vzniklá pára pohání lopatky turbíny, které roztáčí generátor elektrického proudu (August, P. et al., 2001).

6.2. Jaderné reaktory

Jaderné reaktory jsou zařízení, která generují tepelnou energii pomocí řízené štěpné jaderné reakce (Bečvář, J. a kol., 1975).

Ve většině případů se jedná o válcovitou nádobu odolnou vůči vysokým teplotám, tlakům a intenzivnímu toku neutronů. Mezi hlavní součásti reaktoru patří palivo, moderátor, absorbátor a chladivo (August, P. et al., 2001).

6.2.1. Palivo

Jako palivo v jaderných elektrárnách se využívá hlavně v přírodě dostupný uran a thorium. Jedná se o izotopy těchto prvků, v případě uranu se jedná o izotop 235 a 238 a u thoria (Th) o izotop 232, který je však pro štěpení vhodný až po transmutaci na ^{233}U (Ünak, T., 2000). Uran i thorium se vyskytují v půdách a ve všech horninách, těží se ale hlavně v uranových a thoriových rudách. Nejvíce vytěženého uranu pochází z rud v Kazachstánu, Kanady a Austrálie. Tyto tři země zajišťují více než dvě třetiny z celkové produkce uranu. Také ČR významně přispívá k produkci uranu. V následující tabulce je přehled vytěženého uranu v tunách v jednotlivých zemích. (Wagner V., 2008)

Jako další prvek využívaný jako jaderné palivo můžeme uvést plutonium (Pu), které se však v přírodě téměř nevykytuje, ale je možné jej vyrábět z izotopu ^{238}U. Tím vzniká štěpný izotop ^{239}Pu, který má podobné využití jako štěpný izotop ^{235}U. Plutonium je zároveň obsaženo ve vyhořelém jaderném palivu (Ünak, T., 2000).

Tabulka 1: Produkce uranu vybraných zemí (tuna)

Země	2013	2014	2015
Kazachstán	22451	23127	23800
Kanada	9331	9134	13325
Austrálie	6350	5001	5672
Niger	4518	4057	4116
Rusko	3135	2990	3055
Namibie	4323	3255	2993
Uzbekistán	2400	2400	2385
Čína	1500	1500	1616
Spojené státy americké	1792	1919	1256
Ukrajina	922	926	1200
Jižní Afrika	531	573	393
Indie	385	385	385
Česká republika	215	193	155
Rumunsko	77	77	77
Pákistán	45	45	45
Brazílie	192	55	40
Francie	5	3	2
Německo	27	33	0
Malawi	1132	369	0

Zdroj: World Nuclear Association, 2016

Vytěžený uran se musí upravit, a to především obohacováním. Obohacování může být v různém procentuálním rozmezí. Nízké obohacení uranu (do 5 %), střední obohacení (do 20%) a vysoké obohacení (do 93%) (Blažková, I., 2008).

Upravený uran se zpracovává a do JE putuje ve formě malých tabletek poskládaných na sobě. Takto naskládané tabletky tvoří proutky o průměru asi 9 mm. Palivové proutky jsou chráněny povlakem, a to hlavně proto, aby nepropouštěly radioaktivní štěpné produkty a zároveň co nejlépe odevzdávaly teplo chladivu. Povlak je nejčastěji tvořen speciálními slitinami, například na bázi zirkonia (Zr). Více proutků pohromadě tvoří samotnou palivovou kazetu, která je součástí aktivní zóny, kde probíhá štěpná reakce (August, P. et al., 2001).

6.2.2. Moderátor

Moderátor neboli zpomalovač může, ale nemusí být součástí jaderného reaktoru. U reaktorů s rychlými neutrony, kdy je štěpitelným izotopem ^{238}U anebo plutonium, moderátor chybí (ČEZ, a.s).

Naopak v případech, kdy dochází ke štěpení pomocí pomalých neutronů, moderátor součástí reaktoru je. Jako moderátor se používají voda, grafit nebo těžká voda (August, P. et al., 2001).

Je také nutné, aby zvolený moderátor absorboval co nejméně neutronů, protože absorbované neutrony již nelze dále ve štěpné reakci využít (Encyklopedie fyziky).

6.2.3. Absorbátor

Absorbátor se v jaderných reaktorech využívá k regulaci jaderné štěpné reakce. Do aktivní zóny reaktoru se vkládá ve formě tyčí. Regulace pak probíhá vytažením či zasunutím tyčí s absorbátorem. V případě nebezpečí, nebo při jakémkoli jiném důvodu, kdy je zapotřebí okamžité zastavení výkonu reaktoru, jsou součástí reaktoru havarijní tyče. Havarijní tyče jsou tyče, ve kterých je koncentrace absorbátoru mnohem větší, než v regulačních tyčích. Tato koncentrace absorbátoru je schopná okamžitého zastavení štěpné reakce v reaktoru (August, P. et al., 2001; ČEZ, a.s.).

Jako absorbátor se nejčastěji využívají následující prvky ať už v čisté formě, ve sloučeninách anebo v disperzích gadolinium (Gd), samarium (Sm), europium (Eu), bor a jeho izotop (B a ^{10}B), kadmium (Cd), indium (In), hafnium (Hf) a stříbro (Ag) (Bečvář, J. a kol., 1975).

6.2.4. Chladivo

Je nutné, aby se z jaderného reaktoru odvádělo teplo a to hlavně z aktivní zóny. Teplo se odvádí také z jiných částí jako je moderátor nebo regulační tyče. Důvodem je, aby nedocházelo k roztavení povlaku na palivovém proutku, a tím k úniku štěpných produktů.

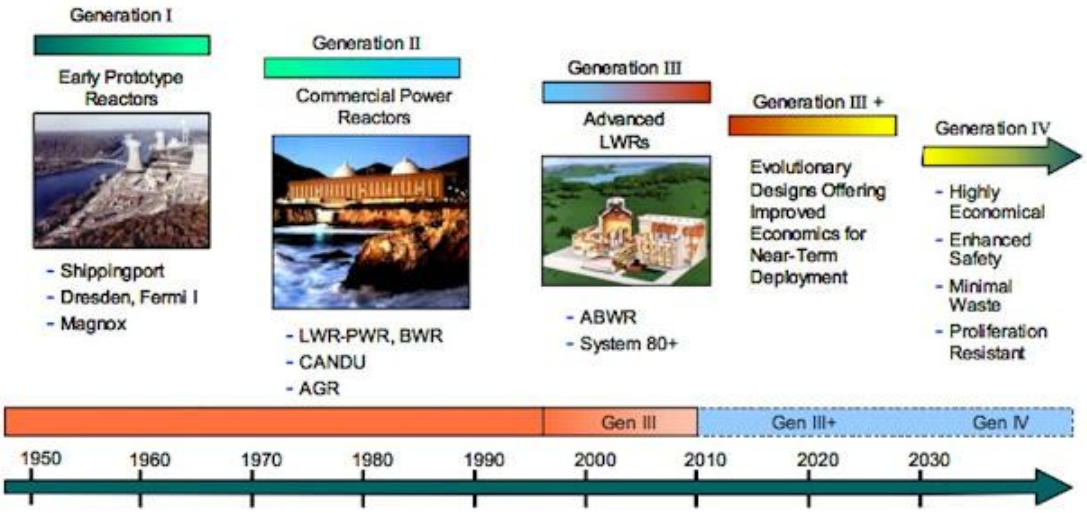
Látka vhodná jako chladivo by měla mít charakteristické vlastnosti, jako jsou například dobré tepelné vlastnosti, tím je myšleno vysoké měrné teplo a vysoká tepelná vodivost. Mezi další vlastnosti patří malá spotřeba energie k pohybu v chladicím systému, vysoký bod varu s nízkou tavící teplotou, velká tepelná stabilita, odolnost proti vlivu záření, nízká korozní agresivita, nízký absorpční průřez a přihlíží se také na nejvýhodnější cenu (Bečvář, J. a kol., 1975).

Mezi nejpoužívanější a nejvhodnější látky, používané jako chladivo patří obyčejná voda (H_2O), těžká voda (D_2O), oxid uhličitý (CO_2), helium (He), sodík (Na) a některé soli a slitiny (August, P. et al., 2001).

6.2.5. Typy jaderných reaktorů

K mírovým účelům se energie vzniklá ze štěpení prvků těžkých jader začala využívat až po 2. světové válce. Od té doby prošly jaderné reaktory velkým vývojem. V dnešní době máme několik druhů jaderných reaktorů lišících se například v palivu, chladivu, absorbátoru aj. Podle období vzniku jaderných reaktorů můžeme reaktory rozdělit do jednotlivých generací. Jedná se o reaktory generace I, generace II, generace III, generace III+ a generace IV (Pane of science, 2013).

Obrázek 2: Generace jaderných reaktorů



Zdroj: Pane of Science, 2013

6.2.5.1. Lehkovodní reaktory (LWR)

Lehkovodní reaktory patří mezi nejpoužívanější reaktory v jaderných elektrárnách (Paschoa, A. S., 2004). Do této skupiny reaktorů patří tlakovodní reaktor – PWR (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor) a varný reaktor – BWR (Boiling Water Reactor) (August, P. et al., 2001). Tyto typy reaktorů patří do generace II.

6.2.5.1.1. PWR

Jedná se o reaktor, který byl vyvinut v USA. Koncepci USA později přebralo SSSR a začalo vyrábět reaktor typu VVER (Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor).

Ve světě pracuje asi 253 těchto reaktorů, což je kolem 57% ze všech světových reaktorů (August, P. et al., 2001).

Jako moderátor a zároveň jako chladivo se v těchto reaktorech využívá obyčejná voda, též nazývána jako lehká voda. Palivem v těchto reaktorech je obohacený uran ve formě oxidu uraničitého (Paschoa, A. S., 2004).

Tento typ reaktoru je použitý právě v JE Temelín a JE Dukovany. Přesněji typy VVER 440, typ 213 v případě JE Dukovany a VVER-1000, typ V320 v případě JE Temelín (August, P. et al., 2001).

6.2.5.1.2. BWR

Tento lehkovodní reaktor je druhým nejpoužívanějším reaktorem ve světě. Ve světě jich je 94, což představuje asi 21%.

Stejně jako v předchozím případě, i zde jako palivo slouží mírně obohacený uran ve formě oxidu uraničitého (August, P. et al., 2001).

6.2.5.2. Těžkovodní reaktory (HWR)

Tyto reaktory byly vyvinuty v Kanadě, proto se můžeme setkat také s termínem „kanadské reaktory“ (Peřina, F., 1976).

Mezi tento typ reaktorů patří reaktory, využívající jako moderátor a jako chladivo těžkou vodu. Jako palivo využívají přírodní uran (Paschoa, A. S., 2004).

Patří sem například reaktor CANDU a také reaktor KS-150, použitý v JE Jaslovské Bohunice.

6.2.5.3. Grafitové reaktory

U těchto reaktorů slouží jako moderátor grafitové bloky. A podle typu se dále dělí na reaktory chlazené plynem, reaktory chlazené vodou a vysokoteplotní reaktory (August, P. et al., 2001).

6.2.5.3.1. Reaktory chlazené plynem

Mezi tyto reaktory patří Magnox GCR (Gas cooled, Graphite Moderated Reactor) a AGR (Advanced Gas cooled, Graphite Moderated Reactor) (August, P. et al., 2001).

Magnox GCR reaktor využívá jako palivo přírodní uran ve formě tyčí, které jsou pokryty oxidem magnezia. Jako moderátor se zde využívá grafit a jako chladivo oxid uhličitý (Paschoa, A. S., 2004).

U reaktoru typu AGR se jako palivo používá obohacený uran izotopem ^{235}U ve formě oxidu uraničitého. Moderátor i chladivo jsou stejné jako u rektoru Magnox GCR, tedy grafit a oxid uhličitý.

V případě reaktoru AGR se jedná o pokročilý, plynem chlazený grafitový reaktor (August, P. et al., 2001).

6.2.5.3.2. Reaktory chlazené vodou

Zástupce tohoto typu reaktoru je RBMK (Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj). Tento typ reaktoru se již nestaví, ale využívá se na území bývalého SSSR.

Jako palivo se zde využívá přírodní nebo slabě obohacený uran ve formě oxidu uraničitého, jako chladivo obyčejná voda a jako moderátor opět grafit (August, P. et al., 2001).

6.2.5.3.3. Vysokoteplotní reaktory

V tomto případě můžeme uvést reaktor HTGR (High Temperature Gas cooled Reactor). Palivem je vysoce obohacený uran ve formě malých kuliček oxidu uraničitého. Tyto kuličky jsou obaleny třemi vrstvami karbidu křemíku a uhlíku a jsou rozptýlené v koulích z grafitu. Grafit má v tomto případě dvě funkce. Funguje jako moderátor a dále jako ochranný obal paliva. Tento obal je tepelně odolný a dále brání úniku vznikajících radioaktivních zbytků. Jako chladivo se zde používá helium.

Tyto reaktory mají velmi vysokou účinnost a také velmi bezpečné parametry. To všechno jsou důvody, díky kterým tento typ reaktorů patří k velmi perspektivním (August, P. et al., 2001).

6.2.5.4. Rychlé množivé reaktory (FBR)

FBR (Fast Breeder Reactor) je jednou z perspektivních cest rozvoje jaderné energetiky (Peřina, F., 1976).

Tento reaktor jako palivo používá plutonium ve směsi oxidu plutoničitého a uraničitého. Vzhledem k vysokým teplotám, které v těchto reaktorech vznikají, není vhodné použití

chladiva, jako jsou těžká nebo lehká voda. Vyzkoušelo se mnoho druhů chladiva a jako nejvhodnější se zvolil tekutý sodík (Peřina, F., 1976).
Moderátor v těchto reaktorech není (August, P. et al., 2001).

7. Jaderný odpad

Jako s každou lidskou činností, také při provozu jaderných elektráren vznikají odpady. V porovnání s ostatními druhy odpadů zaujímají radioaktivní odpady v celkovém množství odpadů jen malou část. Problémem těchto odpadů je jejich radioaktivita. Při provozu vznikají jaderné odpady pevného, plynného i kapalného skupenství, a podle míry radioaktivity dělíme odpady na nízko aktivní, středně aktivní a vysoce aktivní jaderný odpad (World Nuclear Association).

7.1. Nízko aktivní odpad (Low level waste)

Tyto odpady z celkového množství vyprodukovaných odpadů tvoří 90%, ale obsahují pouze 1% celkové radioaktivity.
Mezi tyto odpady patří lehce kontaminované předměty, jako jsou nástroje a pracovní oděvy z provozu jaderných elektráren (World Nuclear Association).

7.2. Středně aktivní odpad (Intermediate level waste)

Středně aktivní odpad tvoří 7% z celkového množství opadů a obsahuje 4% z celkové radioaktivity. Do této skupiny odpadů patří použité filtry, ocelové komponenty z vnitřku reaktorů, chemický kal (World Nuclear Association).

Oba druhy výše zmíněných odpadů se nejprve upravují například lisováním, spalováním, bitumenací což vede ke snížení jejich obsahu. Úpravy zajišťují také změnu jejich chemických či fyzických vlastností. Takto upravené odpady se poté mohou ukládat do hlubinných či povrchových úložišť (Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2001; World Nuclear Association).

7.3. Vysoce aktivní odpad (High level waste)

Z celkového množství odpadů tvoří pouze 3%, ale obsahuje až 95% celkové radioaktivity. Více než 90% tvoří články vyhořelého paliva (World Nuclear Association). Je diskutabilní, zda vyhořelé palivo patří do kategorie odpadů, protože vyhořelé palivo obsahuje ještě 95%

nespotřebovaného uranu a v budoucnu by se mělo stát palivem pro jiný typ elektráren. V současné době toto možné není, proto se vyhořelé palivo po vyjmutí z reaktoru ukládá do chladících bazénů v blízkosti jaderného reaktoru. Poté se vyhořelé palivo ukládá do speciálních kontejnerů a převáží do meziskladů vyhořelého paliva, kde zůstávají několik desítek let, asi 40-50 let. Mezisklady jsou v blízkosti jaderných elektráren. Dalším krokem je buď přepracování vyhořelého paliva, což je velmi nákladné anebo uložení v hlubinných úložištích, kde palivo setrvá až tisíce let, dokud se nestane neaktivním. Vyhořelé jaderné palivo se před uložením do hlubinných úložišť zatavuje do různých druhů skla, keramických materiálů, bitumenu. Důvodem je znemožnit jeho pohyblivost (August, P. et al., 2001).

8. Vliv jaderné energetiky na životní prostředí

Tak jako každý zásah člověka do přírody, i výstavba JE negativně ovlivňuje životní prostředí. Víceméně s každou stavbou souvisí kácení stromů, devastace rostlinstva, plašení zvířat, výstavba nových komunikací a tím znečišťování prostředí dopravou. S jakýmkoliv zásahem zanechává lidstvo v přírodě nelichotivou stopu (Paschoa, A. S., 2004).

Vliv jaderné energetiky na životní prostředí není spojen jen s jejím provozem. Sleduje se také vliv palivového cyklu na životní prostředí. Jedná se o těžbu a úpravu rud, výrobu palivových článků, provoz reaktoru, uložení radioaktivního odpadu, a dopravu mezi jednotlivými částmi palivového cyklu. Dalším negativním vlivem je potřeba velké plochy pro výstavbu jaderné elektrárny. S potřebou této velké plochy souvisí výše popsaná negativa, a to kácení stromů a devastace flóry. Můžeme hovořit také o tom, že výstavba nové JE narušuje ekologickou stabilitu prostředí (Hermansky, B., 1980).

Chtěla bych se zaměřit na vliv jaderných elektráren na životní prostředí při jejich běžném provozu.

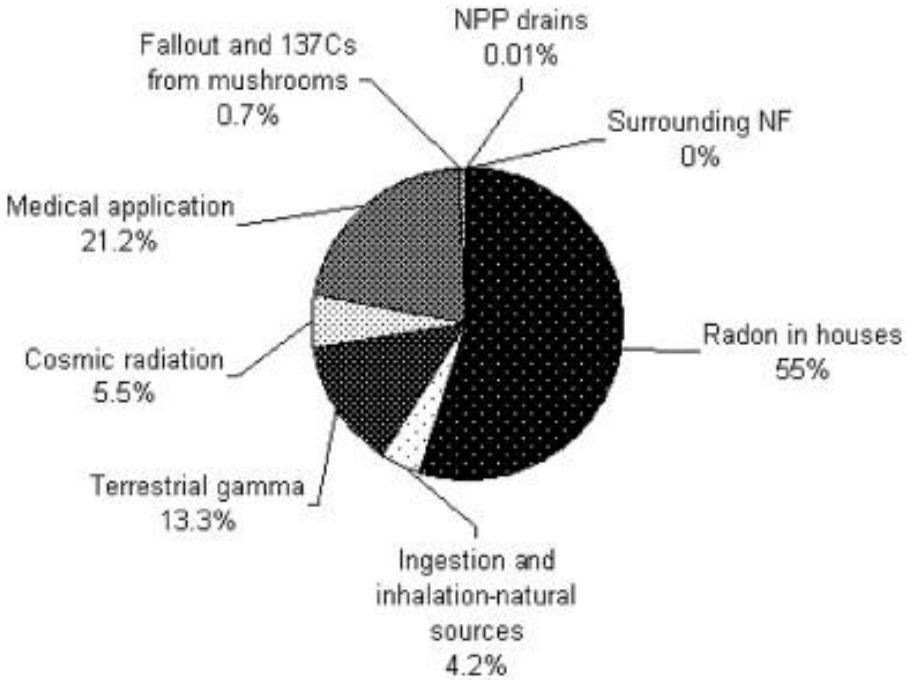
8.1. Radiační zatížení

Provoz jaderných elektráren do životního prostředí zasahuje hlavně odpadními vodami z chlazení, radionuklidy vypouštěnými do ovzduší a odpadním teplem (Singer, J).

Je prokázané, že v okolí jaderných elektráren dochází k uvolňování radionuklidů do prostředí, a to zejména do ovzduší a do vody. V ČR jsou lidé vystaveny ročnímu dávkovému ekvivalentu radiačního záření 3,5 mSv. Světový průměr dávkového ekvivalentu je 2,4 mSv. Vyšší dávkový ekvivalent v ČR je způsoben jejím geologickým uspořádáním. V ekvivalentní dávce 3, 5 mSv je zahrnuto záření jak přírodní tak umělé. V okolí JE Temelín jsou lidé

vystaveny radiačnímu záření 4,5 mSv. Avšak na následujícím obrázku můžeme vidět, že JE Temelín má na ozáření nejmenší podíl. Zásadní podíl na ozáření obyvatel žijících v blízkosti JE Temelín má geologické podloží. (Thinova, L. et al., 2010).

Graf 3: Zdroje ozáření obyvatel v okolí JE Temelín



Zdroj: Thinova L., et al., 2010

Část plynných štěpných produktů uniká do primárního okruhu chladiva a odtud se drobnými netěsnostmi produkty dostávají do reaktorového sálu. Z reaktorového sálu jsou štěpné produkty odsávány ventilačním systémem do komína a odtud unikají do ovzduší (Hermansky, B., 1980).

Mezi plynné štěpné produkty patří radioaktivní vzácné plyny. Radioaktivní vzácné plyny vznikají při štěpné reakci v reaktoru. Jedná se o xenon (Xe) a krypton (Kr). Tyto prvky jsou zdrojem nebezpečného záření β a γ (Hermansky, B., 1980, Thinova, L. et al., 2010).

Dále se uvolňují radioaktivní izotopy jódu a izotopy s dlouhým poločasem rozpadu, mezi které patří ^{3}H neboli tritium a ^{14}C (Hermansky, B., 1980, Thinova, L. et al., 2010).

Mezi radionuklidy, které unikají do vody, patří také tritium, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{131}I, ^{133}I, ^{58}Co, ^{60}Co a některé aktivované korozní produkty jako jsou například ^{51}Cr a ^{51}Mn (Thinova, L. et al., 2010).
^{14}C, ^{85}Kr a ^{129}I patří k nebezpečným látkám pocházející z provozu jaderných elektráren hlavně kvůli dlouhému poločasu rozpadu a veliké mobilitě. U izotopu uhlíku je poločas rozpadu 5730 let a u kryptonu je to 10,75 let. (Tecl J., Svetlik I., 2009).
Přestože k úniku radioaktivních látek dochází, únik je přísně kontrolovaný a monitorovaný a nepřekračuje povolené limity. Únik nepředstavuje žádnou významnou hrozbu pro pracovníky elektráren ani pro okolí (Adamantiades A., Kessides I., 2009).

V JE Temelín je životní prostředí monitorováno již od roku 1990, tedy dlouhou dobu před uvedením elektrárny do provozu. Cílem monitorování bylo zjistit obsah radionuklidů a úroveň radiace v okolí budoucí JE. Monitorování pokračovalo a pokračuje i po uvedení JE do provozu a probíhá v 16 kruhových segmentech v okolí JE Temelín. V těchto segmentech dochází k pravidelnému měření obsahu radionuklidů ve studnách, vegetaci, v povrchových vodách apod. Výsledky z monitorování jsou pravidelně zveřejňovány v informačních bulletinech, které vydává Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Na základě tohoto monitorování nebyly v analyzovaných vzorcích zjištěny žádné nové umělé radionuklidy (Thinova, L. et al., 2010).
Vypouštění odpadních vod v JE Temelín splňuje stanovené limity a koncentrace antropogenních radionuklidů. Po proudu od výpustě odpadní vody z JE Temelín jsou v odpadních vodách hlavně zbytkové kontaminace z globálního spadu a po havárii v JE Černobyl. Vliv JE Temelín na koncentraci radionuklidů v hydrosféře je zanedbatelný (Hanslík E., et al., 2009)
Ani u JE Dukovany nedochází k významnému vypouštění radioaktivních látek do hydrosféry. Obsah vypouštěných radionuklidů tvoří také především zbytkové znečištění po havárii v JE Černobyl a po testech jaderných zbraní v 50. a 60. letech 20. stol. (Česká nukleární společnost a Česká vědeckotechnická společnost, 1999).

Tritium

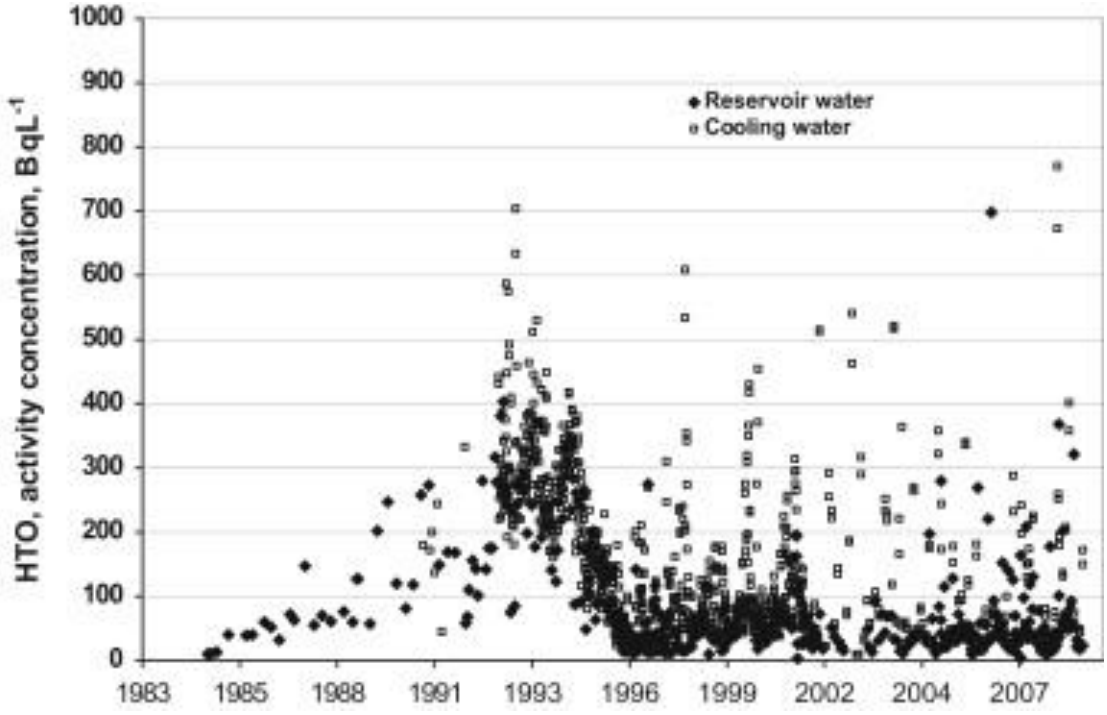
Roční únik tritia v obou našich jaderných elektrárnách je asi 72 TBq. V plynných i kapalných výpustích převažuje chemická forma tritované vody (HTO). Tritium se v našem prostředí vyskytuje i přirozeně, a to hlavně z kosmického záření. Většina je ale antropogenního původu

z provozu jaderných elektráren (Simek, P. et al., 2016). Poločas rozpadu tritia antropogenního původu je 12,3 let.
Tritium vypouštěné v HTO formě má podobné vlastnosti jako vodík vázaný v molekule vody a může být zachycen biotou (Svetlik, I. et al., 2014). Do lidského těla může tritium proniknout vdechnutím, požitím nebo absorpcí kůže (Simek, P. et al., 2016).

V JE Dukovany je monitorování HTO prováděno již od roku 1984, tedy již před uvedením elektrárny do provozu (Svetlik, I. et al., 2014).
Do rostlin se tritium dostává prostřednictvím fotosyntézy anebo je přijímáno kořenovým systémem (Gadhia, M., Joshi, C. P., 2014). V biotě se tritium vyskytuje ve dvou formách. Je to TWFT (tissue free water tritium) a OBT (organically bound tritium) formy, tedy organicky vázané tritium. OBT můžeme ještě dělit podle toho, zda je vodík vázaný na atomy kyslíku a dusíku nebo na atom uhlíku. V případě vázání vodíku na atom kyslíku a dusíku se jedná o tzv. E-OBT (exchangeable organically bound tritium). Pokud je vodík vázaný na atom uhlíku, jedná se o tzv. NE-OBT (not exchangeable organically bound tritium) (Balgan, N. et al., 2011; Baumgartner, F., Donhaerl, W., 2004; Guénot, J., Bélot, Y., 1984; Pointurier, F. et al., 2004; Pointurier, F. et al., 2003).

Na základě výzkumu bylo potvrzeno významné zvýšení aktivity NE-OBT (v porovnání s pozadím) v rostlinách nacházející se v blízkosti vodní nádrže Mohelno a v přilehlé části údolí řeky Jihlavy. S rostoucí vzdáleností od nádrže a řeky aktivita NE-OBT klesá (Simek, P. et al., 2016).
Zvýšená aktivita NE-OBT a TWFT byla pozorována také u rostlin, které nemají přímý kontakt s nádrží Mohelno ani s řekou Jihlava, což je způsobeno přítomností HTO ve vodní páře z chladících věží. Pára spadá na zem s dešťovými srážkami, kde společně s rosou a jinovatkou kondenzuje (Simek, P. et al., 2016). Jak ukazuje obrázek č. 6, v nádrži Mohelno se koncentrace tritia po uvedení JE Dukovany do provozu zvyšuje (Svetlik, I. et al., 2014).

Graf 4: Časové řady koncentrace aktivity HTO ve vodní nádrži Mohelno a v chladící vodě JE Dukovany



Zdroj: Svetlik, I. et al., 2014

8.2. Tepelné znečištění

Okolí jaderných elektráren je ovlivněno odpadním teplem. Odpadní teplo není problémem pouze jaderných elektráren, teplo jako odpadní produkt vzniká u všech dějů, při kterých vzniká energie nebo dochází k její transformaci. Množství odpadního tepla závisí na účinnosti elektrárny. V JE v ČR se využívají mokré chladící věže s přirozeným tahem (Česká nukleární společnost a Česká vědeckotechnická společnost, 1999). Jaderné elektrárny k chlazení potřebují o 30 – 100% více chladící vody než jiné druhy elektráren se srovnatelným výkonem. (Davidson B., Bradshaw R. W., 1967; Cairns J., 1971)

Účinnost lehkovodních reaktorů je asi 32%. Například tepelný výkon reaktoru v JE Temelín je kolem 3200 MW. Z toho se asi 1000 MW transformuje na energii elektrickou, 2040 MW je odevzdáno do atmosféry a zbylých 160 MW představuje ztráty na elektrárně. Při elektrickém výkonu kolem 2000 MW u JE Temelín do ovzduší chladicími věžemi uniká 1350 $kg.s^{-1}$ vodní páry (Česká nukleární společnost a Česká vědeckotechnická společnost, 1999). I přes toto obrovské množství vypouštěného odpadního tepla, nemá toto teplo, vzhledem k přirozenému stavu atmosféry žádný významný vliv.

Tepelné znečištění okolních vod není nijak závažné, protože většina odpadního tepla uniká ve formě páry do ovzduší mokrými chladicími věžemi. Tepelné znečištění v okolí JE způsobuje například zvýšený výskyt mlhy, zvýšení průměrné přízemní vlhkosti a teploty vzduchu. V zimních měsících je v okolí JE zvýšená pravděpodobnost výskytu námrazy (Česká nukleární společnost a Česká vědeckotechnická společnost, 1999). V následující tabulce můžeme vidět ovlivnění meteorologických parametrů způsobené provozem JE Temelín a JE Dukovany (Singer, J.).

Tabulka 2: Ovlivnění meteorologických parametrů

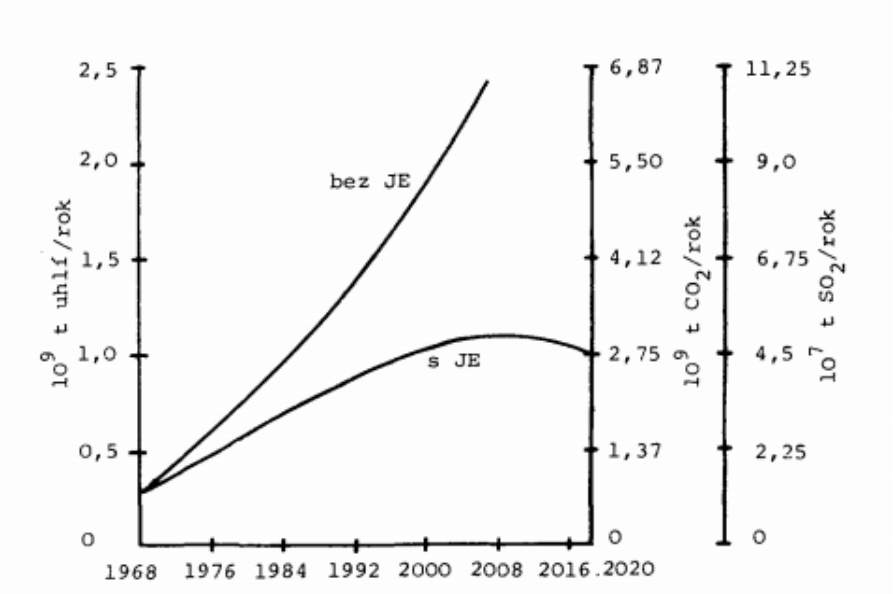
Zvýšení průměrné přízemní vlhkosti vzduchu	0,1 - 0,3 g/m^3	2 - 2,8 km
Zvýšení průměrné přízemní teploty vzduchu	0,1 - 0,3 °C	2 - 2,8 km
Zvýšení tvorby přízemní mlhy	cca 80 hod/rok	2 - 2,8 km
Zvýšení úhrnu srážek	30 - 70 mm/rok	0 - 0,3 km

Zdroj: Singer, J.

8.3. Jaderné elektrárny a oxid uhličitý

Jaderná energetika může sehrát důležitou roli ve snižování emisí skleníkových plynů, jak můžeme vidět na obr. č. 9. Po zprovoznění jaderných elektráren, emise oxidu siřičitého (SO_2) a oxidu uhličitého (CO_2) výrazně klesly (Singer, J.).

Graf 5: Výpusti SO_2 a CO_2 z tepelných elektráren



Zdroj: Singer, J.

Jaderná energetika se společně s energetikou obnovitelných zdrojů řadí k technologiím s nízkou emisí skleníkových plynů (Adamantiades A., Kessides I., 2009). V případě, že by jaderné elektrárny neexistovaly, ročně by se do ovzduší dostalo o 2,5 miliardy tun CO_2 více. Celková produkce CO_2 od těžby uranu až po uskladnění jaderných odpadů připadá na 1 kWh 30 g CO_2, zatímco u uhelných elektráren je to více než 950g (Adamantiades A., Kessides I., 2009). Při snižování emisí skleníkových plynů tak mají jaderné elektrárny významnou roli.

9. Nakládání s radioaktivním odpadem v České republice

I při provozu jaderné elektrárny vznikají odpady. Je nutné brát v potaz, že se v tomto případě jedná také o radioaktivní odpady.

V ČR se můžeme setkat s radioaktivními dopady pocházející z různých odvětví. Jedná se o radioaktivní odpady z lékařství, průmyslu, výzkumu a v neposlední řadě z JE Temelín a JE Dukovany. Radioaktivní odpady v ČR představují asi jednu setinu hmotnosti z celkového množství nebezpečného odpadu (Bems, J. et al., 2014).

Podle tzv. atomového zákona § 26 zákona č. 18/1997 Sb. má odpovědnost za ukládání radioaktivního odpadu Správa úložišť radioaktivního odpadu (SÚRAO) (SÚRAO, a).

9.1. Nízko a středně radioaktivní odpad

Pro středně a nízko radioaktivní odpad v ČR slouží čtyři povrchová úložiště. Jsou to úložiště Dukovany, Hostim, Bratrství a Richard (Bems, J. et al., 2014).

Úložiště Hostim, bylo uzavřeno roku 1965 (Bems, J. et al., 2014). Úložiště je stále monitorováno z důvodu možného úniku radioaktivního záření (SÚRAO, a).

Úložiště Richard bylo vybudované v areálu bývalého vápencového dolu Richard II a slouží k uskladňování radioaktivních odpadů pocházející z lékařství. V provozu je úložiště Richard již od roku 1964 (Bems, J. et al., 2014).

K ukládání odpadů obsahující přírodní radionuklidy, slouží Úložiště Bratrství, které je vybudováno v prostorách bývalého uranového dolu (Bems, J. et al., 2014; SÚRAO, a).

Úložiště Dukovany se nachází v areálu JE Dukovany. Slouží jako úložiště pro odpad pocházející z jaderných elektráren. Uskladňuje se zde také radioaktivní odpad z JE Temelín.
Úložiště Dukovany patří k nejmodernějším úložištím na území ČR a v provozu je od roku 1995 (Bems, J. et al., 2014). Ukládají se zde jak pevné odpady jako jsou balící materiály, folie, kontaminované ochranné pomůcky atd., tak odpadní vody (SÚRAO, a).
Odpady se ukládají do sudů. Před uložením odpadů do sudů se tyto odpad upravují například bitumenací nebo lisováním, aby zabíraly co nejméně místa. Úložiště Dukovany je schopné pojmout 180 000 těchto sudů a předpokládá se, že bude stačit pro veškeré středně a nízko radioaktivní odpady z JE Dukovany a JE Temelín (ČEZ, a. s., h).

Obrázek 3: Úložiště Dukovany

Zdroj: OBK JE Dukovany, 2015

9.2. Vysoce radioaktivní odpad

Mezi vysoce radioaktivní odpad patří především jaderné vyhořelé palivo. Po vyjmutí z reaktoru je nutné, palivové články 5 – 10 let chladit v bazénu s vodou nedaleko reaktoru. V bazénu dochází k poklesu teploty a také radioaktivity. Poté se palivo uskladňuje v meziskladech vyhořelého paliva. JE Dukovany i JE Temelín mají své mezisklady vyhořelého paliva. V obou případech se jedná o suché mezisklady vyhořelého paliva (ČEZ, a. s., h)

9.2.1. Mezisklad vyhořelého paliva Dukovany

V začátcích jaderné energetiky v ČR se vyhořelé palivo vyváželo do skladů v JE Jaslovské Bohunice. Z JE Jaslovské Bohunice se vyhořelé palivo mělo odvézt na území SSSR. Po rozpadu SSSR se od tohoto záměru opustilo a vyhořelé palivo bylo odvezeno zpět do skladu v Dukovanech (Vokál, A., Stoch, P., 2013).

Mezisklad vyhořelého paliva v Dukovanech je v provozu od roku 1995 a v současné době je již zaplněný (ČEZ, a. s., h).

V tomto meziskladu je palivo uloženo v transportních a skladovacích kontejnerech typu CASTOR 440/84. Do jednoho kontejneru je možné uložit 84 palivových kazet a v meziskladu lze uskladnit 60 těchto kontejnerů. Dohromady dokáže mezisklad pojmout 600 tun vyhořelého paliva.

Kontejnery mají tvar sudu a jejich vnější poloměr je 2,66 m a výška 4,08 m. Sudy jsou v meziskladu uloženy ve zpřímené poloze a vzdálenost mezi osami jednotlivých kontejnerů je 3,2 m. Kontejner uzavírá dvojité víko z nerezové oceli, které je pevně přišroubováno. V meziskladu se neustále monitoruje těsnost sudů a také jejich teplota (Kralik, M. et al., 2002). Výrobcem těchto kontejnerů je německá firma GNS Nukem (ČEZ, a. s., h).

Vzhledem ke skutečnosti, že první mezisklad je již zaplněný, byl vybudován mezisklad nový. Nový mezisklad je schopen pojmout 1340 tun vyhořelého paliva, což odpovídá 133 kontejnerům typu CASTOR 440/84 (ČEZ, a. s., h).

Obrázek 4: Mezisklad vyhořelého jaderného paliva v JE Dukovany

Zdroj: SÚJB (d)

9.2.2. Mezisklad vyhořelého paliva Temelín

V JE Temelín funguje mezisklad až od roku 2010 a palivo je zde ukládáno v kontejnerech typu CASTOR 1000/19. Mezisklad pojme 1370 tun jaderného odpadu (SÚJB, c).

9.3. Hlubinné úložiště

Vzhledem k tomu, že se do budoucn počítá s dalším rozšířením JE Temelín i JE Dukovany, a celkově se jaderné elektrárny budou na energetickém mixu podílet stále větší částí, bude narůstat také produkce radioaktivních odpadů. Tyto odpady zůstávají radioaktivní a nebezpečné tisíce let. I v případě přepracování jaderného paliva a jeho opětovného využití v reaktorech IV. generace, bude vznikat vysoce radioaktivní odpad, u kterého je nutné dlouhodobé bezpečné uložení. Z tohoto důvodu je nutné, přemýšlet o vhodném nakládání s těmito odpady. Vhodným řešením je hlubinné úložiště, které by se mělo nacházet 500 m pod povrchem. Do hlubinného úložiště se bude ukládat i radioaktivní odpad z jiných odvětví jako například z lékařství, průmyslu atd. (SÚRAO, b)

V současné době se jedná o vhodné lokalitě pro hlubinné úložiště na území ČR. Jedná se o lokality Čertovka, Březový potok, Magdaléna, Čihadlo, Hrádek, Horka a Kraví hora. Vhodná lokalita by měla být vybrána do roku 2025 (SÚRAO, b).
Samotná výstavba hlubinného úložiště by měla proběhnout v letech 2050 – 2064 a v roce 2065 by mělo být uvedeno do provozu. Celkové náklady jsou odhadnuty na 70 – 110 miliard Kč (Bems, J. et al., 2014).

10. Havárie jaderných elektráren

Havárie jaderných elektráren patří k velkým hrozbám oprávněně. Nebezpečí spočívá především v úniku radioaktivních látek, které mají na lidské zdraví velmi škodlivé účinky. V historii bohužel došlo již k několika významným jaderným haváriím. Byly to havárie JE Three Mile Island 28. března 1979 (Fushiki, S., 2013), JE Černobyl na Ukrajině 26. dubna 1986(Shiryaev, A. A. et al., 2016), havárie JE Fukušima 11. března 2011 (SÚJB, b).
V ČR dosud k žádné havárii JE nedošlo, ale na území bývalého Československa ano.

10.1. Havárie v JE Jaslovské Bohunice

V případě JE Jaslovské Bohunice můžeme mluvit o dvou haváriích. První se stala 5. ledna 1976 a druhá o rok později 22. února 1977. Obě dvě nehody se odehrály v části JE A1.

K první nehodě roku 1976 došlo při výměně palivového článku. Soubor v reaktoru nebyl utěsněn a chladivo vystřelilo soubor do reaktorového sálu, kde začal unikat oxid uhličitý, který zde byl používaný jako chladivo. Vzhledem k tomu, že palivo bylo čerstvé, nedošlo k významnému úniku radioaktivních látek. Pracovníci JE poté hned soubor utěsnili, aby již nedocházelo k dalšímu úniku oxidu uhličitého. Bohužel při této nehodě zemřeli dva lidé, kteří se udusili uniklým oxidem uhličitým (Atom Info, 2015; Jaslovské Bohunice, 2012; Burclova, J., 1998).

Nehoda v roce 1977 s sebou přinesla již vážnější následky. Dle mezinárodní stupnice jaderných událostí (INES – The International Nuclear Event Scale) byla tato nehoda vyhodnocena stupněm 4, tedy jako havárie bez rizika vně zařízení. Také tato havárie je spojena s výměnou paliva. Při výměně palivového článku vše proběhlo bez komplikací. Při skladování jaderného paliva se využívá silikagel, který absorbuje vlhkost. Jeden sáček se silikagelem se roztrhl a pracovníci vysypané kuličky silikagelu vysáli. Došlo k přehlédnutí několika kuliček, které se zasekly v distanční mřížce palivové kazety. Zaseknutí kuliček silikagelu v distanční mřížce způsobilo neprůchodnost chladiva, což způsobilo roztavení palivového proutku a následně z části natavení těžkovodní nádoby. Natavení těžkovodní nádoby vedlo k úniku těžké vody, která v tomto případě sloužila jako moderátor. Štěpné produkty tak silně kontaminovaly primární okruh a v menší míře také okruh sekundární (Atom Info, 2015; Jaslovské Bohunice, 2012; Burclova, J., 1998). Při této nehodě nedošlo ke ztrátám na životě ani k závažnějšímu úniku radioaktivních látek mimo budovu (Burclova, J., 1998).

11. Tepelné elektrárny

Tepelné elektrárny pracují z hlediska výroby elektrické energie na stejném principu jako jaderné elektrárny. Liší se ale způsob získávání tepelné energie. Zatímco u jaderných elektráren se tepelná energie získává pomocí štěpné reakce, u tepelných elektráren je tato tepelná energie uvolněná spalováním fosilních paliv. Jako fosilní paliva se využívají uhlí, ropa a zemní plyn.

Uhlí se jako fosilní palivo v ČR využívá nejčastěji (August, P., et al., 2001). Proto se v následujících částech zaměřím hlavně na tepelné uhelné elektrárny.

Tepelné uhelné elektrárny jako palivo využívají hnědé nebo černé uhlí. Černé uhlí má nejvyšší výhřevnost, protože je geologicky nejstarší a výhřevnost s geologickým stářím souvisí. Hnědé uhlí vzhledem k tomu, že je geologicky mladší než uhlí černé, má výhřevnost nižší (Hong, B. D., Slatick, E. R., 1994). Aby uhlí mohlo být použito jako vhodné palivo, musí se nejprve upravit. Děje se tak v drtící stanici a v uhelných mlýnech, kde je uhlí rozemleto na jemný prášek. Dále palivo putuje práškovými hořáky do spalovací komory kotle společně s předehřátým vzduchem. V kotlích, které mohou být různých typů jako například válcové, granulační, výtavné nebo fluidní, dochází ke spalování paliva a hořící uhelný prach předává svou energii vodě ve výparníku a páře v přehřívačích.
Zbytky vyhořelého paliva jsou struska a popílek. Popílek je unášen spalinami, a struska padá do výsypky. Struska je následně chlazena vodou. Dále struska putuje do drtiče a jejím konečným místem jsou odkaliště. V odkalištích se struska ukládá. Odkališti bývají přírodní prohlubně nebo staré lomy (August, P., et al., 2001).

Většinu uhelných elektráren v ČR provozuje ČEZ, a. s. Jsou to elektrárny Prunéřov II, Tušimice II, Počerady, Dětmarovice, Hodonín, Mělník II, Tisová I a další (ČEZ, a. s., g). K dalším patří uhelné elektrárny Chvaletice, nebo Opatovice nad Labem.

11.1. Vliv na životní prostředí

Už jen samotná těžba uhlí zasahuje do životního prostředí velkou měrou. Vytěžené povrchové doly je třeba rekultivovat. Jako příklad můžeme uvést bývalý lom Ležáky, jehož původní název byl Lom Richard. V tomto lomu v Mostecké pánvi nedaleko města Most v severozápadních Čechách byla těžba ukončena 31. srpna 1999 a dnes na jeho místě vzniká jezero Most. Jezero Most je napouštěno vodou z řeky Ohře pomocí průmyslového vodovodu z vodní nádrže Nechranice. Jeho konečná rozloha by měla být 311 ha a hloubka až 75 m (Dvořák, P., Švec, J., 2009; Mosteckejezero.cz). Plánované otevření jezera Most by mělo proběhnout v létě roku 2018 (Mostecké listy, 2016).

K dalším problémům provozu uhelné elektrárny patří vypouštění emisí do ovzduší. Spalováním uhlí vznikají znečišťující látky, zatěžující životní prostředí. Emise vypouštěné z uhelné elektrárny se skládají z popílku, oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, oxidů dusíku a oxidů síry (Srinivasa Reddy, M. et al., 2005). Oxid uhličitý patří mezi významné skleníkové plyny. Před deseti lety uhelné elektrárny v ČR vyprodukovaly dohromady 48 miliónů tun oxidu uhličitého za rok. Je zřejmé, že uhelné elektrárny významným dílem přispívají ke globálnímu oteplování (Kotecký, V. a Sutlovičová, K., 2006).

Vypouštěné stopové prvky jsou jak organického tak anorganického původu a jsou to například arsen (As), kadmium (Cd), kobalt (Co), měď (Cu), rtuť (Hg), železo (Fe) a další (Srinivasa Reddy, M. et al., 2005).

Další nebezpečnou látkou, emitovanou uhelnými elektrárnami je oxid siřičitý. Dle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, je povinností odsiřovací zařízení (Zákony pro lidi, 2012). Například uhelná elektrárna Prunéřov před vybudováním odsiřovacího zařízení, vyprodukovala 54 tisíc tun oxidu siřičitého ročně. Oxid siřičitý v ovzduší způsobuje kyselé deště a následně acidifikaci prostředí, proto je jeho vliv velmi nepříznivý. V ČR odsiřování ve většině případů probíhá tzv. mokrou vápencovou vypírkou a dochází tak ke snížení emisí síry v kouřových plynech až o 95%. Produktem mokré vápencové vypírky je energosádrovec, neboli dihydrát síranu vápenatého a využívá se na výrobu sádry, který se dále využívá například ve stavebnictví nebo při výrobě cementu (August, P., et al., 2001).

Také oxidy dusíku patří k nebezpečným látkám, které elektrárny vypouští. Procentuelní zastoupení oxidů dusíku v kouřovém plynu z uhelné elektrárny je takové, že asi 95% tvoří oxid dusnatý a zbylých 5% je oxid dusičitý. Produkce oxidů dusíku se dá snížit optimalizací spalovacího procesu, přičemž se produkce sníží o 40 a 60%. Další možností je selektivní katalytická a nekatalytická redukce, kterou se emise oxidu dusíku dají snížit až o 80 – 90% (August, P., et al., 2001).

Tepelné znečištění je spojeno s chlazením na kondenzátorech pomocí vody. Rostoucí teplota, zvyšující se vlhkost, častější vznik mlh a námraz, zkracování délky slunečního svitu a růst množství srážek jsou všechno následky tepelného znečištění způsobeného uhelnými

elektrárnami. Působení tepelného znečištění je spíše lokální, protože s rostoucí vzdáleností od elektrárny účinky tepelného znečištění klesají (Matoušek, A., 2004).

12. Vodní elektrárny

Hlavní součástí vodní elektrárny je vodní turbína. Té přitékající voda předává svou energii a turbína následně roztáčí generátor připojený ke společné hřídeli. Rotační energie se na elektrickou mění elektromagnetickou indukcí (Oenergetice.cz, 2015a).

Známé jsou různé typy vodních elektráren. Jsou to průtočné vodní elektrárny, akumulační vodní elektrárny, přečerpávací vodní elektrárny, přílivové vodní elektrárny, vlnové elektrárny a elektrárny poháněné mořskými proudy (Quaschning, V., 2010).

Vzhledem k poloze ČR se u nás využívají vodní elektrárny průtočné, akumulační a přečerpávací.

Mezi nejznámější vodní elektrárny na našem území patří Dlouhé Stráně, Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice, Vrané, Střekov, Hněvkovice, Dalešice (TZB – Info, 2014).

12.1. Vliv na životní prostředí

Jako každá stavba, i výstavba vodní elektrárny zasahuje do životního prostředí. Při stavbě velké přehrady dochází k fragmentaci říčního systému a tím k přerušení migračních cest vodních živočichů, což má za následek změnu jejich životních cyklů (Tullos, D., 2009).

Za hrází dochází k zachycování sedimentů a živin, což vede k následné erozi a narušování stanovišť (Kondolf, G. M., 1997). Dalším problémem je, že přehrady mění teplotní režim vody, a tím ovlivňují reprodukci a společenstva vodních organismů (Clarkson, R. W., Childs, M. R., 2000). Také ztráta biologické rozmanitosti patří k dalším negativním vlivům (McAllister, D. et al., 2000).

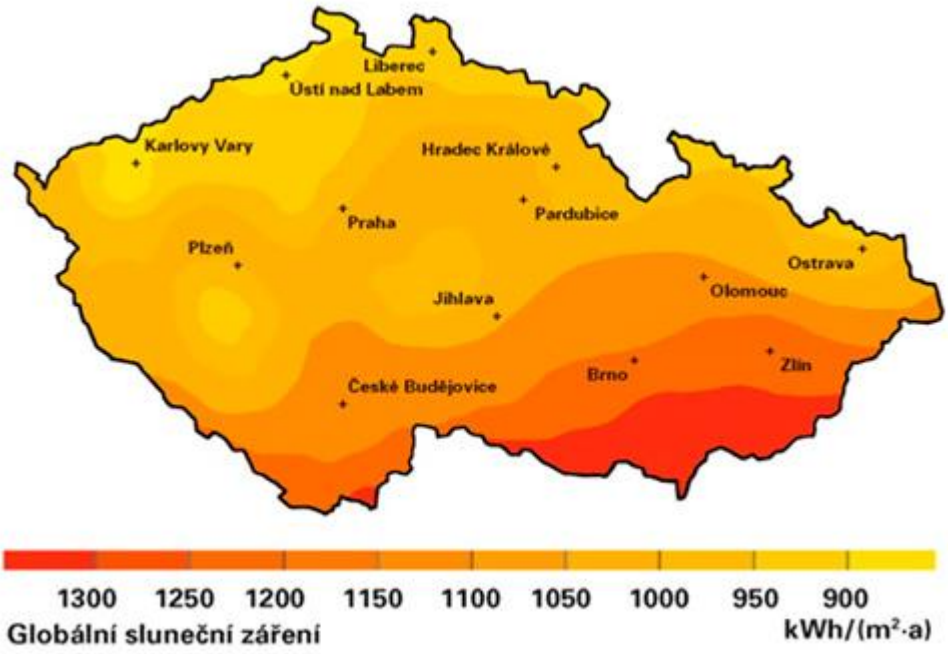
Při výstavbě přehrady může být problémem biomasa, která klesla na dno. Biomasa na dně hnije a uvolňuje metan, který patří ke skleníkovým plynům. Tomuto se dá předcházet při řádném vymýcení přehrady před jejím zatopením (Quaschning, V., 2010).

13. Solární elektrárny

Solární elektrárny jako zdroj pro výrobu elektrické energie využívají sluneční záření. Základní součástí solárních elektráren je fotovoltaický článek, který transformuje sluneční energii na energii elektrickou díky fotovoltaickému jevu.

V ČR pracuje několik solárních elektráren. Můžeme zmínit například elektrárnu Ralsko Ra 1, jejíž instalovaný výkon je 38,3 MW, fotovoltaická elektrárna Vepřek s instalovaným výkonem 35,1 MW a rozlohou 82,5 ha, fotovoltaická elektrárna Ševětín a další (NWT).

Obrázek 5: Mapa slunečního záření v ČR



Zdroj: Regat

Jak můžeme vidět na obr. č. 12, vyšší intenzita slunečního záření je na jihu ČR a nejvyšší intenzita na jižní Moravě, kde můžeme nalézt velké množství solárních elektráren.

13.1. Vliv na životní prostředí

Solární elektrárny zabírají velké plochy, a tak zasahují do přírody. Vzhledem k rozloze solárních elektráren, je jejich instalovaný výkon oproti jiným elektrárnám velmi malý.

Také materiály použité při výrobě fotovoltaického článku jsou nebezpečné a toxické, a to způsobuje problém při jejich likvidaci (EIA, 2015a).

Pozitivem solárních elektráren je, že při provozu neprodukují žádné emise ani odpady (Turney, D., Fthenakis V., 2011).

14. Větrné elektrárny

Větrné elektrárny využívají větru jako zdroje energie. První větrné elektrárny dosahovaly výkonu kolem 100 kW a průměr listů rotoru byl kolem 20 m. Takovéto větrné elektrárny vznikaly v 80. letech minulého století. V dnešní době mají větrné elektrárny výkon 5000 kW, tedy 5 MW a průměr listů rotoru více než 110 m. Do budoucna se počítá s výstavbou větrné elektrárny o nejvyšším možném výkonu 10 MW (Quaschning, V., 2010).

Větrné elektrárny se skládají ze základu, stožáru, strojovny a rotoru. Základ, vyrobený z betonu má za úkol zajistit bezpečné upevnění. Stožár dosahuje výšky od 40 až do 110 m (ČSVE). Existují tři typy stožárů, a to konstrukce z velkoprůměrových ocelových trubek, příhradové konstrukce stožáru nebo betonová věž. Ve strojovně, můžeme se setkat také s názvem gondola, dochází k převádění pohybu listů rotoru pomocí hřídele a přes převodovku na pohon generátoru, který převádí mechanickou energii na energii elektrickou. Součástí gondoly je zařízení pro měření rychlosti a směru větru (Quaschning, V., 2010).

Většinu větrných elektráren můžeme vidět v podobě tzv. větrných parků. Větrné parky se skládají nejméně ze tří větrných elektráren. Například v Texasu v USA je známý větrný park Horse Hollow Park skládající se ze 421 větrných elektráren, jejichž celkový výkon je 735 MW (Quaschning, V., 2010).

V ČR stojí několik desítek větrných elektráren (VE) jako např. VE Nová Ves v Horách, VE Andělka, VE Kryštofovo Hamry, VE Červený kopec, VE Horní Loděnice, VE Horní Paseky a dalších několik desítek malých větrných elektráren (Quaschning, V., 2010).

14.1. Vliv na životní prostředí

Vliv větrných elektráren na životní prostředí můžeme posuzovat podle různých hledisek. Sleduje se hluk, vliv na krajinný ráz, vliv na volně žijící živočichy, vlivy na půdu, povrchovou vodu a podzemní vodu a další vlivy.

14.1.1.Hluk

Z hlediska hluku se dbá na to, aby denní ani noční hodnoty nepřesahovaly povolené limity hluku. Pokud například v noci hluk přesahuje limit, je nutné větrnou elektrárnu na noc vypnout. V některých případech stačí snížit výkon a tak i míru hluku.

Z tohoto vyplývá, že vliv hluku pocházející z chodu větrné elektrárny není zásadní a v jednotlivých případech se dá provoz elektrárny přizpůsobit tak, aby nedocházelo k překračování povolených limitů (Lapčík, V., 2015).

14.1.2. Vliv na volně žijící živočichy

Předmětem výzkumu nejčastěji bývá ptactvo, které s větrnými elektrárnami z volně žijících živočichů přijde do kontaktu nejvíce. Doposud nebyl prokázán žádný negativní vliv na ptactvo. Většina ptáků, uvádí se, že až 97% jedinců, se listům rotoru vyhne úplně a jen nepatrná část prolétne mezi listy rotoru. Ani náraz do listu rotoru nebo jiné části větrné elektrárny nemusí znamenat zranění nebo dokonce smrt jedince.

Také na našem území docházelo k různým výzkumům. Například v Krušných horách u obce Dlouhá Louka byl v letech 1993 – 1994 prováděn výzkum hnízdních společenstev ptáků ve třech hlavních biotopech, v lese, na louce a v chatové osadě. Průzkum byl prováděn před výstavbou větrné elektrárny a po dostavění větrné elektrárny. Výsledkem tohoto výzkumu bylo, že provoz větrné elektrárny nijak neovlivnil hnízdní společenstva ptáků (Lapčík, V., 2015).

Mezi další vlivy patří například odlétávání ledových kusů z listů rotoru. I s touto možností výrobci větrných elektráren počítají a snaží se takovýmto událostem zabraňovat různými způsoby. Jeden ze způsobů je nainstalování signalizačních zařízení, která odhalí ledový kus a větrná elektrárna se dá odstavit. Další způsob je ten, že se listy rotoru vyrábějí z materiálů, u kterých se snižuje možnost vzniku námrazy. Mezi další možnost patří vyhřívané listy rotoru, které se uplatňují hlavně v chladnějších oblastech (Lapčík, V., 2015).

Všeobecně patří energie získaná pomocí větrných elektráren k šetrnějšímu způsobu získávání energie vůči životnímu prostředí. Při samotném provozu větrné elektrárny nedochází ke vzniku odpadů a do ovzduší se nevypouštějí žádné škodlivé látky včetně CO_2 (Quaschning, V., 2010).

Jediné co je často vnímáno a uváděno jako negativum, je estetické hledisko větrné elektrárny a narušení původního rázu a vzhledu krajiny.

15. Dotazníkový průzkum

Součástí mé bakalářské práce je dotazník Jaderná energetika a její vztah k přírodě a ke společnosti. Dotazník byl přístupný na internetovém portálu https://www.vyplnto.cz/ a současně probíhalo sbírání dat v terénu. Dotazníky, jejichž vyplňování probíhalo v terénu, jsem následně doplnila do elektronického dotazníku na již zmiňovaném portále.

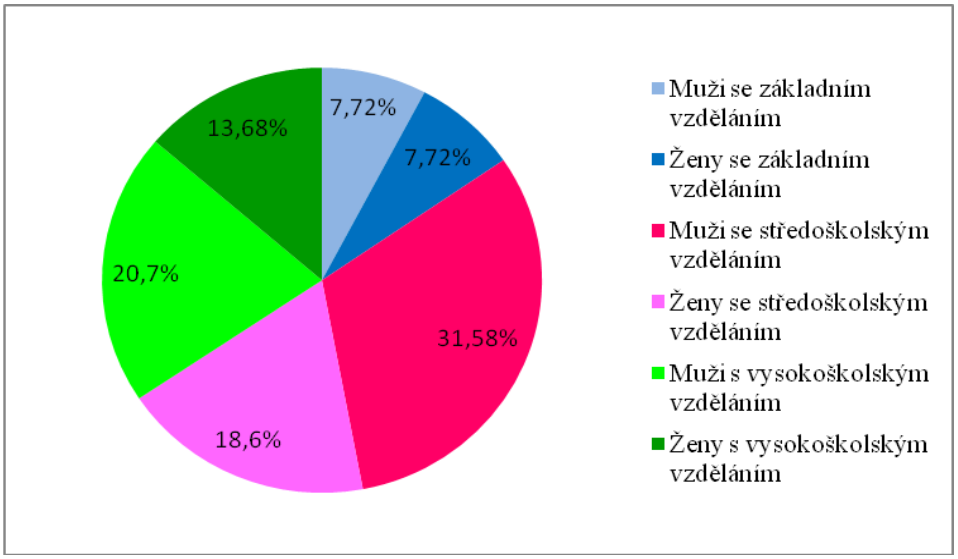
Dotazník byl respondentům přístupný v období od 6. června 2016 do 5. července 2016, byl anonymní a nebyl určený pro vyhraněnou skupinu respondentů, ale pro širokou veřejnost. Dotazník obsahoval 18 otázek včetně otázek zjišťujících věk, pohlaví, vzdělání a kraj.

Dotazník celkem vyplnilo 285 respondentů. Pro jeho vyhodnocení jsem zvolila **úroveň dosaženého vzdělání** jako hodnotící kritérium.

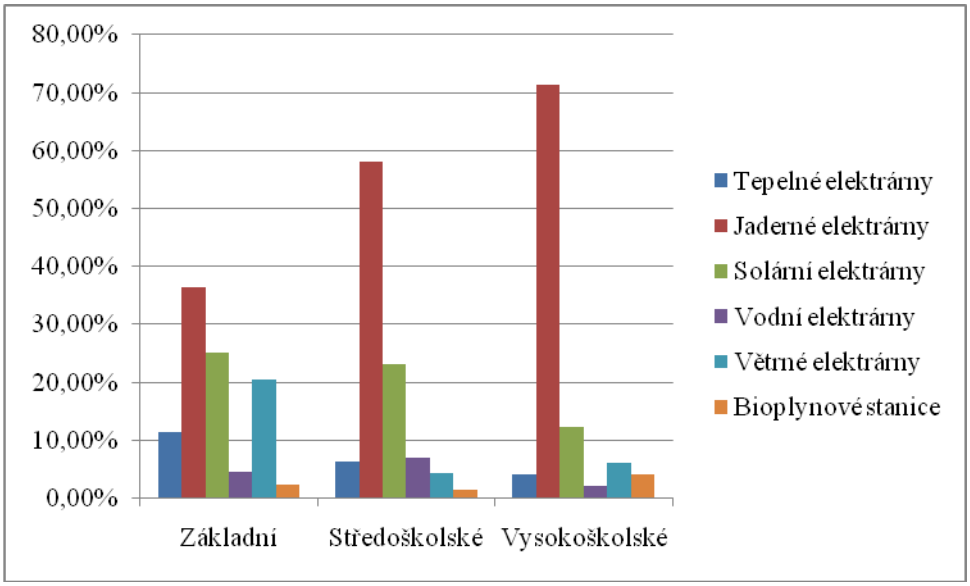
16. Vyhodnocení dotazníku

U otázek č. 9, 10, 11, 13, 16, 17 a 18 měli respondenti na výběr z pěti možností odpovědi – ano, spíše ano, spíše ne, ne a nevím. Pro větší přehlednost jsem odpovědi ano a spíše ano a odpovědi ne a spíše ne sloučila do jednotné odpovědi (ano a ne).

Graf 6: Zastoupení respondentů

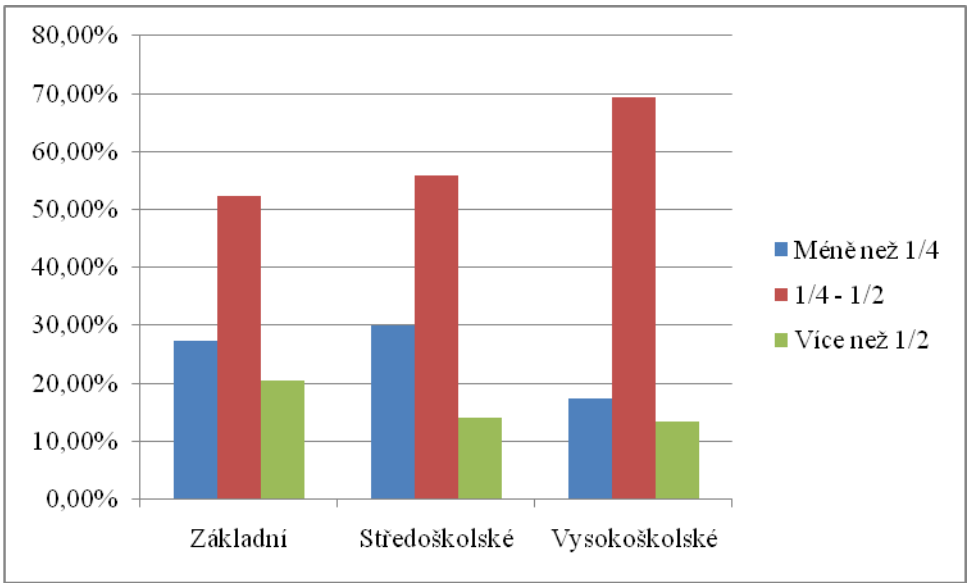


Graf 7: Který způsob získávání energie má podle Vás v budoucnu v ČR největší potenciál? Energie z:



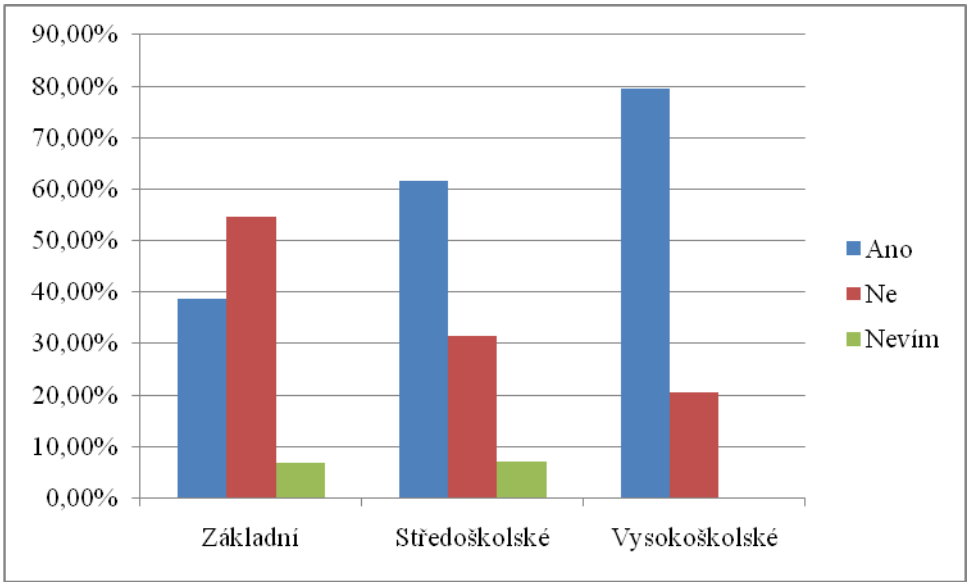
Podle všech tří skupin respondentů, kteří jsou rozděleni podle dosaženého vzdělání, má v budoucnu v ČR největší potenciál jaderná energetika. Respondenti, kteří mají dosažené základní a středoškolské vzdělání vidí potenciál také v solárních elektrárnách. Respondenti se základním vzděláním vidí potenciál i ve větrných elektrárnách. Vysokoškolsky vzdělaní respondenti jsou z větší části pro energetiku jadernou.

Graf 8: Z jak velké části se podle Vás podílí jaderná energetika na energetickém mixu ČR?



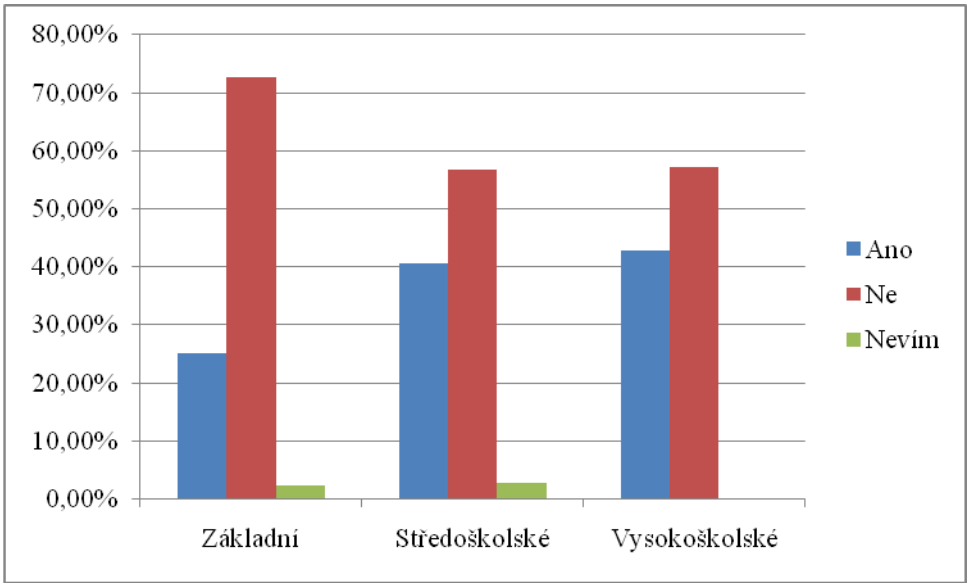
Jak můžeme vidět na obrázku č. 3, jaderná energetika v roce 2015 přispěla do energetického mixu ČR 32 %. Respondenti jsou tak podle odpovědí o podílu jaderné energetiky v energetickém mixu ČR dostatečně informováni.

Graf 9: Jste pro rozvoj jaderné energetiky v ČR?



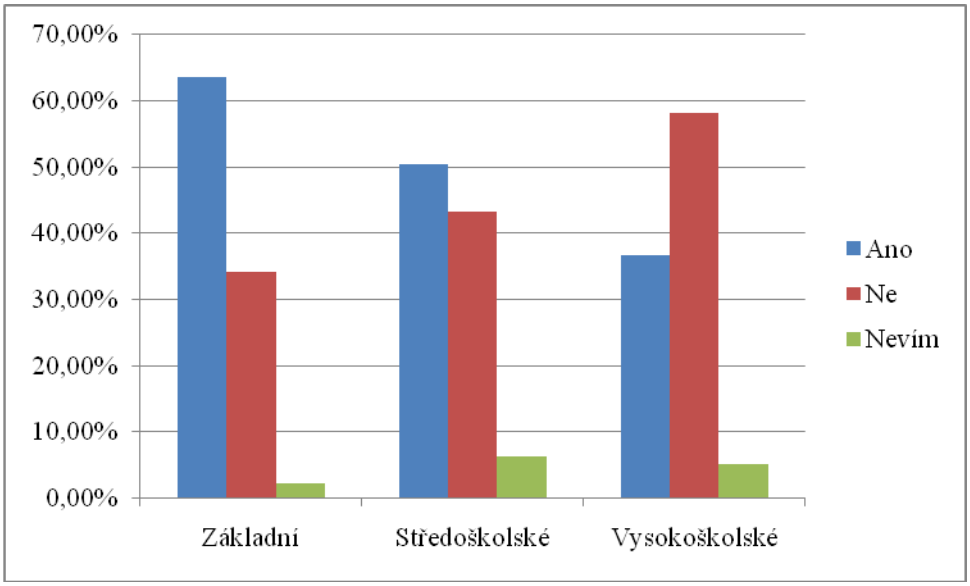
Zatímco respondenti, kteří mají středoškolské a vysokoškolské vzdělání, jsou ve velké většině pro rozvoj jaderné enrgetiky, respondenti se vzděláním základním jsou z více než poloviny proti.

Graf 10: Souhlasili byste s tím, kdyby veškerou energetickou spotřebu ČR zajišťovaly pouze jaderné elektrárny?



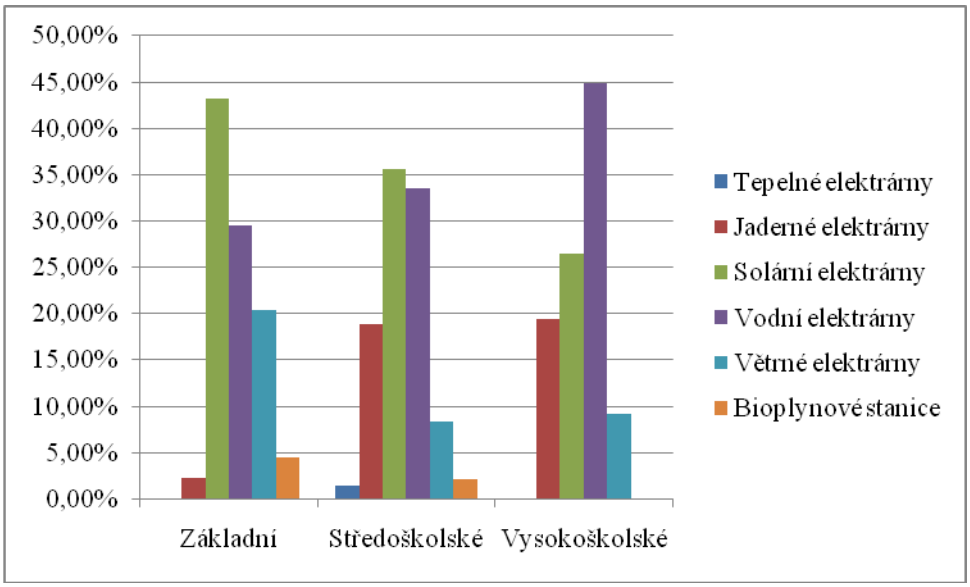
I v této otázce se respondenti většinově shodli na odpovědi, že by nesouhlasili s jadernou energetikou jako jedinným zdrojem elektrické energie v ČR. Markantní rozdíl mezi souhlasem a nesouhlasem je pouze u respondentů se základním vzděláním. U dalších dvou skupin respondentů není rozdíl až tak veliký.

Graf 11: Byli byste proti výstavbě jaderné elektrárny v blízkosti Vašeho bydliště?



Respondenti s vysokoškolským vzděláním by proti výstavbě jaderné elektrárny v blízkosti jejich bydliště nebyli. Na rozdíl od respondentů se základním vzděláním, kteří by z většiny v blízkosti jaderné elektrárny bydlet nechtěli. Podobně je tomu u středoškolsky vzdělaných respondentů, u nich ale není rozdíl odpovědí ano a ne tak výrazný jako u respondentů se základním vzděláním.

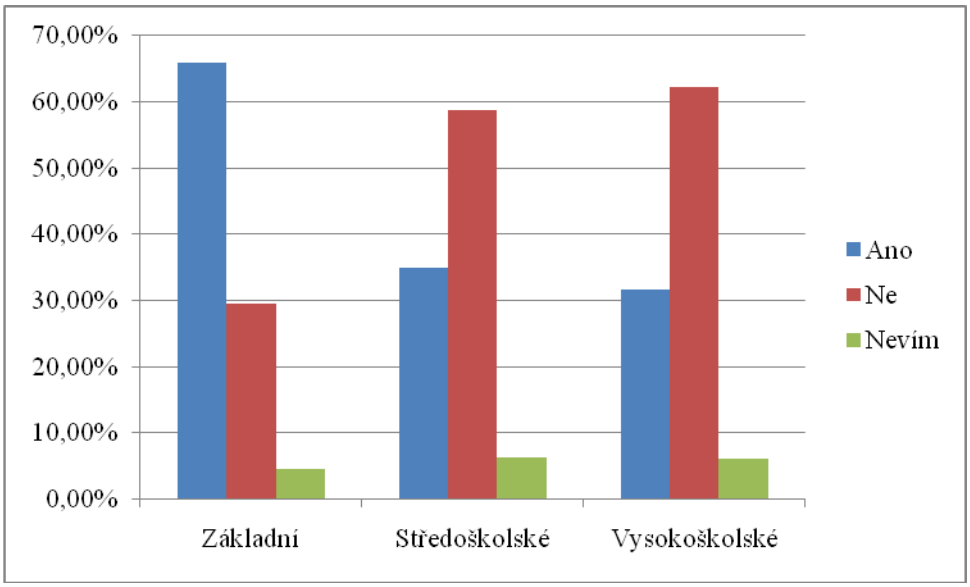
Graf 12: V blízkosti které z uvedených elektráren byste dali přednost bydlení?



Respondenti se základním a středoškolským vzděláním by nejvíce preferovali bydlení v blízkosti solární elektrárny nebo elektrárny vodní. Vysokoškolsky vzdělaní respondenti preferují nejvíce vodní elektrárny, následné elektrárny solární a jaderné. Možnost bydlení v blízkosti jaderné elektrárny zvolila také část středoškolsky vzdělaných respondentů. Respondenti se základním vzděláním by ze všech uvedených elektráren nejmenší přednost

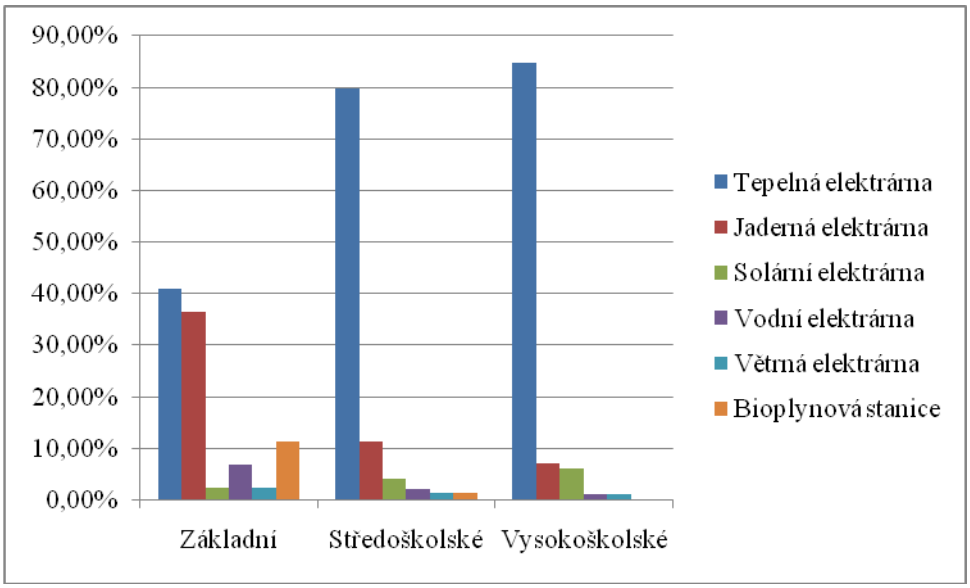
dali jaderným elektrárnám, což koresponduje s tím, že ve většině jsou proti výstavbě jaderné elektrárny v blízkosti jejich bydliště.

Graf 13: Myslíte si, že jaderné elektrárny negativně ovlivňují životní prostředí?



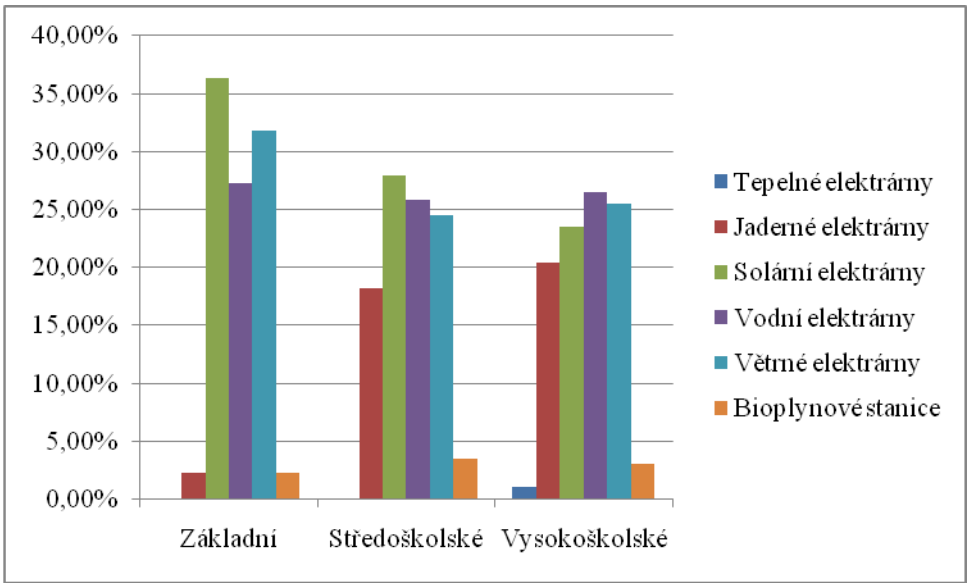
V tomto případě je patrné jak se názory jednotlivých skupin respondentů naprosto rozcházejí. Zatímco respondenti se základním vzděláním si myslí, že jaderné elektrárny životní prostředí negativně ovlivňují, další dvě skupiny respondentů si většinově myslí, že jaderné elektrárny životní prostředí negativně neovlivňují.

Graf 14: Která z uvedených elektráren má podle Vás nejvíce negativní vliv na životní prostředí?



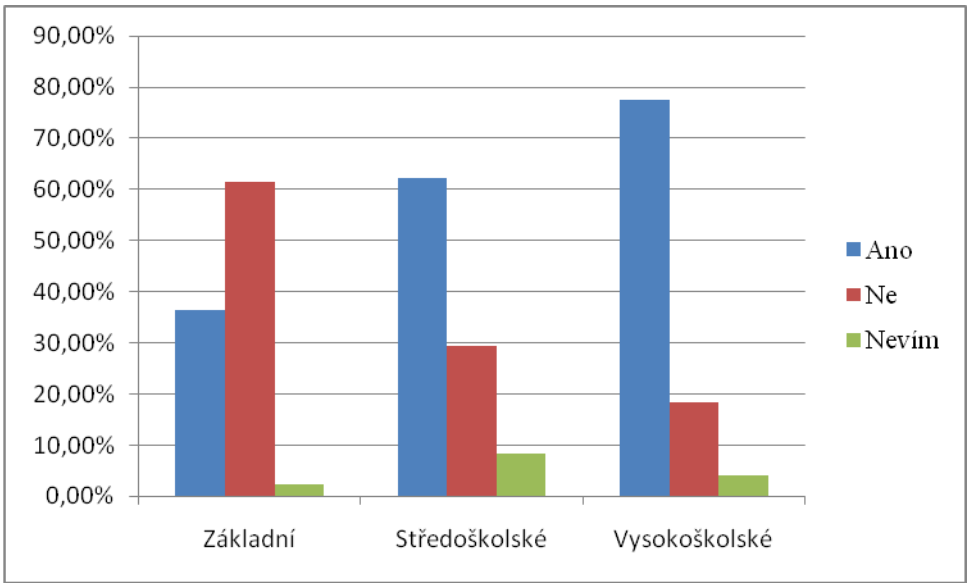
U tohoto grafu je zajímavé, že podle repsondentů se základním vzděláním životní prostředí negativně ovlivňují jak jaderné elektrárny, tak tepelné elektrárny. Zbylé dvě skupiny respondentů se domnívají, že životní prostředí nejvíce negativně ovlivňují elektrárny tepelné. Zastoupení ostatních druhů elektráren je zde zanedbatelné.

Graf 15: Který způsob získávání energie je podle Vás nejšetrnější k životnímu prostředí? Energie z:



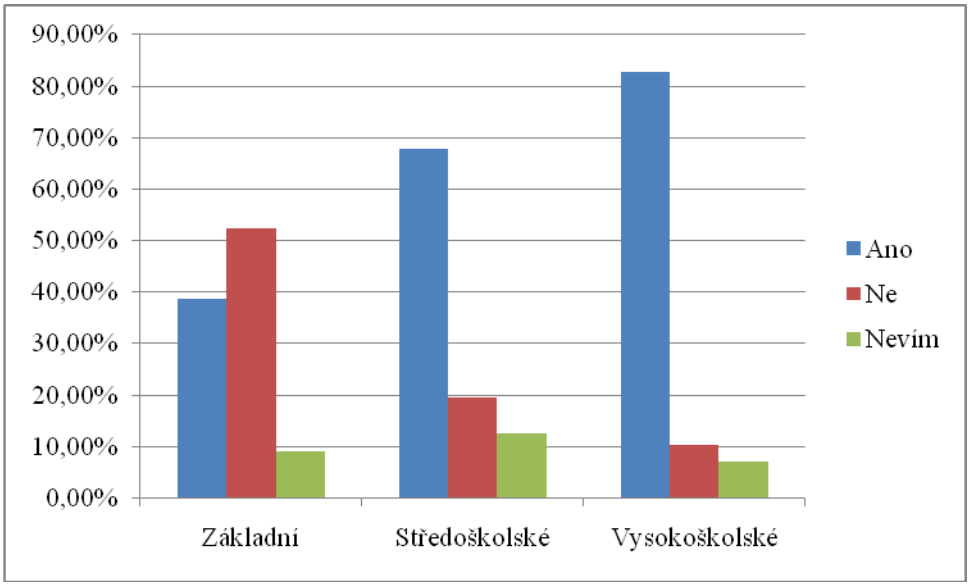
U této otázky jasně vítězí energie z obnovitelných zdrojů. Avšak také jaderné elektrárny jsou podle vysokoškolsky a středoškolsky vzdělaných respondentů k životnímu prostředí šetrné. Respondenti se základním vzděláním naopak jaderné elektrárny za šetrné k životnímu prostředí nepovažují.

Graf 16: Souhlasíte s dostavbou bloků v JE Temelín a Dukovany?



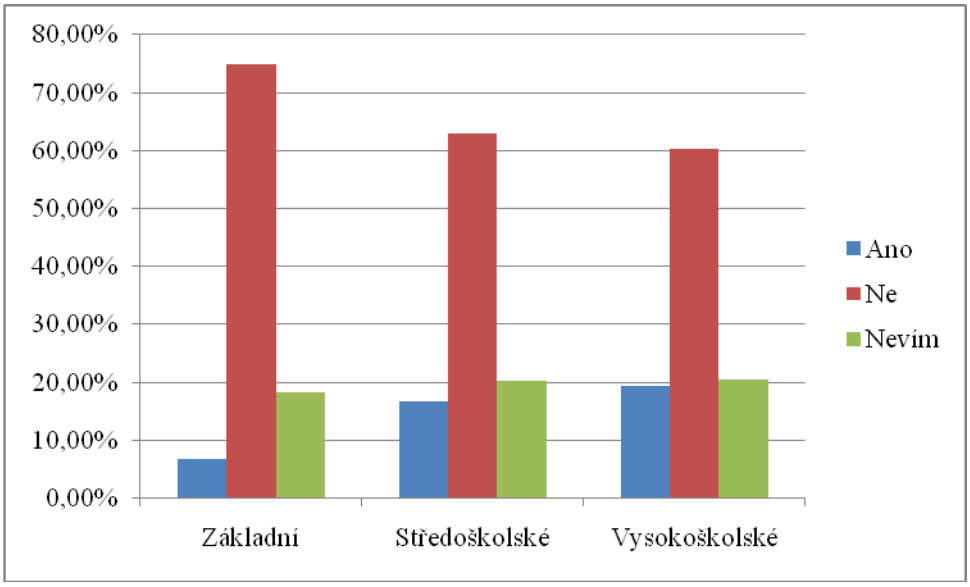
Vzhledem ke skutečnosti, že respondenti se základním vzděláním jsou většinou proti rozvoji jaderné enrgetiky v ČR, není žádným překvapením, že jsou ve většině také proti výstavbě nových bloků v JE Temelín a JE Dukovany. Naopak zbylé dvě skupiny respondentů jsou ve většině pro dostavbu jaderných bloků v obou jaderných elektráren v ČR.

Graf 17: Myslíte si, že JE Temelín a JE Dukovany jsou dostatečně chráněny proti haváriím?



I zde je patrný strach z jaderných elektráren u respondentů se základním vzděláním, kteří jsou více než z poloviny přesvědčeni, že JE Temelín a JE Dukovany nejsou dostatečně chráněny proti haváriím. Drtivá většina středoškolsky a vyokoškolsky vzdělaných respondentů jsou přesvědčeni o dostatečné ochraně proti haváriím u obou JE v ČR.

Graf 18: Myslíte si, že je v ČR v současné době dostatečně vyřešena otázka, která se týká ukládání vyhořelého jaderného paliva?



Jelikož je téma hlubinného úložiště v ČR v současné době velmi aktuální a medializované, většina respondentů bez ohledu na vzdělání je přesvědčena o tom, že v ČR není v současné době dostatečně vyřešeno ukládání vyhořelého jaderného paliva.

17. Závěr

Vzhledem k současnému stylu života na naší planetě, spotřeba elektrické energie stále stoupá a málokdo z nás se bez elektrické energie obejde. Je ale nutné brát ohledy na naše životní prostředí. Na rozdíl od elektrické energie si nové životní prostředí vytvořit nedokážeme a jeho revitalizace je velmi náročná a někdy není ani možná.

Není možné získávat elektrickou energii a do životního prostředí tím nezasahovat. Existují ale způsoby výroby elektrické energie, které jsou k životnímu prostředí šetrnější než metody jiné. Myslím si, že k šetrnějším metodám můžeme zařadit i jadernou energetiku. Využívání jaderných elektráren místo elektráren uhelných přispívá ke snižování skleníkových plynů. Při provozu jaderných elektráren celkově dochází k vypouštění pouze malého množství emisí. K úniku radioaktivních prvků dochází v tak malém množství, že ohrožení životního prostředí a lidského zdraví nehrozí. Ani tepelné znečištění v tomto případě nehraje žádnou významnou roli v ovlivnění životního prostředí. Problematika s nakládáním radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva je vyřešena ukládáním v meziskladech a hlubinných úložištích.

Obnovitelné zdroje jsou také vhodnou cestou k získávání elektrické energie a zároveň snížení negativních vlivů na životní prostředí. Neznamená to ale, že elektrická energie získaná pomocí obnovitelných zdrojů životní prostředí negativně neovlivňuje. Problém se týká například solárních elektráren, kdy plocha potřebná k výstavbě solární elektrárny o dostatečném výkonu je značně velká. Po ukončení životnosti solární elektrárny nastává problém s likvidací solárních článků.

Bohužel v ČR nejsou takové klimatické a geologické podmínky, které by umožňovaly, aby většinový podíl na energetickém mixu zajišťovaly pouze obnovitelné zdroje. Instalované výkony těchto obnovitelných zdrojů pro zásobování ČR elektrickou energií nestačí.

Zdrojem elektrické energie, který do životního prostředí negativně zasahuje velkou měrou, jsou uhelné elektrárny. Vypouštění skleníkových plynů a emisí do ovzduší, problémy spojené s těžbou uhlí a následnou rekultivací lomů, to jsou jen některé případy negativních vlivů uhelné elektrárny. Tepelné elektrárny využívající fosilní paliva stále zajišťují největší podíl energetického mixu ČR. Podíl těchto zdrojů v energetickém mixu ČR by měl stále klesat a jejich místo by měly nahrazovat jaderné elektrárny.

Z mnou provedeného dotazníkového průzkumu vyplývá, že lidé se základním vzděláním nejsou zřejmě s problematikou týkající se jaderné energetiky dostatečně seznámeni, a tak v jaderných elektrárnách vidí hrozbu. Důvodem jejich postoje je přesvědčení, že jaderné

elektrárny negativně ovlivňují životní prostředí, a proto jsou zásadně proti rozvoji jaderné energetiky v ČR. Naopak lidé se středoškolským či vysokoškolským vzděláním nevnímají jadernou energetiku jako hrozbu a mají o problematice jaderné energetiky větší povědomí a podporují její budoucí rozvoj v ČR.

18. Seznam literatury

1. Adamantiades, A., Kessides I. (2009): Nuclear power for sustainable development: Current status and future prospects. Energy Policy., 5149–5166.
2. Atom Info (2015): Jaslovské Bohunice A1 [online]., [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: http://atominfo.cz/2015/04/jaslovske-bohunice-a1/
3. August, P., et al. (2001): Velká kniha o energii. Praha: L. A. Consulting Agency,. ISBN 80-238-6578-1.
4. Balgan, N., Alanic, G., LeMeignen, R., Pointurier, F. (2011): A follow-up of the decrease of non-exchangeable organically bound tritium levels in the surroundings of a nuclear research center, J.Environ. Radioact., 695-702
5. Baumgartner, F., Donhaerl, W. (2004): Non-exchangeable organically bound tritium (OBT): its real nature, Arial. Bioanal. Chem., 204-209
6. Bečvář, J. a kol. (1975): Jaderné elektrárny. SNTL.
7. Bems, J., Kralik, T., Kubancak, J., Vasicek, J., Stary, O. (2014): Radioactive waste disposal fees—Methodology for calculation. Radiation Physics and Chemistry., 104, 398-403.
8. Blažková, I. (2008): Jaderné elektrárny, jejich perspektivy a nové koncepce [online]. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: http://www.physics.muni.cz/~blazkova/uvod1.htm
9. Burclova, J. (1998): Decommissioning of NPP A-1 – HWGCR type, technologies for gas cooled reactor decommissioning, fuel storage and waste disposal. In: Proceedings of a Technical Comittee Meeting of International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, pp. 105-112
10. Cairns, J. (1971): Thermal pollution: a cause for concern. J. Water Pollut. Control Fed. (43), 55-66.
11. Clarkson, R. W., Childs, M. R. (2000): Temperature effects of hypolimnial-release dams on early life stages of Colorado River basin big-river fishes, Copeia, pp 402-412
12. Česká nukleární společnost a Česká vědeckotechnická společnost (1999): O vlivu provozu jaderných elektráren na životní prostředí: Sborník přednášek ze semináře.
13. ČEZ, a. s. (b): Dukovany [online]. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu.html

14. ČEZ, a. s. (c): Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice [online]. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dalesice.html

15. ČEZ, a. s. (d): Historie a současnost elektrárny Temelín [online]. [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/historie-a-soucasnost.html

16. ČEZ, a. s. (e): Technické provedení JE Temelín [online]. [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/8.html

17. ČEZ, a. s. (f): Malá vodní elektrárna Hněvkovice [online]. [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/hnevkovice.html

18. ČEZ, a. s. (g): Uhelné elektrárny [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny.html

19. ČEZ, a. s. (h): Radioaktivní odpady a Skupina ČEZ [online]. [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_a_radioaktivni_odpady_-_nahled.pdf

20. ČEZ, a. s., (2016): Jaderná energetika ve světě [online]., [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/je-ve-svete.html

21. ČEZ, a.s. (a): Z čeho se skládá reaktor? [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/reaktor_2.html

22. ČSVE: Jak funguje větrná elektrárna [online]. [cit. 2016-07-21]. Dostupné z: http://www.csve.cz/kategorie/vzdelavani/13

23. Davidson, B., Bradshaw R. W. (1967): Thermal pollution of water systems. Environ. Sci. Technol., (1), 618-630

24. Dvořák, P., Švec, J. (2009): Napouštění zbytkové jámy lomu Most-Ležáky. Vesmír, 88(1).

25. Economia, a. s. (2013): Energy Outlook 2013 [online]. [cit. 2016-07-05]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/pro-media-2013/12-prosinec/energy-outlook-2013.pdf

26. EIA (2015a): Solar Energy and the Environment [online]., [cit. 2016-08-03]. Dostupné z: http://www.eia.gov/energyexplained/?page=solar_environment

27. EIA (2015b): What is Energy? Explained [online]. [cit. 2016-08-11]. Dostupné z: http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=about_home

28. Encyclopaedia Britannica: Energy [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: https://www.britannica.com/science/energy

29. Encyklopedie fyziky: Jaderný reaktor [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/821-jaderny-reaktor

30. ERÚ (2016): Roční zpráva o provozu ES ČR 2015 [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/3769f65b-3789-4e93-be00-f84416e1ca03

31. Fawn, R. (2006): The Temelín nuclear power plant and the European Union in Austrian–Czech relations.Communist and Post-Communist Studies., 39(1), 101-119

32. Fotovoltaika [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: http://regam.cz/fotovoltaika.php?lang=cz

33. Fushiki, S. (2013): Radiation hazards in children – Lessons from Chernobyl, Three Mile Island and Fukushima. Brain and Development., 35(3), 220-227.

34. Gadhia, M., Joshi, C. P. (2014): Estimation of Tissue Free Water Tritium (TFWT) and Organically Bound Tritium (OBT) in Terrestrial Samples around Kakrapar Atomic Power Station in India. Interantional Journal of Innovative Research and Development. 211-213.

35. Guénot, J., Bélot, Y. (1984): Assimilation of ^{3}H in photosynthesizing leaves exposé to HTO, Helath Phys., 849-855

36. Hanslik, E., Ivanovova D., Juranova E., Simonek P., Jedinakova-Krizova V. (2009): Monitoring and assessment of radionuclide discharges from Temelín Nuclear Power Plant into the Vltava River (Czech Republic). Journal of Environmental Radioactivity. 131 - 138.

37. Hermansky, B. (1980): Vliv jaderných elektráren na životní prostředí. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie., 324-333.

38. Hong, B. D., Slatick, E. R. (1994): Carbon Dioxide Emission Factors for Coal. Energy Information Administration, 1-8.

39. IAEA (2014): IAEA Concludes Safety Review at Dukovany Nuclear Power Plant in Czech Republic [online]. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-concludes-safety-review-dukovany-nuclear-power-plant-czech-republic

40. Jaslovské Bohunice (2012): Z histórie atómky [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: http: //www.jaslovskebohunice.sk/sk/Obec/Historia/Historia-obce-pohladom-Petra-Celigu/Z-historie-atomky.html

41. Koc, J., Kulich, V., Pospichal, J., Vokalek, J., Hak, J., Fiala, L., (2005): Review of radioactive outfalls from NPPs in the Czech Republic and evaluation of impact on it's vicinity. XXVII Days of Radiation Protection, Liptovsky Jan, Slovakia, 28.11–2.12. In: Conference Proceedings, pp. 106–111 (in Czech).

42. Kondolf, G. M. (1997): Hungry water:Effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management, 21, pp 533-551

43. Kotecký, V. a Sutlovičová, K. (2006): Český uhlík. Vesmír. 2006, 85(8).

44. Kralik, M., Kulich, V., Studeny, J. (2002): Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectometers, Detectors and Associated Equipment, 423 – 428

45. Lapčík, V. (2015): Posuzování vlivů větrných elektráren na životní prostředí. Životné prostredie. , 29-33.

46. Lidová Universita (1957): Atom a jaderná technika.

47. Matoušek, A. (2004): Ekologie v elektroenergetice. Brno: Zdeněk Novotný, ISBN 80-214-2538-5.

48. McAllister, D., Craig, J., Davidson, N., Delany, S., Seddon, M. (2000): Biodiversity impacts of large dams. World Commission on Dams: Thematic Report.

49. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (2001): Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR.

50. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (2014): Státní energetická koncepce České republiky.

51. Mitev, L., Zavodsky, P. (2015): Charting a Nuclear Future for the Czech Republic. ATW-International Journal for Nuclear Power.

52. Mostecké listy (2016): Premiér Sobotka slíbil rychlé schválení dvou projektů u jezera Most [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://listy.mesto-most.cz/premier-sobotka-slibil-rychle-schvaleni-dvou-projektu-u-jezera-most/d-9421

53. Mosteckejezero.cz: O Jezeru [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://mosteckejezero.cz/o-jezeru-most/

54. NWT: Největší české elektrárny [online]. [cit. 2016-08-03]. Dostupné z: http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/nejvetsi-ceske-elektrarny/

55. OBK JE Dukovany (2015): Obce s úložištěm jaderného odpadu si polepší, schválila vláda [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: http://www.obkjedu.cz/zaujalo-nas/obce-s-ulozistem-jaderneho-odpadu-si-polepsi-schvalila-vlada/

56. Oenergetice.cz (2015): Svět jaderných reaktorů: Rozdíly mezi PWR a VVER [online]. [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/svet-jadernych-reaktoru-rozdily-mezi-pwr-a-vver/

57. Oenergetice.cz (2015a): Vodní elektrárny – princip a rozdělení [online]. [cit. 2016-07-21]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni/

58. Oenergetice.cz (2016): Jaderná elektrárna Dukovany [online]. [cit. 2016-07-06]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-dukovany/

59. OSIČKA, J. (2012): Technicko-ekonomické aspekty energetiky. Brno: Masarykova univerzita, ISBN 978-80-210-5997-9.

60. Pane of science (2013): Dual Fluid Reactor - a new nuclear reactor design from Germany [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://pane-of-science.blogspot.cz/2013/08/dual-fluid-reactor-new-nuclear-reactor.htm

61. Paschoa, A. S. (2004): Environmental Effects of Nuclear Power Generation. Encyclopedia of Life Support Systems.

62. Peřina, F. (1976): Atomy slouží člověku. Polytechnická knižnice.

63. Pointurier, F., Baglan, N., Alanic, G. (2004): A method for the determination of low level organically bound tritium activities in environmental samples, Appl. radiat. Isot., 293-298

64. Pointurier, F., Baglan, N., Alanic, G., Chiappini, R. (2003): Determination of organically bound tritium background level in biological samples from a wide area in the south-west of France, J. Environ. Radioact., 171-189

65. Pro Atom Web (2007): Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: http://proatom.luksoft.cz/download.php

66. Quaschning, V. (2010): Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

67. Shiryaev, A. A., Vlasova, I. E., Burakov, B. E., Ogorodnikov, B. I., Yapaskurt, V. O., Averin, A. A., Pakhnevich, A. V., Zubavichus, Y. V. (2016): Physico-chemical properties of Chernobyl lava and their destruction products. Progress in Nuclear Energy., 92, 104-118.

68. Simek, P., Korinkova, T., Svetlik, I., Povinec, P. P., Fejgl, M., Malatova, I., Tomaskova, L., Stepan, V. (2016): The valley system of the Jihlava river and Mohelno reservoir with enhanced tritium activities. Journal of Environmental Radioactivity.

69. Singer, J.: Vliv jaderných elektráren na životní prostředí: [online]. IEAE [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/19/044/19044869.pdf

70. Slovenské elektrárne, a. s. (b): AE Mochovce [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: https://www.seas.sk/ae-mochovce

71. Slovenské elektrárne, a. s. (c): Mochovce 3 a 4 vo výstavbe [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: https://www.seas.sk/mochovce-3-4

72. Slovenské elektrárny, a. s. (a): AE Bohunice [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: https://www.seas.sk/ae-bohunice-v2

73. Srinivasa Reddy, M., Basha, S., Joshi, H. V., Jha, B. (2005): Evaluation of the emission characteristics of trace metals from coal and fuel oil fired power plants and their fate during combustion. Journal of Hazardous Materials, 242-249

74. SÚJB (2014): Jaderná zařízení v ČR [online]. [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/jaderna-zarizeni-v-cr/

75. SÚJB (a): Melkský proces [online]. [cit. 2016-07-19]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/mezinarodni-spoluprace/melksky-proces/

76. SÚJB (b): Vznik a vývoj havárie na jaderné elektrárny Fukušima Dai-ichi. [online].[cit. 2016-07-26]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Fukusima/Vznikhavarie.pdf

77. SÚJB (c): Sklad vyhořelého jaderného paliva Temelín [online]. [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/sklad-vyhoreleho-jaderneho-paliva-temelin/

78. SÚJB (d): Mezisklad vyhořelého paliva Dukovany [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/mezisklad-vyhoreleho-paliva-dukovany/

79. SÚRAO (a): Základní informace [online]. [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: http://www.surao.cz/cze/O-SURAO/Zakladni-informace

80. SÚRAO (b): Proč hlubinné úložiště v ČR? [online]. [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste/Proc-hlubinne-uloziste-v-CR

81. Svetlik, I., Fejgl, M., Malatova, I., Tomaskova, L. (2014): Enhanced activities of organically bound tritium in biota samples. Applied Radiation and Isotopes., 93, 82-86.

82. Tecl, J., Svetlik I. (2009): Determination of gaseous radionuclide forms in the stack air of nuclear power plants. Applied Radiation and Isotopes. 67(5), 950-952.

83. Thinova, L., Matolin, M., Ploc, O., Cechak, T. (2010): Radiation sources in the environment near NPP Temelin. Applied Radiation and Isotopes., 68(4-5), 848-853

84. Tullos, D. (2009): Assessing the influence of environmental impact assessments on science and policy: An analysis of the Three Gorges Project. Journal of Environmental Management., 90, S208-S223.

85. Turney, D., Fthenakis V. (2011): Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 3261–3270.

86. TZB - info (2014): Největší přehrady a vodní elektrárny v České republice [online]. [cit. 2016-07-21]. Dostupné z: http://voda.tzb-info.cz/11949-nejvetsi-prehrady-a-vodni-elektrarny-v-ceske-republice

87. Ünak, T. (2000): What is the potential use of thorium in the future energy production technology? Progress in Nuclear Energy., 137-144.

88. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Energie a její transformace [online]. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_10.pdf

89. Vokál, A., Stoch, P. (2013): Czech Republic, Slovak Republic and Poland: experience of radioactive waste (RAW) management and contaminated site clean-up. Radioactive Waste Management and Contaminated Site Clean-Up. Elsevier, 415-437.

90. Wagner V. (2008): Bude dost surovin pro jadernou energetiku? [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/transmutace/zdrojeuranu.htm

91. Wikipedia (2015): Mochovce (obec) [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Mochovce_(obec)

92. World Nuclear Association (2014): Outline History of Nuclear Energy [online]., [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx

93. World Nuclear Association (2016): World Uranium Mining Production [online]. [cit. 2016-08-10]. Dostupné z: http://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx

94. World Nuclear Association: What are nuclear wastes and how are they managed? [online]. [cit. 2016-07-05]. Dostupné z: http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/what-are-nuclear-wastes.aspx

95. Zákony pro lidi (2012): Zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší. [online]. [cit. 2016-08-08]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201

Příloha č. 1: Dotazník – Jaderná energetika a její vztah k přírodě a ke společnosti

1. **Pohlaví**
   a) Muž
   b) Žena

2. **Věk**
   a) Méně než 17 let
   b) 18 – 59
   c) Více než 60 let

3. **Dosažené vzdělání**
   a) Základní
   b) Středoškolské
   c) Vysokoškolské

4. **Kraj**

5. **Který způsob získávání energie má podle Vás v budoucnu v ČR největší potenciál? Energie z:**
   a) Tepelné elektrárny
   b) Jaderné elektrárny
   c) Solární elektrárny
   d) Vodní elektrárny
   e) Větrné elektrárny
   f) Bioplynové stanice

6. **Z jak velké části se podle Vás podílí jaderná energetika na energetickém mixu v ČR?**
   a) Méně než ¼
   b) ½ - ¼
   c) Více než ½

7. **Jste pro rozvoj jaderné energetiky v ČR?**
    a) Ano
    b) Spíše ano
    c) Spíše ne
    d) Ne
    e) Nevím

8. **Souhlasili byste s tím, kdyby veškerou energetickou spotřebu v České republice zajišťovaly pouze jaderné elektrárny?**
    a) Ano
    b) Spíše ano
    c) Spíše ne
    d) Ne
    e) Nevím

9. **Byly byste proti výstavbě jaderné elektrárny v blízkosti Vašeho bydliště?**
    a) Ano
    b) Spíše ano
    c) Spíše ne
    d) Ne
    e) Nevím

10. **V blízkosti které z elektráren byste dali přednost bydlení?**
    a) Tepelné elektrárny
    b) Jaderné elektrárny
    c) Solární elektrárny
    d) Vodní elektrárny
    e) Větrné elektrárny
    f) Bioplynové stanice

11. Myslíte si, že jaderné elektrárny negativně ohrožují životní prostředí?

a) Ano
b) Spíše ano
c) Spíše ne
d) Ne
e) Nevím

12. Kterou z následujících možností podle Vás jaderné elektrárny nejvíce ohrožují?

a) Ovzduší
b) Povrchové vody
c) Spodní vody
d) Rostliny a živočichy
e) Žádná z uvedených možností

13. Která z následujících elektráren má podle Vás nejvíce negativní vliv na životní prostředí?

a) Tepelné elektrárny
b) Jaderné elektrárny
c) Solární elektrárny
d) Vodní elektrárny
e) Větrné elektrárny
f) Bioplynové stanice

14. Který způsob získávání energie je podle Vás nejšetrnější k životnímu prostředí?

Energie z:

a) Tepelné elektrárny
b) Jaderné elektrárny
c) Solární elektrárny
d) Vodní elektrárny
e) Větrné elektrárny
f) Bioplynové stanice

15. Souhlasíte s dostavbou bloků v jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany?

a) Ano
b) Spíše ano
c) Spíše ne
d) Ne
e) Nevím

16. Myslíte si, že jaderné elektrárny Temelín a Dukovany jsou dostatečně chráněny proti haváriím?

a) Ano
b) Spíše ano
c) Spíše ne
d) Ne
e) Nevím

17. Myslíte si, že je v České republice v současné době dostatečně vyřešena otázka, která se týká ukládání vyhořelého jaderného paliva?

a) Ano
b) Spíše ano
c) Spíše ne
d) Ne
e) Nevím

18. Vnímáte těžbu uranu v České republice jako ekonomicky přínosnou v porovnání s vlivem těžby na životní prostředí a náklady následné sanace?

a) Ano
b) Spíše ano
c) Spíše ne
d) Ne
e) Nevím