VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

POROVNÁNÍ A KLASIFIKACE EKOLOGICKÝCH VLIVŮ Z RŮZNÝCH TYPŮ VÝROBEN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE DOMINIK KUNC
AUTHOR

BRNO 2011

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Dominik Kunc ***ID:*** 115214
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Porovnání a klasifikace ekologických vlivů z různých typů výroben

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis technologií jednotlivých typů výroben.
2. Specifikace odpadních látek.
3. Možnosti eliminace odpadních látek z technologických procesů.
4. Návrh opatření pro "čistou" výrobu elektrické energie ze současných zdrojů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011 ***Termín odevzdání:*** 26.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

KUNC, D. *Porovnání a klasifikace ekologických vlivů z různých typů výroben.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 51 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

……………………………

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Porovnání a klasifikace ekologických vlivů z různých typů výroben

Dominik Kunc

vedoucí: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

BACHELOR'S THESIS

COMPARISON AND CLASSIFICATION OF ECOLOGICAL IMPACTS OF DIFFERENT TYPES OF POWER STATION

by

Dominik Kunc

Supervisor: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.
Brno University of Technology, 2011

Brno

Abstrakt

Cílem práce je shrnout a porovnat ekologické vlivy z různých typů elektráren, popsat možnosti snížení škodlivosti některých vlivů a navrhnout opatření pro čistší výrobu elektrické energie. Na úvod je uveden přehled o struktuře této práce a je objasněna volba tématu. Ve druhé části je nejprve popsán stav energetického mixu v České republice v roce 2009 a v následujících podkapitolách jsou popsány základní principy fungování jednotlivých elektráren, škodlivé efekty vznikající při jejich provozu a jejich dopady na člověka a životní prostředí. Hodnoceny jsou elektrárny, které vyrobily roku 2009 nezanedbatelné množství elektrické energie, jsou to: tepelné elektrárny (především uhelné, ale i elektrárny spalující biomasu a plynové elektrárny), jaderné elektrárny, vodní elektrárny, větrné elektrárny a sluneční elektrárny. Dále je zmíněna ekonomická náročnost výroby energie z různých zdrojů a jejich potenciál v naší zemi v dalších letech. V následující části je zvolena a přiblížena jedna z možností snižování škodlivosti současné výroby elektrické energie, a to redukce emisí oxidu uhličitého. Krátce je popsáno, jaký má vliv tento skleníkový plyn na oteplení naší planety, jaké jsou v současné době metody na zachytávání oxidu uhličitého a jejich princip fungování, možnosti ukládání (případně využití) a přepravy. Poté je shrnuta ekonomická náročnost výroby energie v závislosti na použití těchto technologií v různých typech elektráren a možnosti realizace v České republice. Na závěr druhé kapitoly je proveden odhad změny energetického mixu jako jedné z možností snižování škodlivých vlivů vznikajících při výrobě elektrické energie. Ve třetí části je provedena základní klasifikace škodlivých vlivů a dále jejich porovnání na základě druhé kapitoly, které je stručně uvedeno v tabulce a vyhodnoceno. Čtvrtá část se týká především zhodnocení odhadu energetického mixu.

Klíčová slova: Porovnání ekologických vlivů; zachytávání a ukládání CO_2; klasifikace elektráren; emise; elektrárny

Abstract

The main subject of this work is to compare the ecological impacts of different types of power stations, to describe the possibilities how to reduce some of their harmful effects, and to design a cleaner electricity production process. Firstly the summary of this paper structure is introduced and the choice of its subject is explained. The second part describes the structure of energy mix in the Czech Republic in 2009 and in the following subheads there are defined basic principles of the particular power stations' functioning, harmful effects rising during their operating and their impacts on people and the environment. There is the evalution of the power plants that created the indispensable amount of electric energy in 2009, which are: thermal power stations (mainly coal-fired ones but also the power plants burning biomass and the gas power plants), nuclear power plants, water power plants, wind power plants and solar power plants. Further there is mentioned the economical demand of energy generation from various sources and thein potential in our country in the next years. In the following part is focused on the possibility of reducing harmfulness in present electricity production, to the reduction of carbon dioxide emissions. It briefly describes the influence of this greenhouse gas on warming of our planet, what methods of capture carbon dioxide are recently available, what are the principles of these methods and what are the possibilities of carbon dioxide storage and transportation. Then we sum up economic demands of power production in the relation to useage of these technologies in various types of power plants. Likewise the possibilities of their realization in the Czech Republic are discussed. At the end of the second chapter we estimate the change of energy mix in the Czech Republic as a possible reduction of detrimental effects created by electric power production. In the third part we classify and compare these harmful impacts. Last chapter is focused on the evaluation of our energy mix estimation.

Key words: Comparison ecological impacts; capture and storage CO_2; classification of power stations; emissions; power plants

OBSAH

OBSAH 8
1 ÚVOD 13
2 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLÉMU 14
2.1 Výroba a spotřeba elektrické energie v České republice 14
2.2 Tepelné elektrárny 15
2.2.1 Základní rozdělení a princip fungování tepelných elektráren 15
2.2.2 Uhelné elektrárny 16
2.2.3 Neuhelné tepelné elektrárny 21
2.3 Jaderné elektrárny 22
2.3.1 Základní princip jaderných elektráren 22
2.3.2 Ekologické problémy jaderných elektráren v ČR 22
2.4 Vodní eletrárny 26
2.4.1 Princip vodních elektráren 26
2.4.2 Vodní elektrárny a ekologie 26
2.5 Větrné elektrárny 27
2.5.1 Princip větrných elektráren 27
2.5.2 Větrné elektrárny a ekologie 27
2.6 Sluneční elektrárny 28
2.6.1 Princip slunečních elektráren 28
2.6.2 Fotovoltaické elektrárny a ekologie 28
2.7 Další vlastnosti elektráren 29
2.7.1 Účinky na lidské zdraví 29
2.7.2 Porovnání měrných výrobních nákladů 30
2.7.3 Využitelnost zdrojů v České republice 30
2.8 Snižování emisí CO2 z uhelných elektráren 32
2.8.1 Předpokládaný vliv produkce CO2 do atmosféry na oteplování planety 32
2.8.2 Možnosti snižování emisí CO2 z uhelných elektráren 32
2.8.3 Separace CO2 před spalováním 32
2.8.4 Spalování v kyslíku 34
2.8.5 Separace CO2 ze spalin 34
2.8.6 Metody chemické absorpce 35
2.8.7 Metoda fyzikální absorpce 35
2.8.8 Absorpce hybridními rozpouštědly 36
2.8.9 Metoda chemické adsorpce 36
2.8.10 Metoda fyzikální Adsorpce 36
2.8.11 Metoda použití membrán 36
2.8.12 Metoda kryogenní separace 37
2.8.13 Možnosti ukládání oxidu uhličitého 37
2.8.14 Transport oxidu uhličitého 38
2.8.15 Ekonomické náklady na zachytávání a ukládání oxidu uhličitého 38

2.8.16 Možnosti využití technologií pro zachytávání CO2 v České republice 41
2.9 Předpokládaný vývoj energetického mixu v blízké budoucnosti..42

3 KLASIFIKACE EKOLOGICKÝCH VLIVŮ A JEJICH POROVNÁNÍ...................................45

3.1 Dělení vlivů energetických výroben na ekologii...45
3.2 Porovnání ekologických vlivů...45
3.3 Vyhodnocení vlivů...47

4 OPATŘENÍ PRO EKOLOGICKY ŠETŘNEJŠÍ VÝROBU EL. ENERGIE..............................49

5 POUŽITÁ LITERATURA...50

Seznam ilustrací

Ilustrace 1: Emise tuhých znečišťujících látek [6]..17
Ilustrace 2: Emise oxidu uhelnatého [6]..17
Ilustrace 3: Emise oxidů dusíku [6]...18
Ilustrace 4: Emise oxidu siřičitého [6]...18
Ilustrace 5: Procentuální srovnání emisí elektráren v Německu [8]...23
Ilustrace 6: Vliv normálního provozu elektráren na zdraví obyvatel [8].....................................29
Ilustrace 7: Separace oxidu uhličitého před spalováním [23]...33
Ilustrace 8: Spalování v kyslíku [23]..33
Ilustrace 9: Separace po spalování [23]...34

Seznam tabulek

Tabulka 1: Roční bilance elektřiny [1]..14

Tabulka 2: Zábor půdy pro elektrárnu o instalovaném výkonu 1000 MW [8]..............................20

Tabulka 3: Srovnání množství paliva a odpadů uhelné a jaderné elektrárny z roční produkce elektráren o instalovaném výkonu 1000 MW [10]..24

Tabulka 4: Odhad účinků výroby elektřiny na lidské zdraví (výkon 1 GW) za rok [7]................29

Tabulka 5: Měrné výrobní náklady pro různé elektrárny [8]..30

Tabulka 6: Rozsah cen elektrické energie při zachytávání a ukládání CO2 [24]..........................40

Tabulka 7: Výroba elektřiny netto - zdrojová část..42

Tabulka 8: Struktura výroby elektřiny podle Nezávislé energetické komise................................43

Tabulka 9: Odhad energetického mixu..44

Tabulka 10: Porovnání ekologických vlivů výroben...46

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AOE	jiná alternativní elektrárna
CCS	zachytávání a ukládání oxidu uhličitého (carbon capture and storage)
DEA	dietanolamin
GOE	geotermální elektrárna
IPPC	mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
JE	jaderná elektrárna
MDEA	metyldietanolamin
MEA	monoetanolamin
MIT	Massachusettský institut technologií (Massachusetts Institute of Technology)
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PE	parní elektrárna
PM..	pevné částice (particulate matter)
PPE	paroplynová elektrárna
PSE	plynová a spalovací elektrárna
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
SLE	solární elektrárna
VE	vodní elektrárna
VTE	větrná elektrárna

1 Úvod

V dnešní době se často mluví o ekologii, životním prostředí, trvale udržitelném rozvoji, globálních katastrofách či vlivu člověka na současný i budoucí stav naší planety. Jsme zahrnováni informacemi ze všech typů médií. Každý se tak může dozvědět nejnovější informace o znečištění ovzduší, velikosti skládek nebo vymírání druhů, avšak bohužel jsou tyto informace podávány často pro laika velmi nepřehlednou formou a někdy dokonce zavádějícími či zcela nesprávnými údaji. Lidé si o ekologii nemohou vytvořit objektivní názor, pokud nemají dostatek nezkreslených informací. Jedním z hlavních činitelů zasahujících do ekologie je bezesporu výroba elektrické energie. Cílem této práce proto bude poskytnout širšímu spektru čtenářů stručné informace o různých ekologických vlivech elektráren tak, aby získal každý čtenář alespoň základní povědomí o škodlivinách jimi produkovanými a zároveň mohl jednoduše porovnat jejich užitek i negativní dopady.

V podkapitolách druhé části se budeme věnovat určitému typu výrobny elektrické energie. Zjednodušeně bude vysvětleno, proč vznikají konkrétní škodliviny, jaké je zhruba jejich množství a jak působí na člověka. Budeme porovnávat největší vlivy elektráren na životní prostředí. Zároveň budeme sledovat množství vyrobené energie a ekonomičnost daného provozu. V závěru výsledky porovnáme ve shrnující tabulce. Nesmíme opomenout omezenost některých zdrojů, proto bude zmíněno i předpokládané množství vyčerpatelných paliv a dosažitelnost zdrojů nevyčerpatelných.

Po porovnání vlivů jednotlivých typů elektráren se zaměříme na nejrozšířenější výrobnu elektrické energie, tedy uhelnou elektrárnu, a budeme se zabývat možnostmi eliminace škodlivin, a to separací oxidu uhličitého a jeho ukládáním.

Na závěr se podíváme na možný scénář energetického mixu v blízké budoucnosti. Budeme vycházet hlavně ze zprávy Nezávislé energetické komise, která se tímto problémem zabývala.

2 Teoretický rozbor problému

2.1 Výroba a spotřeba elektrické energie v České republice

Dříve než budeme porovnávat ekologické aspekty různých výroben, podívejme se na míru výroby a spotřeby v posledních letech zveřejněnou Energetickým regulačním úřadem:

Tabulka 1: Roční bilance elektřiny [1]

Rok		2009	2008	2009/ 2008
		[GWh]	[GWh]	[%]
Výroba elektřiny brutto celkem		82 250,0	83 517,9	98,482
Z toho	**PE**	48 457,4	51 218,8	94,609
	PPE+PSE	3 225,2	3 112,7	103,615
	VE	2 982,7	2 376,3	125,519
	JE	27 207,8	26 551,0	102,474
	VTE	288,1	244,7	117,723
	SLE	88,8	12,9	688,424
	GOE	0,0	0,0	
	AOE	0,0	1,5	
Výroba elektřiny netto celkem		75 990,0	77 084,6	98,580
Z toho	**PE**	43 848,3	46 416,6	94,467
	PPE+PSE	3 132,5	3 029,3	103,406
	VE	2 969,3	2 365,1	125,545
	z toho PVE	550,0	349,8	157,226
	JE	25 664,7	25 015,3	102,596
	ostatní (VTE, SLE, GOE, AOE)	375,3	258,2	145,333
Dovoz elektřiny celkem **)		8 586,4	8 520,5	100,774
Vývoz elektřiny celkem **)		22 230,3	19 989,1	111,212
Tuzemská spotřeba elektřiny netto		57 111,7	60 477,7	94,434
Tuzemská spotřeba elektřiny brutto		68606,2	72 049,3	95,221

***) u dovozu a vývozu elektřiny jsou brány naměřené hodnoty (fakturované hodnoty + tranzity elektřiny)*

Vysvětlivky:

PE	parní elektrárna
PPE	paroplynová elektrárna
PSE	plynová a spalovací elektrárna
VE	vodní elektrárna
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
JE	jaderná elektrárna
VTE	větrná elektrárna
SLE	solární elektrárna
GOE	geotermální elektrárna
AOE	jiná alternativní elektrárna

V tabulce jasně vidíme, že největším zdrojem elektrické energie u nás jsou parní elektrárny následovány elektrárnami jadernými. Mezi významnější producenty elektrické energie u nás patří ještě paroplynové, plynové a spalovací a vodní elektrárny. Větrné elektrárny vyrobily pouze asi třetinu procenta celkové vyrobené energie a sluneční v loňském roce vyrobily jen třetinu toho, co větrné. Ostatní typy výroben se na celorepublikové produkci energie podílely téměř zanedbatelně. Dále si můžeme všimnout, že vývoz energie výrazně převyšuje dovoz, na což samozřejmě upozorňuje řada ekologů, protože to znamená, že na našem území vzniká více škodlivin za energii, která nebude spotřebována na našem území.

2.2 Tepelné elektrárny

2.2.1 Základní rozdělení a princip fungování tepelných elektráren

Jak jsme si ukázali v předchozí kapitole, nejvíce elektrické energie vyrobí tepelné elektrárny, proto začneme s rozborem právě těchto výroben. Tepelné elektrárny se obecně dělí na *[2]*:

- Kondenzační elektrárny
- Teplárny
- Elektrárny se spalovacími turbínami
- Paroplynové elektrárny

Kondenzační elektrárny pracují na základě Rankin-Clausiova cyklu, kdy ohřevem vody na vysokou teplotu vzniká přehřátá vodní pára, která roztáčí parní turbínu pohánějící generátor. Účinnost kondenzační elektrárny se pohybuje kolem 35 % . *[3]*

Teplárna pracuje na obdobném principu, ale kromě energie elektrické je využita i energie tepelná. Mezi teplárny můžeme zařadit i kondenzační elektrárnu s odběrem tepla, kdy je jenom část média odváděna pro vytápení a zbytek je stejně jako u elektrárny kondenzační odveden na kondenzátor. Účinnost klasické teplárny bývá až 90 % a kondenzační elektrárny s odběrem tepla asi 55 %. *[3]*

Elektrárna se spalovací turbínou je poháněna na rozdíl od kondenzačních elektráren především plynnými palivy, které jsou s nasátým vzduchem přivedeny do spalovací komory. Rozlišujeme dva typy oběhů – otevřený a uzavřený, podle toho, zda po expanzi dojde k chlazení a

znovupoužití pracovní látky, nebo zda se látka vypustí z oběhu a v dalším cyklu je nasáta nová. *[3]*

Paroplynová elektrárna kombinuje oběh parní a spalovací, aby bylo dosaženo větší účinnosti. Spaliny ze spalovacího oběhu jsou využity v kotli oběhu parního. Parní oběh může být kondenzační, odběrový i protitlaký. *[3]*

Vliv na životní prostředí se u těchto typů elektráren nejvíce odvíjí od použitého paliva.

2.2.2 Uhelné elektrárny

Největším zdrojem elektrické energie u nás je hnědé uhlí. Na celkové vyrobené energii u nás se podílí téměř padesáti procenty. Z černého uhlí získáváme asi 6,5 procent vyrobené energie. Tyto dva druhy uhlí se liší především výhřevností a obsahem kyslíku a uhlíku. Mezi hlavní emise vypouštěné z uhelných elektráren patří:

- Polétavý prach
- Oxid uhličitý
- Oxid uhelnatý
- Oxidy dusíku
- Oxidy síry

Polétavý prach je souborem tuhých i kapalných částic, které jsou velmi lehké a jsou přenášeny vzduchem. Podle velikosti částic ho dělíme na PM10, PM2,5 a PM1,0 kde číslice za PM značí horní hranici velikosti částic v mikrometrech. Mají velký vliv na teplotní bilanci i tvorbu vodních srážek. Navíc mají negativní vliv na lidské zdraví, především na dýchací soustavu. *[4]*

Oxid uhličitý je plyn vznikající při spalování organických hmot. Patří mezi tzv. skleníkové plyny, tedy plyny způsobující skleníkový efekt, který je příčinou oteplení planety způsobeného pohlcováním infračervených paprsků těmito plyny. Bez skleníkového efektu by průměrná teplota Země byla hluboko pod bodem mrazu. Podíl oxidu uhličitého na skleníkovém efektu je asi 26 %. Je předmětem diskusí, jak velký vliv má zvýšená produkce CO_2 na oteplování planety. Výrazný přímý vliv této látky na biosféru není znám. *[4]*

Oxid uhelnatý vzniká nedokonalým spalováním za nízké teploty a nedostatku kyslíku. Má schopnost na sebe vázat hemoglobin, a to až třistakrát více než kyslík. Proto negativně působí na cévní soustavu a orgány na ní závislé. Při velkém množství může způsobit udušení. *[4]*

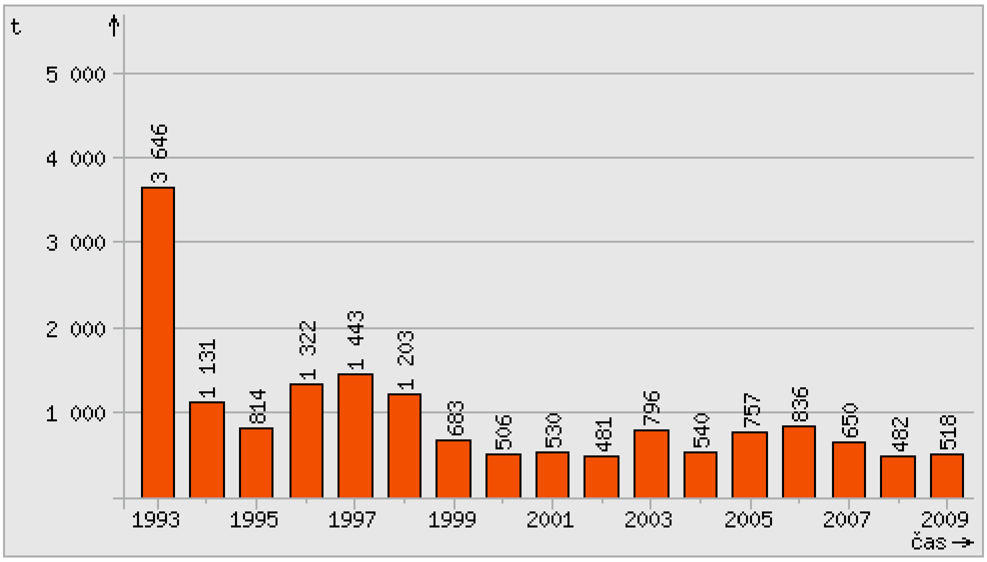
Oxidy dusíku jsou další plyny vznikající při hoření fosilních paliv. Nejvýznamnější jsou oxid dusnatý a dusičitý. Patří mezi původce respiračních onemocnění. Dalšími ekologickými negativy je podílení se na tvorbě kyselých dešťů, vzrůstu koncentrace ozónu v ovzduší a vytváření fotochemického smogu. *[4]*

Oxidy síry vznikají při spalování paliv obsahujících síru. Mají negativní vliv na lidské zdraví, především na horní cesty dýchací. Dále je v atmosféře působitelem kyselých dešťů a je značně toxický pro rostliny, protože brání fotosyntéze reakcí s chlorofylem. *[4]*

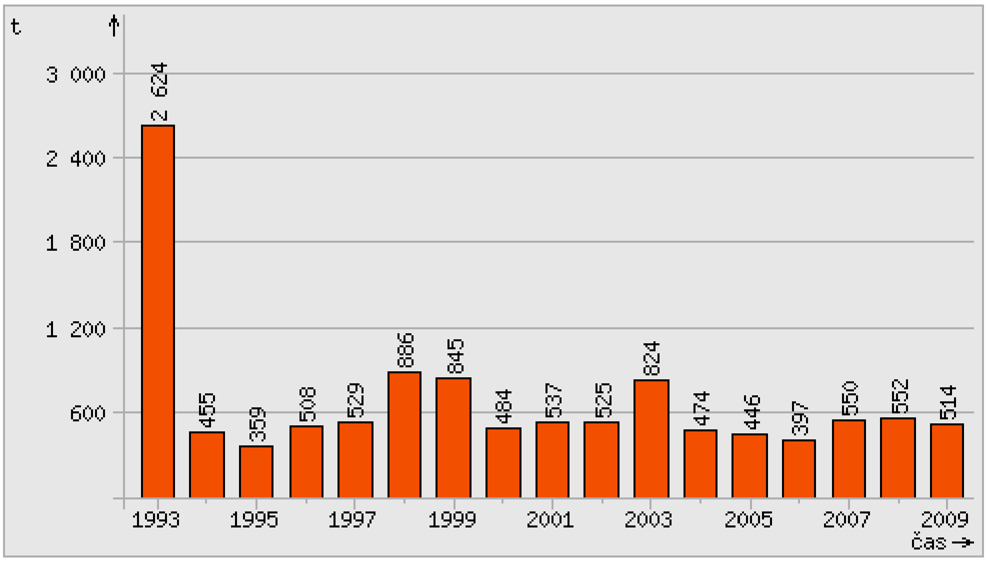
Nyní se podívejme na množství těchto zplodin v naší největší uhelné elektrárně – Prunéřov 2:

Co se týče oxidu uhličitého, graf ani hodnotu emisí ČEZ na svém webu nezveřejňuje, ale podle webu ČT24 se množství emisí CO_2 z el. Prunéřov pohybuje kolem 9 000 000 tun. *[5]*

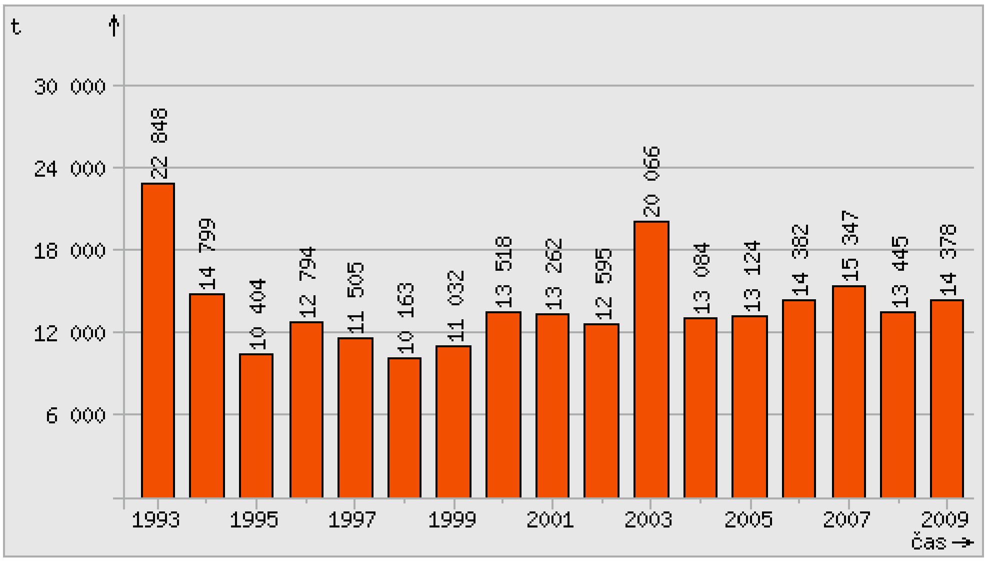
Stav ostatních přímých emisí popisují grafy zveřejněné na webových stránkách společnosti ČEZ:



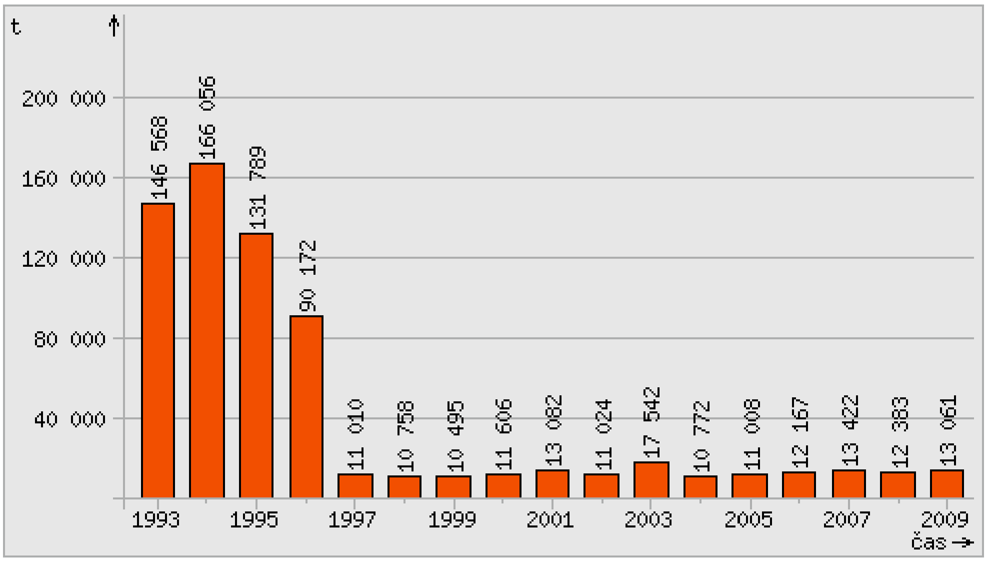
Ilustrace 1: Emise tuhých znečišťujících látek [6]



Ilustrace 2: Emise oxidu uhelnatého [6]



Ilustrace 3: Emise oxidů dusíku [6]



Ilustrace 4: Emise oxidu siřičitého [6]

Elektrárna Prunéřov 2 za rok 2009 vyrobila 6633,5 GWh elektrické energie brutto a 57 395 TJ tepla *[1]* . Je to nejmladší elektrárna u nás a nedávno prošla modernizací. Protože je to uhelná elektrárna spalující hnědé uhlí s největším instalovaným výkonem, berme ji jako vhodného zástupce tohoto druhu výroben. Na grafech si můžeme všimnout výrazného poklesu emisí od roku 1993 vzniklého hlavně díky odsiřování, který se objevuje i u ostatních tepelných elektráren.

Vypočítejme nyní množství emisí na 1 GWh v roce 2009:

$$\textit{Oxid uhličitý} \quad \frac{\textit{Množství emisí } CO_2}{\textit{Vyrobená energie za rok}} = \frac{9\,000\,000}{6\,633{,}5} = 1\,356{,}75 \quad \text{(t,GWh; t/GWh)}$$

Tuhé znečišťující látky	$\frac{Množství\ emisí\ TZL}{Vyrobená\ energie\ za\ rok}=\frac{518}{6\,633{,}5}=0{,}0781$		*(t,GWh; t/GWh)*
Oxid uhelnatý	$\frac{Množství\ emisí\ CO}{Vyrobená\ energie\ za\ rok}=\frac{514}{6\,633{,}5}=0{,}0774$		*(t,GWh; t/GWh)*
Oxidy dusíku	$\frac{Množství\ emisí\ NO_x}{Vyrobená\ energie\ za\ rok}=\frac{14\,378}{6\,633{,}5}=2{,}1675$		*(t,GWh; t/GWh)*
Oxid siřičitý	$\frac{Množství\ emisí\ SO_2}{Vyrobená\ energie\ za\ rok}=\frac{13\,061}{6\,633{,}5}=1{,}9689$		*(t,GWh; t/GWh)*

Abychom mohli zhodnotit ekologické vlivy tohoto druhu výroben, nesmíme zapomenout na vlivy nepřímé, především **těžbu uhlí**. U nás se těží především v oblasti Karvinska (černé uhlí) a v blízkosti Krušných hor v pánvích Mostecké a Sokolovské (hnědé uhlí). Tyto oblasti jsou poznamenané těžbou, která zde v některých místech zcela změnila přirozený ráz krajiny. Dalšími problémy je zvýšená seizmická aktivita, prašnost okolí či znečišťování vod. Nelze zanedbat ani další negativa především v souvislosti se záborem zemědělské půdy, kácením lesů nebo vylidňováním vesnic. Dále vzniká velké množství odpadů a nelze zanedbat ani hluk, doprovázející těžbu.

Dalším důležitým vlivem elektráren pracujících s chlazením vody na kondenzátorech je **tepelné znečištění.** Při spalování fosilních paliv je podíl tepla odvedeného při chlazení na kondenzátorech asi 45 %. Tepelné znečištětní má více důsledků: vzroste teplota a vlhkost vzduchu, častěji vznikají mlhy a námrazy, větší množství srážek, kratší doba slunečního svitu. Intenzita těchto vlivů rychle roste se vzdáleností od zdroje tepelného znečištění. Zhruba od vzdálenosti 10 km jsou tyto vlivy téměř zanedbatelné. Co se týče zvýšení teploty, jeho hodnota se pohybuje v řádu setin stupně. Zvýšení relativní vlhkosti se pohybuje kolem půl procenta v těsné blízkosti zdroje. Zajímavější je průměrné roční zvýšení počtu hodin s výskytem mlhy, které nad výrobnou dosahuje zhruba 20 hodin. Průměrné roční zvýšení počtu hodin námrazy se udává v jednotkách hodin *[7]*.

V okolí tepelných elektráren vzniká i **ionizující záření.** Toto záření je přítomno na Zemi od doby jejího vzniku. Je charakterizováno jako typ záření, které mění fyzikální stav atomů, a vniká při radioaktivní přeměně nestabilních prvků. Střední roční efektivní dávkový ekvivalent ionizujícího záření na Evropana pocházející z přírodních zdrojů má hodnotu asi 2,4 mSv. Pro srovnání: při jaderných pokusech tato hodnota vzrostla o 5,5 mSv a například průmyslové zářiče přidávají asi 0,1 mSv *[7]*. Sledování televize hodinu denně potom tuto dávku zvýší asi o 0,01 mSv a například rentgen o 1,3 mSv. V okolí uhelních elektráren se roční hodnota pohybuje mezi 0,001 a 0,01 mSv *[2]*.

Účinek ionizujícího záření na lidský organismus je způsoben změnou chemické podstaty hmoty. Tato změna může v živém orgranismu výrazně narušit tkáně v důsledku vzniklých fyzikálních, chemických, biologických či tepelných změn. Velmi záleží na druhu záření, dávce, časovém rozložení záření a proporcích ozářeného organismu. Zdravotní komplikace se můžou dostavit buď časně (poškození plodu, akutní nemoc z ozáření,...) nebo po delší době (nádory, genetické změny). Nejvyšší roční přípustná hodnota podle ministerstva zdravotnictví je 5 mSv *[7]*.

Plochu zabírající tepelné a další eletrárny přehledně zobrazuje následující tabulka:

Tabulka 2: Zábor půdy pro elektrárnu o instalovaném výkonu 1000 MW [8]

Elektrárna	**Plocha [km^2]**
Jaderná	0,25–4
Uhelná	0,85–1,5
Plynová	0,16–0,25
Fotovoltaická	20–50
Větrná	50–150
Biomasa	4000–6000

V tabulce je přihlédnuto i k požadavkům elektráren (klimatické podmínky například snižují využitelnost větrných a sluneční asi na 15 – 45 %). *[8]*

Zabrání velké plochy má mnoho negativních následků. Jde o významný zásah do rázu krajiny. Problémem je také zabírání velkých zemědělských ploch. Omezuje se tak produkce potravin, kterých zatím ve světě není zdaleka dostatečné množství. Když odhlédneme od člověka, nelze přehlédnout vytlačování různých živočichů z jejich domovů, ať už jde o ptactvo, hmyz, ale i vysokou zvěř. V neposlední řadě ani mnohým vzácným rostlinám nesvědčí takové zásahy do krajiny.

Hluk je jedním z důležitých ekologických aspektů. Je definován jako nepříjemný rušivý zvuk. Má významný vliv na lidské zdraví. Reakce lidského organismu na hluk jsou následující:

- Zvýšení krevního tlaku
- Zrychlení tepu
- Stažení periferních cév
- Zvýšení hladiny adrenalinu
- Ztráty hořčíku

Významně ovlivňuje lidskou psychiku způsobováním depresí, rozmrzelosti, agresivity, ztráty pozornosti, snížení výkonnosti apod. Dlouhodobě způsobuje vysoký krevní tlak, zvýšení rizika infarktu, snížení imunity, únavu i nespavost. Nebezpečné je překročit krátkodobě hodnotu 130 dB nebo dlouhodbě se vystavovat hluku vyššímu než 70 dB. *[9]*

Hluk u tepelných elektráren vztažený na množství vyrobené energie je poměrně nízký, protože strojové části bývají uzavřeny v odhlučněných budovách.

Velkou nevýhodou uhelných elektráren je **pevný odpad.** Podle propagačních materiálů společnosti ČEZ je množství pevných odpadů (popílek, vyhořelé palivo,...) asi 415 000 tun na roční provoz elektrárny o výkonu 1 000 MW *[10]*. Naštěstí je až 90 % odpadů (objemově) využito dále například ve stavebnictví.*[6]*

2.2.3 Neuhelné tepelné elektrárny

Mezi další tepelné elektrárny patří kromě uhelných například elektrárny spalující různé plyny, oleje a biomasu.

Energie získaná z **plynu** v České republice není příliš velká (viz Tabulka 1), avšak v nejbližší době se chystá stavba nových plynových elektráren. *[6]*

Plyn se spaluje především v tzv. paroplynových cyklech s poměrně vysokou účinností (až 60 %), takže velikost ekologických dopadů na vyrobenou energii je obecně výrazně nižší než u elektráren spalujících jenom uhlí. *[6]*

Také množství emisí je vzhledem k palivu obsahujícím méně síry a dalších škodlivých příměsí šetrnější k životnímu prostředí, například emise oxidu uhličitého jsou oproti uhelným elektrárnám nižší až o 70 %. *[6]*

Co se týče těžby plynu, není zdaleka tolik devastující, jako je způsob získávání uhlí. Každopádně je Česká republika při dovozu plynu závislá na jiných státech, což může ústit v problémy. Po nedávném zastavení dodávek ropy z Ruska kvůli sporu s Ukrajinou začaly panovat určité obavy o stabilitě dodávek plynu stejně jako ropy.

Půda zabraná pro chod plynové elektrárny je vzhledem k ostatním zdrojům nejmenší, jak ukazuje Tabulka 2.

Hluk je vzhledem k technologii výroby srovnatelný s hlukem z uhelných elektráren, spíše menší díky snadnější přepravě paliva.

Množství odpadů je daleko nižší než mají uhelné elektrárny, přesná čísla jsou však těžko dohledatelná, protože bývají plynové elektrárny spojeny v paroplynovém cyklu s uhelnými.

Biomasa je v poslední době jedním z nejdiskutovanějších zdrojů energie. Základním zdrojem biomasy jsou rostliny. Spalujeme především dřevo, dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky. U nás se používá zatím pouze při spoluspalování v elektrárnách Hodonín, Poříčí, Dvůr Králové nad Labem a Tisové. Již se ale plánuje výstavba výroben energie spalujících čistou biomasu. *[6]*

Z hlediska ekologie je to zdroj poměrně čistý, je však potřeba dbát na funkčnost technologie spalování, jinak vzniká větší množství oxidu uhelnatého. Má vyváženou bilanci oxidu uhličitého – stejné množství, které rostliny při růstu spotřebují, je při spalování opět uvolněno do atmosféry. Také hodnoty dalších emisí jsou výrazně optimističtější než při spalování uhlí. Především díky nízkému obsahu síry v palivu (biomasa má do 0,1 % obsahu síry a uhlí asi 2 %). Hladina oxidů dusíku je však podobná jako u uhelných elektráren.*[6]*

Obrovskou nevýhodou je velikost plochy zabrané pro růst biomasy, jak ukazuje Tabulka 2.

2.3 Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny jsou po uhelných elektrárnách největším zdrojem elektrické energie v České republice. Na našem území se nachází dvě elektrárny tohoto typu – Dukovany a Temelín, obě provozuje skupina ČEZ. Za minulý rok vyrobily přes 27 TWh elektrické energie, což je více než třetina vyrobené energie u nás.

2.3.1 Základní princip jaderných elektráren

Výroba energie v jaderných elektrárnách je velmi podobná výrobě energie v elektrárnách tepelných. Princip je založen na štěpení jader těžkých prvků, u nás konkrétně izotopu uranu ^{235}U. Tyto prvky jsou štěpeny v jaderných reaktorech, které jsou základem primárních okruhů nahrazujících v Rankin – Clausiově oběhu kotel, ve kterém se u tepelných elektráren spalují fosilní paliva. Štěpení těžkých prvků doprovází uvolňování energie, která odpovídá rozdílu hmotností původních a vzniklých částic, protože podle Einsteinova zákona platí:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \qquad [J; kg; m\ s^{-1}]$$

Aby se jádra rozštěpily, jsou rozdělována rychle letícími neutrony. Po srážce vznikají kromě lehčích prvků další neutrony, které můžou rozštěpit další jádra těžkých prvků. Tomuto procesu se říká štěpná reakce. Je podmíněna několika podmínkami, mezi něž patří například dostatečné množství paliva (tzv. kritické množství). Reaktory můžeme dělit podle rychlosti neutronů štěpících jádra. Dnes se většinou používají reaktory pomalé, tzv. tepelné. V těchto reaktorech je rychlost neutronů zpomalována vhodným moderátorem, ve kterém pružné srážky dostatečně sníží rychlost neutronů. Jako moderátor se používá hlavně voda. *[3]*

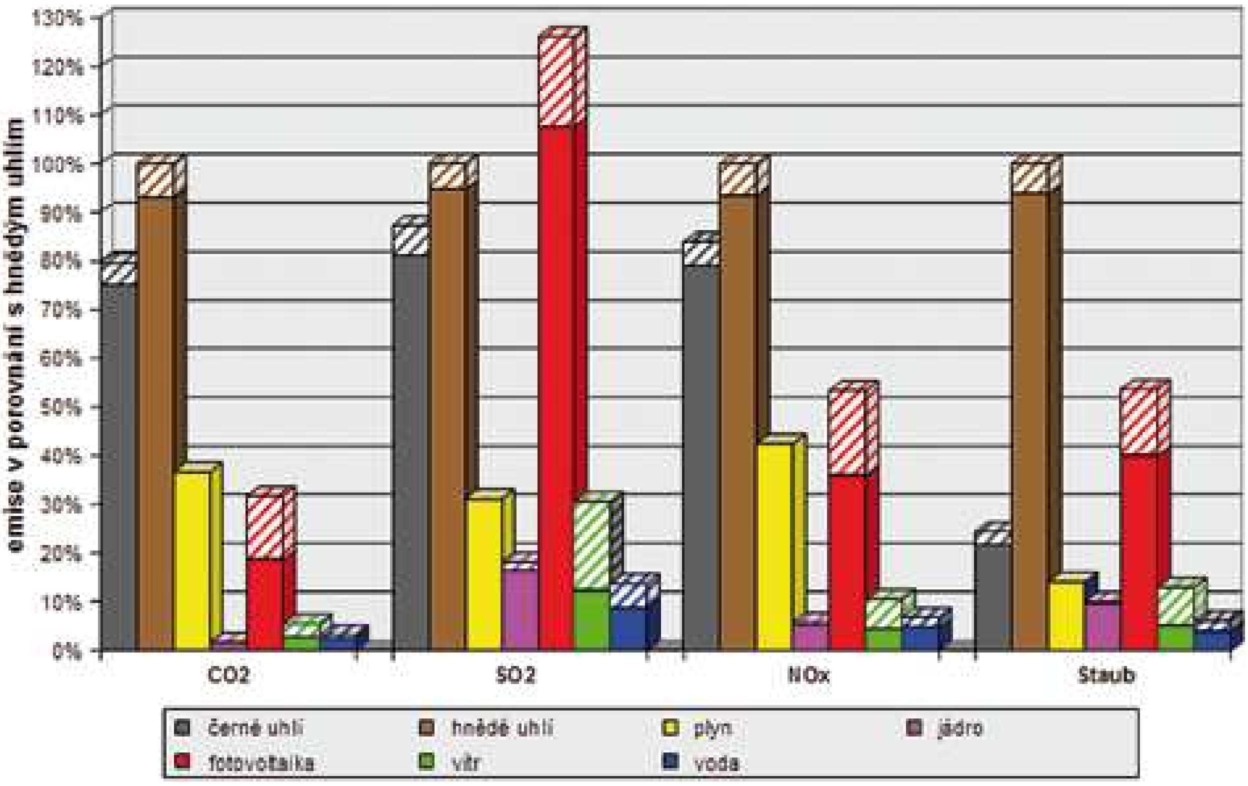
Reaktory dále můžeme dělit na tlakovodní a varné. U varných je turbosoustrojí poháněno přímo parou vzniklou v aktivní zóně, kdežto tlakovodní oddělují turbosoustrojí od aktivní zóny sekundárním okruhem. Tento typ je bezpečnější a taky daleko používanější (téměř 80 % světových reaktorů). U nás se používá jenom tlakovodních reaktorů. *[3]*

V několika světových laboratořích se vyvíjí nový typ jaderných reaktorů, ve kterých by se místo štěpení jader těžkých prvků využívalo slučování jader lehkých prvků, tzv. jaderná fúze nebo také termojaderná syntéza. Tento typ elektráren je velkou nadějí především z hlediska zásob paliva. Pravděpodobně se bude slučovat tritium s deuteriem. Tritium je možné vyrobit, nevýhodou je jeho jaderné záření, konkrétně záření alfa. Deuterium je možné získávat z mořské vody. Bylo již provedeno několik experimentů, při žádném však nebylo získáno více energie, než kolik vlastní zařízení spotřebovalo. *[3]*

2.3.2 Ekologické problémy jaderných elektráren v ČR

Začněme stejně jako u uhelných elektráren množstvím **emisí.**

Pro srovnání emisí použijme tabulku vystavenou podle splodin německých elektráren, která porovnává emise hnědouhelných elektráren s emisemi jiných zdrojů. Předpokládáme, že se procentuálně nebude množství emisí z našich elektráren výrazně lišit:



Ilustrace 5: Procentuální srovnání emisí elektráren v Německu [8]

Graf zahrnuje i nepřímé emise spojené s výrobou zařízení a těžby surovin potřebných pro výrobu daných elektráren. Vidíme, že u jaderných elektráren je výsledné množství emisí téměř nejmenší, předčí je pouze elektrárny vodní.*[8]*

Srovnáme-li procentuální množství emisí s konkrétními čísly vztahující se k hnědouhelným elektrárnám (viz strana 9), můžeme získat velmi hrubou představu o skutečném množství emisí dalších elektráren. Je však potřeba si uvědomit, že výpočty se stahovaly k emisím pouze přímým, proto skutečná hodnota všech emisí hnědouhelných elektráren bude odlišná od uvedených přímých, i když vzhledem k výraznějšímu podílu přímých emisí před nepřímými, se budou hodnoty výše uvedeným velmi blížit.

Stejně jako u uhelných elektráren, je zde potřeba poukázat na značné škody doprovázející **těžbu** uranu. Těžba může být dvojího druhu – hlubinná a chemická. Hlubinná těžba se projevuje velmi podobně jako těžba uhlí. Dochází při ní k narušování krajinného rázu, poklesům půdy apod. Chemická těžba spočívá ve vytvoření vrtů, kterými se jednak vhání kyselina sírová a dusičná a dále se jimi získává vzniklý roztok, z kterého se získává oxid uranu. Tento způsob je nebezpečný z hlediska možnosti znečištění spodních vod a vzniku velkého množství odpadní důlní vody. Při těžbě a úpravě paliva vzniká objemově největší množství odpadů z celého palivového cyklu, naštěstí však tento odpad není z většiny radioaktivní a lze ukládat na skládkách a odkalištích.*[2]*

Tepelné znečištění je dalším ekologickým vlivem, který má jaderná elektrárna společný s uhelnou. Udává se, že podíl tepla odvedeného na kondenzátoru v jaderné elektrárně s lehkovodními reaktory je asi 63 %, což je zhruba o 15 % více než u elektráren spalujících fosilní paliva. S tímto souvisí nepříjemné průvodní jevy jako zvýšení počtu hodin, kdy je mlha či námraza, zvýšení vlhkosti vzduchu, teploty a další (viz uhelné elektrárny). *[2]*

V souvislosti s jadernými elektrárnami se velmi často mluví o **ionizujícím záření.** Hodnota středního efektivního dávkového ekvivalentu je asi 0,001 – 0,002 mSv/rok. Jak jsme si ukázali v části věnující se ionizujícímu záření u uhelných elektráren na straně 11, není tato dávka nijak výrazná, či spíše téměř zanedbatelná proti například rentgenovému vyšetření (1,3 mSv/rok). *[2]*

Velikost **plochy** zabrané pro funkci jaderné elektrárny můžeme vidět v tabulce 2. Rozmezí se sice pohybuje o něco více než v případě výroben využívajících spalování fosilních paliv, ale ve srovnání s dalšími alternativami, především obnovitelnými zdroji, je její hodnota poměrně nízká.

Hluk jaderných elektráren stejně jako uhelných nepatří mezi výrazné ekologické problémy, protože strojovna a další hlučná zařízení jsou umístěny v odhlučněných budovách, takže zdrojem hluku je spíše provoz spojený s fungováním elektrárny, jako například doprava paliva apod.

Pravděpodobně největší nevýhodou jaderných elektráren je vznik radioaktivního **odpadu**. Palivo, které není zcela využito, je potřeba uložit či zpracovat. Podle nakládání s tímto palivem dělíme palivové cykly na otevřené a uzavřené. Při uzavřeném cyklu je radioaktivní odpad znovu zpracován, nicméně určitému množství odpadu se ani tento cyklus nevyhne a navíc je poměrně nákladný. Proto se dnes většinou využívá otevřeného cyklu, kdy je radioaktivní odpad bezpečně uložen a to nejdříve v bazénu vyhořelého paliva, potom v meziskladu vyhořelého paliva (asi 40 až 50 let) a nakonec se uloží do hlubinného úložiště, jejichž životnost by měla být tisíce až několik tisíc let. Hlubinné úložiště se má skládat z několika bariér a každá z nich by měla sama o sobě mít schopnost zabránit úniku radioaktivních látek. Na nakládání s těmito odpady existují přísné normy vydané mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE). *[7]*

Porovnejme množství odpadů a paliva uvedené v následující tabulce:

Tabulka 3: Srovnání množství paliva a odpadů uhelné a jaderné elektrárny z roční produkce elektráren o instalovaném výkonu 1000 MW [10]

	Spotřeba paliva [t]	Pevné odpady [t]	Plynné odpady [t] (CO_2, CO, NO_X, SO_2)
Uhelná elektrárna	2 000 000	415 000	6 600 000
Jaderná elektrárna	28	Vysoce aktivní – 10 Středně aktiv. – 400 Nízko aktiv. – 600	40

V tabulce vidíme, že množství paliva stejně jako odpadů uhelných elektráren je daleko větší než jaderných, i když samozřejmě u uhelných není odpad vysoce radioaktivní. Všimněme si,

že u uhelných je hmotnost plynných odpadů větší než paliva, je to dáno tím, že až 70 % hmotnosti oxidu uhličitého tvoří kyslík. Podobnou nesrovnalost můžeme vidět při porovnání hmotnosti paliva jaderných elektráren a nevysoce aktivních odpadů, ty jsou totiž tvořeny především kontaminovaným materiálem a ne přímo vyhořelým palivem, jde například o izolace, filtrační vložky, vodu z prádelny aj. *[10]* Bohužel není možné aktivní odpad dále využívat například ve stavebnictví a pokud není přepracován, musí být časem uložen v hlubinném uložišti, takže není tak lehce skladovatelný, jako odpad z uhelných elektráren.

2.4 Vodní eletrárny

Vodní elektrárny v minulém roce u nás vyrobily téměř 3 TWh elektrické energie. Je to nejvíce v porovnání s ostatními obnovitelnými zdroji, přesto že naše řeky nemají příliš velký spád ani množství vody. Nejvíce velkých elektráren se soutřeďuje v tzv. Vltavské kaskádě.

2.4.1 Princip vodních elektráren

Princip je jednoduchý, proudící voda roztáčí turbínu, která pohání generátor a vyrábí elektrickou energii. Turbín existuje více druhů, nejčastěji se používá Francisova a Kaplanova. Kaplanova je vhodná pro malé spády a Francisova pro střední spády. Kromě vodních elektráren na různých tocích také využíváme přečerpávacích elektráren, kterými akumulujeme elektrickou energii a tím regulujeme množství dodávané energie do sítě. Stavba vodních elektráren je výhodná i z dalších důvodů, především můžeme přehradním tělesem regulovat tok vody a tím zabránit povodním, případně přehrady využijeme třeba k zavlažování či zajistíme celoroční splavnost. *[2]*

2.4.2 Vodní elektrárny a ekologie

Vodní elektrárny jsou pravděpodobně nejčistším zdrojem elektrické energie. Nicméně jejich výroba i provoz jsou opět spojeny s několika ekologickými problémy.

Emise vodních elektráren jsou na velmi nízké úrovni. Jsou tvořeny pouze nepřímo, například při výrobě zařízení či stavbě přehradních těles. Jejich množství vzhledem k vyrobené energii si můžeme prohlédnout v grafu na ilustraci 5.

Na provoz vodních elektráren sice není potřeba těžit pohonné palivo, nicméně už jenom jejich stavbou významně zasahujeme do krajinného rázu, což provází řada ekologickcýh negativ typu záboru půdy, narušování různých biotopů apod. **Plocha** vodních elektráren vzhledem k instalovanému výkonu je těžko porovnatelná, vzhledem k rozdílu spádů přehrad a jejich hloubce. Pro hrubé srovnání si spočtěme plochu naší nejobjemnější akumulační vodní elektrárny Orlík přepočtenou na 1 GW. Její instalovaný výkon je 364 MW a pokrývá plochu 26 km^2:

$$S_{1\mathrm{GW}}=\frac{S}{P_{inst}}=\frac{26\,km^2}{0{,}364\,MW}=71{,}143\,km^2/GW$$

Je nutné si uvědomit, že počítáme s instalovaným výkonem a skutečně využitý průměrný výkon bude pravděpodobně nižší.

Vidíme, že akumulační vodní elektrárna může zabírat poměrně rozsáhlou plochu, nicméně tato plocha je i nadále využitelná například pro chov ryb či rekreační účely. Pro průtočné vodní elektrárny stačí plocha daleko menší.

Hluk v blízkém okolí může být při velkých spádech na poměrně vysoké akustické hladině, nicméně na rozdíl od hluků vydávaných jinými elektrárnami, není tento hluk tolik rušivý a je velmi přirozený a na někoho dokonce může mít zvuk padající vody pozitivní uklidňující účinky.

Odpady provází elektrárnu především při její stavbě, jde však většinou o přírodní materiály dále využitelné.

2.5 Větrné elektrárny

Zastoupení větrných elektráren u nás je velmi malé, čemuž odpovídá množství energie, kterou loni vyrobily (pouze 288,1 GWh).

2.5.1 Princip větrných elektráren

Pracují velmi podobně jako vodní elektrárny, jenom místo energie vodního toku využívají energii proudícího větru.

2.5.2 Větrné elektrárny a ekologie

Na první pohled poměrně čistý zdroj energie s sebou nese řadu negativních vlivů. O jejich množství a velikosti se vedou diskuse mezi dvěma tábory, z nichž jeden považuje jejich problémy za mizivé a bezpředmětné, druhý za výrazné a nebezpečné.

Větrné elektrárny nejsou producentem přímých **emisí**. Při jejich výrobě se ale nevyhneme emisím nepřímým. Jejich množství v porovnáním s uhelnými elektrárnami si opět můžeme prohlédnout na ilustraci 5.

Jednou z nevýhod tohoto typu elektráren je **plocha**, kterou zabírají, spolu s ostatními typy elektráren je porovnána v tabulce 2.

Asi nejvíce diskutovaným problémem je **hluk**. Například ČEZ na svých stránkách mluví o splňování hygienických limitů, jelikož 500 m od větrné elektrárny o výkonu 2 MW je hladina hluku méně než 40 dB [6]. Naproti tomu odpůrci tohoto typu elektráren se odvolávají na zdravotní problémy (bolesti hlavy apod.) některých obyvatel, které se objevily po spuštění větrných elektráren v jejich okolí. Argumentují tím, že nejen hladina hluku má vliv na zdraví člověka, ale záleží také na jeho charakteristice a velikosti vysokofrekvenčního zvuku. *[11]*

Odpady při samotném běhu elektráren nevznikají, i když samozřejmě určitě množství odpadů provází výrobu zařízení. Proti jaderným elektrárnám je množství materiálu použitého na výrobu elektráren o podobném výkonu daleko větší (podle *[11]* dokonce množství betonu je asi 12,5 krát větší, množství oceli minimálně 14,6 krát větší a ostatních materiálů asi 3,4 krát větší). Proto po ukončení životnosti elektráren vznikne daleko více odpadu z větrných než jaderných elektráren. Uvážime-li, že se v případě stavby elektráren jedná o miliony tun betonu a statisíce tun oceli[11], vidíme, že při porovnání s tabulkou 3 vznikne při bourání elektráren daleko více odpadu, než kolik jaderná elektrárna produkuje během provozu. Samozřejmě musíme vzít v úvahu, že stavební odpad není výrazně radioaktivní.

Další negativní dopad je ohrožování ptactva. Podle společnosti ČEZ odvolávající se na měření ve Walesu [6] připadá na 10 000 ptáků jedna kolize a doprava a vedení vysokého napětí má za následek daleko větší ztráty ptactva. Odpůrci poukazují například na případ ve větrném parku Navarra ve Španělsku, kde bylo za dva roky napočítáno tisíce mrtvých menších ptáků a stovky mrtvých netopýrů a dravců. *[11]*

2.6 Sluneční elektrárny

V roce 2009 u nás vyrobily sluneční elektrárny asi 88,8 GWh elektrické energie. V porovnání s celkovou vyrobenou energií je to téměř zanedbatelné. V tabulce 1 je ale vidět, jak výrazný byl nárůst oproti roku 2008, množství vyrobené energie za rok bylo téměř sedmkrát větší. Ani rok 2010 není výjimkou a energie získaná slunečními elektrárnami dále prudce roste. Z velké části za to může výrazná státní podpora tohoto zdroje energie.

2.6.1 Princip slunečních elektráren

Sluneční elektrárny můžeme rozdělit do dvou kategorií – přímé a nepřímé.

Přímé využívají fotovoltaického jevu, kdy na polovodičový PN přechod dopadá sluneční záření, které může ionizovat elektron. Elektron poté přejde na vyšší hladinu a na jeho místě zůstane tzv. díra chovající se jako kladný náboj. Elektron je přitahován kladným potenciálem do oblasti N a díra se posouvá směrem k oblasti P. Pokud je tento polovodičový přechod umístěn v uzavřeném obvodu, protéká jím proud. Ve slunečních elektrárnách se nejčastěji využívá křemíkových polovodičů tvořících tyto přechody. Pro získání většího napětí se články zapojují paralelně a chceme-li vyšší proud, zapojíme je do série. Vhodným uspořádáním článků vytvoříme tzv. sluneční panel. U nás více využíváme tuto přímou metodu.*[6]*

Nepřímé metody fungují na principu Seebeckově jevu, při kterém v obvodu ze dvou různých vodičů a různých teplot vzniká elektrický proud. Tato metoda využívá vysokopotenciálního tepla, získaného zaměřením parabolických zrcadel na tyto dvouvodičové termočlánky zapojené do obvodu.*[6]*

2.6.2 Fotovoltaické elektrárny a ekologie

Fotovoltaické elektrárny se zdají být zdrojem téměř neovlivňujícím životní prostředí, nicméně při bližším zkoumání se i u nich může nalézt několiv negativních činitelů.

V grafu na ilustraci 5 je opět vidět jejich **emisní** vliv. Při běžné funkci sice nejsou zdrojem škodlivin, ale při jejich výrobě vzniká určité množství emisí. Pokud uvážíme jejich poměrně malý výkon, je jasné, že pro podobné výkony vzniká při výrobě těchto elektráren více emisí, než u jiných typů, naštěstí to však v porovnání s fosilními palivy více než vyvažují léty bezemisní funkčnosti.

Plochu fotovoltaických elektráren o instalovaném výkonu 1000 MW s přihlédnutím ke klimatickým podmínkám můžeme porovnat v tabulce 2. Ačkoliv odpůrci těchto elektráren často prezentují zabranou plochu jako nejhorší vlastnost tohoto typu elektráren, v porovnání s dalšími obnovitelnými zdroji, jako je větrná elektrárna či elektrárna spalující biomasu, nejsou čísla tolik znepokojující, ačkoliv v porovnání se zdroji využívajícími fosilní paliva nebo jadernými elektrárnami není zabraná plocha zanedbatelným činitelem.

Pomineme-li výrobní procesy, je **hluk** vydaný slunečními elektrárnami zanedbatelný.

Při samotné výrobě energie solárními panely nevzniká žádný **odpad**. Určité množství samozřejmě vzniká při výrobě článků i při jejich destrukci. Materiály použité na tyto elektrárny jsou však z velké míry recyklovatelné. *[12]*

2.7 Další vlastnosti elektráren

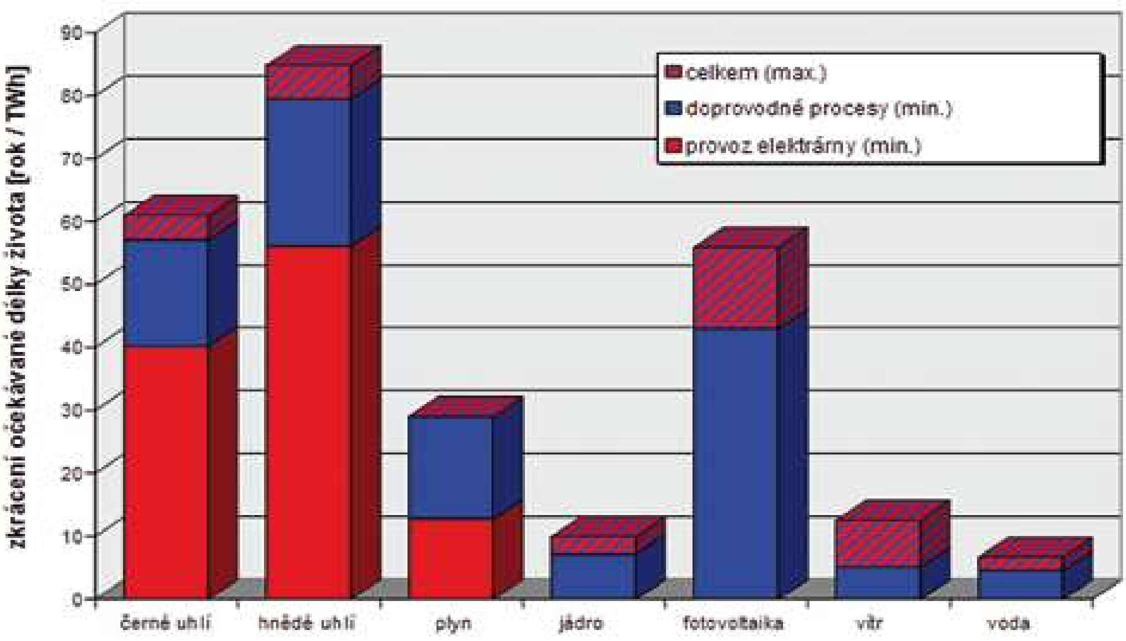
2.7.1 Účinky na lidské zdraví

Při sledování vlivu elektráren na člověka musíme kromě výše zmíněných vlastností výroben uvést i jejich nebezpečnost při nestandartních stavech, tj. různých haváriích a nehodách jimi způsobenými. Podívejme se na tabulku obsahující počty úmrtí spojené s nehodami různých energetických výroben:

Tabulka 4: Odhad účinků výroby elektřiny na lidské zdraví (výkon 1 GW) za rok [7]

Typ elektrárny	Počet pracovních dní ztracených úrazem	Úmrtí
Uhelná	1500–1800	6–27
Na kapalná paliva	2–3	1–7
Plynová	2	0,17
Jaderná	6	0,06
Sluneční	75–90	0,6

V tabulce není uvedena elektrárna vodní, ale podle prospektu společnosti ČEZ [13] je počet úmrtí spojených s háváriemi vodních elektráren nejvyšší, nicméně jejich další provoz je v porovnání s ostatními druhy elektráren pro člověka nejméně škodlivý, jak vyplývá z následujícího grafu hodnotící vliv normálního provozu elektráren na zkrácení délky života lidí:



Ilustrace 6: Vliv normálního provozu elektráren na zdraví obyvatel [8]

2.7.2 Porovnání měrných výrobních nákladů

Přestože se může zdát, že ekonomické aspekty elektráren nemají s ekologií mnoho společného, opak je pravdou. Peníze vložené do provozu energetických výroben, které mají malou finanční návratnost, či jsou dokonce ztrátové, můžou být mnohdy lépe využity na snížení ekologických dopadů jiných zdrojů, rekultivaci krajiny a další podporu ekologie. Vždy je proto pečlivě uvážit, zda je ekologický přínos daného zdroje úměrný množství financí do něj vloženým. V následující tabulce si můžeme prohlédnou odhad měrných výrobních nákladů pro různé typy elektráren v různých zemích:

Tabulka 5: Měrné výrobní náklady pro různé elektrárny [8]

	USA [US cent/kWh]	Německo [€ cent/kWh]	Velká Británie [p/kWh]	Finsko [€ cent/kWh]
Jaderná	4,2–6,7	2,1	2,8–4,3	2,6
Uhelná	4,2	3,0–3,3	3,6–4,0	5,2
Plynová	3,8–5,6	3,6	2,3–2,4	5,2
Vodní	–	7	1,6–1,9	–
Větrná	–	7	3,2–5,7	4,5
Fotovoltaická	–	60	–	–
Biomasa	–	–	–	5,1

Hodnoty z různých zemí nejsou mezi sebou porovnatelné, protože jsou výsledkem různých prací porovnávajících odlišně. Sloupec hodnot pro USA ze studie MIT počítá s různými cenami zemního plynu a různými cenami kapitálu pro jaderné elektrárny. U Německa jsou hodnoty vypracovány Institutem Paula Scherrera, který ale bere v úvahu jen elektrárny provozované, tudíž například u jaderných elektráren nejsou započítány investiční náklady. Hodnoty pro Velkou Británii vydané britským ministerstvem obchodu a průmyslu berou v potaz možné nespolehlivosti elektráren a ceny se týkají elektráren, které by byly uvedeny do provozu roku 2010. Finské odhady jsou zpracovány institutem Adama Smithe pro Evropské jaderné fórum.*[8]*

Vidíme, že jednoznačně nejdražším zdrojem jsou fotovoltaické elektrárny. Ačkoliv vývoj v této oblasti jde v posledních letech značně dopředu, stále se jedná o nejdražší zdroj elektrické energie. Elektrárny jaderné a ty, které spalují fosilní paliva, jsou značně závislé na cenách paliv, materiálu pro výstavbu elektráren i pracovní síle. Obnovitelné zdroje jsou více závislé na klimatických podmínkách.

2.7.3 Využitelnost zdrojů v České republice

Ne všechny zdroje používané pro výrobu elektrické energie jsou dostatečné pro budoucí generace. Proto při výstavbě dalších zdrojů musíme myslet na jejich využitelnost v budoucí době

s ohledem na tenčící se zásoby především fosilních paliv. Zároveň pro provoz elektráren využívajících obnovitelných zdrojů musíme splnit určité klimatické, bezpečnostní a další podmínky.

Podívejme se nejdříve na již zmíněné zásoby fosilních paliv. Jelikož suroviny, kterých není dostatek, můžeme do elektráren dovážet z jiných zemí, zajímají nás hlavně celosvětové zásoby paliva.

Co se týče ropy, předpoklady o zásobách se v posledních desetiletích často měnily, nicméně podle Mezinárodní agentury pro energii by zásoby ropy měly vystačit nejméně na 200 let a zemní plyn minimálně na 300 let. Zásoby uhlí by při současném tempu spotřeby potom měly vystačit aspoň na 150 let. Je ovšem nutné dodat, že těžba těchto surovin se postupně prodražovat s těžbou z čím dál hůře dostupných míst. *[14]*

Hodnotit zásoby uranu je poměrně složitější. Podle zprávy Uranium 2005 – Resources, Production and Demand organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) by současné nalezené zdroje uranu měly vystačit asi na 85 let. Odhady počítající s dalším geologickým průzkumem se blíží 270 létům. Pokud však uvážíme dnes sice neekonomickou, ale možnou formu získávání uranu vázaného v mořské vodě, je to daleko více. Rychlé reaktory, které by využívaly recyklace uranu, by podle odhadů měly vystačit s uranem až tisíce let. *[6]* V naší zemi tento typ reaktorů zatím neběží a ani se nestaví.

Větrné elektrárny sice nepotřebují neobnovitelné palivo, jejich realizace je však vázána na klimatické podmínky, které nejsou na celém území naší republiky ideální. Na různých místech jsou sice dobré podmínky pro funkci větrných elektráren, ale nemůžou tam být postaveny z jiných důvodů, například jde o chráněná území apod. Podle nedávných studií není technický potenciál větrných elektráren v České republice zanedbatelný. Hodnota výkonu maximálně využitého potenciálu v naší zemi je asi 2,5 GW a jejich energie za rok by potom byla asi 5,5 TWh. Tyto čísla se můžou lišit podle použité metody, ale střední scénáře se od těchto hodnot příliš nevychylují. *[15]*

Vodní elektrárny u nás již nyní vyrobí poměrně velkou část energie (v loňském roce téměř 3 GWh, byl mimořádně vodný rok). Udává se, že potenciál pro průměrný vodní tok by mohl být právě asi 3 GWh.*[16]* Znamená to, že vodní elektrárny o velkém výkonu u nás již prakticky vznikat nebudou, nicméně pořád jsou určité rezervy pro stavbu malých vodních elektráren.

Fotovoltaické elektrárny u nás nejsou výrazně omezovány klimatickými podmínkami a plochy, na kterých je možné je realizovat, jsou značné.

2.8 Snižování emisí CO_2 z uhelných elektráren

Jak vyplývá z první části této práce, existuje mnoho ekologických dopadů způsobených výrobou elektrické energie. Některé jsou méně závažné, jiné s sebou můžou nést velké riziko pro zdraví člověka, a proto je potřeba nezavírat před nimi oči a včas je řešit. Velké množství problémů přináší velké množství úkolů a před „čistou“ výrobu elektrické energie je potřeba eliminovat nespočet škodlivých efektů. Ve své práci se proto omezím pouze na přehled možného částečného řešení jednoho z nebezpečí, a to na snížení rychlosti globálního oteplování.

2.8.1 Předpokládaný vliv produkce CO_2 do atmosféry na oteplování planety

Jak již bylo zmíněno v kapitole týkající se uhelných elektráren, oxid uhličitý patří mezi skleníkové plyny a má tak vliv na průměrnou teplotu na Zemi. Existuje více teorií zabývajících se tím, jak velký vliv má zvyšující se množství CO_2 na oteplení planety. Podle mezivládního panelu pro změny klimatu (IPCC) vzrostla průměrná teplota během 20. století o 0,74 ± 0,18 °C. S pravděpodobností větší než 90 % je toto oteplení důsledkem zvýšené koncentrace skleníkových plynů produkovaných člověkem. *[18]*

S většími energetickými nároky obyvatelstva množství CO_2 v atmosféře stoupá stále rychlejším tempem – do roku 2030 má množství emisí CO_2 stoupnout 1,5–3krát oproti roku 1990, což by mělo za následek výraznější změny klimatu. Hlavním zdrojem emisí CO_2 je spalování fosilních paliv, kde největším producentem jsou uhelné elektrárny, které vypouští více než 20 % antropogenního oxidu uhličitého. *[19],[20]*

2.8.2 Možnosti snižování emisí CO_2 z uhelných elektráren

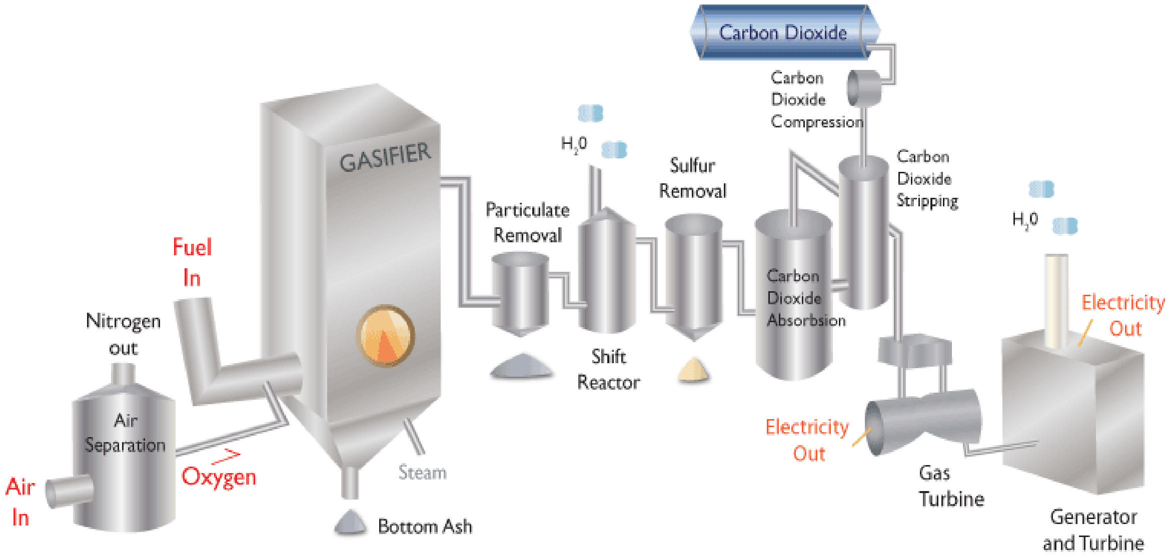
Ve světě vyrábí uhelné elektrárny asi 80 % elektrické energie. Proto nelze v krátkém časovém horizontu očekávat rychlé nahrazení těchto zdrojů alternativními zdroji energie, ať už z ekonomických či technologických důvodů. Řešením, při kterém by se mohlo výrazně omezit uvolňování oxidu uhličitého do atmosféry a tím i zpomalit globální oteplování, může být zachycování těchto emisí a jejich následné ukládání – tzv. CCS (Carbon Capture and storage).

Metody separace oxidu uhličitého můžeme obecně dělit do tří základních skupin podle toho, v jaké fázi spalovacího procesu metodu použijeme, tedy na separaci před spalováním, separaci ze spalin a zvláštní skupinu, kdy se omezuje množství vyprodukovaného oxidu uhličitého během spalování (spalování v kyslíku). *[18]*

2.8.3 Separace CO_2 před spalováním

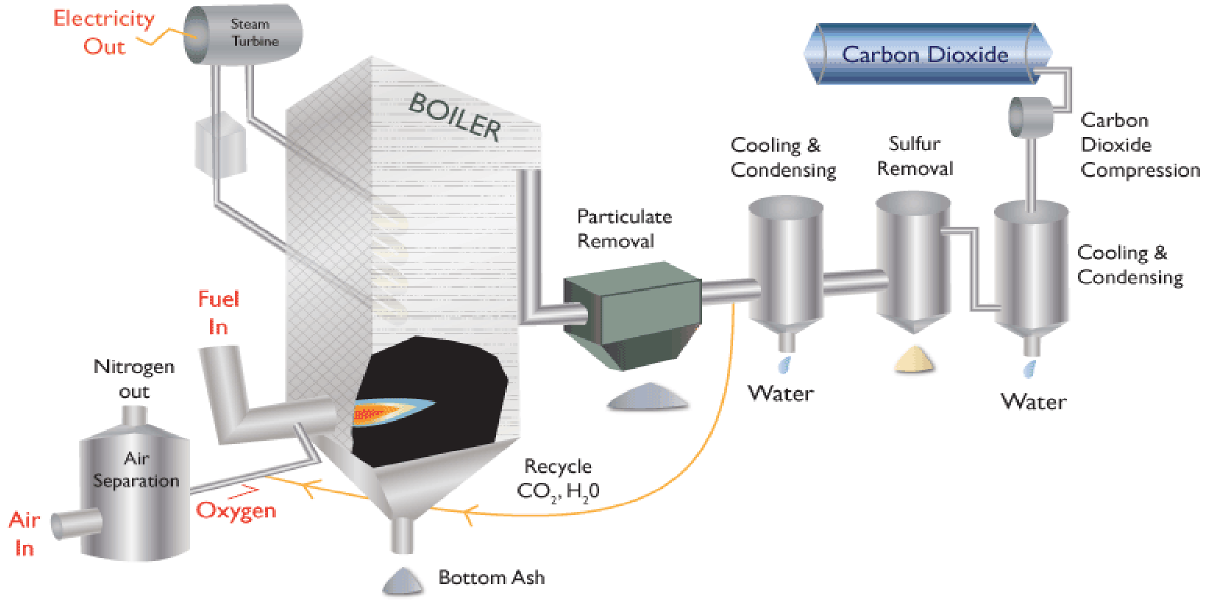
Tento způsob spočívá ve zplyňování uhlí (či biomasy) a následným oddělením oxidu uhličitého od vzniklé směsi ještě před spálením. K separaci se zde používá metod absorpce, adsorpce, separace s použitím membrán nebo kryogenní separace. Separace oxidu uhličitého od vodíku je jednoduší než od dusíku, díky větším váhovým a rozměrovým rozdílům jejich molekul, proto tento způsob může být účinnějši než při separaci po spalování. *[18]*

Výhoda separace před spalováním je především nižší energetická náročnost pro získávání a kompresi oxidu uhličitého ze směsi. Nevýhodou je zatím nízká účinnost turbín spalujících vodík a fakt, že se tento postup dá uplatnit pouze v elekrárnách, kde se provádí zplyňování uhlí. *[18]*



Ilustrace 7: **Separace oxidu uhličitého před spalováním [23]**

Air in – vstup vzduchu, Air separation – oddělení vzduchu, Nitrogen out – výstup dusíku, Oxygen – kyslík, Fuel in – vstup paliva, Bottom ash – škvára, Steam – pára, Gasifier – zplyňovač, Particulate removal – odstranění částic, Shift reactor – reaktor, kde je syntézní plyn obohacen vodíkem [22], Sulfur removal – odstranění síry, Carbon dioxide absorbsion – absorpce ox. uhličitého, Carbon dioxide compression – komprese ox. uhl., Carbon dioxide – oxid uhličitý, Carbon dioxide stripping – odstranění ox. uhl., Electricity out – výstup elektrické energie, Gas turbine – plynová turbína, Generator and turbine – generátor a turbína



Ilustrace 8: **Spalování v kyslíku [23]**

Air in – vtup vzduchu, Air separation – separace vzduchu, Nitrogen out – výstup dusíku, Oxygen – kyslík, Fuel in – vstup paliva, Electricity out – výstup el. en., Steam turbine – parní turbína, Bottom ash – škvára, Recycle – recyklace, Particulate removal – odstranení částic, Cooling & condensing – chlazení a kondenzace, Water – voda, Sulfur removal – odstranění síry, Carbon dioxide – ox. uhl., Carbon dioxide compression – komprese ox. uhl.

2.8.4 Spalování v kyslíku

Při tomto druhu spalování je palivo spáleno za přítomnosti čistého kyslíku místo vzduchu. Díky tomu se nedostává do spalin dusík a je jednoduší odseparovat oxid uhličitý v čistší formě, než separace po spalování. Pro separaci oxidu uhličitého se zde používá metoda adsorpce, separace membránami nebo kryogenní separace. *[18]*

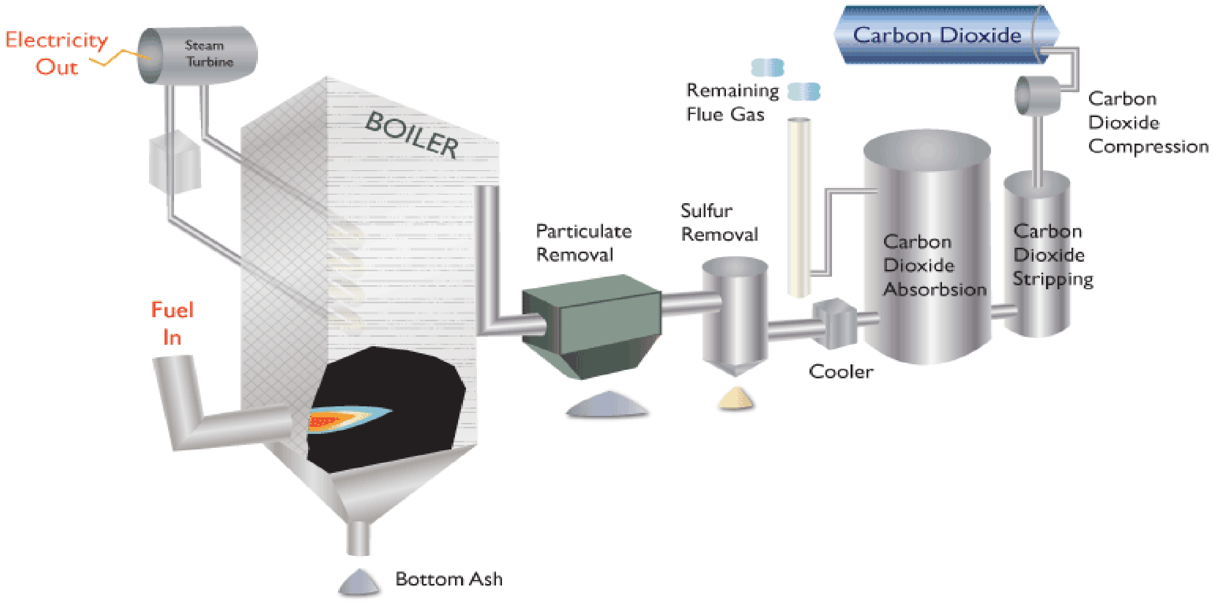
Zvláštním poddruhem tohoto spalování je spalování v chemické smyčce, kdy kyslík je dodáván z plně či částečně se redukujících oxidů kovů na kovy. Tyto kovy jsou poté zregenerovány zpět na původní oxidy v reoxidačním reaktoru. Chemickou smyčku je možné použít také v procesech separace oxidu uhličitého po spalování i před spalováním. *[18]*

Výhodou je téměř dokonalé oddělení oxidu uhličitého (ne 100%, protože část zůstává v kondenzované vodě). Dále nevznikají emise oxidů dusíku (vzduch je tvořen i dusíkem, ale spalování probíhá pouze v kyslíku). Nevýhoda je vyšší energetická náročnost, protože je třeba před spalováním získat ze vzduchu čistý kyslík. *[20]*

2.8.5 Separace CO_2 ze spalin

Jak již název napovídá, jde o zachycování oxidu uhličitého po spalování, ale ještě před vypuštěním spalin do atmosféry – tedy podobně jako například u odsíření, či u separace oxidů dusíku, ale jde o proces náročnější kvůli vyššímu obsahu oxidu uhličitého ve spalinách (v závislosti na palivu asi 5 – 10 %). Při separaci ze spalin se používají následující postupy: absorpce, adsorpce, separace membránami, a kryogenní separace. *[18]*

Výhodou je možnost použít tyto technologie na stávající elektrárny.



*Ilustrace 9: **Separace po spalování [23]***

Electricity out – výstup el. en., Steam turbine – parní turbína, Fuel in – vstup paliva, Particulate removal – odstranění částic, Sulfur removal – odstranění síry, Remaining flue gas – zbývající spaliny, Cooler – chladič, Carbon dioxide absorption – absorpce ox. uhl., Carbon dioxide stripping – odstranení ox. uhl., Carbon dioxide compression – komprese ox. uhl., Carbon dioxide – oxid uhličitý

2.8.6 Metody chemické absorpce

Jde asi o nejúčinnější metodu pro získávání oxidu uhličitého ze směsí, kde se nachází v nízké koncentraci (cca do 15 %). *[19]*

Existuje několik možností chemické absorpce:

Absorpce aminy – aminy jsou organické sloučeniny, které na sebe mají navázaný amoniak (NH_3). Nejčastěji se využívá monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA) či metyldietanolamin (MDEA). Reakce jsou exotermické a výsledné látky mají relativně slabé vazby, které lze porušit dalším zahříváním za uvolnění oxidu uhličitého, který byl vázán v meziproduktu. Volba mixu aminů ovlivňuje, jak rychle reakce proběhne, kolik tepla bude potřeba na regeneraci a jaké množství aminu je potřeba na separaci určitého množství oxidu uhličitého. Vzhledem k potřebě dodání velkého množství tepla je tato metoda poměrně energeticky náročná *[18]*

Absorpce uhličitany – je založena na původně přírodním procesu, kde kyselina uhličitá rozpouští uhličitanové horniny. Splodiny jsou vedeny přes drcený vápenec sprchovaný proudem vody. Odpadní produkt je poté pouštěn do oceánu, jakožto jednoho z možných uložišť oxidu uhličitého. Tato metoda je méně energeticky náročná než absorpce aminy. *[18]*

Absorpce vodnými roztoky amoniaku – při použití amoniaku nebo jeho derivátů stačí při regeneraci méně tepelné energie, takže celkově je metoda více účinná než u absorpce aminy. Navíc ji lze použít i k separaci oxidů síry a dusíku, takže má potenciál stát se jednotným rozpouštědlem pro vícestupňově čištění spalin. *[18]*

Absorpce hydroxidem sodným – oxid uhličitý v reakci s vodou vytvoří kyselinu uhličitou, která reaguje s hydroxidem sodným za vzniku uhličitanu sodného a vody. Regenerace je poté možná, pokud dodáme oxid vápenatý, který s vodou vytvoří hydroxid sodný dále využitý v reakci s uhličitanem sodným za vzniku hydroxidu uhličitého a uhličitanu vápenatého. Při teplotě asi 900 °C z uhličitanu vápenatého vznikne oxid vápenatý a oxid uhličitý. Výhodou této metody je použití poměrně levných látek. Nevýhoda je vysoká energetická náročnost, která se dá částečně snížit za použití jiných regeneračních rozpouštědel, například je zkoumána možnost použití sloučenin titanu a využití titanového cyklu k regeneraci uhličitanu sodného. *[18]*

2.8.7 Metoda fyzikální absorpce

Tato metoda je založena na Henryho zákonu, podle kterého je za dané teploty množství rozpuštěného plynu na jednotku objemu přímo úměrné parciálnímu tlaku plynu a tzv. Henryho konstantě. Oxid uhličitý je tedy rozpuštěn ve vhodném rozpouštědle za vysokého tlaku a poté uvolněn snížením tlaku. Vyšší účinnosti je dosaženo při vyšších koncentracích oxidu uhličitého, a to přímo úměrně, proto se metoda nehodí pro získávání CO_2 ze spalin, ve kterých se vyskytuje v nízké koncentraci. Vhodný je například pro elektrárny pracujícími se zplyňováním uhlí. Vyšší rozpustnosti se kromě zvýšením tlaku může dosáhnout i snížením teploty. Jako rozpouštědla se používají metanol, acetanhydrid ($C_4H_6O_3$) a dimetyl etery polyetylenglykolu. Hlavními problémy v rozvoji této metody bývá nízký parciální tlak oxidu uhličitého a přítomnost různých kontaminentů ve spalinách. Aby byla metoda použitelná, je třeba proto zvýšit parciální tlak (případně snížit teplotu) spalin a použít taková rozpouštědla, která nebudou tolik degradovatelná případnými kontaminenty. *[18]*, *[19]*

2.8.8 Absorpce hybridními rozpouštědly

Tato metoda kombinuje výhody chemických i fyzikálních absorbentů, které se vzájemně doplňují a jsou kombinovány podle potřeby dané aplikace. Zástupci rozpouštědel jsou A-MDEA, Purisol, Sulfinol a UCARSOL. *[19]*

2.8.9 Metoda chemické adsorpce

Při adsorpci je adsorbovaná látka vázána na povrch adsorbentu, a to buď na základě chemických či slabších fyzikálních přitažlivých sil. Výhodami adsorpční metody jsou teplotně rozsáhlá pracovní oblast a méně ekologicky závadných odpadů. *[18]*

Adsorpce oxidy kovu – zde nejčastěji používanými adsorbenty jsou oxidy kovů vápníku, sodíku a draslíku. Tento způsob vyžaduje vysokou teplotu pro dekarbonizaci. *[18]*

Adsorpce uhličitanem sodným – vratná reakce přeměny Na_2CO_3 na Na_2HCO_3 nebo na Na_2CO_3–$3NaHCO_3$ je exotermická a je možná už při teplotách 60 – 70 °C, takže není tolik náročná na dodanou energii. Při regeneraci je třeba přihřát meziprodukt asi na 120 – 200 °C. *[18]*

Adsorpce pevnými aminy – aminové absorbenty mohou být použity i při adsorpci, pokud mají na povrchu vázány funkční skupiny porézních křemenných, hlinitých či polymerních materiálů. *[18]*

2.8.10 Metoda fyzikální Adsorpce

Narozdíl od chemické adsorpce vznikají při fyzikální adsorpci menší vazební síly, ale zároveň pro jejich funkci stačí nižší teploty, obvykle jsou používány při teplotách do 100 °C. Jako fyzikální adsorbenty se obvykle využívají aktivní uhlí, oxid hlinitý, silikonový gel, pryskyřice s volnými ionty nebo jiné povrchově upravené porézní látky. Vyvíjí se i fyzikální adsorbenty, které pracují při daleko vyšších teplotách (tzv. hydrotalcity, některé oxidy kovů, litium zirkoničitan). *[18]*

Po tom, co je oxid uhličitý zachycen na podloží z některého výše uvedeného materiálu, je potřeba ho znovu regenerovat. Používají se 4 způsoby: *[19]*

Regenerace změnou tlaku – vnější tlak pračky plynu je snížen a zachycený plyn je uvolněn.

Regenerace teplotou – uvolnění plynu se dosáhne zvýšením teploty, bohužel je tato metoda ve srovnání s předešlou pomalá, a proto je potřeba více adsorbentů.

Regenerace vymýváním – plyn je uvolněn proudem kapaliny ostřikujícím podloží.

Regenerace elektřinou – vodivé podloží aktivního uhlí adsorbuje oxid uhličitý a poté ho opět uvolňuje, přičemž není nutné měnit tlak ani teplotu.

Podle IEA (2004) není adsorpce ekonomicky výhodná pro velká množství oxidu uhličitého, protože kapacita a selektivita je zatím nízká. *[19]*

2.8.11 Metoda použití membrán

Při této metodě jsou použity filtry zachycující či propouštějící částice určité látky, a to buď na základě fyzikálních či chemických vlastností. Membrány mohou být buď pórovité nebo

nepórovité. Pórovité jsou charakteristické tím, že propouští pouze částice menší než jsou jejich póry. *[18]*

Separace pomocí membrán může probíhat dvojím způsobem. Buď se využije pouze separačních vlastností membrány, nebo se metoda kombinuje s některým absorbentem. V prvním případě je těžké vyrobit dostatečně selektivní membránu, proto se často řeší jako vícestupňová separace. Bývají využívány hlavně polymerní membrány, membrány z palladia nebo keramické membrány. Polymerní membrány jsou účinnějši, ale nemohou pracovat za vysokých teplot. Proti tomu keramické jsou méně účinné, ale lze je využít za vyšších teplot. *[19]*

Kombinace membrán s absorpčními činidly funguje na základě zajištění kontaktu mezi kapalným absorbentem a oxidem uhličitým obsaženém v plynu, který se naopak nesmí dostat do přímého kontaktu s kapalným absorbentem. Absorbent poté na sebe naváže pouze oxid uhličitý, proto není nutná tak vysoká selektivita, jako u samotné separace membránami. V tomto případě se používají pórovité membrány. Jde zatím asi o nejslibnější metodu odstraňování oxidu uhličitého pro velká množství. *[19]*

2.8.12 Metoda kryogenní separace

Při této metodě je směs spalin ochlazována a stlačována za účelem změny fáze oxidu uhličitého. Kryogenní separace se obvykle provádí jako vícestupňová, což zvyšuje efektivitu. Metoda se využívá pro směsi plynů, kde je koncentrace oxidu uhličitého vysoká (více než 90 %). Proces však bývá často nepříznivě ovlivňován obsahem různých kontaminentů. Celkově je proces energeticky velmi náročný a drahý pro běžnou separaci ze spalin, nicméně může být výhodný pro separaci před spalováním i pro metodu spalování v kyslíku (zplyňovací elektrárny), kde se oxid uhličitý nalézá ve vyšší koncentraci. *[19]*

2.8.13 Možnosti ukládání oxidu uhličitého

Spalování fosilních paliv je zdrojem emisí asi 23 miliard tun oxidu uhličitého za rok a podle předpovědí by minimálně další dvě desetiletí mělo spalování fosilních paliv sílit. *[19]*

Oxid uhličitý se sice do určité míry dá průmyslově využívat (potravinářství, náplň hasících přístrojů, svařování, farmacie, těžba ropy,...), nicméně jak je uvedeno v předchozím odstavci, množství, které by se mělo zachytit, je obrovské a bude daleko převyšovat poptávku, proto je třeba ho uložit. Oxid uhličitý může být pro člověka v určité míře nebezpečný – má nepříznivý vliv na metabolismus vápníku a fosforu, snižuje sílu srdečních kontrakcí a způsobuje i další zdravotní potíže úměrné velikosti koncentrace. Proto je třeba, aby byla skladiště oxidu uhličitého bezpečná a měla dostatečnou izolační schopnost. Navíc aby splnila svou funkci, tedy redukci zvýšené koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, je třeba, aby skladování vydrželo funkční minimálně stovky let pro potlačení maximálních výchylek koncentrace. Později by se měla hladina oxidu uhličitého v atmosféře samovolně mírně snižovat, dokud nedojde k rovnováze koncetrací v atmosféře a oceánu. Tento proces ale může trvat i tisíce let. *[21], [19]*

Obecně se uvažuje o těchto možnostech ukládání:

Geologické ukládání – zde se s výhodou využívá prostor uvolněných většinou při těžbě různých surovin, jako je ropa, plyn či uhlí, případně do geologických formací obsahujících nepitnou vodu s vysokým obsahem soli – tzv. aquifer. Pro zdánlivě vyprázdněná ložiska ropy a

plynu lze pomocí injekce oxidu uhličitého zvýšit výtěžnost, což částečně kompenzuje náklady, navíc je zde přítomností uhlovodíků dokázáno, že jsou formace pro plyny nepropustné. Pro aquifery je třeba nepropustnost dostatečně prozkoumat a stav dále monitorovat. Geologické ukládání již je komerčně využíváno. *[18]*

Ukládání do oceánu – oceán má až 50 krát větší kapacitu pro oxid uhličitý než atmosféra. Protože na povrchu oceánu docházi k výměně oxidu uhličitého s atmosférou v krátkém časovém horizontu (řádově měsíce či léta), je třeba, aby byl vypouštěn do dostatečné hloubky, kde by se mohl rozptýlit. V superkritickém stavu by dokonce mohl zhruba od hloubky 3 km vytvářet oxid uhličitý útvary podobné jezerům. Tyto možnosti se však setkávají s odpůrci z řad ekologů. *[18]*

Ukládání v suchozemských ekosystémech – postup, při kterém se využívají ekosystémy jako mezisklad oxidu uhličitého před vypouštěním do atmosféry. Především jsou zkoumány procesy spojené s fotosyntézou. *[18]*

Ukládání v minerálních uhličitanech – při tomto způsobu ukládání je uměle vyvolán zrychlený proces zvětrávání. Oxid uhličitý zde reaguje s některými v přírodě se vyskytujícími látkami za vzniku stabilních uhličitanů. Pro karbonizaci by však bylo třeba velkého množství přírodních materiálů – asi 2 tuny křemičitanů na tunu zpracovaného oxidu uhličitého, což by významně zvýšilo množství odpadů. Řešením může být v menším měřítku využívání průmyslových odpadů, z nichž některé mohou být rovněž využity ke karbonizaci. *[18]*

2.8.14 Transport oxidu uhličitého

Základní a nejvíce vyvinuté možnosti přepravy jsou přeprava potrubím a přeprava na lodích. Lodě mohou být ekonomicky výhodnější v případech, kdy se bude přepravovat menší množství na velkou vzdálenost. V opačném případě je výhodnější používat potrubí, ačkoliv pokud by množství zachyceného oxidu uhličitého bylo velké (cca 20 Mt/rok), vyplatilo by se stavět potrubní systémy i pro větší vzdálenosti (více než 3000 km). *[18]*

Při přepravě pomocí potrubí je tlak plynu zvýšen nad kritickou hodnotu, což snižuje potřebnou velikost trubek a tím i cenu potrubního systému. S oxidem uhličitým často odpadní plyn obsahuje i další látky, z nichž některé je třeba odstranit či snížit pod určitou mez. Vodní páry a například sirovodík nebo některé obsažené oxidy totiž mohou zavinit korozi materiálu a poruchu potrubí. *[18]*

Lodní přeprava může fungovat podobně, jako přeprava jiných plynů, např. LPG. Před přepravou přes oceán je třeba oxid uhličitý zkapalnit a během přepravy udržovat tlak i teplotu v určitých mezích, k čemuž se používají speciální tankery. *[18]*

2.8.15 Ekonomické náklady na zachytávání a ukládání oxidu uhličitého

Jedním z nevětších činitelů ovlivňujících komerční nasazení technologií pro separaci a ukládání oxidu uhličitého je určitě ekonomická návratnost. Při odhadu ceny na vyrobenou energii musíme zahrnout všechny výdaje spojené s provozem technologií, tzn. cenu zařízení, zvýšení ceny v důsledku snížení účinnosti výroby elektrické energie, dále provoz a správu jednotlivých zařízení a činností spojených s takovými typy elektráren.

Náklady budou velmi hrubým odhadem, protože skutečná celková cena se odíjí od velkého množství často proměnných cen dílčích závisících na mnoha faktorech (parametry elektrárny, použitá technologie, cena paliva apod.).

Nárůst ceny můžeme rozdělit na tři části. První částí je cena spojená se zachytáváním oxidu uhličitého, druhou tvoří náklady na dopravu a třetí cena za uložení látky.

Na základě projektů zkoumajících možnosti zachytávání CO_2 a analýzy dalších faktorů ovlivňujících celý proces byla vypracována Mezivládním panelem pro změnu klimatu (IPCC) zpráva vyhodnocující možnosti použití technologií pro zachytávání a ukládání CO_2 včetně ekonomické stránky problematiky. V tabulce 6 jsou uvedeny rozsahy cen vyrobené elektrické energie v závislosti na typu elektrárny a způsobu nakládání se zachyceným CO_2, které jsou uvedeny v této zprávě.

Na první pohled vidíme, že instalace technologie pro zachycení CO_2 snižující celkovou účinnost elektrárny vede ke zvýšení spotřeby paliva. Zvýšená spotřeba paliva je příčinou vyšší míry emisí CO_2, takže celkové množství zachycených škodlivin neodpovídá množství CO_2, o které se snížila hodnota jejich hmotnosti z hodnoty odpovídající spalování bez zachycování CO_2. Vidíme, že největší nárůst cen by byl u klasických uhelných elektráren, kde cena může vystoupat téměř k dvojnásobku původní ceny a nejmenší nárůst by byl u elektrárny paroplynové zplyňující uhlí. Tabulka ukazuje i pohyb cen u elektráren, jejiž CO_2 by byl využit pro zvýšení výtěžnosti ložišek (viz kapitola 2.8.13). U zplyňovacích elektráren s paroplynovým cyklem by se v tomto případě dokonce mohlo dosáhnout snížení nákladů oproti stejnému typu elektráren bez technologie pro zachycení CO_2.

Ceny jsou pouze orientační a platí jen pro nové výrobny. Při instalování technologie na stávající typy elektráren bychom měli počítat s větším zvýšením spotřeby paliva vzhledem ke složitější optimalizaci oproti elektrárnám předem navrženým k využívání této technologie.

Tabulka 6: Rozsah cen elektrické energie při zachytávání a ukládání CO2 [24]

Elektrárny	Uhelné	Paroplynové	Zplyňovací paroplynové
Cena za elektrickou energii bez CCS [US$/MWh]	43 – 52	31 – 50	41 – 61
Elektrárny se zachytáváním CO_2			
Zvýšení spotřeby paliva [%]	24 – 40	11 – 22	14 – 25
Množství zachyceného CO_2 [kg/MWh]	820 – 970	360 – 410	670 – 940
Množství, o které klesla hodnota CO_2 ve srovnání s hodnotou bez zachytávání [kg/MWh]	620 – 700	300 – 320	590 – 730
Množství, o které klesla hodnota CO_2 ve srovnání s hodnotou bez zachytávání [%]	81 – 88	83 – 88	81 – 91
Elektrárny se zachytáváním CO_2 a geologickým ukládáním			
Cena elektrické energie [US$/MWh]	63 – 99	43 – 77	55 – 91
Vzrůst ceny [US$/MWh]	19 – 47	12 – 29	10 – 32
Elektrárny se zachytáváním CO_2 a zvýšením výtěžnosti ložisek			
Cena elektrické energie [US$/MWh]	49 – 81	37 – 70	21 – 78
Vzrůst ceny [US$/MWh]	5 – 29	6 – 22	(-5) – 19

2.8.16 Možnosti využití technologií pro zachytávání CO_2 v České republice

Základní podmínkou pro aplikaci zařízení schopných zachytávat CO_2 je možnost zbavovat se vhodným způsobem zachycené látky, tedy především mít místo, kam se bude ukládat. Větším vzdálenostem pro transport CO_2 odpovídají i vyšší ceny, proto je snahou využít uložiště v blízkém okolí elektráren.

V České republice je hned několik oblastí, kde můžeme najít vhodné místo pro uložení zachyceného oxidu uhličitého. Patří sem vytěžená ložiska ropy a zemního plynu nebo akvifery v oblasti Vídeňské pánve a západních Karpat, jejíž kapacitu by mohla využít elektrárna Hodonín. Dále akvifery poblíž Žatce, Loun, Slaného, Roudnice nad Labem a Mnichova Hradiště, kam by teoreticky mohl být ukládán oxid uhličitý z elektrárny v Mělníku či některé z elektráren v severozápadních Čechách. Poté ještě mohou být použita ložiska černého uhlí v hornoslezské pánvi, Mělníku, Slaném, Syřenově a dalších předpokládaných ložiskách. *[25]*

Společnost ČEZ plánuje v rámci projektu EU výstavbu demonstračních jednotek, kde by byl zachytáván oxid uhličitý. Předběžně byly vybrány dvě lokality pro umístění těchto jednotek, a to buď stávající elektrárna v Hodoníně nebo lokalita severní Čechy, kde by se vystavěl nový zdroj, který by měl vyšší výkon i účinnost. *[6]*

2.9 Předpokládaný vývoj energetického mixu v blízké budoucnosti

Jednou z možností jak snižovat ekologickou náročnost výroby elektrické energie je upravit energetický mix ve prospěch elektráren méně zatěžujících životní prostředí. Mix závisí ale i na dalších faktorech. Pojďme shrnout předpoklady jeho změny v blízké budoucnosti.

Podle množství energie vyrobené z konkrétního zdroje v roce 2009, které je uvedeno na stránkách energetického regulačního úřadu *[1]*, si vypočtěme procentuální podíl vzhledem k celkové vyrobené netto energii 75 990 (Porovnáváme jen zdroje s významným podílem – více než 0,2 %):

Tabulka 7: Výroba elektřiny netto - zdrojová část

Zdroj	Černé uhlí	Hnědé uhlí	Biomasa	Oleje	Zemní plyn	Ostatní plyny	Jaderné elektrárny	Vodní elektrárny	Ostatní (hlavně slunečení a větrné elektrárny)
Energie [GWh]	4 897,20	36 330,30	1 349,90	153,00	941,10	3 222,50	25 664,70	2 969,30	375,3
Energie [%]	6,44	47,81	1,78	0,20	1,24	4,24	33,77	3,91	0,49

Příklad výpočtu (3. řádek, 2. sloupec): $E_{čuproc}=\frac{E_{ču}}{E_{celk}}\cdot 100=\frac{4897{,}2}{75990}\cdot 100=6{,}44$ (GWh, GWh; %)

Vidíme, že největší množství energie bylo vyráběno ze zdrojů, které jsou k životnímu prostředí při výrobě nejméně šetrné a jejichž zásoby jsou omezené – z fosilních paliv. Nicméně energie vyrobená z obnovitelných zdrojů roste. Abychom mohli odhadnout stav energetického mixu v budoucnosti, musíme vycházet z činitelů ovlivňujících výrobu elektrické energie. Základním faktorem je spotřeba, která z dlouhodobého pohledu roste. Naši hypotézu ovlivňuje z několika hledisek. Podíl zdrojů bychom měli volit tak, aby bylo možné tuto rostoucí potřebu uspokojit a zároveň můžeme předpokládat rostoucí ceny, takže se časem začne více vyplácet i výroba z dnes dražších zdrojů. Dalším hlediskem je omezenost zdrojů, která kromě ceny má vliv i na stabilitu dodávek elektrické energie – dovážené zdroje mohou být omezeny politickou či hospodářskou situací ostatních států. V neposlední řadě je třeba brát v potaz ekonomické aspekty výroby z různých zdrojů. Ekologické vlivy jsou bohužel často odsouvány až jako druhořadí činitelé.

Nezávislá energetická komise vypracovala v roce 2007 zprávu *[26]*, která se zabývá nejen současným a budoucím energetickým mixem. Dle základního scénaře této zprávy bude výrazně ubývat energie vytvořené fosilními palivy díky zvýšení výroby jaderné energie a energie z obnovitelných zdrojů.. Vývoj předpokládaný Nezávislou energetickou komisí je zobrazen v tabulce 8.

Tabulka 8: Struktura výroby elektřiny podle Nezávislé energetické komise

Struktura výroby elektřiny [TWh]	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hnědé uhlí	41,95	41,07	39,21	33,16	35,55	24,89	14,88	7,08	6,98	4,79	4,43
Černé uhlí	7,96	7,10	7,62	7,26	4,39	2,39	1,18	3,42	3,73	4,39	7,48
Ostatní tuhá paliva	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Kapalná paliva	0,99	1,00	0,66	0,68	0,56	0,21	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
Plynná paliva	4,40	3,73	4,42	4,19	5,89	7,27	8,88	8,76	7,15	4,03	3,29
Jaderné palivo	25,87	25,78	29,31	29,31	29,31	38,24	47,16	47,16	47,16	47,16	45,20
Obnovitelné zdroje	1,95	3,01	4,03	6,06	8,43	10,83	15,16	19,89	24,72	30,06	35,09
CELKEM	83,20	81,76	85,31	80,69	84,15	83,86	87,28	86,35	89,75	90,45	95,49

Po vydání této zprávy k ní byl vytvořen oponentní posudek *[27]*. Modelovému scénáři je vytýkán především přílišný odklon od využívání vlastních zásob hnědého uhlí, které je významným palivem pro tepelné elektrárny – důležitého regulačního prvku. Navíc je bezpečnější počítat s využitím paliva, které se nachází na území České republiky než s palivy dovezenými. Dále oponentní rada označuje za silně nadhodnocené využití obnovitelných zdrojů energie uvedené ve zprávě. Také jsou podle ní nadhodnoceny ceny povolenek na oxid uhličitý.

Jak zpráva Nezávislé energetické komise, tak oponentní rada se shodují, že důležité je přijmout úsporná opatření a rozvíjet technologie šetřící energii.

S ohledem na zprávu Nezávislé energetické komise, na vyjádření oponentní rady a poznatky zahrnutými v této práci zkusme nyní upravit předpoklady pro energetický mix v blízké budoucnosti. Jako konečný rok predikce je zvolen rok 2030, a to vzhledem k vývoji v oblasti energetiky, který může značně ovlivnit rozložení výroby (například pokud se podaří významný pokrok ve výzkumu jaderné fůze). Protože do roku 2030 nepředpokládáme značný růst spotřeby elektrické energie (díky úsporným opatřením a technologiím), změna energetického mixu bude realizována náhradou některých zdrojů za jiné, takže odhad bude uveden v procentech.

Energie z hnědého uhlí bude postupem času nákladnější z důvodu politiky Evropské unie a omezenému množství zásob na našem území, nicméně odhad poklesu energie z tohoto zdroje je zvolen nižší, jelikož vycházím z předpokladu, že těžební limity budou o něco zvýšeny a v závěru doby predikce bude energie natolik dražší, že se vyplatí využívat metody zachytávání oxidu uhličitého. Černého uhlí je na našem území méně, proto je počítáno s významným poklesem množství energie z tohoto zdroje. Cena kapalných paliv bude pravděpodobně příliš vysoká na to, aby dále sloužila k výrobě elektřiny. S přihlédnutím k plánům stavět u nás plynové elektrárny a poměrně vysoké účinnosti paroplynových elektráren je očekáván nárůst energie získané z plynů. Dostavba jaderných bloků v Temelíně, která je nyní plánována na rok 2025, zvýší výrobu jaderných elektráren. O tom, že energie z obnovitelných zdrojů bude přibývat není pochyb, nicméně nárůst, který očekává Nezávislá energetická komise, zatím nevypadá reálně.

Tabulka 9: Odhad energetického mixu

Struktura výroby elektřiny **[**%**]**	2009	2015	2020	2030
Hnědé uhlí	47,8	44	43	35
Černé uhlí	6,44	6	4,5	1
Kapalná paliva	0,2	0,2	0,2	0
Plynná paliva	5,48	7	7	7
Jaderné palivo	33,77	33,8	33,3	40
Obnovitelné zdroje	6,18	9	12	17

3 KLASIFIKACE EKOLOGICKÝCH VLIVŮ A JEJICH POROVNÁNÍ

3.1 Dělení vlivů energetických výroben na ekologii

Vlivy dělíme podle jejich působení a dopadů na člověka a další ekologické subjekty.

Základní projevy elektrárenských vlivů jsou *[7]*:

a) Fyzikální a chemické

b) Biologické

c) Ekonomické

d) Estetické

Fyzikální a chemické vlivy se týkají především rozptylu emisí v ovzduší, vodě či půdě, působením různých polí nebo znečištěním životního prostředí různými chemikáliemi. Z vlivů, které jsme sledovali v kapitole 2, sem patří všechny druhy emisí, tepelné znečištění, ionizující záření, hluk, odpad a doprovodné procesy jako například těžba.

Biologické vlivy přímo souvisí s vlivy fyzikálními a chemickými. Jsou jejími následky ve vztahu k živým organismům. Protože všechny výše uvedené vlivy se více či méně týkají živých organismů, ať už lidí, zvířat nebo rostlin, patří sem proto všechny z nich.

Ekonomické vlivy mají spojitost s finanční stránkou výroben a souvisejících ekonomických nákladů. Částečně sem patří všechny vlivy, protože u všech je snaha o jejich eliminaci doprovázená vynaložením finančních prostředků, ale hlavně sem ze sledovaných vlastností elektráren patří měrné výrobní náklady z tabulky 5.

Estetické vlivy jsou z hlediska zdravotního pravděpodobně nejméně destruktivní, ačkoliv mají jistý vliv na psychiku člověka a možná i dalších organismů, proto není vhodné je zanedbávat. Často jsou ale velmi subjektivně hodnotitelné. Nejvíce sem patří nakládání s odpadem, zabraná plocha a především těžba surovin.

3.2 Porovnání ekologických vlivů

Samotné porovnání jednotlivých vlivů není jednoduché. Některé hodnoty se často mění a údaje uváděné o některých vlivech můžou být zkreslené metodou měření, která je bohužel často volena v souvislosti se záměrem měřícího a porovnávajícího. Při porovnání budeme vycházet z údajů uvedených v této práci a samotné hodnocení bude slovní. Při porovnání výrobních nákladů budeme vycházet nejvíce z hodnot určených pro Německo, protože je nám klimatickými a zdrojovými podmínkami nejbližší.

Tabulka 10: Porovnání ekologických vlivů výroben

	Uhelná elektrárna	Plynová elektrárna	Elektrárna spalující biomasu	Jaderná elektrárna	Vodní elektrárna	Větrná elektrárna	Fotovoltaická elektrárna
Emise	Obecně nejvíce emisí, ačkoliv po odsíření se jejich hodnota značně zredukovala	Také významný producent emisí, i když ve srovnání s uhelnými jde o daleko menší množství	Má vyrovnanou bilanci CO_2 a i další emise jsou nižší než u uhelných el.	Malé množství nepřímých emisí	Malé množství nepřímých emisí, porovnatelné s jad. el.	Poměrně nízké množství nepřímých emisí	Střední množství nepřímých emisí, vysoké množství nepřímých emisí SO_2
Tepelné znečištění	Malý vliv na množství srážek, námrazu, mlhu i teplotu	Malý vliv na množství srážek, námrazu, mlhu i teplotu	Malý vliv na množství srážek, námrazu, mlhu i teplotu	Malý vliv na množství srážek, námrazu, mlhu i teplotu, vyšší než uh. el.	Zanedbatelný vliv	Zanedbatelný vliv	Zanedbatelný vliv
Ioniozující záření	Velmi malé	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Velmi malé	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Zanedbatelné
Plocha	Malá	Nejmenší	Největší	Malá	Střední u akumul. typu, malá u průtočného	Velká	Střední
Hlučnost	Malá	Malá	Malá	Malá	Střední, ale většinou ne rušivého charakteru	Malá, ale velmi rušivého charakeru	Téměř žádný
Odpad	Hodně odpadu, který je částečně zpracovatelný a dobře uložitelný	Málo odpadu	Středně odpadu	Málo odpadu, těžko zpracovatelného a uložitelného	Málo odpadu	Středně odpadu vznikajícího až při jejich odstavení	Po jejich odstavení vzniká recyklovatelný odpad
Těžba	Nejvíce devastující	Málo devastující	Málo devastující	Hodně devastující	Nepotřebuje palivo	Nepotřebuje palivo	Nepotřebuje palivo
Zdravotní rizika	Největší zdravotní vliv a úmrtnost při nehodách	Střední zdravotní vliv a úmrtnost při nehodách	–	Malý zdravotní vliv a nejmenší úmrtnost při nehodách	Nejmenší zdravotní vliv a vysoká úmrtnost při nehodách	Malý zdravotní vliv na člověka, nebezpčné pro ptactvo	Vysoký nepřímý vliv na zdraví lidí, střední úmrtnost při nehodách
Měrné výrobní náklady	Středně drahý zdroj el. energie	Středně drahý zdroj el. energie	Středně drahý zdroj el. energie	Asi nejlevnější zdroj el. energie	Spíše dražší zdroj el. energie	Spíše dražší zdroj el. energie	Nejdražší zdroj el. energie
Potenciál využití v ČR	Největší zdroj el. energie u nás díky zásobám uhlí	Používá se zatím málo, ale předpokládá se vyšší využití	Dobrý potenciál do budoucna	Druhý největší zdroj energie u nás, vysoký potenciál	Využívaný zdroj, malý potenciál pro další šíření	Nezanedba-telný potenciál	Vysoký potenciál

3.3 Vyhodnocení vlivů

Zhodnoťme nyní výsledky zkoumané problematiky za použití tabulky 6.

Hlavní nevýhodou uhelné elektrárny je její množství emisí. Podle výroční zprávy ministerstva životního prostředí, je energetika hlavním zdrojem oxidu uhličitého u nás a na emisích okyselujících látek se podílí asi třetinově stejně jako na emisi tuhých znečišťujících látek *[17]*. Další velkou nevýhodou je obrovské množství odpadu, jak si můžeme všimnout v tabulce 3. Třetí obrovský problém tohoto zdroje je způsob získávání paliva, tedy těžba uhlí, který je velmi devastující a je zdrojem dalších ekologických problémů. Navíc je z hlediska havarijních stavů a přímého vlivu na lidské zdraví statisticky nejnebezpečnější. Výhodou je poměrně malá zabraná plocha na velké množství energie a dostupnost paliva. Vzhledem k velkému množství ekologických negativ je tento typ zdroje pravdepodobně nejméně šetrný k životnímu prostředí.

Plynová elektrárna má oproti uhelným elektrárnám množství výhod. Je menším producentem emisí, zabírá menší plochu, tvoří méně odpadu, těžba paliva je šetrnější k životnímu prostředí a má menší zdravotní vliv na lidi. Také proto se do budoucna počítá s rozšířením tohoto typu elektráren dnes používaného spíše v paroplynových cyklech.

Dalším potenciálním zdrojem blízké budoucnosti jsou elekrárny spalující biomasu. Ačkoliv jsou producentem různých emisí a v případě nedokonalého spalování i CO, má vyrovnanou bilanci CO_2. Jedná se o obnovitelný zdroj energie, proto se nemusíme obávat v blízké době nedostatku paliva. Jeho největší nevýhodou je zabrání obrovské plochy pro pěstování biomasy, což může v konečném důsledku ústit ve zdražení potravin. V tuto chvíli však není tento zdroj masově využíván, i když v budoucnu bude určitě hrát důležitou roli.

Mezi nejméně škodlivé z porovnávaných zdrojů patří jaderná elektrárna. K životnímu prostředí se chová poměrně šetrně stejně jako k našim peněženkám. Vytknout se jí však musí ne příliš šetrná těžba paliva, které je však naštěstí v porovnání s uhelnými elektrárnami potřebná v menším množství. Dále zatěžuje životní prostředí nebezpečnými odpady, které lze ale poměrně dobře uchovat v bezpečných uložištích a v budoucnu se budou pravděpodobně ještě přepracovávat. Velké naděje se také vkládají do dlouho vyvíjeného typu elektráren pracujících na principu jaderné fůze.

Vodní elektrárna je pravděpodobně nejčistším zdrojem energie. Existují sice i některé zápory, mluví se o nich ale snad jenom proto, aby se ukázalo, že neexistuje úplně ideální zdroj. Vysoká úmrtnost při nehodách je dána především lidským faktorem. Bohužel potenciál vodních elektráren není u nás natolik vysoký, aby mohl být do budoucna výrazněji zvýšen jejich podíl na celkové vyrobené energii.

Větrná elektrárna patří k čistším zdrojům. Některá negativa jsou spojena spíše s výrobou samotných zařízení než s jejich provozem. Jedním z problémů je velká zabraná plocha vzhledem k vyrobené energii. Jejich odpůrci poukazují také na jimi produkovaný hluk, který prý na některé lidi působí velmi negativně především svým charakterem. Odpůrci poukazují i na některé další vlivy, hlavně na určité nebezpečí pro ptactvo.

Fotovoltaické elektrárny zažívají v posledních měsících obrovský rozmach způsobený bohužel asi více státními dotacemi než odpovědným přístupem k životnímu prostředí. Patří mezi

velmi čisté zdroje při provozu, ale zároveň k těm více nebezpečným vzhledem k výrobě článků a nebezpečími s výrobou spojenými. Ani plocha jimi zabíraná není příliš malá. Výhodou je, že se můžou používat i na plochách zastavěných jako jsou střechy domů. Nepěknou vlastností je i velká měrná cena energie, která by se s jejich rozvojem mohla snad o něco snížit, pořád však bude patřit k těm dražším zdrojům. Některé problémy vyvstaly v poslední době v souvislosti s rychlým nárůstem menších zdrojů připojovaných do sítě, což souvisí i s neskladností energie a velkou závislostí na počasí.

Další zdroje elektrické energie v práci zhodnoceny nebyly, hlavně pro malé množství energie, kterou u nás vyrábějí. Proto je jejich vliv na životní prostředí zatím těžko srovnatelný s velkými zdroji elektrické energie, což neznamená, že nemají potenciál pro budoucí větší využití.

4 Opatření pro ekologicky šetrnější výrobu el. energie

Jak již poukazuji na začátku kapitoly 2.8, množství ekologických negativ, která s sebou přináší výroba elektrické energie je příliš velké, než abychom mohli mluvit o opatřeních odstraňujících veškerá negativa s výrobou spojená, tedy o čisté výrobě elektrické energie. Pokusil jsem se tedy zhodnotit aspoň možnosti snižování množství emisí oxidu uhličitého. Ukázalo se, že ačkoliv podmínky pro realizaci těchto technologií v naší zemi jsou, je využívání těchto metod ve stávajících elektrárnách zatím příliš finančně náročné, jak ukazuje tabulka 8. Náklady sice mohou být částečně kompenzovány zvýšením výtěžnosti ložisek, ale jenom při určitých způsobech ukládání.

Šetrnější výrobu lze kromě snižování negativ určitých typů elektráren dosáhnout přechodem k jiným typům. Je třeba brát v potaz i cenu energie a další aspekty spojené s danými zdroji. V kapitole 2.9 je uveden odhad změny energetického mixu v blízké budoucnosti s ohledem na zprávu vypracovanou Nezávislou energetickou komisí. Podle této hypotézy největší znečišťovatel životního prostředí (uhelné elektrárny) bude omezen především díky obnovitelným zdrojům a dostavbě jaderné elektrárny Temelín. Až čas ukáže, jak přesný byl odhad, zatím nezbývá než hledat další možnosti, jak snižovat ekologickou náročnost při výrobě elektrické energie.

5 Použitá literatura

[1] Energetický regulační úřad. *ERÚ* [online]. Jihlava : 2010 [cit. 2010-11-17]. Roční zpráva o provozu ES ČR 2009 – ERÚ. Dostupné z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocni_zprava/2009/index.htm>.

[2] TŮMA, Jiří; ČERMÁK, Jaroslav. *Elektroenergetika a životní prostředí*. Vyd. 1. Praha : ČVUT, 1996. 178 s. ISBN 80-01-01050-3.

[3] MATOUŠEK, Antotnín . *Výroba elektrické energie*. Brno : VUT, 2007. 150 s.

[4] SKÁLA, Zdeněk. *Ekologie v energetice*. Vyd. 1. Brno : VUT, PC-DIR spo. s.r.o., 1994. 141 s. ISBN 80-214-0477-9.

[5] ČT 24 Krize má i pozitivní vliv – klesly emise CO_2. In [online]. Praha : [s.n.], 2010 [cit. 2010-11-17]. Dostupné z WWW: <http://www.ct24.cz/ekonomika/90223-krize-ma-i-pozitivni-vliv-klesly-emise-co2/>.

[6] FG Forrest, a. s. *ČEZ, a.s.* [online]. Praha : 2010 [cit. 2010-11-17]. Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz>.

[7] MATOUŠEK, Antonín. *Ekologie v elektroenergetice*. Vyd. 1. Brno : VUT, 2004. 94 s. ISBN 80-214-2538-5.

[8] DRÁBOVÁ, Dana. Rizika a přínosy jaderné energie : Zajímavosti jaderná energetika. *PRO-ENERGY* [online]. 2007, 3, [cit. 2010-11-19]. Dostupný z WWW: <www.pro-energy.cz/clanky3/4.pdf>.

[9] Hluk a Emise [online]. 2007 [cit. 2010-11-27]. Vliv hluku na zdraví. Dostupné z WWW: <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/> .

[10] BOCHNÍČEK, Zdeněk. Jaderná energetika: rizika a alternativy. *Školská fyzika* [online]. 2006, 6, [cit. 2010-11-27]. Dostupný z WWW: <http://sf.zcu.cz/rocnik06/cislozv/bochnic.html>. ISSN 1211-151.

[11] PELÁN, Vítězslav. *Větrná elektrárna : pochybnosti o ekologické a ekonomické výhodnosti* [online]. 2007 – 2008 [cit. 2010-12-06]. Dostupné z WWW: <http://www.stop-vetrnikum.webz.cz/index.php> .

[12] Nazeleno.cz : Chytrá řešení pro každého [online]. Brno : 2010 [cit. 2010-12-10]. Dostupné z WWW: <http://www.nazeleno.cz> .

[13] Jaderná energetika v číslech. In *Kdejinde.cz* [online]. Praha : ČEZ, a.s., 2009 [cit. 2010-12-12]. Dostupné z WWW: <http://www.kdejinde.cz/edee/content/file/vzdelavani/je_v_cislech_2009.pdf> .

[14] Vyčerpání ropy nehrozí. Černého zlata je dostatek na dalších nejméně 200 let. In *Ihned.cz* [online]. Praha : Economia, a.s., 23. 11. 2008 [cit. 2010-12-12]. Dostupné z WWW: <http://ekonomika.ihned.cz/c1-30671700-vycerpani-ropy-nehrozi-cerneho-zlata-je-dostatek-na-dalsich-nejmene-200-let>.

[15] HANSLIAN, David; HOŠEK, Jiří; ŠTEKL, Josef. Odhad realizovatelného potenciálu na území ČR. In *Ústav fyziky atmosféry AV ČR* [online]. Praha : [s.n.], 15. 2. 2008 [cit. 2010-12-12]. Dostupné z WWW: <http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/doc/potencial_ufa.pdf>.

[16] NOVÁK, Libor . *Tzbinfo* [online]. 6. 11. 2006 [cit. 2010-12-13]. Vodní energie (I) - zdroje vodní energie. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/3645-vodni-energie-i-zdroje-vodni-energie>.

[17] Zpráva o životním prostředí ČR v roce 2009. In Zpráva o stavu ŽP ČR 2009 [online]. Praha : MŽP, 2009[cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW <http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_tz101104zprava %20_o_stavu_2009/$FILE/Zprava_o_ZP_CR_2009.pdf>

[18] RACKLEY, Stephen. Carbon Capture and storage. [s.l.] : Elsevier, 2010. 435 s. ISBN 978-1-85617-636-1

[19] SCHACKLEY, Simon; GOUGH, Clair. Carbon Capture and its storage : An Integrated Assessment. Aldershot (UK) : Ashgate, 2006. 313 s. ISBN 0-7546-4499-5.

[20] Greenhouse gas. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 5.12.2009, naposledy změněno 24.2.2011 [cit. 2011-02-26]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas>.

[21] Carbon dioxide. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27.8.2003, naposledy změněno 13.3.2011 [cit. 2011-03-13]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide> .

[22] ODLOŽILÍK, M. *Zachytávání a ukládání CO2.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil,Ph.D.

[23] The National Mining Association. Www.nma.org : Clean Coal Technologies for carbon managment [online]. 2010 [cit. 2011-04-15]. Carbon capture and storage. Dostupné z WWW: <http://www.nma.org/ccs/carboncapture.asp> .

[24] Integovernmental Panel on Climate Change. Carbon dioxide capture and storage. In Carbon dioxide capture and storage [online]. New York : Cambridge University Press, 2005 [cit. 2011-04-17]. Dostupné z WWW: <http://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srccs/srccs_wholereport.pdf>

[25] ŠIMEK, Josef. GIS-GEOINDUSTRY, s.r.o [online]. 2005 [cit. 2011-04-20]. GEOLOGICKÁ SEKVESTRACE CO2. Dostupné z WWW: <http://www.geoindustry.cz/index.php?page=8>

[26] Nezávislá energetická komise. Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu. In Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu: Pracovní verze k oponentuře [online]. (Praha) : (Nezávislá energetická komise), 30.9.2008 [cit. 2011-05-06]. Dostupné z WWW: <http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Pracovni-verze-k-oponenture.pdf> .

[27] STEHLÍK, Pavel, et al. Oponentní posudek ke Zprávě Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu. In Oponentní posudek [online]. (Praha) : Úřad Vlády ČR, 31.9.2008 [cit. 2011-05-06]. Dostupné z WWW: <http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Posudek-oponentni-rady.pdf> .