Vysoká škola ekonomická v Praze

Národohospodářská fakulta

Hlavní specializace: Hospodářská politika



UHELNÉ ELEKTRÁRNY: LEVNÁ ELEKTŘINA VS. ČISTÉ ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

diplomová práce

Autor: Ondřej Krydl

Vedoucí práce: doc. PhDr. Ing. Marek Loužek, Ph.D.

Rok: 2017

Prohlašuji na svou čest, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

Ondřej Krydl

V Praze, dne 2. 1. 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. PhDr. Ing. Marku Loužkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

Vysoká škola ekonomická v Praze
Katedra hospodářské a sociální politiky

Národohospodářská fakulta
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Ondřej Krydl**

Studijní program: Ekonomie a hospodářská správa

Obor: Hospodářská politika

Název tématu: **Uhelné elektrárny: levná elektřina vs. čisté životní prostředí**

Zásady pro vypracování:

1. Cílem diplomové práce je analýza klíčové otázky soudobé energetiky, kterou je budoucnost uhelných elektráren. V současné době je více než třetina spotřebované elektrické energie vyrobena právě v uhelných elektrárnách, to činí z těchto elektráren největšího producenta elektřiny na světě.
2. Ačkoli po celém světě existují rozsáhlá ložiska hnědého a černého uhlí, a jeho cena je v porovnání s předchozími lety nízká, jsou tyto elektrárny v řadě zemí vyřazovány z provozu a do budoucna se s jejich produkcí již nepočítá. Důvodem jsou velké negativní dopady na životní prostředí.
3. Teoretická část práce se bude zabývat mírou znečištění uhelných elektráren, rentabilitou a jejich účinností v porovnání s ostatními elektrárnami. Budu analyzovat zákony č. 201/2012 sb. a č. 76/202 sb., které jsou přijaty ze směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích a kladou vysoké nároky na provozovatele uhelných elektráren.
4. Praktická část provede analýzu nákladů a výnosů tohoto typu elektráren. Zjistí, zda při současně přitvrzujících se emisních limitech a tedy nutným vysokým investicím, zůstanou uhelné elektrárny konkurenceschopné.
5. Práce zodpoví otázku, zda si udrží si uhelné elektrárny své dominantní postavení v energetickém mixu.

Rozsah práce: 70 stran

Seznam odborné literatury:

1. BINHACK, P., TICHÝ, L., 2011. Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU. Ústav mezinárodních vztahů. ISBN: 97831-80-87558-023-7.
2. BYRON, S., 2001. Cleaner Power. The Benefits and Costs of Moving from Coal to Natural Gas Power Generation. Environmental Law Institute. ISBN: 978-1-58576-025-1.
3. CARINGTON, T.P., 2010. Carbon capture and storage including coal-fired power plants. Nova Science Publishers. ISBN: 978-1-61209-870-8.
4. HLAVÁČEK, J., Towards a green economy. Prague : Litomysl Seminar 2010. ISBN: 978-80-86709-16-1.
5. OECD, 2013. Effective Carbon Prices. Organisation for Economic Co-operation and Development. ISBN: 9789264196964.
6. OTČENÁŠEK, P., 2006 Elektroenergetika v 21. století: globální světové energetické hospodářství a jeho vliv na Českou republiku. ČEZ. ISBN: 80-239-9839-0.
7. SPEIGHT, J.G., 2013. Coal-fired power generation handbook. Beverly, Mass. : Scrivener Pub. ISBN: 978-1-118-73941-9.
8. SUNDQVIST, T., 2003. Valuing the Environmental Impacts of Electricity Generation. Laxenburg : International Institute for Applied Systems Analysis.

Datum zadání diplomové práce: říjen 2015

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2016

Bc. Ondřej Krydl
Řešitel

doc. PhDr. Ing. Marek Loužek, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Miroslav Ševčík, CSc.
Vedoucí ústavu

doc. Ing. Miroslav Ševčík, CSc.
Děkan NF VŠE

Abstrakt

Diplomová práce má za cíl analyzovat význam uhelných elektráren na současném trhu elektrické energie s důrazem na aspekty, které zásadně ovlivňují jejich produkci. Uhelné elektrárny patří v dnešní době mezi společensky nepopulární zdroj elektřiny. V posledních dekádách intenzivně sílí zájmové skupiny, které podporují státní zásahy a regulace energetického sektoru. Jedná se především o masivní podporu obnovitelných zdrojů energie na úkor elektráren spalujících fosilní paliva. Analýza jednotlivých zdrojů elektrické energie dokládá, že i přes současná restriktivní opatření uvalená na elektrárny spalující fosilní paliva a především elektrárny uhelné, je elektřina vyráběná z uhelných zdrojů stále konkurenceschopná, a i přes některé nevýhody má řadu pozitivních vlastností. Uhelné elektrárny produkují vyšší množství skleníkových plynů a ostatních znečišťujících látek než ostatní typy elektráren. Na druhé straně jsou schopny poskytovat stálé dodávky elektřiny do rozvodové sítě a tím částečně kompenzovat vysoce volatilní dodávky elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Cenu elektřiny z uhelných elektráren lze ve srovnání s ostatními zdroji energie považovat za relativně nízkou. Z provedené analýzy vyplývá, že z hlediska praktické hospodářské politiky není ekonomicky opodstatněné snižovat podíl uhelných elektráren na celkové produkci elektrické energie.

Klíčová slova

Uhelná elektrárna, uhlí, CO_2, externalita, emisní povolenka, LCOE, OZE, plyn

JEL klasifikace

L94, Q42, Q32, Q54

Abstract

The aim of this thesis is to analyze the importance of coal-fired power plants on the market of electric energy, with emphasis on aspects that fundamentally affect their production. Coal-fired power plants belongs nowadays among socially unpopular source of electricity. In recent decades intensively growing interest groups that support state intervention and regulation of the energy sector. This is essentially a massive promotion of renewable energy sources at the expense of fossil fuel plants. Analysis of individual power sources shows that despite the current restrictive measures imposed on power plants burning fossil fuels, and especially coal-fired power plants, electricity produced from coal resources is still competitive, despite some drawbacks has many positive qualities. Coal-fired power plants produce higher amounts of greenhouse gases and other pollutants than other types of power plants. On the other hand, they are able to provide a stable supply of electricity to transmission network, and thus partially offset the high volatility of electricity supply from renewable energy sources. The price of electricity from coal-fired power plants could be considered as relatively low in comparison with other energy sources. The analysis shows that in terms of practical economic policy is not economically justified to reduce the proportion of coal-fired power plants in the total production of electricity.

Key words

Coal-fired power plant, coal, CO2 externality, emission allowances, LCOE, RES, gas

JEL classification

L94, Q42, Q32, Q54

Obsah

Úvod ... 1

1 Teoretická část ... 3

1.1 Uhelné elektrárny – jeden z nejstarších zdrojů elektrické energie ... 3

1.2 Historie uhelných elektráren v kontextu České republiky ... 4

1.3 Uhlí – stále perspektivní palivo? ... 6

1.4 Technologie jako významný faktor nákladovosti při zpracování uhlí ... 10

1.4.1 Rozlišení nákladů u nejčastěji užívaných technologií ... 12

1.4.2 Polutanty a způsoby jejich odstraňování ... 16

1.4.3 Komplexita stanovení nákladů na výstavbu a provoz elektrárny ... 18

1.5 Rentabilita energetických provozů ... 18

1.6 Systém ETS jako snaha o vložení tržního prvku do silně regulovaného odvětví ... 25

1.7 Hlavní ekonomické přístupy k řešení externalit ... 28

2 Analytická část ... 31

2.1 Interní náklady – náklady plně nesené výrobci ... 31

2.2 Externí náklady ... 35

2.2.1 CO_2 jako nejčastěji diskutovaný externí náklad ... 37

2.2.2 Způsoby snižování emisí CO_2 ... 40

2.2.3 Ostatní emitované látky jako externí náklad ... 42

2.3 Společenské mínění jako faktor ovlivňující politické rozhodování ... 46

2.4 Komparace hlavních zdrojů elektrické energie ... 47

Závěr ... 53

Seznam použitých zkratek ... 58

Seznam tabulek a obrázků ... 59

Zdroje ... 60

Úvod

Elektrická energie má pro současnou společnost zcela zásadní význam. Výše ceny elektrické energie má vliv na výkon jednotlivých světových ekonomik, protože jako významný vstup při produkci celé řady výrobků má velký vliv na konečné ceny. A právě cena elektrické energie v posledních letech velmi významně poklesla.

Problematiku uhelných elektráren jsem si zvolil pro aktuálnost daného tématu především v kontextu dnešní evropské diskuse o energetice. V této diskusi jednoznačně převažují environmentalistické a ekologické hlasy volající po čisté energii. Ty jsou vyslyšeny prostřednictvím rostoucích státních zásahů a regulací. V důsledku klesající ceny uhlí se tvůrci hospodářské politiky snaží kompenzovat onen pokles dalšími restriktivními opatřeními, která mají za cíl uměle zdražit elektřinu vyráběnou z uhlí a jiných fosilních zdrojů.

Producenti jsou tak v obtížné situaci, kdy jejich rozhodnutí ovlivňují nejen dodatečné státní zásahy, které zvyšují jejich náklady, ale také klesající cena elektrické energie, která není dostatečně kompenzována klesající cenou uhlí jakožto primárního vstupu. V krátkém období výrobce optimalizuje množství a kombinaci vstupů, zatímco v dlouhém období je nutné zvážit také investice do jednotlivých typů elektráren. Do rozhodování také vstupují tyto faktory: ceny paliv jako substitutů, jimiž jsou především ropa, uhlí a zemní plyn, vývoj energetické legislativy a jejího lobby; v prostředí Evropské unie situace na trhu s emisními povolenkami, a především podpora obnovitelných zdrojů energie.

Téma je vysoce hospodářsko-politicky aktuální také z důvodu nedávno provedených masivních investic do inovace stávajících uhelných elektráren. Na tomto příkladu lze jasně spatřovat nekonzistentnost politických elit a jejich nekompetentnost v oblasti energetické politiky, která mnoha investorům způsobila velké ztráty.

V teoretické části práce je blíže vysvětleno fungování uhelných parních elektráren, a to především z technického hlediska. Dále je charakterizována těžba uhlí a veškeré náklady s tím spojené. Uhlí je považováno za relativně levné palivo, které však nenese ve své ceně veškeré náklady spojené s těžbou. Ty jsou reprezentovány především zdravotními riziky, ztrátou zemědělské produkce a biodiverzity, korozí materiálů a případnými změnami spojenými se změnou klimatu. Emise škodlivých látek do ovzduší, které považuji za nejpodstatnější externalitu, jsou v teoretické části práce popsány spolu s nástroji k jejich minimalizaci. Tyto

nástroje, které mají za cíl co nejvíce minimalizovat negativní dopady na okolní prostředí, jsou nákladné a na cenu výsledného produktu mají výrazný vliv.

Dále jsou v práci zkoumány náklady různých typů elektráren a jejich celková rentabilita. Významnou část zaujímá téma emisních povolenek, které byly v prostředí EU zavedeny v roce 2005. V poslední části nejsou opomenuty základní ekonomické přístupy k problematice negativních externalit a jejich dopadů na životní prostředí.

V analytické části práce je rozebrána struktura nákladů uhelných elektráren. Náklady jsou porovnávány s ostatními typy energetických zdrojů s důrazem na srovnání s obnovitelnými zdroji energie, které jsou tolik akcentovány současnou hospodářskou politikou Evropské unie a dalších zemí. Při porovnávání nákladů jednotlivých způsobů získávání energie je nezbytné pokusit se zohlednit veškeré náklady, tedy jak náklady interní, tak náklady externí. Zvolený postup umožnuje komplexně srovnat jednotlivé druhy elektráren a vyhodnotit jejich klady a zápory.

Cílem práce je analyzovat význam uhelných elektráren na současném trhu elektrické energie, a především analyzovat aspekty, které zásadně ovlivňují produkci a chod uhelných elektráren. Cílem práce je také potvrdit či vyvrátit hypotézu, že z hlediska praktické hospodářské politiky není ekonomicky opodstatněná snaha o snižování podílu uhelných elektráren na množství produkované elektrické energie.

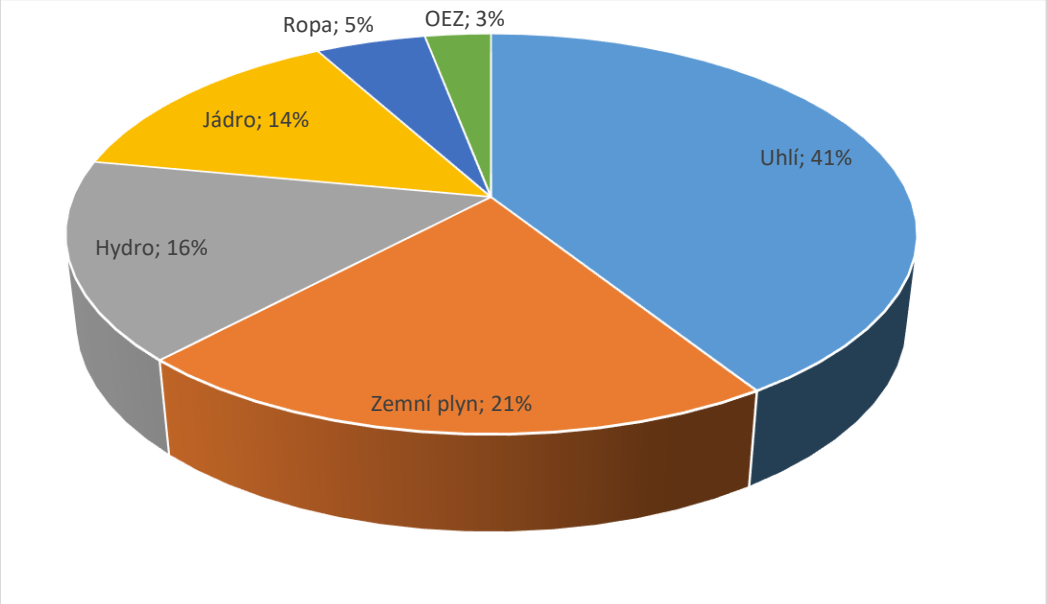
1 Teoretická část

1.1 Uhelné elektrárny – jeden z nejstarších zdrojů elektrické energie

Elektrická energie se získává přeměnou energie, která je vázána v nějakém zdroji. Tato práce se zabývá tepelnými elektrárnami, které využívají uhlí k přeměně chemické energie, která je vázána v palivu. Výroba elektřiny v takovémto typu elektrárny probíhá běžným spalováním, kdy se energie z paliva transformuje nejprve na energii tepelnou, která se za pomoci generátoru přemění na energii kinetickou a za pomoci alternátoru na již finální elektrickou energii.

V práci jsou s uhelnými elektrárnami srovnávány elektrárny, které zpracovávají zemní plyn, získávají energii z jádra a ty které vyžívají obnovitelných energetických zdrojů. Obrázek č. 1 znázorňuje celosvětový podíl jednotlivých zdrojů elektrické energie. Z obrázku je jasně patrné, jakou roli zastává uhlí při výrobě elektřiny.

Obrázek č. 1: Podíl jednotlivých energetických zdrojů v celosvětovém měřítku (2015)



Zdroj: Key World Energy Statistics [online]. [cit. 2016-04-11]. (vlastní úprava)

Vzhledem k tomu, že celosvětový instalovaný výkon veškerých elektráren činí přibližně 5800 GW[1], je patrné, že celkový instalovaný výkon uhelných elektráren činí 2400 GW. Tedy dvojnásobek než plynové elektrárny, které v tomto žebříčku zaujímají druhé místo. Pokud toto číslo srovnáme s celkovým instalovaným výkonem všech typů elektráren v České republice, jenž činí 22 GW, zjistíme, o jak významný zdroj elektřiny se jedná v celosvětovém měřítku.[2]

V roce 2014 bylo celosvětově vyprodukováno 23500 TWh elektrické energie, z toho 9600 TWh bylo generováno právě v uhelných elektrárnách.[3] Pokud vynásobíme množství energie z uhelných elektráren množstvím uhlí, které je zapotřebí k vyrobení dané jednotky, zjistíme, že za rok shoří v kotlích uhelných elektráren 4,5 mld. tun uhlí. I s přihlédnutím k abstrakci tohoto čísla je pro čtenáře patrné, že se stále spaluje obrovské množství uhlí.

Tato kapitola se zabývá teorií a principem fungování uhelných elektráren, uhlím jako primárním palivem, tedy tím, co se děje před samotným procesem v elektrárně a emisemi do ovzduší na straně druhé. Kapitola dále obsahuje teorii ekonomiky provozu energetických zdrojů, teoretické mainstreamové přístupy k externalitám a možné způsoby jejich internalizace, legislativní rámec pro energetickou politiku a analýzu Evropského systému obchodování s povolenkami.

1.2 Historie uhelných elektráren v kontextu České republiky

První uhelné elektrárny vznikly koncem 19. a začátkem 20. století. Z konstrukčního hlediska šlo o jednoduchá zařízení s velmi malým výkonem, jejichž hlavní součástí byl generátor poháněný vodním kolem, nebo parním strojem. Parní stroj byl později nahrazen parní turbínou, čímž vznikly dnešní tepelné elektrárny.

---

[1] The Shift Project Data Portal. Countries with highest installed power capacity [online]. 2014 *tsp-data-portal.org*. [cit. 2016-04-11], Energy Information Administration. International Energy Statistics [online]. 2012 *eia.gov*. [cit. 2016-04-11]. Údaje za rok 2015 nejsou dostupné, ale z výše uvedených zdrojů, které od roku 2008 udávají meziroční přírůstek přibližně 200 GW, přičemž se tento přírůstek zpomaluje, je možně odhadnout celkový instalovaný výkon pro rok 2015 tak aby byl co nejvíce kompatibilní s daty na obrázku č. 1.

[2] Energostat. Enegetika v ČR a EU: informace, data, komentáře, zákony [online]. 2014 *energostat.cz* [cit. 2016-04-12].

[3] BP. Statistical Review of World Energy, June 2015 [online]. 2015 *bp.com*. [cit. 2016-04-12]. Z analýzy dat vyplívá, že celosvětově generují elektrárny pouze polovinu ze své technické kapacity. To samé platí i pro Českou republiku – při plném využití a nepřetržitém výkonu instalované kapacity by bylo v česku vyrobeno 193000 GWh, Ve skutečnosti je v Česku vyrobeno přibližně 87000 GWh elektrické energie. (Energostat (2014)).

V v roce 1881 postavil T. A. Edison v České republice elektrickou centrálu v brněnském Janáčkově divadle, která byla první svého druhu v celé Evropě. Postupně vznikaly závodní elektrárny, které dodávaly elektřinu svým obcím pro veřejné osvětlení, později i pro širokou spotřebu veřejnosti. Brzy začaly elektrárny zřizovat samotné obce. První si svou elektrárnu postavilo v roce 1889 město Praha – Žižkov. Byla to zároveň první samostatná elektrárna vyrábějící elektřinu určenou přímo k prodeji. Od tohoto data také mluvíme o systematické elektrifikaci českých zemí a o vzniku českého elektrárenství.[4] Elektrárna na Žižkově fungovala na bázi stejnosměrného proudu. Vyrobená elektřina byla určena jak pro veřejné osvětlení, tak pro soukromou spotřebu. Stejnosměrný proud při nízkém napětí není možné přenášet na delší vzdálenost. V případě větší vzdálenosti se projevil pokles napětí na vedení. Neschopnost snadné transformace různých napěťových hladin stejnosměrného proudu otevřela cestu střídavému proudu. Střídavý proud byl u nás poprvé vyráběn v roce 1898 v elektrárně v Holešovicích. Tyto parní elektrárny využívali jako palivo uhlí, které se běžně používalo v domácnostech.

Podle statistiky Zemské správní komise z roku 1915 bylo v té době v Čechách 207 elektráren s úhrnným výkonem 127 MW zásobujících svým proudem 1000 obcí s 2,75 mil. obyvatel. Jednalo se o elektrárny vodní a elektrárny uhelné.[5] V letech následujících probíhala v českých zemích intenzivní elektrifikace a instalace nových zdrojů elektrické energie. V meziválečném období se roční výroba elektřiny zvýšila více než čtyřnásobně, což sebou neslo pozitivní vliv pro československé hospodářství, jelikož v souvislosti s intenzivní elektrifikací země vzniklo přibližně 100 tis. nových pracovních míst. V té době představovaly investiční náklady do nového zdroje dominantní nákladovou položku elektrárenských společností. Náklady na uhlí zaujímaly méně než třetinu z celkových nákladů.[6]

Nová etapa československého elektrárenství započala v 50. letech v novém plánovaném hospodářství. V roce 1960 dosáhla roční produkce elektřiny 25 TWh.[7]

---

[4] ČEZ. Historie českého elektrárenství: Historie českého elektrárenství a vznik ČEZ [online]. 2016 *cez.cz*. [cit. 2016-12-17].
[5] KUBÍN, Miroslav. *Elektroenergetika v Českých zemích: retrospektiva a vývoj na prahu 21. století* [online]. Praha, Panorama, 2000 [cit. 2016-12-18].
[6] KUBÍN (2000).
[7] vice než 25 TWh roční produkce elktřiny v dnešní době společně generují dvě české jaderné elektrárny Dukovany a Temelín.

Instalovaný výkon všech elektráren činil v tomtéž roce 6510 MW.[8] V podmínkách plánovaného hospodářství byly vytvářeny velmi ambiciózní plány pro novou výstavbu elektráren s důrazem na uhelné zdroje. Začaly být montovány nové bloky s výkonem 110 MW, později 200 MW. První takovou elektrárnou byla hnědouhelná elektrárna Tisová, která leží v Sokolovské pánvi na západě Čech. Dále následovaly elektrárny Prunéřov a Tušimice, které měly obě po šesti blocích se zmíněným instalovaným výkonem 110 MW pro každý. Elektrárna Ledvice byla jako první osazena kotlem o výkonu 200 MW, tato elektrárna patří i v dnešní době mezi nejmodernější v České republice. Nově postavený nadkritický kondenzační blok o výkonu 660 MW dosahuje účinnosti 42,5 %.[9] V 60. a počátkem 70. let byly uvedeny do provozu další hnědouhelné elektrárny Počerady, Mělník a Poříčí. V roce 1976 byl na Ostravsku nedaleko polských hranic dokončen největší černouhelný zdroj na území České republiky elektrárna Dětmarovice. Tato elektrárna na rozdíl od Severočeských hnědouhelných zdrojů spaluje černé uhlí s průměrnou výhřevností 22 MJ/kg a obsahem síry pod 0,5 %.[10]

Po roce 1989 se na základě usnesení vlády ČR č. 112/92 o energetické politice začaly uplatňovat zásady tržní ekonomiky. V květnu 1992 byla založena akciová společnost ČEZ, která vznikla vyčleněním z Českých energetických závodů. Tehdy bylo pod ČEZ začleněno devět elektráren, divize přenosné elektrizační soustavy a Ústřední energetický dispečink. Do dnešní doby je ČEZ největším producentem elektrické energie v České republice, přičemž většinovým vlastníkem akcií je stát.[11] Aktuální instalovaný výkon elektráren v České republice činí 22 GW, díky instalaci nových OZE v posledních letech strmě rostl a podobný vývoj lze očekávat i v následujících letech.[12]

1.3 Uhlí – stále perspektivní palivo?

Dominantní položkou světové těžby jsou stále fosilní paliva. Jedná se o nerostné suroviny, které vznikaly v období karbonu a permu, tedy před stovkami milionů let. Uhlí se

[8] KUBÍN (2000).
[9] Svět energie, skupina ČEZ. Elektrárna Ledvice [online]. 2016 *svetenergie.cz*. [cit. 2016-12-18].
[10] Černé uhlí těžené na Ostravsku dosahuje ve srovnání s hnědým uhlím těženým v Mostecké a Sokolovské pánvi více než dvounásobné výhřevnosti. Více informací například zde: MIKOLÁŠ, Milan, et al. The new national energy concept 2015-The future of brown coal in the Czech Republic. *Acta Montanistica Slovaca*, 2015, volume 20, number 4: 298-310.
[11] Pro více informací o dominantním producentovi elektrické energie viz například: ČEZ. Historie společnosti *ČEZ* [online]. 2016 *cez.cz*.
[12] Energetický regulační úřad. Roční zpráva o provozu ES ČR [online]. 2015 *eru.cz*. [cit. 2016-12-18].

vytvářelo v ekosystémech bažin, jezerních pánví, delt řek a nížinných přímořských oblastí, skládá se především z uhlíku, ale obsahuji i následující příměsi: vodu, jílové horniny, silikátové horniny a další sloučeniny síry. Obsah uhlíku a zastoupení příměsí závisí na době, po kterou přeměna z rostlinné hmoty na výsledný nerost probíhala. Čím je uhlí starší, tím je procento uhlíku vyšší a tím méně je také patrná rostlinná složka. Zatímco méně kvalitní hnědé uhlí vzniklo karbonizací jehličnanů v období třetihor, kvalitnější černé uhlí vzniklo fosilizací přesliček, plavuní a dalších kapraďorostů na konci prvohor.

Bez ohledu na problémy spojené s vyčerpáváním fosilních paliv signalizují odhady renomovaných světových organizací další pokračování využívání spalovacích technologií.[13] Zdroje uhlí jsou poměrně vydatné a na rozdíl od ropy a zemního plynu se životnost zásob uhlí ve vztahu k dnešní spotřebě odhadují na 300 let.[14] Faktem však zůstává, že lidská společnost se velmi dynamicky vyvíjí a nelze uvažovat potenciální zásoby uhlí staticky z pohledu existujících technologií, neboť právě jejich vývoj nelze predikovat.[15]

Podle posledních odhadů a informací o doposud objevených uhelných ložiscích se na světě nachází 900 mld. tun uhlí, přičemž přibližně polovinu tvoří hnědé a polovinu černé.[16] Kvalita jednotlivých uhelných ložisek je dána teplotou, tlakem a časem, po který se dané ložisko formovalo. Přechodným stádiem, tedy ještě neplnohodnotným uhlím, je rašelina. Ta je i v dnešní době spalována, ale ne za účelem získání elektrické energie, ale za účelem vytápění, a to především v méně vyspělých oblastech. Nejmladší formou opravdového uhlí je lignit neboli hnědé uhlí. Starší a kvalitnější je černé uhlí, přičemž mezi těmito dvěma

---

[13]OTČENÁŠEK, Petr. *Elektroenergetika v 21. století: globální světové energetické hospodářství a jeho vliv na Českou republiku*. Praha: ČEZ, 2006. ISBN 80-239-9839-0.

[14] Zatímco v odhadech vyčerpání zásob ropy a zemního panuje v odborné literatuře shoda (zásoby ropy se odhadují na 40–50 let, zásoby zemního plynu se odhadují na 50 – 60 let), odhady horizontu vyčerpání světových zásob uhlí se významně liší a pohybují se mezi 70 a 400 lety. OTČENÁŠEK (2006), TORTORA, Marco. *Sustainable systems and energy management at the regional level: comparative approaches*. Hershey, PA: Information Science Reference, 2012. ISBN 9781613503461.

[15] Loužek se kriticky vyjadřuje ke katastrofickým scénářům předpovídajícím vyčerpání fosilních paliv: *„Zdroje se hledají a nacházejí, pouze když je jich třeba. U všech tzv. neobnovitelných zdrojů jsou známé či oprávněně předpokládané světové zásoby tisíckrát větší než roční světová spotřeba. Za těch pár, které jsou dostupné v relativně menším množství, jako např. ropa, existují za ně náhrady. Nic nenasvědčuje tomu, že by v celosvětovém měřítku bezprostředně hrozilo vyčerpání kterékoli ze skutečně důležitých surovin"*, LOUŽEK, Marek. Globální problémy z pohledu environmentální ekonomie. *Politická ekonomie*, 2013, volume 61, number 3: 393-410. ISSN 0032-3233.

[16] Jednotlivé studie se od sebe liší především ve skladbě jednotlivých typů uhlí, některé udávají větší zásoby uhlí černého, viz World Coal Association. The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal [online] 2016 *worldcoal.org* [cit. 2016-04-17], jiné zase uvádějí větší zásoby uhlí hnědého: (BP Statistical Review of World Energy (2015)).

základními typy existuje mnoho mezistupňů, pro které se užívá anglický termín „sub-bituminous“. V optimálních podmínkách a po nejdelší časový horizont vznikly nejkvalitnější formy uhlí jako antracit a grafit.

Tabulka č.1: Vlastnosti jednotlivých typů uhlí

	Antracit	Černé uhlí	„Sub-bituminous“	Lignit
Obsah uhlíku [%]	86 – 97	45 – 85	35 – 45	25 – 35
Vlhkost [%]	2,8 – 16,3	2,2 – 15,9	15 – 30	>30
Hustota [Kg/m³]	800 – 930	670 – 910	660 – 880	640 – 860
Zbytkový popel [%]	9,7 – 20,2	3,3 – 11,7	3,3 – 11,7	3,3 – 11,7
Obsah síry [%]	0,6 – 0,77	0,7 – 4,0	1.0 – 2,5	0,4 – 2,5
Výhřevnost [MJ/kg]	>32,5	26,0 – 32,5	19,3 – 26,0	<19,3

Zdroje: DEMIREL, Yaşar. *Energy: production, conversion, storage, conservation, and coupling*. New York: Springer, 2012. Green energy and technology. ISBN 9781447123729, World Coal Association. The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal [online] 2016, FISHER, Juliya. Energy Density of Coal. [online]. 2003 *The Physics Factbook* [cit. 2016-04-24]. (vlastní úprava).

Z tabulky č. 1 jsou patrné charakteristiky jednotlivých typů uhlí, které nejlépe vypovídají o jejich kvalitě, a tedy i o jejich využitelnosti pro elektrárenské účely. Lignit svým vzhledem a strukturou připomíná spíše zeminu než horninu a využívá se výhradně pro výrobu elektrické energie. V České republice se hnědé uhlí těží v povrchových dolech, které se nacházejí v uhelných pánvích na severozápadě Čech. Významná světová ložiska lignitu se nacházejí především v USA, ale také v Rusku a Německu.

Pro černé uhlí a jeho další pokročilé formy se využívá anglický termín „Hard Coal“. Využití nachází opět v elektrárenství a teplárenství a dále také při výrobě koksu. V České republice se černé uhlí nachází v ostravsko-karvinské, středočeské a mělnické pánvi, přičemž v současné době se těží pouze v hlubinných dolech na Ostravsku.[17] Největší ložiska antracitu

[17] Díky současnému poklesu ceny uhlí přestávají být tyto doly rentabilní a reálně hrozí jejich zavření. ČTK, adk. Zbylé černouhelné doly ve střední Evropě žádají vlády o pomoc. Všechny prodělávají a v sázce jsou tisíce pracovních míst [online]. 2016 Economia - *Hospodářské noviny* [cit. 2016-12-19]. ISSN 1213-7693.

se nacházejí opět v zemích s největšími uhelnými ložisky na světě, tedy v USA, Rusku a Číně, bohužel pouze jedno procento z veškerých světových zásob uhlí má kvality antracitu.[18]

S rostoucí kvalitou a výhřevností uhlí klesá množství nežádoucích příměsí, které při samotném spalování uvolňují do ovzduší řadu škodlivých látek. Jedná se především o oxid uhličitý, oxidy dusíku a síry. Kromě nižšího množství nežádoucích příměsí má uhlí s vyšší výhřevností další výhodu, protože na výrobu stejného množství energie se spotřebuje při spalování méně paliva. Tím se dostane do ovzduší méně škodlivin.[19] Stanovení množství škodlivin, které uniknou do ovzduší při výrobě určité jednotky elektrické energie, je mimořádně obtížné, protože kvalita užitého paliva není jedinou determinantou určující množství emisí. Dalším důležitým faktorem je kvalita spalovacího zařízení a schopnost využití energie nacházející se v konkrétním palivu. Kvalita elektrárny se nejlépe měří její účinností. Účinnost je míra využití vynaložené energie. Hodnota účinnosti se nachází v rozmezí od nuly do jedné a udává poměr energie dějem získané k energii na tento děj vynaložené.[20] Průměrná elektrárna spotřebuje přibližně 1 tunu uhlí na každou vyrobenou MWh elektrické energie. Spotřeba paliva na vyprodukovanou kilowatthodinu závisí na typu použitého uhlí a tedy především na jeho výhřevnosti a na výše zmíněné účinnosti nebo tepelném výkonu elektrárny.[21] Lze říci, že elektrárna o výkonu 1000 MW spotřebuje 1000 tun uhlí za hodinu, což za 24 hodin provozu odpovídá 12 vlakovým soupravám po 30 vagonech.[22]

Výše zmíněné informace naznačují, že pro rozhodování v rámci ekonomiky energetických zdrojů je zcela zásadní, jaký druh paliva a v jaké jakosti vstupuje do výrobního

---

[18] World Coal Institute. The Coal Resorce: A Comprehensive Overview of Coal [online]. 2009 *worldcoal.org*. [cit. 2016-06-11].

[19] NOVÝ, T. Hnědé uhlí z ČSA je nenahraditelné, říká ředitelka Výzkumného ústavu [online]. *ParlamentniListy.cz* 2015, [cit. 2016-03-19].

[20] Energy Information Administration. What is the efficiency of different types of power plants? [online]. 2015 *eia.gov*. [cit. 2016-04-11].

[21] Množství paliva spotřebovaného k produkci jedné kilowatthodiny elektřiny je možné inverzně formulovat jako množství kilowatthodin vyprodukovaných za použití jednotky užitého paliva. Množství spotřebovaného uhlí k produkci jedné kWh je dáno podílem tepleného výkonu elektrárny [MJ/kWh] a výhřevnosti uhlí [MJ/kg]. Tepelný výkon je inverzní hodnotou účinnosti elektrárny, výhřevnost paliva je dána množstvím energie uvolněné při spálení kilogramu paliva. Při účinnosti 34% a výhřevnosti 22 MJ/kg je zapotřebí k výrobě jedné kilowatthodiny přibližně půl kilogramu uhlí. (Přesná zdrojová data jsou: tepelný výkon = 10,080 Btu/kWh, výhřevnost = 19,420,000 Btu/short ton.) Vzhledem k vyšší účinnosti i vyšší kvalitě uhlí odpovídá tento výpočet spíše podmínkám v USA nebo Velké Británii, v České republice je toto množství přibližně dvounásobné a to díky převaze elektráren „starého typu“ s nižší účinností, ale především kvůli spalování uhlí s výrazně nižší výhřevností. (Energy Information Administration. How much coal, natural gas, or petroleum is used to generate a kilowatthour of electricity [online]. 2015 *eia.gov*. [cit. 2016-04-12]).

[22] ČEZ. Uhelné elektrárny skupiny ČEZ [online]. 2016 *cez.cz* [cit. 2016-04-12].

procesu. Kvalita paliva ovlivňuje náklady elektrárny dvěma způsoby. Uhlí o vyšší výhřevnosti vyprodukuje při stejném použitém množství více elektrické energie. Analogicky tedy platí, že pro produkci určitého množství elektřiny je zapotřebí menší množství kvalitního uhlí než uhlí nekvalitního – s nižší výhřevností a vyšší vlhkostí. Další úsporou při využití kvalitního uhlí jsou snížené náklady na zamezení nadměrného znečištění životního prostředí, protože uhlí s vyšším obsahem uhlíku obsahuje nižší množství škodlivin, jejichž množství by následně muselo být minimalizováno. Dalším faktorem ovlivňujícím náklady je vzdálenost surovinového naleziště od místa zpracování. Transport suroviny v tak významném objemu je nákladný a jeho cena může významně ovlivnit jak krátkodobé tak i dlouhodobé rozhodování výrobce. Pro rentabilitu uhelných elektráren je dostatek kvalitních surovin a jejich dostupnost důležitým faktorem.

1.4 Technologie jako významný faktor nákladovosti při zpracování uhlí

Po analýze možných vstupů a jejich dopadů na náklady výrobce je volba technologie dalším faktorem, který ovlivňuje spotřebu surovin, množství výstupu a míru znečištění. Správně zvolená technologie ovlivňuje náklady na spotřebu suroviny, dále náklady na zamezení znečištění a výnosy, které jsou pozitivně závislé na množství výstupu. V případě výroby elektrické energie z uhlí jsou typy elektrárenských kotlů a metody k odstranění škodlivin uvolněných při procesu právě těmi technologiemi, které ovlivňují náklady a výnosy, jež jsou pro vyvození závěrů této práce zcela zásadní.

Uhlí není možné využít v surovém stavu, proto před jeho přiložením do kotle probíhá mletí a drcení na částice o požadované velikosti. Uhelný prach je poté společně s horkým vzduchem vháněn do kotle, kde probíhá jeho spalování, a tedy uvolňování tepelné energie. Teplo uvolněné v kotli ohřívá vodu, která prochází potrubím uvnitř kotle a ta následně sublimuje na páru. Pára je dále vedena do turbíny, kde svou kinetickou energií roztáčí lopatky, které jsou pevně napojeny na generátor, kde je mechanická energie finálně přeměněna na energii elektrickou. Pára je následně v kondenzátoru zchlazena a z plynu se stane opět kapalina, která je znovu vedena do kotle, kde celý cyklus začíná znovu.

V současné době se při spalování využívá více typů kotlů, z nichž nejužívanější jsou kotle s roštovým ohništěm, práškovým ohništěm a nejmodernější kotle s fluidním spalováním.

Kotle s roštovým ohništěm jsou obecně nejstarší a nejméně účinnou technologií, která se dnes v elektrárenství využívá. Nacházejí se v provozech s nižším instalovaným výkonem, ale i v provozech spalujících odpad a biomasu. Rošt je umístěn v horizontální nebo šikmé poloze a před využitím je zapotřebí pouze minimální úprava vstupní suroviny. Spalování probíhá za vysoké teploty. Výhodou tohoto typu kotle je nižší počáteční investice v porovnání s dalšími typy kotlů, mezi nevýhody patří nízká účinnost, vysoký obsah spalitelných látek v popelu (nedokonalé spalování) a díky vysokým teplotám i vysoká produkce oxidů dusíku.[23]

Nejrozšířenější metodou, která se dnes využívá při spalovaní uhlí, je využití práškového ohniště (PCC – pulverized coal combustion). Uhlí je předem nutné vysušit a rozemlít na částice menší než 0,075 mm.[24] V této formě je pak uhlí vháněno do kotle pomoci tryskových hořáků současně za dodatečného vhánění horkého vzduchu pro co největší podporu hoření. Uhelné částice se nacházejí v kotli 2 – 5 sekund, za tuto dobu proběhne vyhoření všech organických částic. Anorganické částice jako popel a struska jsou z kotle odvedeny mechanicky a pomoci filtru. Spalovaní v tomto typu kotle probíhá za velmi vysokých teplot 1300 – 1700 °C, účinnost je vyšší, než v případě roštového ohniště, ale díky vysokým teplotám uvnitř kotle se při spalovaní uvolňuje vysoké množství NOx (oxidy dusíku) a SOx (oxidy síry). Tento systém je náchylný na využití paliva o různých jakostech a je schopen velmi rychle reagovat na změnu poptávaného množství elektřiny, což je v dnešní době velmi ceněná vlastnost.[25]

Nejmodernější rozšířenou metodou spalování jsou fluidní kotle (FBC – fluidized bed combustion). Metoda cirkulujícího fluidního lože se rychle rozšířila zejména v posledních dvou dekádách kvůli vysoké účinnosti ve srovnání s jinými spalovacími technologiemi. Princip této metody spočívá v přítomnosti lože, které bývá nejčastěji tvořeno směsí vápence a písku. Uhlí je společně s vápencem a pískem ve vznosu díky vzduchu, který je zespodu vháněn do kotle, to umožňuje rovnoměrné a kompletní spálení všech organických částic. Fluidní lože má dvě významné výhody. První výhodou je schopnost spalovat širokou škálu paliv při zachování stejné účinnosti. Teplota v kotli je výrazně nižší než v případě roštového a

[23] TEIR, Sebastian. *Modern Boiler Types and Applications* [online]. 2002 Helsinki University of Technology [cit. 2016-06-29].
[24] United Nations. *Energy efficiency guide for industry in Asia*. Nairobi, United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry, and Economics, 2006. ISBN 9280726471.
[25] TEIR (2002).

práškového ohniště, přibližně 850 °C, tento fakt s sebou přináší výhodu nízkých emisí N0x.[26] Druhou zásadní výhodou je schopnost zavádění chemických reaktantů do fluidního lože pro odstranění případných škodlivin. Příkladem je při přidávání vápence za účelem zachycení síry a následného úniku oxidu siřičitého do atmosféry.[27]

Kotle s roštovým ohništěm představují v dnešní době zastaralou technologii. Takovéto elektrárny jsou modernizovány, nebo vyřazeny z provozu, a to především díky nízké účinnosti a vysokým externím nákladům. Metody PCC a FBC patří v dnešní době mezi nejrozšířenější a v podstatě jediné konkurenceschopné metody při spalování uhlí za účelem produkce elektrické energie, a to především z hlediska investičních a provozních nákladů při dodržování současných norem, týkajících se emisí škodlivin do ovzduší. Obecně lze metodu FBC (a CFBC – circulating fludized bed combustion) označit jako pokročilejší než PCC. Díky dokonalejšímu spalování mají fluidní kotle vyšší účinnost a díky nižším teplotám v kotli nižší nežádoucí emise NOx a SOx. Nevýhodou fluidního kotle oproti práškovému ohništi je vyšší energetická náročnost, a tedy i vyšší náklady na provoz. Udržování fluidního lože ve vznosu vyžaduje intenzivní proud vzduchu vháněný do spodní části kotle, na rozdíl od práškového ohniště, kde vzduchové trysky pouze podporují hoření.

1.4.1 Rozlišení nákladů u nejčastěji užívaných technologií

Náklady elektrárny se obvykle dělí na investiční náklady spojené s výstavbou závodu a provozní náklady. Náklady na palivo jsou obecně uváděny zvlášť, jejich velikost se v závislosti na kvalitě paliva, aktuální světové ceně a regionu může významně lišit. Ve spojení s celým životním cyklem elektrárny mohou náklady na palivo dosahovat 30 - 40 % celkových nákladů. Ostatní provozní náklady (O&M – Operating and Maintenance) zaujímají přibližně 10 – 20 % z celkových nákladů. Nejvýznamnější položkou jsou konstrukční náklady, které se pohybují okolo 50 % z celkových nákladů.[28] Právě v nákladech na samotnou

[26] LI, Zhen-shan, FANG, Fan a CAI, Ning-Sheng. CO2 Capture from Flue Gases Using Three Ca-Based Sorbents in a Fluidized Bed Reactor. *Journal of Environmental Engineering*. 2009, volume 135, number 6: 418-425. ISSN 0733-9372.

[27] YUSOF, Nurul Syazwani, BAKAR, Sumarni Abu, ISMAIL, Razidah. Modified graphical autocatalytic set model of combustion process in circulating fluidized bed boiler. In: Proceedings of the 21st national symposium on mathematical sciences. *Germination of Mathematical Sciences Education and Research towards Global Sustainability*. AIP Publishing, 2014, volume 1605, number 1: 70-75. [cit. 2016-07-01]. DOI: 10.1063/1.4887567.

[28] LOCKWOOD, Toby. *Techno-economic analysis of PC versus CFB combustion technology*. London, 2013: IEA Clean Coal Centre. ISBN 978-92-9029-546-4.

konstrukci kotle se technologie PCC a FBC významně liší. Konstrukce fluidního kotle je více komplexní, zahrnuje masivní odlučovače a složité výměníky fluidního lože, což zvyšuje množství potřebného stavebního materiálu. Je zapotřebí o 500 – 600 tun žáruvzdorného materiálu navíc v porovnání s kotlem práškovým. Studie se rozcházejí ve vyčíslení rozdílu v nákladech na výstavbu fluidního a práškového kotle, ale obvykle můžeme pozorovat cenu o 14 – 34 % vyšší u kotle fluidního oproti práškovému.[29] Významným faktorem je palivo, které se bude v kotli spalovat, v případě méně výhřevného lignitu je rozdíl nižší (technologie FBC je méně citlivá na kvalitu a proměnnost použitého paliva) než v případě kvalitního černého uhlí.[30]

Další velmi významnou položkou, která je určující pro rozhodování o investicích do uhelných elektráren, jsou náklady na technologie snižující zátěž životního prostředí, které jsou součástí investičních nákladů. V současných podmínkách, kdy jsou neustále snižovány limity povolených emisí, je nutné doplňovat především méně ekologicky šetrné PCC elektrárny zařízeními na eliminaci těchto škodlivin. Tato zařízení určená především k odsíření selektivní ne/katalytické redukci představují dodatečné významné náklady, které mají za následek odklon od využívání práškových kotlů ke kotlům fluidním. Fluidní kotle produkují významně menší množství emisí a jejich případné doplnění čistícím zařízením není tak nákladné jako v případě technologie PCC, a to díky sníženým nárokům na čistící jednotku.

Z hlediska nákladů na spotřebované palivo jsou obecně považovány fluidní kotle za úspornější technologii z důvodu schopnosti spalovat různé typy uhlí, směsi, méně kvalitní typy uhlí, příměsi biomasy a podobně. To je možné využít v např. v případě, kdy se zvedne cena kvalitního uhlí – poté je možné ho nahradit méně kvalitním uhlím, a to díky delší době spalování paliva. Nevýhodou fluidních kotlů jsou vyšší náklady na zapálení – PCC kotle

[29] STAUDT, James E. Control technologies to reduce conventional and hazardous air pollutants from coal-fired power plants. *Report prepared for Northeast States for Coordinated Air Use Management.* [online] 2011 [cit. 2016-07-01].
[30] CICHANOWICZ, J. Edward. Current capital cost and cost-effectiveness of power plant emissions control technologies. *Prepared for UARG,* [online] 2010 [cit. 2016-07-01].

využívají jemně rozemleté uhlí které se snadno vznítí, zatímco v případě CFB kotlů je zapotřebí velké množství zemního plynu k dosažení provozní teploty.[31]

Na příkladu indické elektrárny o instalovaném výkonu 600 MW odhadují studie inženýrské společnosti Foster Wheeler roční úsporu spojenou s flexibilitou při spalování různých typů paliva v elektrárnách s technologií CFBC ve výši 46 mil. USD. Úspory je dosaženo díky schopnosti CFBC kotle spalovat výhradně levné méně výhřevné indické uhlí, zatímco v případě PCC kotle je nutné dovážet a využívat alespoň 30 % kvalitního a dražšího černého uhlí z Jihoafrické republiky.[32]

Další studie porovnává rozdíl v nákladech na palivo pro PCC a CFB technologie, ale navíc se také zabývá změnou nákladů za palivo v CFBC kotli při použití různých typů paliva. Tabulka č. 2 znázorňuje úspory za palivo při použití obou výše zmíněných technologií, přičemž v případě CFB kotle znázorňuje úspory pro další typy použitého paliva.

[31] CFB kotel spotřebuje až 900 tun ropy za rok při najíždění na provozní teplotu kotle (ilustrováno na příkladu kotle s o výkonu 300 MW). LI, Y., et al. Structure and performance of a 600MWe supercritical CFB boiler with water cooled panels. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion*. Springer Berlin: 132 – 136, [online] 2009 [cit. 2016-07-01].
[32] LOCKWOOD (2013).

Tabulka č. 2: Srovnání PCC a CFBC technologie

Technologie	Jednotky	PCC	CFBC	CFBC	CFBC
Možné typy paliva		černé uhlí	všechny typy uhlí, ropný koks, biomasa	všechny typy uhlí, ropný koks, biomasa	všechny typy uhlí, ropný koks, biomasa
Nutné dodatečné technologie na zamezení emisí		FGD(suchá) + SCR			FGD (suchá)
Výkon	MW	660	660	660	660
Účinnost kotle	%	90	90	90	90
Čistá účinnost elektrárny	%	40	40	40	40
Použité palivo		černé uhlí (25 MJ/kg)	černé uhlí (25 MJ/kg)	sub-bituminous (20 MJ/kg)	ropný koks (29 MJ/kg)
Obsah síry	%	0,8	0,8	0,2	6
Náklady na palivo	USD/Mbtu	4,2	4,2	3,9	2
Náklady na palivo	USD/t	100	100	75	60
Náklady na jednotku produkce	USD/MWh	101	96	92	81
Roční úspory	mil. USD	-	23,45	42,15	93,19
Kapitálové náklady elektrárny	USD/kW	2150	2000	2000	2100

Zdroj: UTT, J, GIGLIO, R. Technology comparison of CFB versus pulverized fuel firing for utility power generation. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2012, volume 112, number 6: 449-454. ISSN 2411-9717 (vlastní úprava).

Z tabulky je patrná schopnost CFB kotle spalovat širokou škálu paliv, aniž by bylo nutné elektrárnu doplňovat o dodatečnou technologii na odstranění nežádoucích emisí. Výjimkou jsou paliva, která obsahují velmi vysoký obsah síry. Informace o ročních úsporách napovídá, jak významný může být rozdíl v nákladech na palivo, pokud budeme brát v potaz celý životní cyklus elektrárny.

Náklady na technologie snižující zátěž životního prostředí jsou další významnou položkou, která je určující pro rozhodování o investicích do uhelných elektráren. Obecně lze spalování ve fluidních kotlích označit za čistší technologii. Je ale nutné zvážit, zda je investice

do dražšího CFB kotle výnosnější než investice do práškového typu kotle. Významnými faktory při volbě technologie jsou dostupnost kvalitního paliva za nízkou cenu a emisní limity stanovené na jednotlivé polutanty, které se regionálně velmi významně liší. Nejvýznamnější z produkovaných emisí jsou SO_2 a NOx.

1.4.2 Polutanty a způsoby jejich odstraňování

K redukci oxidů síry se využívá metoda FGD (Flue Gas Desulfurization). Metoda spočívá v reakci aktivní látky s SO_2 a jejím následném zachycení. FGD se dělí podle způsobu zachycení na mokrou – záchyt SO_2 v kapalině aktivní látky, polosuchou – záchyt pomocí nástřiku do spalin, a suchou – záchyt s tuhou látkou.[33] Jako aktivní látka se při odsiřování používá vápno nebo vápenec. Nejúčinnější je mokrá metoda, při které je sice zapotřebí nejnižší koncentrace aktivní látky, ale kapitálové náklady mokré FGD jsou ze zmíněných metod nejvyšší. Pohybují se mezi 400 až 500 USD/KW instalovaného výkonu nebo i více než 10 % z celkových kapitálových nákladů elektrárny. Na druhou stranu patří provozní náklady mezi ty nejnižší mezi dostupnými metodami a dosahují velmi vysoké účinnosti. Relativně levný vápenec zaručuje variabilní náklady na vyrobenou MWh okolo 1,8 USD.[34] Investice do polosuché metody je nižší, dosahuje přibližně 70 % nákladů mokré technologie, ale zatímco při stejné koncentraci aktivní látky dosahuje mokrá FGD účinnosti 90 - 95 %, polosuchá FGD dosahuje účinnosti přibližně 60 %. Stejně jako za použití nejméně účinné suché FGD je často nutné zvyšovat koncentrace aktivní látky pro dosažení požadovaného výsledku. Suchá FGD je obvyklá ve dvou variantách. Odsiřování jemně mletým vápencem může probíhat ve spalinových tazích PCC kotle s tím, že bývá dosaženo velmi nízké účinnosti, nebo odsiřování přímo uvnitř fluidního kotle při dosažení podobné účinnosti jako v případě polosuché metody, ale s velmi nízkými kapitálovými náklady. O&M náklady jsou v případě přidání aktivní látky do fluidního lože vyšší kvůli několikanásobně většímu množství vápence nutného k dosažení stejného výsledku jako v případě FGD ve spalinových tazích.[35]

Výsledný produkt kalcinace CaO a SO_2 se nazývá energosádrovec ($CaSO_4$) a je možné ho využít jako vedlejší energetický produkt.

---

[33] RYABOV, G. A. Economical Comparison PC and CFB Boilers for Retrofit and New Power Plants in Russia. *Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, s. 282 [cit. 2016-08-01]. DOI: 10.1007/978-3-642-02682-9_40.
[34] CICHANOWICZ (2010).
[35] ANDREOVSKÝ, Jan. *Spalování paliv - Kotle* [online]. 2013.

Snižování emisí oxidů dusíku se nazývá denitrifikace. Jedná se zejména o NO a NO_2, souhrnně se emise oxidů dusíků označují jako NOx. Oxidy dusíku mají velkou energetickou bariéru, tedy jejich vznik probíhá ve větším měřítku za vysokých teplot. Pro omezení NOx se využívají tzv. primární opatření, která slouží k omezení jejich tvorby a tzv. sekundární opatření, jejichž pomocí se odstraňují NOx ze spalin.

Primárních opatření k omezení tvorby NOx je celá řada, patří mezi ně postupný přívod vzduchu, snížení přebytku vzduchu, snížení maximální spalovací teploty apod. Jejich zavádění nevstupuje významným způsobem do nákladů elektrárny, proto nejsou v této práci blíže analyzovány.

V rámci sekundárních opatření se rozlišují dvě základní denitrifikační metody – selektivní nekatalytická redukce (SNCR – Selective Non-Catalytic Reduction) a selektivní katalytická redukce (SCR – Selective Catalytic Reduction). Obě metody spočívají ve vstřikování redukčního činidla, kterým bývá čpavek nebo močovina, a za vzniku elementárního dusíku a vodní páry snižují produkci oxidů dusíku. SNCR dosahuje účinnosti 40 – 60 % a na rozdíl od SCR dochází ke vstřikování redukčního činidla přímo do kotle. Kapitálové náklady jsou poměrně nízké, činí 20 – 40 USD/KW.[36] SCR dosahuje účinnosti 80 – 90 %, protože probíhá v katalyzátoru mimo kotel, tady při významně nižších teplotách. Katalyzátory jsou nejčastěji vyrobeny z oxidů vanadu, molybdenu, wolframu a jejich kombinací. Jejich cena je poměrně vysoká a životnost naopak poměrně nízká. Kapitálové náklady činí 200 – 350 USD/KW instalovaného výkonu.[37] Stejně jako v případě emisí SO_2 závisí výběr vhodné technologie na emisních limitech, které jsou prodaný region stanoveny. Proto nelze stanovit, pro jaký typ kotle je nutné zvolit dodatečnou denitrifikační metodu. Obecně mají i v případě emisí NOx výhodu CFB kotle, které díky nižší provozní teplotě produkují významně méně emisí oxidů dusíku, tudíž nebývá nutné instalovat drahou SCR technologii, jako to bývá v případě PCC kotlů.[38]

Likvidace popílku a popela z uhelných kotlů může pro provozovatele elektrárny znamenat jak významné náklady, tak i značné příjmy. Práškové ohniště je pro odpadové

[36] NGUYEN H, MORRISON A L, NELSON P F. Analysis of pollution control costs in coal based electricity generation, 2008 *Technology assessment report 68*. Pullenvale, QCAT Technology Transfer Centre, 116.
[37] CICHANOWICZ (2010).
[38] UTT, J, GIGLIO, R (2012).

hospodářství výhodnější, protože popel, který v tomto typu kotle zůstává, je čistý a obsahuje malé množství síry. Popel z fluidního kotle obsahuje vysoké množství vápence, kterého se do průměrného fluidního kotle přidává více jak 500 tun denně. Popílek se využívá při výrobě betonu, jako podklad dopravních staveb, nebo jako materiál sloužící k rekultivaci krajiny poškozené těžbou. První dvě zmíněná využití jsou pro provozovatele elektrárny nejvýhodnější, protože podle kvality a lokální saturace dostávají za popílek zaplaceno, zatímco v případě využití popílku na rekultivaci krajiny vznikají transportní náklady, které nejsou kompenzovány žádným ziskem ze suroviny.[39]

1.4.3 Komplexita stanovení nákladů na výstavbu a provoz elektrárny

Náklady na výstavbu a provoz elektrárny je velmi obtížné odhadnout, mohou se regionálně významně lišit. Každý jednotlivý projekt má svá specifika, která ovlivňují jak investiční, tak i provozní náklady a náklady na spotřebované palivo. V posledních dekádách se rozvinula konkurenční technologie CFB kotlů k dominantní PCC technologii. Náklady CFB kotle v důsledku intenzivního technologického vývoje v posledních letech poklesly na úroveň, při které jsou přírodní a legislativní podmínky určující pro investici do výše zmíněných technologií. Dobrým příkladem, kdy je volba PCC elektrárny výhodnější než CFB, je situace, kdy je v blízkosti elektrárny dostatek kvalitního uhlí s nízkým obsahem síry a emisní limity jsou stanoveny na nízké úrovni. Za těchto podmínek není zapotřebí elektrárnu vybavovat nákladnými technologiemi na odstranění emisi ani platit značné náklady na dopravu paliva. Kapitálové náklady a náklady na provoz jsou v tomto případě v porovnání s CFB technologii nižší, proto výrobci volí PCC technologii. Na druhé straně v případě, kdy jsou emisní limity stanoveny na nízké úrovni, palivo má nižší výhřevnost a obsahuje vyšší množství síry, je technologie CFB jednoznačně levnější než PCC, ke které by bylo zapotřebí doplnit selektivní katalytickou redukci FGD absorbér.

1.5 Rentabilita energetických provozů

V předcházející kapitole byla provedena analýza uhelných elektráren, jejich kapitálová náročnost, náklady na provoz a palivo elektrárny. Cílem této části práce je porovnání

[39] ACAA. *An American Recycling Success Story: Beneficial Use Of Coal Combustion Products* [online]. Farmington Hills, USA 2014, American Coal Ash Association.

rentability elektráren podle typu primárního paliva a zasazení jednotlivých energetických zdrojů do rámce, který odpovídá aktuální situaci na trhu s elektrickou energií.

Pro ekonomiku energetických zdrojů, rentabilitu elektráren a rozhodovaní o investicích je zásadní velikost Clean dark spreadu a Clean spark spreadu. Jedná se o teoretickou hrubou marži, v případě dark spreadu uhelné a v případě spark spreadu plynové elektrárny z prodeje silové elektřiny – tedy rozdíl mezi cenou silové elektřiny a náklady na palivo pro její výrobu.[40] Clean spread se využívá jen v kontextu systémů s emisními povolenkami, protože zahrnuje i faktor emisní intenzity.[41]

Clean spark/dark spread = cena elektřiny – (cena plynu/uhlí * účinnost zdroje) – (cena emisní povolenky * potřebné množství povolenek)[42]

Přesnou velikost spreadu není jednoduché zjistit, jeho velikost se v různých státech liší a to i v rámci EU. Cena suroviny není pro všechny producenty stejná a především účinnost zdroje může být různá i o desítky procent i v případě stejného typu elektrárny.[43] V krátkém i dlouhém období producent vyrábí, pokud nabývá spread kladné hodnoty. Už v případě, že je velikost spreadu nízká je na místě provoz uzavřít, neboť nejsou pokryty ani variabilní náklady. Z hlediska ekonomické teorie se náklady dělí na variabilní a fixní, zatímco z pohledu ekonomie energetických zdrojů jsou variabilní náklady děleny na náklady na palivo a ostatní variabilní náklady spojené s provozem. Protože ve velikosti spreadu nejsou zahrnuty O&M náklady, výrobce není ani v krátkém období ochoten vyrábět v podmínkách, kdy je velikost spreadu rovna nule.

Na obrázku č. 3 je graf, znázorňující trh s elektřinou v letech 2014 a 2016. Obdélníky, které jsou vymezeny vertikální osou, tržní cenou P, neelastickou tržní křivkou poptávky D a náklady na palivo na jednotku produkce, znázorňují celkovou velikost hrubé marže

---

[40] PERCHANOK, Kirill. Trading power to spark profits. [online] *Futures - Alpha Pages*, 2012 volume 2, number 3. [cit. 2016-07-01]. ISSN 07462468.

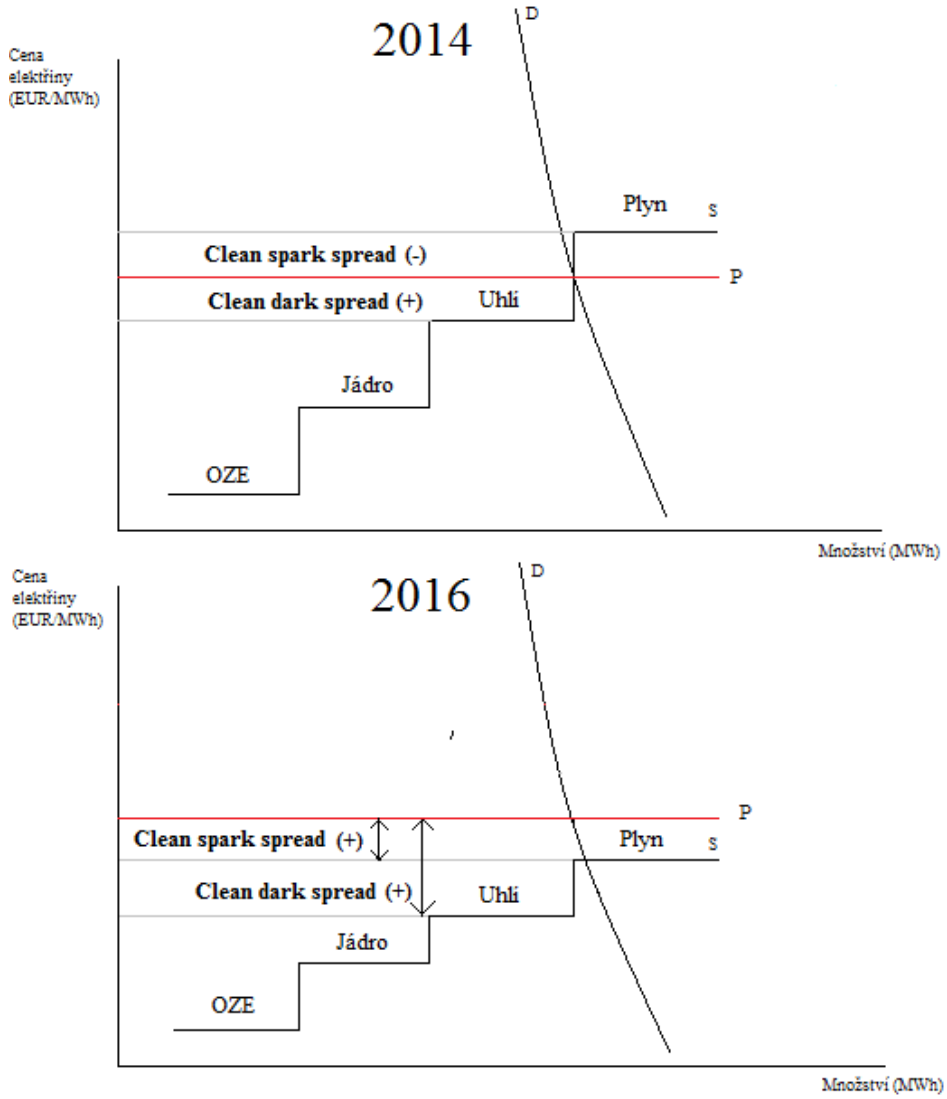
[41] KEPPLER, J., MANSANET H., BATALLER, M. Causalities between CO_2, Electricity,and other Energy Variables during Phase I and Phase II of the EU ETS. *Energy Policy*, 2010, volume 38, iss. 7: 3329 – 41. Dostupné z: http://www.cdcclimat.com/IMG/pdf/2_Working_Paper_EN_Causality_CO2_Energy.pdf.

[42] TASCHINI, Luca, URECH, Simon. The real option to fuel switch in the presence of expected windfall profits under the EU Emission Trading Scheme. *The Journal of Energy Markets*. 2010, volume 3, number 2: 27 – 49. ISSN: 1756-3615.

[43] MAROO, Jay. A renewed view on German power. *Energy Risk*, 2012, volume 9, number. 7: 15 – 18. ISSN 17424305.

elektrárny. Nabídka S je pro zjednodušení znázorněna stupňovitě podle nákladů na palivo pro jednotlivé elektrárny. Z obrázku je patrné, jak jednotlivé sprady vznikají na trhu. Clean dark spread je v prvním případě kladný a jeho velikost je dána rozdílem mezi tržní cenou P a náklady na palivo uhelné elektrárny. Clean spark spread je v tomto případě záporný a jeho velikost je dána rozdílem mezi tržní cenou elektřiny P a náklady na palivo plynové elektrárny. Situace v druhé části grafu je zcela odlišná, Clean dark spread je stále kladný, ale jeho velikost je významně větší. Clean spark spread po dlouhé době, kdy se nacházel v záporných hodnotách, vzrostl do kladných hodnot a poskytl novou šanci pro provoz celé řady plynových elektráren, vybudovaných v posledních dekádách.

Obrázek č. 2: Rovnováha na trhu s elektřinou



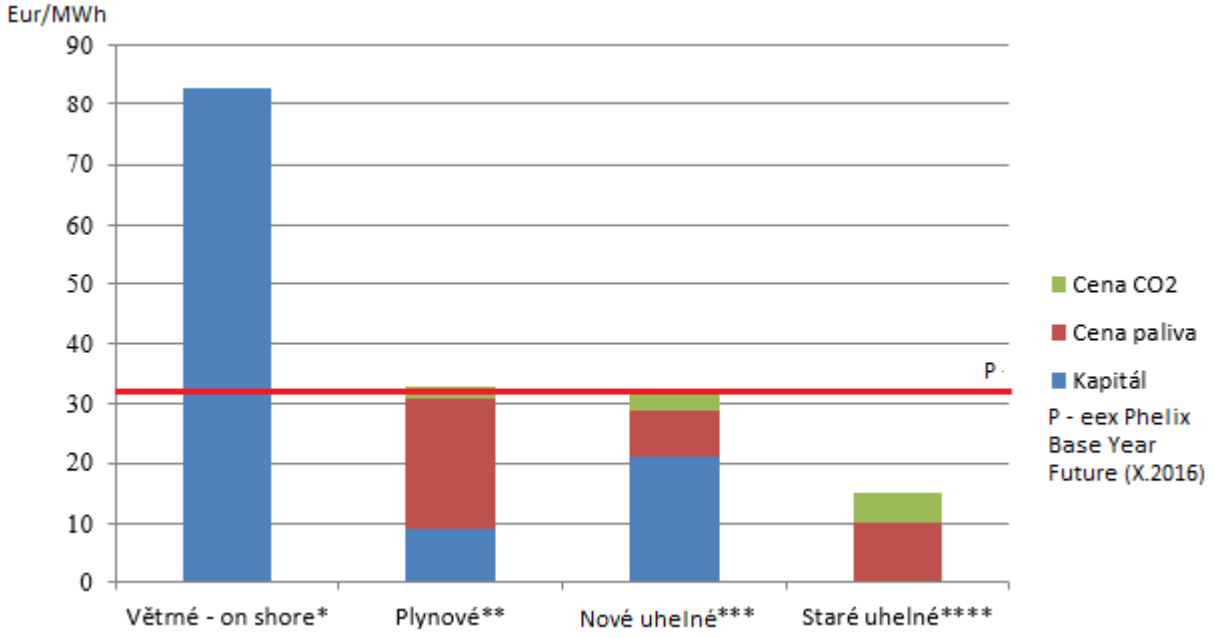
Zdroj: TASCHANI, URECH (2010), EUROSTAT: Electricity price statistics [online]. 2016 ec.europa.eu., ceny komodit: Kurzy.cz [online] 2016, (vlastní úprava).

Vzhledem ke skutečnosti, že je velikost spreadu odvozena z nákladů na palivo, je patrné, že ze samotného spreadu musí výrobce uhradit O&M, kapitálové a jiné finanční náklady. Z obrázku č. 2 je patrné, že v minulých letech i v současné době je z hlediska nákladů na palivo pro výrobce výhodnější provozovat uhelné než plynové elektrárny. Díky větší velikosti spreadu získává výrobce více prostředků k uhrazení ostatních nákladů a generaci zisku.

Obrázek č. 3 poskytuje srovnání nákladů v jednotlivých energetických provozech jak z hlediska nákladů na spotřebované palivo, tak i z hlediska kapitálových nákladů. Provozy, které při své produkci emitují CO_2 platí i za emisní povolenky, které jsou v obrázku vyznačeny zelenou barvou. Přesné informace o O&M a kapitálových nákladech nejsou dostupné. Velmi významně se v jednotlivých závodech liší a výrobci jejich výši přísně tají. Vzhledem k přednostně obchodované elektřině z OZE,[44] panuje na evropských energetických trzích prostředí, které je ze své podstaty tržní, ale silně deformované výše zmíněnými opatřeními, která mají za cíl podporu obnovitelných zdrojů energie. Z grafu je patrné, že při stávající situaci, kdy jsou emisní povolenky velmi levné, neplní svou funkci a cena paliva je na nízké úrovni, je pro výrobce nejvýhodnější provozovat starší uhelné elektrárny s co nejnižšími kapitálovými náklady a OZE – tedy především větrné a fotovoltaické elektrárny, jejichž výstavba je v evropském prostředí štědře dotována a elektřina v nich vyprodukovaná má jisté odbytiště. Nejvyšší kapitálové a O&M náklady na vyrobenou MWh jsou v jaderných elektrárnách, cena paliva na MWh je nízká, znečištění životního prostředí s výjimkou diskutabilního jaderného odpadu není velké, ovšem produkovaná elektřina nemá ve srovnání s elektřinou z OZE žádné zvýhodnění ani subvence, proto při současné ceně elektřiny není investice do výstavby jaderné elektrárny v žádném případě rentabilní.

[44] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/77/ES později upravena na 2009/28/ES byla v České republice implementována do zákona č. 180/2005 Sb., později do zákona č. 165/2012 Sb., a do zákona č. 90/2014 Sb. Vzor pro národní akční plány byl stanoven rozhodnutím Komise 2009/548/ES.

Obrázek č. 3: Cena el. energie vyprodukované ve větrných, plynových a uhelných elektrárnách vs. náklady (v EUR/MWh)



*6 m/s, **58% účinnost, ***46% účinnost, FGD, SCR , ****35% účinnost

Zdroje: EEX. Ceny energie, paliva, emisních povolenek [online]. *EEX: European Energy Exchange*, 2016. [cit. 2016-10-18], Kapitálové náklady: VONDRUŠKOVÁ, Barbora (ČEZ). Capacity mechanisms in Czech Republic [online] 2014. EEX – European Energy Exchange: Phelix Power Futures [online]. [vid. 2014-11-6], (vlastní úprava).

Myšlenka masivní podpory obnovitelných zdrojů energie vznikla na přelomu 60. a 70. let v Německu a postupem let byla zformována v ambiciózní dlouhodobý plán „Energiewende“, který si mezi své hlavní cíle vytyčil snížení emisí skleníkových plynů o 80 – 95 % do roku 2050 oproti roku 1990 a v témže časovém horizontu pokrýt spotřebu elektrické energie z 80 % obnovitelnými zdroji energie.[45] Po havárii v Japonské jaderné elektrárně Fukushima Daiichi v březnu roku 2011, se dalším z klíčových cílů Energiewende stalo vyřazení všech německých jaderných elektráren z provozu do roku 2022.[46] Tento plán se jeví

[45] HIRSCHHAUSEN, Christian. The German 'Energiewende'--An Introduction [online], *Economics of Energy and Environmental Policy*, 2014, volume 3, number 2: 1-12. Dostupné z: http://www.iaee.org/en/publications/eeepjournal.aspx.

[46] Legislativně je Energiewende ukotvena v zákoně Stromeinspeisungsgesetz z roku 1991, který byl v roce 2000 přepracován na Erneuerbare-Energien-Gesetz. Zákon byl mnohokrát aktualizován, přičemž poslední verze pochází z roku 2014 (BMWI. *Act on the Development of Renewable Energy Sources: (Renewable Energy Sources Act - RES Act 2014)*. In: Berlín: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), 2016. Dostupné z: http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/renewable-energy-sources-act-eeg-2014,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf.).

jako velmi ambiciózní, protože instalovaný výkon německých jaderných elektráren dosahoval v roce 2010 20 GW, takovému množství odpovídá celkový instalovaný výkon všech elektráren v České republice. Je nutné dodat, že v současné době, tedy v poločasu termínu uzavření všech německých jaderných elektráren je do sítě dodávána elektřina pouze z poloviny původně vyrábějících elektráren.[47]

Německo patří mezi země, kde je posun od silně znečišťujících k čistým a obnovitelným zdrojům energie velmi výrazný.[48] Nicméně tento trend můžeme pozorovat téměř ve všech ostatních regionech světa. Evropská unie podporuje OZE výše zmíněným přednostním obchodováním „zelené elektřiny", emisními povolenkami a řadou dotací a subvencí pro OZE a technologie produkující nižší množství skleníkových plynů. Ve Spojených státech amerických, které nikdy neratifikovaly Kjótský protokol, prosadila Obamova administrativa federální Clean Air Act, který podporuje OZE a v jehož důsledku byla odstavena řada starých uhelných elektráren. I v Asii, kde tempo spotřeby energie roste nejrychlejším tempem ze všech světových regionů, se rozvíjejí strategie, které počítají s větším ohledem na životní prostředí.[49]

Současná situace, kdy je cena elektrické energie nestálá, nižší než v předcházejících letech a energetická politika se v krátkém časovém úseku významně mění, není pro výrobce nikterak dobrá. Investice vynaložené v tomto sektoru počítají s horizontem životnosti jednotlivých energetických provozů, který nejčastěji dosahuje 30 let. Proto byla řada investic vložených do energetických provozů v předchozích dekádách zcela nevýnosných nebo při nejmenším ne tak rentabilní, jak se při učinění rozhodnutí očekávalo.

Měnící se podmínky, regulace v odvětví, dotace a jiné podobné praktiky, které zasahují do volného energetického trhu, způsobují potíže řadě velkým zavedeným gigantům na trhu, zatímco zvýhodňují nové subjekty, které vstoupily do odvětví v nedávné době, tedy

---

[47] APPUNN, Kerstine. Germany's energy consumption and power mix in charts. In: *Clean Energy Wire*[online]. Berlin, 2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts.

[48] Burket ve svém článku komentuje politiku Eneriewende jako nákladnou a nepříjemnou i pro samotné Němce. BURKET, Daneš: *Zelená revoluce se mění na uhelnou.* Centrum pro ekonomiku a politiku, 2014. Dostupné z: http://cepin.cz/cze/clanek.php?ID=1208.

[49] HIRSCHHAUSEN (2014).

bez jakýchkoli utopených nákladů. Tyto nové subjekty podnikají právě v částech odvětví, které jsou bohatě dotované a subvencované vládou.[50]

Výše zmíněné podmínky podporující OZE znevýhodňují konvenční zdroje elektrické energie, především uhelné a plynové elektrárny, tedy s jadernými elektrárnami ostatní zdroje energie, které jsou ovšem schopny produkovat v tržním prostředí. Tyto elektrárny na rozdíl od OZE vyrábějí elektřinu stabilně, nejsou závislé na výkyvech počasí a ročním období. To je velmi ceněná vlastnost, protože díky prakticky nulovému dopravnímu zpoždění elektrické energie, může v soustavě nastat nerovnováha mezi výrobou a spotřebou. Ta vede k prudkému zhoršování kvality elektřiny – její frekvence a napětí a v krajním případě může vést až k rozpadu elektrizační soustavy. Z toho důvodu je žádoucí, aby výrobci neuzavírali plynové a uhelné elektrárny, ale investovali do nich a udržovali je provozuschopné, aby tyto elektrárny fungovaly jako strategická rezerva v případě, kdy OZE z důvodu nepříznivých povětrnostních podmínek nevyrábí.

Z pohledu ekonoma by jistě bylo nejlepším řešením nastalé situace znovuobnovení energetického trhu, který není přeregulován masivní podporou OZE. Cena energie by byla dána variabilními náklady mezního výrobce a při nedostatečné kapacitě by právě cena byla investičním signálem. Toto řešení při stále rostoucí agendě EU bohužel nepřipadá v úvahu. Další alternativou je systém regulačních nástrojů, které více či méně nahradí fungování trhu. I v tomto případě, stejně jako u první varianty je potřeba, aby cena elektřiny byla dána variabilními náklady mezního výrobce. Dále by byl vytvořen kapacitní trh, v jehož rámci by energetické společnosti získávali jisté platby za spustitelnou kapacitu k zamezení nedostatku elektrické energie. Implementace kapacitního trhu, tedy tržního mechanismu do silně

[50] Masivní podpora OZE je velmi dobře patrná na příkladu z České republiky a Národního akčního plánu pro energii z OZE z roku 2010, který počítá s podporou obnovitelných zdrojů energie ve výši 330,6 mld. Kč do roku 2020 (v cenách roku 2010). Větší část z této částky putuje na podporu fotovoltaických elektráren, což dokládá masivní vstup výrobců do tohoto odvětví v předcházejících letech. (HOLÍK, Martin. Fotovoltaický boom v České republice, aneb krátké zamyšlení nad možnostmi podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. In: *Cofola 2010: the conference proceedings*. 1st ed. Brno: Masaryk University, 2010. Spisy Právnické fakulty Masarykovy univerzity v Brně, sv. 374. ISBN 978-80-210-5151-5.) Regulovaný příspěvek na OZE, KVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla) a DZ (druhotné energetické zdroje) vzrostl ze 166 Kč/MWh v roce 2010 na 309 Kč/MWh v roce 2012, v roce 2020 se příspěvek zastaví na úrovni 553 Kč/MWh. Tyto subvence platí samozřejmě spotřebitelé (Hrubý, Z., Krška, Š. (2012). *Ekonomické dopady podpory výroby energie z fotovoltaických článků v České republice*. IES Working Paper 31/2012. IES FSV. Charles University).

regulovaného odvětví je v EU velmi diskutovaným tématem.[51] Kapacitní mechanismus byl již v řadě zemí zaveden, např. v USA ve formě kapacitních aukcí.

1.6 Systém ETS jako snaha o vložení tržního prvku do silně regulovaného odvětví

Hlavním prvkem evropské klimatické politiky je systém obchodování s emisními povolenkami (EU ETS), který byl založen v roce 2005, do své druhé fáze vstoupil roku 2008 a 2013 do fáze třetí. EU ETS je považováno za jakýsi milník tržní regulace v oblasti životního prostředí, protože podporuje nákladovou efektivnost při snižování emisí skleníkových plynů. Obchodování s emisními povolenkami totiž zajišťuje, že snížení emisí probíhá tam, kde je to v rámci území celého EU ETS nejméně nákladné. Systém ETS se vztahuje na energeticky náročná odvětví a letecký sektor. Tato odvětví jsou odpovědná za produkci téměř poloviny emisí CO_2 a 45 % emisí veškerých skleníkových plynů.[52] Členské státy EU proto zavádějí doplňková regulační nařízení pro domácí emise (národní alokační plány), která nejsou zahrnuta v systému ETS, aby byly splněny národní cíle snižování emisí na základě dohody s EU o sdílení břemene v rámci Kjótského protokolu a klimaticko-energetického balíčku.[53] Významným problémem, který se podařilo v třetí fázi ETS eliminovat je zvýhodnění producentů, jejichž emise spadají do systému ETS – tedy především velké energetické skupiny, oproti producentům jejichž emise nespadají do programu ETS a jejich regulace emisí podléhá národním alokačním plánům. Důvodem je silný lobbing úzké a dobře organizované zájmové skupiny oproti široké skupině menších výrobců, kteří nejsou schopni konkurovat tlaku energetických gigantů na zákonodárce za účelem vyjednání co nejpříznivějších podmínek. Vzhledem ke skutečnosti, že uhelné elektrárny jsou největším producentem skleníkových plynů na území EU a spadají do sektoru, kde je nutné za každou emitovanou tunu CO_2 vynaložit jednu emisní povolenku, která je producentům přidělena, nebo je vydražena, je dopad ETS na hospodárnost uhelných zdrojů energie velmi výrazný.[54]

---

[51] LEHMANN, Paul, et al. Capacity payments to secure electricity supply? On the future of Germany's power market design. *Energy, Sustainability and Society*, 2015, volume 5, number 1: 1-7 - [cit. 2016-10-31]. DOI: 10.1186/s13705-015-0039-7. ISSN 2192-0567.

[52] European Commission. Aviation included in EU ETS, [online]. *BRUSSELS: European Commission*, 2016 [cit. 2016-11-03].

[53] European Commission. 2020 climate & energy package: Emissions trading system (ETS) [online]. *BRUSSELS: European Commission*, 2016 [cit. 2016-11-03].

[54] ANGER, Niels, et al. Public interest versus interest groups: a political economy analysis of allowance allocation under the EU emissions trading scheme. *International Environmental Agreements: Politics, Law and*

Systém obchodování s emisními povolenkami byl zaveden za účelem podpory technologií, které produkují nižší množství CO_2. Jedná se o uvalení určité formy daně na výrobce, kteří produkují skleníkové plyny. Tato daň měla zapříčinit růst ceny energie, která byla vyprodukována v tepelných elektrárnách, a to především právě v těch, které spalují uhlí. Zdražení této levné elektřiny mělo vyrovnat její cenu s cenou elektřiny vyprodukované v kapitálově nákladných OZE a tím zapříčinit jejich konkurenceschopnost na trhu s elektrickou energií. Vytyčený cíl se úředníkům z EU zatím nepodařilo splnit. V první a druhé fázi ETS bylo více než 90 % emisních povolenek přerozděleno mezi výrobce zcela zdarma.[55] Svou roli zde jistě sehrál silný lobbing, jak již bylo zmíněno výše. V rámci třetí fáze se již povolenky draží v aukcích, tudíž se prostor pro nátlakové jednání zmenšil a povolenky jsou přerozdělovány efektivněji.[56] Dalším faktorem, který se podílí na zatím neúčinném fungování ETS, je příliš vysoké množství vydaných povolenek. Převis tržní nabídky nad poptávkou má za důsledek výrazně nižší cenu za emisní povolenku, než bylo plánováno. Aktuální cena povolenky se dlouhodobě pohybuje okolo 6 eur, což je přibližně pětina původně zamýšlené hodnoty.[57] Důsledkem takto nízké ceny je nefunkčnost celého systému emisních povolenek. Takto nízká cena povolenky nepokrývá rozdíl v nákladech elektráren, které produkují veliké množství CO_2 a OZE. V roce 2014 rozhodla Evropská komise o stažení 900 mil. emisních povolenek z trhu, a to mezi lety 2014 a 2016 s tím, že tyto stažené

Economics [online]. 2016, volume 16, number 5: 621-638 [cit. 2016-11-03]. DOI: 10.1007/s10784-015-9285-6. ISSN 1567-9764.

[55] Ševčík a Zajíček nepovažují při výrobcově rozhodování o jeho produkci za rozhodující, zda výrobce emisní povolenky koupil nebo získal zdarma správním rozhodnutím. „Povolenky mají zásadní dopad na bidování na energetickém trhu a na rozhodování o výrobě. Před zavedením povolenek stály energetické společnosti vždy při řešení rozhodnutí o tom, zda vyrábět nebo nevyrábět, před problémem porovnávání mezních nákladů a převažující ceny. Aproximací mezních nákladů byly náklady na palivo a další náklady spojené s výrobou dodatečné jednotky elektřiny (MWh). V ten okamžik, kdy cena byla vyšší než mezní náklady, společnost vyráběla a vyráběla až do té doby, kdy se obě veličiny srovnaly. Po zavedení ETS je situace principiálně stejná s tím rozdílem, že součástí mezních nákladů je i cena povolenek. Bez ohledu na to, zda byly hrazeny nebo je energetické společnosti obdržely správním rozhodnutím zdarma. Důvodem je to, že energetická společnost stojí před rozhodnutím, zda vyrábět nebo nikoliv. Pokud vyrábět nebude, pak nejenom ušetří přímé mezní náklady, ale také může prodat ušetřenou povolenku, tj. realizovat jiné příjmy. Naopak rozhodnutí o výrobě znamená vynaložení reálných mezních nákladů a také obětování možnosti povolenku prodat (realizace nákladů obětované příležitosti). Na tuto logiku nemá vliv způsob získání povolenek. ZAJÍČEK, Miroslav a ŠEVČÍK, Miroslav. *Validita prováděných odhadů nákladů evropského emisního cílování, smysluplnost evropského emisního cílování a komparace s alternativní energetickou politikou: odborná monografie*. Praha: Oeconomica, 2012. ISBN 978-80-245-1916-6.

[56] WOERDMAN, E. (2015), 'The EU Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme' (Chapter 3), in: Woerdman, E., M. M. Roggenkamp and M. Holwerda (eds.), Essential EU Climate Law, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015. ISBN 9781783470570.

[57] EEX. European Emission Allowances [online]. *EEX: European Energy Exchange*, 2016 [cit. 2016-11-06].

povolenky budou navráceny do oběhu na počátku čtvrté fáze, tedy mezi lety 2019 a 2021.[58] Pro stažení emisních povolenek z trhu se používá označení Backloading. Odborná literatura se shoduje v kritice provedení zmíněného backloadingu a doporučuje řadu jiných způsobů, mezi které patří např. trvalé stažení povolenek z trhu.[59] Výsledek backloadingu je nejistý a až po navrácení stažených povolenek zpět na trh bude možné vyhodnotit veškeré dopady, avšak již nyní je možné konstatovat, že po stažení 700 mil. povolenek se jejich cena významně nezměnila.

Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole, cena emisní povolenky ovlivňuje velikost spreadu plynových a především uhelných elektráren. Skrze faktor emisní intenzity zmenšují emisní povolenky hrubou marži těchto elektráren. Cena emisních povolenek a současně míra znečištění produkovaného elektrárnou jsou důležité faktory pro ekonomiku energetických provozů v podmínkách prostředí, kde je čistota prostředí regulována. V současných podmínkách EU ETS zatím emisní povolenky neplní svou původně plánovanou funkci, jelikož je jejich cena významně nižší, než bylo plánováno. Pokud bude cena povolenek za pomoci výše zmíněných nástrojů zvýšena, vzroste cena elektrické energie a provozy, které spalují fosilní paliva, budou významným způsobem znevýhodněny, protože jimi vyprodukovaná energie přestane být kvůli vysoké ceně konkurenceschopná. EU ETS je největším územím na světě, kde funguje komplexní systém emisních povolenek a i přes problémy, které byly způsobeny především v počátečních fázích procesu, je inspirací pro řadu dalších zemí. Emisní povolenky jsou zaváděny v řadě regionů, nevyjímaje největší světové producenty CO_2 - USA[60] a Čínu.[61]

---

[58] European Commission. Structural reform of the EU ETS, 'Back-loading' amendment to Auctioning Regulation. [online]. *BRUSSELS: European Commission*, 2016 [cit. 2016-11-03].

[59] Viz např.: ISMER, Roland, et al. Inclusion of Consumption into Emissions Trading Systems: Legal Design and Practical Administration. 2016, No. 1579, ANDOR, Mark A.; FRONDEL, Manuel; SOMMER, Stephan. Reforming the EU Emissions Trading System: An Alternative to the Market Stability Reserve. *Intereconomics*, 2016, volume 51, nzmber 2: 87-93.

[60] BURTRAW, Dallas, et al. A Proximate Mirror: Greenhouse Gas Rules and Strategic Behavior Under the US Clean Air Act. *Environmental and Resource Economics*[online]. 2015, volume 62, number 2: 217-241 [cit. 2016-11-07]. DOI: 10.1007/s10640-015-9963-4. ISSN 0924-6460.

[61] Čína se snaží dosáhnout vrcholu vypuštěných emisí do roku 2030. Viz např.: ZHANG, ZhongXiang. Making the Transition to a Low-Carbon Economy: The Key Challenges for China. *Asia & the Pacific Policy Studies* [online]. 2016, volume 3, number 2: 1 -15 [cit. 2016-11-08]. DOI: 10.1002/app5.138. ISSN 2050-2680.

1.7 Hlavní ekonomické přístupy k řešení externalit

Produkce elektrické energie přináší společnosti celou řadu přínosů. Na druhé straně výše zmíněné emise z provozu elektráren způsobují četné škody na lidském zdraví a životním prostředí. Výše těchto škod není promítnuta v tržních cenách elektřiny, náklady výrobců jsou totiž významně nižší než náklady společenské. Externalita na trhu s elektřinou, která je způsobena odlišnými soukromými a společenskými náklady má podle ekonomické teorie dva možné způsoby její internalizace.

Teorie Arthura C. Pigoua nabízí řešení externalit pomocí intervence do tržního procesu. V případě, kdy jsou společenské náklady vyšší než soukromé, Pigou navrhuje uvalení daně, která by mezeru mezi náklady zaplnila. V případě pozitivních externalit, tedy když je společenský užitek vyšší než soukromý užitek a trh tvoří suboptimální množství statku, je na místě, aby stát poskytl subvenci k dosažení efektivního řešení. Pigouova soustava daní a subvencí, která by odstraňovala nesoulad společenských a soukromých nákladů nachází v dnešní mainstreamové ekonomii řadu zastánců a podporovatelů. Držitel Nobelovy ceny za ekonomii Paul Krugman při srovnání částečně tržního systému obchodování s emisními povolenkami a pigoviánské daně uvalené na emitenty emisí do ovzduší vyhodnocuje výsledné efekty obou zmíněných opatření za stejné. Tím naznačuje, že není nutné vytvářet složitý systém emisních povolenek, ale stačí jednoduše finančně penalizovat původce negativních externalit.[62] Další držitel Nobelovy ceny v oblasti ekonomie Joseph Stiglitz rozvíjí teorii Pigouovy daně a především její výše a struktury v dalších podmínkách jako např.: monopolistické struktury nebo nedokonalá konkurence.[63] Gregory Mankiw navrhuje zavedení „uhlíkové daně“ na národní úrovni s tím že zvýšení příjmů národních produktů bude jakýmsi vítaným vedlejším produktem. Pozoruhodné je, že Mankiw považuje za snadné přesvědčit Čínu o výhodách zavedení daně na emise uhlíku, zatímco považuje za problematické přesvědčit americké voliče o tom, že daň jako taková neznamená nic špatného. Tím autor přiznává, že takováto daň není pro širokou voličskou základnu libertariánů v USA

[62] KRUGMAN, Paul. Building a Green Economy. *The New York Times* [online], 2010, number 5: 2 - 16 [cit. 2016-11-12]. ISSN 1645522.
[63] STIGLITZ, Joseph E. 1987. “Pareto Efficient and Optimal Taxation and the New New Welfare Economics.” In Alan J. Auerbach, and Martin Feldstein (eds.), *Handbook of Public Economics*, Volume 2: 991 – 1042. Amsterdam: Elsevier/North-Holland.

přijatelná.[64] Není náhodou, že stejně jako dlouhá řada dalších současných ekonomů patří výše zmíněná trojice do Pigouovo klubu, který založil právě Gregory Mankiw a charakterizoval jej následovně: „jedná se o elitní skupinu ekonomů a vědců s dobrým smyslem pro prosazování vyšších pigoviánských daní, například daní z benzínu nebo uhlíkových daní“.[65]

Zatímco se obdivovatelé Pigouova učení řadí mezi členy školy nové keynesiánské ekonomie, kritika daní a státních intervencí do cenového systému přišla již ve 20. letech 20. století ze strany předchůdce pozdější chicagské školy Franka Knighta. Knight poukazoval na skutečnost, že externality vznikají pouze v případě, kdy nejsou dostatečně vymezena vlastnická práva. Dále Knight varuje před rostoucím státním aparátem, který by se v důsledku zavedení daní za účelem eliminace externalit mohl svým náklady převýšit ztrátu blahobytu, způsobenou externalitami.[66] Inspirován Frankem Knightem vznesl představitel chicagské školy nobelista Ronald Coase roku 1960 zásadní kritiku vůči Pigouovu řešení externalit. Coasův přístup staví na jasném vymezení vlastnických práv. Budou-li vymezena vlastnická práva, předejde se vzniku externalit díky vzájemnému vyjednávání o kompenzování škod a nákladů mezi dotčenými stranami. Toto řešení nevyžaduje žádné zásahy do tržního prostředí ze strany státu a vede k efektivnímu řešení.[67] Coasovo řešení předpokládá nízké transakční náklady na vyjednávání, v případě vysokých transakčních nákladů může být efektivnějším řešením internalizace externalit pomocí zavedení daní nebo subvencí. Vysoké transakční náklady mezi vyjednávajícími subjekty mohou být sníženy právě jasným vymezením vlastnických práv. Nově vytvořený pojem „transakční náklady“ se stal od jeho zavedení v roce 1937 často zkoumaným cílem řady ekonomů.[68]

---

[64] MANKIW, Gregory. One Answer to Global Warming: A New Tax. *The New York Times* [online]. New York, 2007, [cit. 2016-11-12]. ISSN 1645522.
[65] MANKIW, Gregor. Al Gore in the Pigou Club. In: *GREG MANKIW'S BLOG: Random Observations for Students of Economics* [online]. 2006 [cit. 2016-11-12].
[66] KNIGHT, Frank. Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost. *The Quarterly Journal of Economics*[online], 1924, volume 38, number 4: 582 - 606 [cit. 2016-11-13]. DOI: 10.2307/1884592. ISSN 1531-4650.
[67] COASE, Ronald. The problem of social cost. *The Problem of Social Cost R. H. Coase The Journal of Law & Economics* [online]. School of Business, University of Chicago and The University of Chicago Law School, 1960, volume 44, number 3: 87 - 137 [cit. 2016-11-13]. DOI: 10.1002/sres.3850090105. ISSN 0022-2186.
[68] Např. WILLIAMSON, Oliver E.; WINTER, Sidney G. *The nature of the firm: origins, evolution, and development*. Oxford University Press, USA, 1993.

Výše zmíněné teoretické přístupy představují dva hlavní myšlenkové proudy, které mají za cíl dosažení efektivního (pareto-optimálního) výsledku. Prvním jmenovaným myšlenkovým proudem jsou pigovianci, kteří spoléhají na státní zásahy, zatímco myšlenkový proud coasiánců spoléhá na soukromá vyjednávání.

Uhelné elektrárny přináší řadu negativních externalit, mezi které může patřit poškození krajinného rázu, nadměrná produkce popelovin či znečištění a odčerpání hladiny podzemní vody. Největší externalitou, která postihuje široké spektrum subjektů ležících v širokém okolí uhelných elektráren, jsou emise skleníkových plynů, tuhých znečišťujících látek a oxidy dusíku a síry. Při současném řešení negativní externality v podobě emisí škodlivin do ovzduší převládá v celém světě názorový proud současné mainstreamové ekonomie, který je nakloněn zásahům do tržního prostředí v podobě jak daní, tak i subvencí. Celý systém emisních EU ETS, stejně tak jako dalších systémů zpoplatněných povolenek na emise uhlíku jsou jen určité formy daní, které jsou uvaleny na nejvíce znečišťující provozy elektrické energie, jimiž uhelné elektrárny bezesporu jsou. Obchodování s emisními povolenky vnáší prvek tržního chování do regulatorního prostředí, kde je nastavení očekávaného fungování velmi obtížné. Na druhé straně je nutné zmínit, že ani aplikace tržního řešení by v takto komplikované oblasti nebyla jednoduchá. Rozdělení vlastnických práv k ovzduší nemá jednoznačné řešení. Samotné náklady na rozdělení těchto vlastnických práv by byly značné, stejně tak jako následná kontrola a případné vymáhání ze strany nezávislého arbitra. Při aplikaci tržního řešení v systému, kde jsou transakční náklady prohibitivní a vlastnická práva lze stěží definovat, jsou soukromá vyjednávání téměř nemožná.

2 Analytická část

Pro kalkulaci celkových nákladů elektrárny je zapotřebí zohlednit jak interní náklady (kapitálové náklady, náklady na palivo a běžný provoz) tak i náklady externí, které neplatí výrobce ani spotřebitel elektřiny, ale nepřímo celá společnost. Jedná se o negativní dopady na životní prostředí a kvalitu lidského života.

2.1 Interní náklady – náklady plně nesené výrobci

Pro analýzu celkových nákladů při produkci elektřiny se náklady obvykle převádějí na čistou současnou hodnotu za použití časové hodnoty peněz. Po sečtení veškerých nákladů získáme současnou výrobní cenu jednotky produkce, která je obvykle uváděna za MWh a odborná literatura ji označuje jako levelized cost of elektricity (LCOE).[69] Jedná se o základní ukazatel nákladové konkurenceschopnosti energetického zdroje. Počítá se jako podíl čisté současné hodnoty všech nákladů po dobu životnosti aktiva k celkové produkci elektrické energie po dobu životnosti zdroje.[70]

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

I_t : Investiční výdaje v roce t

Mt : O & M náklady v roce t

Ft : Náklady na palivo v roce t

Et : Elektrická energie vyrobena v roce t

r : Úroková míra

n : Očekávaná životnost energetického zdroje

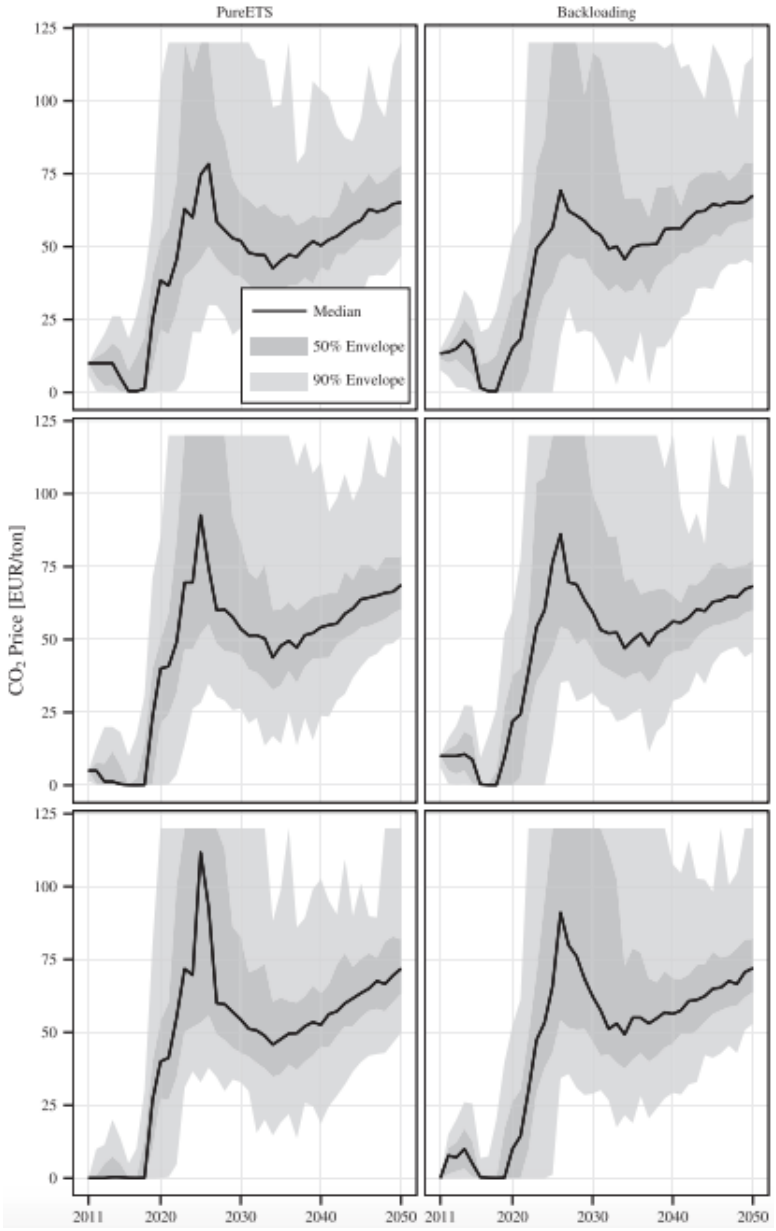
[69] viz např: OUYANG, Xiaoling a Boqiang LIN. Levelized cost of electricity (LCOE) of renewable energies and required subsidies in China. *Energy Policy* 2014, volume 70: 64 – 73. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.03.030. ISSN 03014215.

[70] BRANKER, K., M.J.M. PATHAK a J.M. PEARCE. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2011, volue 15, number 9: 4470-4482 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.104. ISSN 13640321.

LCOE je z hlediska interních nákladů energetických zdrojů nejpřesnější a nejvíce užívaný ukazatel, který energetické společnosti využívají ke krátkodobému i dlouhodobému rozhodování. Z hlediska krátkého období je LCOE poměrně přesný ukazatel, který výrobcům elektrické energie poskytuje informace potřebné k rozhodování o krátkodobé úrovni produkce a efektivní skladbě vyrábějících provozů. Při dlouhodobém rozhodování o investicích do jednotlivých typů elektráren musí výrobce zohlednit faktory, které se mohou v čase významně měnit. Jedná se především o náklady na palivo, cenu elektrické energie a úrokovou míru. V případě uhelných a plynových zdrojů je zapotřebí zohlednit i možnou změnu ceny emisních povolenek. Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, díky stažení přebytečných povolenek panuje mezi odbornými studiemi shoda o očekávaném citelném nárůstu jejich ceny.[71] Obrázek č. 4 zobrazuje různé scénáře možného růstu cen emisních povolenek s vyznačením pravděpodobnosti realizace dané předpovědi. Levá část obrázku zobrazuje prognózy vývoje ceny bez státních zásahů, zatímco pravá část zobrazuje možné cenové vývoje s umělým stažením přebytečných povolenek z trhu.

[71] HU, Jing, Wina CRIJNS-GRAUS, Long LAM a Alyssa GILBERT. Ex-ante evaluation of EU ETS during 2013–2030: EU-internal abatement. *Energy Policy* [online]. 2015, volume 77, 152-163 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.11.023. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421514006314.

Obrázek č. 4: Prognóza vývoje ceny emisních povolenek



Zdroj: RICHSTEIN, Jörn C., Émile J.L. CHAPPIN a Laurens J. DE VRIES. The market instability reserve for EU carbon emission trading: Why it might fail and how to improve it. *Utilities Policy* [online]. 2015, volume 43, 1-18 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1016/j.jup.2015.05.002. ISSN 09571787.

Náklady na výstavbu uhelné elektrárny se regionálně významně liší. Svou roli hrají instalovaný výkon, použité technologie, typ kotle, ale také vzdálenost od vodního zdroje. Obecně leze konstatovat, že kapitálové náklady na kilowatthodinu se pohybují mezi 1300 a 5000 eury. Nejvíce výstavbu prodražují právě zmíněné technologie, které snižují negativní externality způsobené elektrárnou. Kapitálové náklady na standardní uhelnou elektrárnu o

instalovaném výkonu 500 MW, která splňuje podmínky aktuálně dané evropskou legislativou, se pohybují mezi 1 – 1,5 mld. eur.[72]

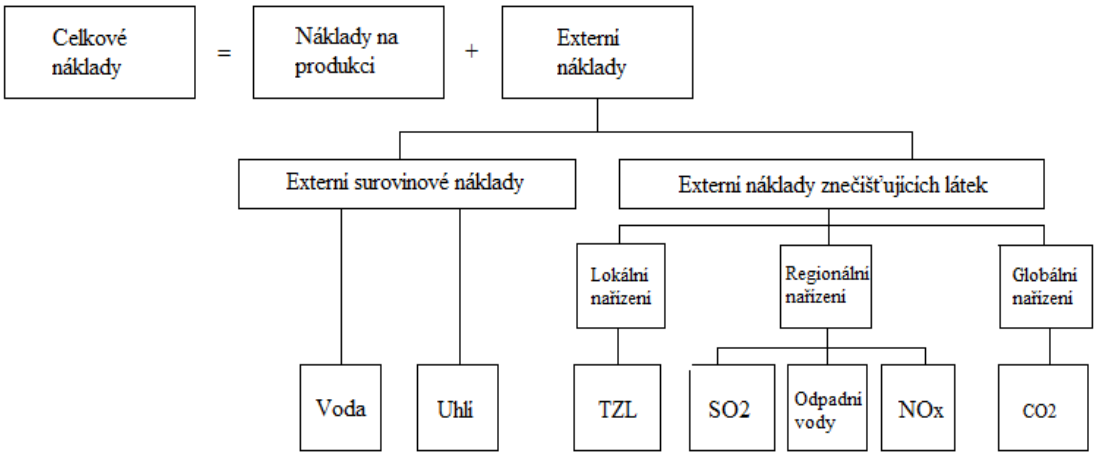
V případě nákladů na palivo má největší vypovídající schopnost cena množství uhlí, které je zapotřebí k vyprodukování jedné megawatthodiny elektrické energie. Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, kvalita uhlí, a především jeho výhřevnost, které je při spalování určující, se velmi výrazně liší. Zatímco v České republice se spaluje především hnědé uhlí ze Severočeských pánví s velmi malou výhřevností, a k výrobě jedné megawatthodiny je zapotřebí přibližně tuna paliva, v USA se využívá především kvalitní černé uhlí, kterého je ke generace jedné megawatthodiny zapotřebí méně než 400 kg.[73] Cena uhlí se podle své kvality významně liší.

Výše zmíněné náklady mají charakter výdajů, které hradí výrobce elektrické energie. Obrázek č. 5 znázorňuje nákladové schéma elektrárny spalující fosilní paliva, na kterém je patrné, že výrobci nenesou všechny náklady spojené s výrobou elektřiny. Hradí náklady pouze u statků s jasně vymezenými vlastnickými právy. Externí náklady, které se projevují ve formě zdevastované přírody a poškozeného zdraví populace žijící v okolí provozů, však již nepatří mezi nákladové položky, které jsou výrobci plně hrazeny. Právě externí náklady se vyznačují obtížnou vymahatelností po jejich původci. (Spotřeba vody, spotřeba paliva a emise CO_2 sice spadají mezi náklady na produkci hrazené výrobcem, jejich dopady, jako jsou poškozená krajina povrchovými doly, vyschlá půda a poškozená ozónová vrstva, nejsou nijak internalizovány, a z toho důvodu je lze zařadit mezi externí náklady).

[72] SEKAR, Ram C., John E. PARSONS, Howard J. HERZOG a Henry D. JACOBY. Future carbon regulations and current investments in alternative coal-fired power plant technologies. *Energy Policy* [online]. 2007, volume 35, number 2: 1064-1074 [cit. 2016-12-16]. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.01.020. ISSN 03014215.

[73] RUBIN, Edward S., Chao CHEN a Anand B. RAO. Cost and performance of fossil fuel power plants with CO2 capture and storage. *Energy Policy* [online]. 2007, volume 35, number 9: 4444-4454 [cit. 2016-12-16]. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.03.009. ISSN 03014215, ČEZ. Uhelné elektrárny skupiny ČEZ [online]. 2016 *cez.cz* [cit. 2016-04-12].

Obrázek č. 5: Nákladové schéma uhelné elektrárny



LIU, Dunnan, Xinming LIU, Liaoyi NING, Haichao WANG, Yu HU a Yujie XU. Research Electricity Production Costs and External Compensation Mechanism. *Journal of Power and Energy Engineering* [online]. 2014, volume 2, number 4: 94-102 [cit. 2016-11-26]. DOI: 10.4236/jpee.2014.24015. ISSN 2327-588x (vlastní úprava).

2.2 Externí náklady

Změna klimatu je v dnešní době jedním z hlavních environmentálních témat. Někteří lidé vnímají změnu klimatu jako negativní, protože způsobuje nepřijatelné strádání obyvatel v ohrožených částech světa (Subsaharská Afrika, Střední Asie). Jiní lidé se obávají ohrožení cenných a vzácných ekosystémů, zatímco další se obávají, že změna klimatu přinese výraznou nestabilitu počasí. Většina lidí, kteří negativně vnímají změnu klimatických podmínek, volá po restriktivních opatřeních, vedoucím ke snížení škodlivých emisí, a především skleníkových plynů.[74] Příznivci libertariánských myšlenek, zastánci neviditelné ruky trhu, a především představitelé tržního environmentalismu zastávají názor, podle kterého se mezní náklady na zamezení škody musí rovnat mezním příjmům. V případě klimatické změny se preventivní náklady na zamezení musí rovnat výnosům ze zavedených opatření.[75]

[74] TOL, Richard S.J. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy* [online]. 2005, volue 33, number 16**:** 2064-2074 [cit. 2016-11-26]. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.04.002. ISSN 03014215.

[75] SMITH, J.B., Schellnhuber, H.-J., Mirza, M.Q., et al., 2001. Vulnerability to climate change and reasons for concern:a synthesis. In: McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (Eds.), Climate change 2001. *International Journal of Climatology* [online]. 2002, volume 22, number 10: 913 – 967. [cit. 2016-11-26]. DOI: 10.1002/joc.775. ISSN 08998418.

Uhelné elektrárny a jejich emise škodlivin a skleníkových plynů se dle některých populárních autorů[76] a vědců podílejí na globálním oteplování, které je způsobeno skleníkovým efektem.[77] Skleníkový efekt je proces, při kterém plyny způsobují absorpci a vyzařování infračerveného záření a tím ohřívání dolních vrstev atmosféry a povrchu Země. Jako nejškodlivější a nejznámější skleníkový plyn je považován oxid uhličitý, který vzniká reakcí kyslíku s uhlíkem při spalovacím procesu.[78] Není možné ho nijak zachycovat nebo vzniklé spaliny jakkoli čistit, jeho redukce je možné dosáhnout pouze vyšší účinností spalovacího procesu. Je ovšem nutné doplnit, že na tvorbě skleníkového jevu se CO_2 podílí pouze z 26 %. Největší podíl na tvorbě skleníkového jevu zaujímají vodní páry a to 60 %.[79] Kromě skleníkových plynů produkují uhelné elektrárny řadu škodlivých emisí, které mají přímý negativní vliv na lidské zdraví a životní prostředí (již zmíněné v teoretické části práce).

Při snaze o nalezení rovnováhy mezi náklady na zamezení škodlivých emisí a výnosy z toho plynoucími je nutné ohodnotit externí náklady elektráren. Tedy ve své podstatě peněžně vyčíslit cenu ztrát vzniklých na přírodě a lidském organismu důsledkem negativních externalit způsobenými elektrárnami. Pro samotné vyčíslení ztrát je velmi nutná výrazná agregace a celkové zjednodušení složitých a komplexních ukazatelů všech dopadů v různých regionech a sektorech, aby bylo vůbec možné dojít ke smysluplným výsledkům.[80] Tedy pokud je cílem explicitně porovnat dopady změny klimatu s náklady na jeho zamezení, je nutné vyjádřit přínosy zmírněných dopadů na změnu klimatu ve stejných jednotkách, jako jsou ony

---

[76] GORE, Albert. *An inconvenient truth: the planetary emergency of global warming and what we can do about it*. Emmaus, Pa.: Rodale Press, c2006. ISBN 1594865671.

[77] Např. analytici společnosti Bloomberg vytvořili interaktivní grafiku demonstrující příčiny globálního oteplování. Tato je dostupná zde: https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/.

[78] Klaus komentuje množství emisí CO_2 v posledních dekádách: „Je-li hypotézou, že ekonomický růst (a zejména růst průmyslu) vede k vyšším emisím CO_2, pak by muselo být pravdou, že bouřlivý růst průmyslu, ke kterému ve světě mimo veškerou pochybnost dochází, musí vést k permanentnímu růstu emisí CO_2. Podíváme-li se na časovou řadu emisí CO_2 na hlavu, vidíme ale, že tomu tak není. (KLAUS, Václav. *Modrá, nikoli zelená planeta: co je ohroženo: klima, nebo svoboda?*. Praha: Dokořán, 2007. ISBN 978-80-7363-152-9).

[79] KIEHL, J.T. a Kevin E. TRENBERTH. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc* [online]. Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research, 1997, volume 78, number 12: 197 - 208. [cit. 2016-11-27]. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2.

[80] Studie jsou často zaměřeny pouze na určitou oblast a analyzují dopady na konkrétní skupinu obyvatel/přírodní ekosystém což není pro obecné a agregované vyčíslení ceny vypuštěných škodlivin přínosné. Viz např.: HOOZEMANS, F. M. J.; MARCHAND, M.; PENNEKAMP, H. A. A global vulnerability analysis: vulnerability assessment for population, coastal wetlands and rice production on a global scale. 1993 (2nd, Revised Edition). WHITE, Joseph D., et al. Assessing simulated ecosystem processes for climate variability research at Glacier National Park, USA. *Ecological Applications*, 1998, volume 8, number 3: 805-823.

náklady na snížení dopadů.[81] Náklady na snížení emisí jsou obvykle vyjádřeny v penězích, protože se tato metrika zvláště dobře hodí k měření dopadů, které jsou spojené s transakcemi na trhu a mají přímý dopad na HDP. Použití peněžního vyjádření netržních dopadů, jako jsou dopady na ekosystémy nebo lidské zdraví, je mnohem obtížnější, ale ne nemožné. Bohužel jsou takováto ekonomická vyčíslení často kontroverzní, protože postrádají sofistikovanou analýzu vsazenou do kontextu změny klimatu.[82] Hlavním problémem je nedostatečné porozumění změny klimatu, které není způsobeno lidskou činností a probíhá od samotného vzniku země (střídání ledových a meziledových dob atd.)[83]

2.2.1 CO_2 jako nejčastěji diskutovaný externí náklad

Odborná literatura rozlišuje v rámci vlivů externích nákladů elektráren dva druhy nezamýšlených dopadů. Prvním typem dopadů negativních externalit elektráren jsou důsledky, které jsou viditelné již v krátkodobém horizontu, jsou velmi obtížně kvantifikovatelné a špatně se vyčísluje jejich peněžní hodnota. Na jedné straně se jedná se o negativní dopad na lidské zdraví, úmrtnost, porodnost a další vlivy spojené fyzickou kvalitou lidského života. Na druhé straně nečistoty z elektráren negativně ovlivňují životní prostředí a ekosystémy, a to především škodlivými imisemi a kyselými dešti. Dlouhodobé dopady se projevují v celkové změně klimatu jak na regionální, tak především na celosvětové úrovni.

Tabulka č. 3 znázorňuje odhad dopadu oteplení ovzduší v důsledku skleníkového efektu na HDP v jednotlivých světových regionech. Jako vzorek jsou předloženy čtyři respektované studie. Je dobře patrné že v odborné literatuře nepanuje shoda, co se týče ekonomického dopadu v důsledku oteplení planety. Řada studií předpovídá pozitivní dopad na HDP, zatímco řada dalších studií odhaduje negativní dopad globálního oteplení na výkon ekonomiky.

---

[81] SMITH (2001).

[82] PEARCE, D.W a kol., 1996. *The social costs of climate change:greenhouse damage and the benefits of control*. In: BRUCE, J. P., Hoe-sŏng YI a Erik F. HAITES. *Climate change 1995: economic and social dimensions of climate change*. New York: Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change [by] Cambridge University Press, 1996. ISBN 0521560519.

[83] MAHLMAN, J. D. Uncertainties in Projections of Human-Caused Climate Warming. *Science* [online]. Number 278: 1416-1417 [cit. 2016-11-27]. DOI: 10.1126/science.278.5342.1416. ISSN 00368075.

Tabulka č. 3: Dopad oteplení ovzduší v důsledku skleníkového efektu na HDP v jednotlivých světových regionech

	Pearce a kol.	Mendelsohn a kol.	Nordhaus, Boyer	Tol
Oteplení	2,5 °C	2,5 °C	2,5 °C	1 °C
Severní Amerika	-1,5			3,4
USA	-1,2	0,3	-0,5	
OECD v Evropě	-1,3			3,7
EU	-1,4		-2,8	
OECD Pacifik	-2,1			1
Japonsko		-0,1	-0,5	
Východní Evropa a fUSSR*	0,3			2
Východní Evropa			-0,7	
fUSSR*	-0,7			
Rusko		11,1	0,7	
Střední Východ	-4,1		-2	1,1
Jižní Amerika	-4,3			-0,1
Brazílie		-1,4		
Jihovýchodní Asie	-8,6			-1,7
Indie		-2	-4,9	
Čína	-5	1,8	-0,2	2,1
Afrika	-8,7		-3,9	-4,1

* former Union of Soviet Socialist Republics

Zdroje: PEARCE (1996), MENDELSOHN, Robert, Wendy MORRISON, Michael E. SCHLESINGER a Natalia G. ANDRONOVA. *Climatic Change* [online]. Volume 45, number 4: 553-569 [cit. 2016-11-27]. DOI: 10.1023/A:1005598717174. ISSN 01650009, NORDHAUS, William D. a Joseph BOYER. *Warming the world: economic models of global warming*. Cambridge, MA: MIT Press, c2000. ISBN: 0-262-14071-3, TOL, Richard S. J. The Marginal Costs of Greenhouse Gas Emissions. *The Energy Journal* [online]. International Association for Energy Economics, 1999, volume 20, number 1: 21 [cit. 2016-11-27].

Z výsledků studií je možné vyvodit několik obecných modelů a trendů. Tržní dopad se zdá být méně výrazný, než bylo ve starších výzkumech odhadováno. Některé země a některé sektory mohou dokonce z důsledků globálního oteplení profitovat, jedná se především o vyspělé země. Změna klimatu vede k větším výkyvům počasí a extrémním událostem, které mohou vést k velkým ztrátám a vysokým nákladům na případnou adaptaci těmto výkyvům. Rozvojové země jsou náchylnější k dopadům změny klimatu než vyspělé země, protože jejich

ekonomiky jsou často svázané s klimatickými podmínkami v regionu, tudíž je jejich adaptace na nové podmínky náročnější.[84]

Mezní škody způsobené emisí jedné tuny oxidu uhlíku je velmi obtížné stanovit, regionálně se významně liší a není možné postihnout všechny negativní dopady emisemi způsobené. Mainstreamové studie se shoduji na částce 5 – 125 USD za tunu.[85] Existují i studie, které odhadují negativní dopady způsobené emisí tuny CO_2 ve výši přibližující se 1000 USD, nebo ji dokonce překračují.[86] Na druhé straně lze obecně říci, že čím aktuálnější studie je, tím nižší[87] jsou odhady nákladů dopadů, řada studií odhaduje náklady ve výši, která se blíží nule.[88]

Při přípravě ETS a dalších systémů obchodování s emisními povolenkami bylo počítáno s tím, že cena bude určena trhem, ale množství povolenek bude regulováno tak, aby se cena povolenky pohybovala v určitém rozmezí, které odpovídá přibližně ceně externích nákladů CO_2. I v druhém v pořadí zavedeném systému emisních povolenek California Carbon bylo na konci minulé dekády počítáno s vyšší cenou povolenky, než je nyní. Zatímco studie oceňují tunu CO_2 v průměru na 50 EUR (50 – 55 USD) a teoretická environmentální politika počítá se stejnou částkou, realita naznačuje, že nástroje k dosažení projektované ceny nefungují správně. Jak již bylo zmíněno, cena EUA je přibližně 6 EUR, cena California Carbon Allowance (CCA) se pohybuje okolo 13 USD.[89] Zatím není jisté, jaký dopad bude mít backloading přebytečných povolenek, zatím to však vypadá, že důsledky nebudou pro trh s povolenkami a ekonomiku uhelných elektráren nikterak závažné.

---

[84] TOL (2005).

[85] PEARCE, D.W. The social costs of climate change: greenhouse damage and the benefits of control. In: O'RIORDAN, Timothy. Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* [online]. 1995 volume 39, number 9: 34-39 [cit. 2016-11-29]. DOI: 10.1080/00139159709604768. ISSN 0013-9157.

[86] Viz např.: HOHMEYER, Olav; GAERTNER, Michael. *The Costs of Climate Change: A Rough Estimate of Orders of Magnitude. Report to the Commission of the European Communities, Directorate General XII*. Fraunhofer-Inst. for Systems and Innovation Research, 1992,
nebo HOHMEYER, Olav. Social costs of climate change strong sustainability and social costs. In: *Social Costs and Sustainability*. Springer Berlin Heidelberg, 1997. p. 61-83. ISBN 9783642603655.

[87] Na tomto místě je vhodné zmínit právě onen technologický pokrok, jehož prostřednictvím dochází ke zlevňování dříve nákladných technologií, které jsou např. užívány ke snižování množství polutantů při procesech jejich vzniku.

[88] Viz např.: MENDELSOHN, Robert. The social cost of carbon: An unfolding value. In: *Paper for DEFRA Social Cost of Carbon Seminar, London*. 2003, nebo NEWELL, Richard G.; PIZER, William A. Discounting the distant future: how much do uncertain rates increase valuations?. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003, volume 46, number 1: 52-71. ISSN: 0095-0696.

[89] California carbon. Trading & Auctions [online]. 2016 *californiacarbon.info* [cit. 2016-12-01].

2.2.2 Způsoby snižování emisí CO_2

Obecně lze s jistotou říct, že nově postavené bloky uhelných elektráren mají vyšší účinnost než staré, tudíž množství emisí CO_2 na vyprodukovanou jednotku elektrické energie je nižší. Starší bloky uhelných elektráren svou účinností nepřesahují 30 %. Jedná se především o kotle s roštovým ohništěm, které se nachází především v méně vyspělých zemích. Takto zastaralé elektrárny se nacházejí i v rozvinutých zemích, není ale jednoduché takovéto elektrárny identifikovat, jelikož vedení elektrárenských společností skutečné parametry svých energetických provozů zkresluje nebo tají. Činí tak záměrně, neboť v aktuálně ekologicky smýšlející společnosti není populární provozovat takovéto „špinavé" zdroje energie. Pro výrobce je prodlužování životnosti takovýchto elektráren výhodné, jelikož zisk není ponížen o odpisy, které byly již uhrazeny v předcházejících letech. Výrobci vždy porovnávají náklady za vyspělé a ekologické technologie s náklady vynaloženými na emisní povolenky a úspory za ušetřené palivo. V tabulce č. 4 na příkladu vybraných nově postavených uhelných elektráren z celého světa, je patrný výrazný posun tepelného výkonu v podobě účinnosti, která má přímý pozitivní dopad na nižší emise CO_2.

Tabulka č. 4: Parametry moderních uhelných elektráren

Elektrárna	Země	Uvedení do provozu	Účinnost
Ledvice	Česká republika	2016	42,5 %
Moorburg	Německo	2015	46,5 %
Shenhua Anqing	Čína	2015	45,03 %
John W. Turk Jr.	USA	2012	40 %

Zdroje: elektrárenské společnosti ČEZ, Vattenfall, American Electric Power subsidiary Southwestern Electric Power Company, Shenhua Group, (vlastní úprava).

Energetická účinnost je podíl využité energie k vložené energii.

η = Tepelná energie vložená / Elektrická energie vyprodukovaná

Ze vztahu je patrné, že účinnost zdroje se při konstantním výstupu přímo promítá do množství vstupu. Tedy množství paliva a emisí oxidů uhlíku s rostoucí účinností proporcionálně klesá.

Uhelné elektrárny vypouští s každou kilowatthodinou produkce elektrické energie 915 ± 0.8 g CO_2 za které je v systému s emisními povolenkami nutné zaplatit.[90] Podstatnou výjimku představují situace, kdy producent investuje do technologií vedoucí ke snížení CO_2, v tom případě producent získává v rámci 3. fáze EU ETS určité množství emisních povolenek zdarma (platí pro období 2013 - 2020). Následující příklad ilustruje ekonomickou zátěž plynoucí ze zavedení emisních povolenek pro producenta elektrické energie na příkladu moderní elektrárny Moorburg.

Tabulka č. 5 Specifika elektrárny Moorburg

Specifikace	Tepelná elektrárna Moorburg spalující černé uhlí, Hamburg, Německo
Provozovatel	Vattenfall
Instalovaný výkon	1548 MW
Roční produkce elektřiny	11 TWh
Cena povolenky	6 EUR
Cena elektrické energie na burze	0,03 EUR/kWh
Roční produkce oxidu uhličitého	12 x 10^9 kWh x 0,000915 t = 10 065 000 t CO_2
Roční výdaje za emisní povolenky	10 065 000 t x 6 EUR = 60 390 000 EUR
Roční obrat	12 x 10^9 kWh x 0,03 EUR = 330 000 000 EUR

Zdroj: Vattenfall. Moorburg – one of the most modern and efficient power plants in the world [online]. 2016 *Vattenfall's power plants*. [cit. 2016-12-09] (vlastní úprava).

Příklad dobře ilustruje, jak významnou nákladovou položkou představují emisní povolenky pro provozovatele uhelných elektráren. V rámci teoretické části této práce byl představen Clean Dark Spread jako klíčový ukazatel při rozhodování o provozu uhelných elektráren. Výpočet tohoto spreadu obsahuje proměnné, které producenti energie nejsou schopni ovlivnit. Jsou jimi cena elektrické energie na burze, cena uhlí jako paliva a cena emisních povolenek. Na druhé straně ovlivňuje velikost spreadu proměnná, jejíž velikost, a tudíž i dopad na velikost spreadu, jsou výrobci schopni ovlivnit. Zmíněnou proměnnou je právě účinnost zdroje, která má přímý dopad na množství spotřebovaného paliva a množství

[90] DE GOUW, J. A., et al. Reduced emissions of CO_2 , NOx, and SO_2 from U.S. power plants owing to switch from coal to natural gas with combined cycle technology. *Earth's Future* [online]. 2014, volume 2, number 2: 75-82 [cit. 2016-12-06]. DOI: 10.1002/2013EF000196. ISSN 23284277.

emisních povolenek nutných k určité úrovni produkce. Na příkladu Moorburgské elektrárny je patrné, že emisní povolenky i při své stávající nízké ceně představují pro výrobce silnou motivaci pro investici do moderních a šetrných technologií.

2.2.3 Ostatní emitované látky jako externí náklad

Zatímco emise CO_2 a jiných skleníkových plynů neovlivňují v krátkém období lidskou populaci a životní prostředí, emise ostatních znečišťujících látek se projevují okamžitými negativními dopady na kvalitu lidského života, mortalitu a krajinu. Znečištění ovzduší údajně způsobuje na území EU vice než 400 tisíc předčasných úmrtí ročně.[91] Podobné a horší dopady jsou způsobeny škodlivými emisemi i v dalších světových regionech. Nejhorší situace panuje v intenzivně se rozvíjejících zemích jihovýchodní Asie, kde se teprve v dnešní době začínají vytvářet opatření vedoucí ke zmírnění zmíněných dopadů.

Mezi znečišťující látky se řadí oxidy dusíku a síry, tuhé znečišťující látky (TZL), amoniak a ostatní těkavé organické sloučeniny (VOC). Emise zmíněných látek s výjimkou TZL jsou v podmínkách EU sledovány a regulovány. Regulace, která má podobu zavedení národních stropů na jednotlivé znečišťující látky, nachází ukotvení ve směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2001/81/ES ze dne 23. října 2001 o národních emisních stropech pro některé látky znečisťující ovzduší.[92] Tato směrnice byla v roce 2013 revidována v rámci The Clean Air Policy Package, kde byly přesně stanoveny národní emisní limity s platností do roku 2020. Limity pro jednotlivé členské země EU jsou znázorněny v tabulce č. 6. Již na konci roku 2016 byly v Evropském parlamentu schváleny nové přísnější limity pro období 2020 – 2030.[93]

[91] TURNOCK, S. T., et al. The impact of European legislative and technology measures to reduce air pollutants on air quality, human health and climate. *Environmental Research Letters*, 2016, volume 11, number 2: 024010- [cit. 2016-12-11]. DOI: 10.1088/1748-9326/11/2/024010. ISSN 1748-9326.

[92] Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/81/ES ze dne 23. října 2001 o národních emisních stropech pro některé látky znečisťující ovzduší. Evropský parlament [online]. Evropský parlament, Rada Evropské unie, *EUR-Lex - Access to European Union law* 2001 [cit. 2016-12-11].

[93] Evropský parlament – zpravodajství. Kvalita ovzduší: Poslanci schválili nové limity na látky znečišťující ovzduší. *Evropský parlament* [online]. *Evropský parlament*, 2016 [cit. 2016-12-11].

Tabulka č. 6: Emisní limity pro období 2010 až 2020 pro země, které strop ratifikovaly (vyjádřeno v tis. tun za rok)

Stát	SO2	NOx	NH3	VOC
Belgie	106	181	74	144
Bulharsko	856	266	08	185
Chorvatsko	70	87	30	90
Kypr	39	23	9	14
Česká republika	283	286	101	220
Dánsko	55	127	69	85
Finsko	116	170	31	130
Francie	400	860	780	1100
Německo	550	1081	550	995
Maďarsko	550	198	90	137
Lotyšsko	107	84	44	136
Litva	145	110	84	92
Lucembursko	4	11	7	9
Nizozemsko	50	266	128	191
Norsko	22	156	23	195
Portugalsko	22	156	23	195
Rumunsko	918	437	210	523
Slovensko	110	130	39	140
Slovinsko	27	45	20	40
Španělsko	774	847	353	669
Švédsko	67	148	57	241
Švýcarsko	26	79	63	144
Velká Británie	625	1181	297	1200
EU 28	7832	8180	4294	7585

Zdroj: European comission. Attachment to the Proposal for a council decision for the acceptance of the Amendment to the 1999 Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone [online]. Brussels, 2014 *European Commission* [cit. 2016-12-11], (vlastní úprava).

Limity znázorněné v tabulce č. 6 představují celkové maximální množství znečišťujících látek pro jednotlivé členské státy. Vlády států EU podle svého uvážení samostatně přerozdělují emisní limity jednotlivých látek konkrétním producentům, tedy ne

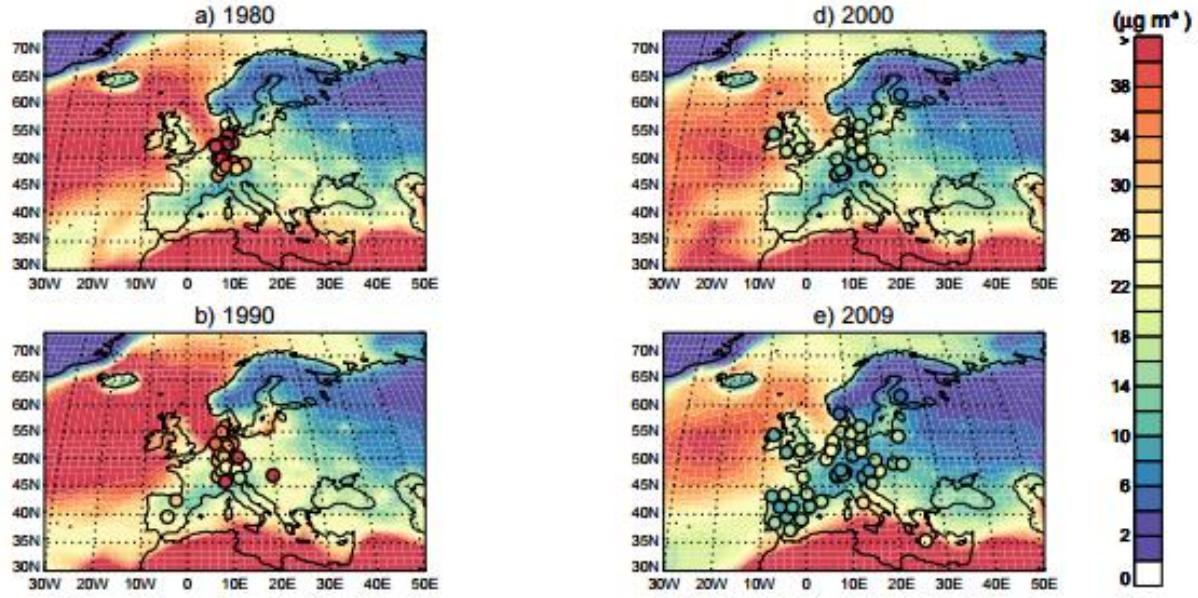
jenom energetickým společnostem, ale i dalším závodům, které znečišťují životní prostředí. Energetické společnosti spolu s hutními a petrochemickými závody patří mezi největší znečišťovatele, proto získávají nejvíce ze stanovených limitů.

Z údajů v tabulce č. 6 jsou patrné vysoké hodnoty přidělených limitů SO_2 pro Bulharsko a Rumunsko. Energetika v těchto zemích stále spoléhá především na intenzivní výrobu elektřiny v zastaralých uhelných elektrárnách s velmi nízkou účinností. Zlepšující se situace je podpořena realistickým nastavením emisních limitů pro aktuální období s tím, že v následujícím období budou stanoveny limity znatelně nižší.[94] Je patrné, že emisní limity jsou vyšší v zemích, které se k EU připojily později než v zemích, patřící mezi dlouhodobé členy. Za povšimnutí stojí nízké limity v zemích Skandinávie, kde je ekologie a ochrana životního prostředí hluboce zakořeněna. Limity SO_2 a dalších látek se v jednotlivých zemích významně liší, jsou nastaveny podle emisí v předchozích obdobích tak, aby se postupně snižovaly a nediskriminovaly vývozce elektřiny a jiných komodit, při jejichž výrobě dochází ke vzniku zmíněných látek.

Koncentrace zmíněných škodlivých látek v ovzduší se v průběhu posledních dekád významně snížila. Na obrázku č. 6 je dobře patrné snížení koncentrace TZL o velikosti PM_{10} (částice menší než 10 μm), kterého se dosahuje prostřednictvím elektrostatických odlučovačů nebo látkových filtrů. Uhelné elektrárny patřily v minulosti mezi velmi významné producenty škodlivých pevných částic v ovzduší. Zachycování pevných částic nepředstavuje v rámci výstavby a provozu uhelné elektrárny významnou nákladovou položku. Účinnost odloučení těchto znečišťujících látek se v dnešní době pohybuje na úrovni 99 %.

[94] TODOROVA, Mariana. Air pollution with sulfur oxides from industry in South-western and South-eastern regions of Bulgaria. *Association Scientific and Applied Research*, 2013, volume 1: 105 – 117, ISBN 1314-6289.

Obrázek č. 6: Snižování koncentrací TZL v ovzduší (µg /m³)

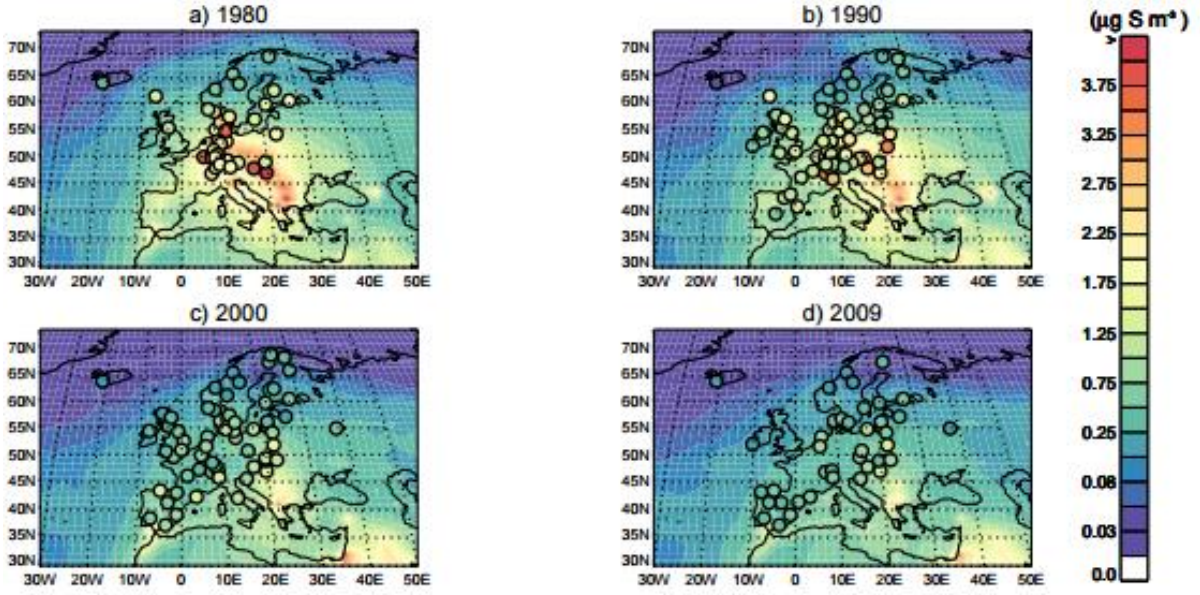


Zdroj: TURNOCK, S. T., et al. Modelled and observed changes in aerosols and surface solar radiation over Europe between 1960 and 2009. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, volume 15, number 16: 9477-9500 [cit. 2016-12-12]. DOI: 10.5194/acp-15-9477-2015. ISSN 1680-7324.

Obrázek č. 7 představuje snížení koncentrací oxidů síry, na kterém se odsíření uhelných elektráren podílí a podílelo z velmi významné části. Odsíření zdrojů, které spalují fosilní paliva a především zdrojů, které spalují uhlí s vysokým obsahem síry, má pozitivní přínos v podobě úbytku kyselých dešťů. Snížení množství kyselých dešťů je možné pozorovat na zlepšujícím se stavu jehličnatých lesů.[95]

[95] APSIMON, H.. *Acid rain in Europe: counting the cost*. London: Earthscan, 1997. ISBN 1853834432.

Obrázek č. 7: Snižování koncentrací SOx v ovzduší (µg /m³)



Zdroj: TURNOCK (2015)

2.3 Společenské mínění jako faktor ovlivňující politické rozhodování

Tabulka č. 7 znázorňuje společenské vnímání jednotlivých typů elektráren. V dnešní době je tento aspekt pro budoucí vývoj velmi důležitý, což ovšem nelze zcela považovat za jev pozitivní, neboť závažná hospodářsko-politická rozhodnutí nejsou plně podložena racionálními argumenty splňující kritéria ekonomické efektivity. Na příkladu útlumu jaderných elektráren v Německu je dobře patrné, že ekonomická stránka věci není vždy rozhodujícím kritériem pro budoucí vývoj.[96] Marketingové umění a tlak zájmových skupin na zákonodárce má za následek pokřivení trhu a znevýhodnění zdrojů, které i přes svou nákladovou efektivnost nemají společenskou podporu. To platí především pro jaderné elektrárny a elektrárny spalující fosilní paliva.

[96] havárie zastaralého reaktoru jaderné elektrárny Fukušima podstatně přispěla k prosazení energetické politiky, která má za cíl odstavení všech německých jaderných provozů. Viz např: WITTNEBEN, Bettina BF. The impact of the Fukushima nuclear accident on European energy policy. *Environmental Science & Policy*, 2012, volume 15, number 1: 1-3 ISSN: 1462-9011.

Tabulka č. 7: Společenské mínění o elektrárnách situovaných v blízkosti lidských obydlí [%]

	Uhelná elektrárna	Plynová elektrárna	Jaderná elektrárna	Větrná elektrárna
Zásadně proti	45	25,7	55,3	11,2
Proti	32,1	32,3	21,2	14,3
Pro	20,2	38,3	18,5	48,8
Silně pro	2,7	3,7	5	25,7

Zdroj: ANSOLABEHERE, Stephen; KONISKY, David M. Public Attitudes Toward Construction of New Power Plants. *Public Opinion Quarterly* [online]. 2009, volume 73, number 3: 566-577 [cit. 2016-12-13]. DOI: 10.1093/poq/nfp041. ISSN 0033-362x (vlastní úprava).

2.4 Komparace hlavních zdrojů elektrické energie

Tato kapitola poskytuje komplexní srovnání pro jednotlivé elektrárny rozdělené na základě primárně užívaného paliva. Pro předpověď budoucnosti uhelných elektráren porovnávám tyto elektrárny v kontextu s dalšími energetickými zdroji. Bohužel ne všechny aspekty, které mají vliv na budoucí vývoj uhelných zdrojů, je možné peněžně vyčíslit, aby bylo možné kompletně porovnat náklady a výnosy jednotlivých typů zdrojů. Aktuální společenský postoj k jednotlivým zdrojům a jeho legislativní podpora sehrávají významnou roli pro budoucnost jednotlivých typů elektráren. Výstupy provedené analýzy jsou graficky znázorněny v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8: Srovnání klíčových parametrů zdrojů elektrické energie na základě využitého paliva

	Uhlí	Plyn	Jádro	Fotovoltaika	Vítr (on shore)	Biomasa	Voda
LCOE (EUR/MWh)	82,10	89,72	52,35	170,38	65,02	95,49	49,25
Investiční náklady (EUR/kW inst. výkonu)	1 300 – 5 200	700 – 1 000	2 750 – 5 530	3 800 – 5 000	1 300 – 6 200	2 700 – 8 180	Velmi rozdílné
Znečištění ovzduší	Velmi významné, NOx, SOx, TZL	Střední, NOx, CO	Nízké	Žádné	Žádné	Velmi významné, NOx, SOx, TZL	Žádné
Produkce CO2 (kg/MWh)	915,00	436,00	115,00	0,00	0,00	949,00	0,00
Zásah do krajiny	Velká zastavěná plocha, zpravidla vysoké chladící věže a komíny, nároky na související stavby pro nakládání s popelovinami, významný zásah do krajiny	Komíny, u paroplynových zdrojů vysoké chladící věže, vliv na krajinný ráz	Velká zastavěná plocha, vysoké chladící věže, významný zásah do krajiny	Zábor půdy, mnohdy zemědělské, narušuje krajinný ráz (neplatí u střešních systémů)	Vysoká stavba, narušuje krajinný ráz	Velká zastavěná plocha, zpravidla vysoké chladící věže a komíny, významný zásah do krajiny	Stavba zasahuje do přírodních ekosystémů, zásah do krajinného rázu je předmětem individuálního posouzení
Schopnost pružné reakce	Velmi pomalá	Téměř okamžitá	Okamžitá	Závislé na přírodních podmínkách	Závislé na přírodních podmínkách	Velmi pomalá	Okamžitá, Závislé na přírodních podmínkách
Množství a nebezpečnost zbytků po spalování /vyhořelého paliva	Velké objemy, nezávadné, možné další využití jako náhrada přírodních zdrojů	Žádné	Velmi malé, radioaktivní, extrémní nároky na skladování	Žádné	Žádné	Velké objemy, nezávadné, možné další využití jako náhrada přírodních zdrojů	Žádné
Spotřeba vody	Velmi vysoká, chlazení přehřáté páry, procesní voda	Velmi vysoká, chlazení přehřáté páry	Velmi vysoká, chlazení přehřáté páry	Žádné	Žádné	Velmi vysoká, chlazení přehřáté páry, procesní voda	Voda roztáčí turbínu, generuje elektřinu a je vracena do toku.

Zdroje: SYED, Arif. The Australian Energy Technology Assessment (AETA) 2013: Update [online]. 2013 *Bureau of Resources and Energy Economics (BREE*). s. 72; KOST, Christoph, et al. Levelized cost of electricity renewable energy technologies [online]., 2013, s. 50; BEIS. Electricity generation costs [online]. *London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy*, 2016; SONTAKKE, Mayur. Solar power plants less costly to build, operate. [online]. 2015 *marketrealist.com;* Energy information administration. Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants [online]. 2013 *eia.gov.;* KAPLAN. *CRS Report for Congress: Power Plants: Characteristics and Costs* [online]. 2008, s. 108; TARJANNE, Risto, et al. Comparison of electricity generation costs [online]. *Research report/Faculty of Technology. Department of Energy and Environmental Technology*, 2008. OECD. *Projected costs of generating elektricity* [online]. 2015, OECD, Nuclear Energy Agency, International energy agency; DE GOUW (2014), AZAR, Christian, et al. Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass–Costs and potential role in stabilizing the atmosphere. *Climatic Change* [online]. 2006, volume 74, number 1: 47-79 (vlastní úprava).

Prvním a jistě nejvýznamnějším porovnávacím kritériem jsou LCOE, tedy kompletní náklady vyjádřené v současné hodnotě na jednotku produkce. Tyto náklady u sledované uhelné elektrárny patří mezi průměrné v porovnání s ostatními typy. Významnou část z nákladů zaujímají výdaje za emisní povolenky, které silně znevýhodňují tento typ elektráren. Uhelné elektrárny jsou často srovnávány s plynovými, jelikož se jedná o podobný typ provozu. Z tohoto srovnání vycházejí při současné ceně uhlíkových emisí lépe právě uhelné elektrárny. Řada plynových elektráren díky vysoké ceně paliva zůstává zavřena, ačkoli se jedná o významně ekologičtější provoz. Evropská hospodářská politika a jí vedené intervence v podobě stahování emisních povolenek má za cíl zvýhodnit čisté plynové elektrárny na úkor elektráren uhelných.[97] V porovnání s jadernými elektrárnami jsou ty uhelné znatelně dražší, ale díky haváriím, které způsobily značné škody, jsou jaderné elektrárny v Evropě na ústupu. To ovšem neplatí pro ostatní světové regiony. Ze sledovaných energetických zdrojů vychází nejhůře z hlediska LCOE fotovoltaické elektrárny. Je to způsobeno především vysokými investičními náklady a nestálou produkcí, která je závislá na povětrnostních podmínkách, které mohou způsobit i dlouhodobou nečinnost fotovoltacké elektrárny. Na druhé straně vychází nejlevněji vodní elektrárny, jejichž náklady na provoz jsou velmi nízké a nepotřebují ke svému chodu žádné palivo, za které by bylo nutné platit. Částka za LCOE může být v případě hydroelektráren významně zkreslena, jelikož investiční náklady, které tvoří dominantní položku LCOE se mohou podle lokality, velikosti a typu elektrárny velmi významně lišit.

Z hlediska investičních nákladů vycházejí nejlépe plynové elektrárny. V porovnání s uhelnou je plynová elektrárna více než dvakrát levnější. Není zapotřebí jakkoli upravovat palivo před jeho spálením v peci, na rozdíl od uhlí, které je nutné mlít a sušit. Dále jsou v případě plynových elektráren ušetřeny významné náklady na zamezení škodlivých emisí (elektrostatické odlučovače, SCR, FGD) a není zapotřebí nijak nakládat s vyhořelým palivem. V porovnání s ostatními typy elektráren jsou náklady na stavbu uhelné elektrárny průměrné až podprůměrné. Mezi nejdražší zdroje elektřiny z hlediska prvotní investice patří jaderné elektrárny, elektrárny spalující biomasu a další elektrárny fungující na bázi obnovitelných

[97] FUJIWARA, Noriko, et al. How do stakeholders view the EU ETS? *Diversity and differentiation of interests. POLIMP Working Document, Brussels 2*, 2015.

zdrojů energie. Je nutné dodat, že investiční náklady na zmíněné obnovitelné zdroje energie posupně klesají díky silně podporovanému R&D v oblasti OZE.[98]

Pokud budeme jednotlivé typy elektráren porovnávat z hlediska vypuštěných škodlivých emisí do ovzduší, zjistíme, že právě při spalování uhlí a biomasy dochází k největšímu znečištění. Situace je v posledních dekádách významně lepší, protože aktuální dostupné technologie jsou schopné eliminovat většinu škodlivin. Tyto technologie ovšem významně prodražují elektřinu vyrobenou pomocí spalování. I když jsou dnešní uhelné elektrárny k životnímu prostředí poměrně šetrné, v porovnání s OZE a elektřinou z jádra jsou z hlediska emisí stále významně znečišťující, což je činí společensky nepopulární.[99]

Emise skleníkových plynů vznikají při jakémkoli procesu spalování. Díky tomu všechny tepelné elektrárny, které spalují jakýkoli typ paliva za účelem přehřátí páry, produkují CO_2. Uhelné elektrárny produkují přibližně jednu tunu CO_2 na jednu vyrobenou MWh produkce, což je opět s elektrárnami spalujícími biomasu nejvíce ze všech energetických provozů. Emise CO_2 jsou dalším faktorem, který činí uhelné elektrárny společensky nepopulární, což jen podporuje hospodářskou politiku stojící silně proti emisím skleníkových plynů.

Jakýkoli elektrárenský komplex se vyznačuje významnou rozlohou a poměrně silným zásahem do krajiny. Obnovitelné zdroje energie mají tu výhodu, že kromě samotné elektrárny nezasahují do krajiny kvůli dobývání paliva. Větrné, solární a vodní elektrárny a jejich rozloha, pozice a vzhled v krajině jsou jistě diskutabilní, přičemž záleží na individuálním posouzení, ale k jejich produkci není zapotřebí uhlí, po kterém zbývá zdevastovaná krajina ve formě povrchových a podpovrchových dolů, není zapotřebí vést plynovod, který využívá plynová elektrárna a není nutné rizikově těžit radioaktivní palivo, které se většinou skrývá hluboko pod povrchem země. Uhelná elektrárna je velmi rozsáhlý komplex budov, vysokých komínů a chladících věží, které narušují krajinný ráz a řadu ekosystémů, které se nacházejí v okolí. V porovnání s plynovými a jadernými elektrárnami je zásah do krajiny srovnatelný.

---

[98] MCDONALD, Alan; SCHRATTENHOLZER, Leo. Learning rates for energy technologies. *Energy policy*, 2001, volume 29, number 4: 255-261 [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00122-1. ISSN 03014215.

[99] FLEISHMAN, Lauren A.; DE BRUIN, Wändi Bruine; MORGAN, M. Granger. Informed Public Preferences for Electricity Portfolios with CCS and Other Low-Carbon Technologies. *Risk Analysis*, 2010, volume 30, number 9: 1399-1410. [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1111/j.1539-6924. 2010. 01436. x. ISSN 02724332.

V dnešní době mohutného rozvoje obnovitelných zdrojů energie, jejichž produkce je závislá na přírodních podmínkách, je schopnost pružné reakce elektrárny na aktuální situaci v elektrizační soustavě velmi ceněná vlastnost. Fotovoltaické elektrárny dodávají do sítě elektřinu pouze v době, kdy na solární kolektory svítí slunce, zatímco větrné elektrárny vyrábějí elektřinu právě v moment, kdy vítr otáčí lopatkami rotoru. Vlastností elektrické energie je téměř okamžitý přenos v rámci elektrizační soustavy. Skladovací možnosti vyrobené elektřiny jsou velmi omezené a přetížení sítě či nerovnováha mezi aktuálními dodávkami a odběrem ze sítě mohou snadno vést k výpadku elektrizační soustavy, který se označuje jako blackout.[100] Právě díky zmíněným vlastnostem elektrické energie je schopnost pružné reakce energetického zdroje velmi ceněnou vlastností, jelikož pružně reagující elektrárna je schopna vyrovnávat výkyvy nestálých dodávek elektrické energie z OZE. Nejrychleji reagující a proto také často k těmto účelům využívané jsou hydroelektrárny (často také přečerpávací hydroelektrárny). Uhelné elektrárny jsou v tomto ohledu poměrně pomalé, čas k jejich plnému nastartování se pohybuje v řádu desítek minut až hodin. Nejsou tedy schopny pružně reagovat na rychlé výpadky OZE, ale díky své spolehlivosti fungují jako dobrá záloha v dobách očekávaného poklesu energie z OZE (např. v noci, kdy solární elektrárny neprodukují).[101]

Při spalování většiny paliv zůstávají po skončení spalovacího procesu jisté zbytky paliva, které z nějakého důvodu neshořely nebo kvůli svému anorganickému původu shořet nemohly. V případě uhelných elektráren a elektráren spalujících biomasu se jedná o popel, který má často vysoký obsah síry, ale také sádrovce, který v kotli vznikl po přidání vápence a jeho následnou reakcí s oxidem siřičitým. Takovýto popel není závadný nebo nebezpečný, je možné ho využít ve stavebnictví jako náhradu za jiné přírodní suroviny. Poptávka po takovémto materiálu je výrazně menší než jeho nabídka, proto elektrárny musí vynakládat prostředky za jeho likvidaci. Vyhořelé jaderné palivo nedosahuje objemů jako popel z uhelných elektráren, je ovšem stále radioaktivní, proto je jeho skladování obtížné a

[100] SINE, Wesley D.; DAVID, Robert J.; MITSUHASHI, Hitoshi. From plan to plant: Effects of certification on operational start-up in the emergent independent power sector. *Organization Science*, 2007, volume 18, number 4: 578-594. [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1287/orsc.1070.0300. ISSN 1047-7039.

[101] LUND, Henrik; KEMPTON, Willett. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. *Energy policy*, 2008, volume 36, number 9: 3578-3587 [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.06.007. ISSN 03014215.

společensky nepopulární. Proto se skladuje nejčastěji v areálech jaderných elektráren, kde je ovšem omezený prostor a je tedy nutné hledat další možná úložiště jaderného odpadu.[102]

Posledním zkoumaným kritériem, které jsem ve své studii využil, je spotřeba vody v energetických provozech. Voda se v elektrárenství využívá jako chladící kapalina a jako médium, které přenáší kinetickou energii a roztáčí turbínu. Spotřeba vody ve všech typech tepelných elektráren je srovnatelná, liší se stářím provozu a použitými technologiemi. K výrobě jedné MWh je potřeba 3-5 m^3 vody, což při průměrné denní produkci elektrárny s instalovaným výkonem 2 GW znamená denní spotřebu vody ve výši pohybující se okolo 130 tis. m^3.[103] Elektrárny vodu čerpají z vodních toků čímž způsobují nižší průtoky a negativní dopady na říční ekosystémy. Tato voda nemizí ze zemského povrchu navždy, jen se díky spotřebě, evaporaci či znečištění stane dočasně nedostupnou.

[102] MAIORINO, José Rubens; MOREIRA, João Manoel Losada. Recycling and Transmutation of Spent Fuel as a Sustainable Option for the Nuclear Energy Development. *Journal of Energy and Power Engineering*, 2014, volume 9, number 8: 1505 – 1510. ISSN: 1934-8975.

[103] MACKNICK, J., et al. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 2012, volume 7, number 4: 45 - 82 [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/045802. ISSN 1748-9326.

Závěr

Energetika patří mezi jednu z nejdůležitějších oblastí současné hospodářské politiky celého vyspělého světa. Jakákoliv energie je zcela zásadní pro přetváření vstupů na výstupy a elektrická energie stále zastává jednu z klíčových rolí výrobního procesu ve 21. století. Elektrická energie se stala zcela nezbytnou napříč všemi sektory, od primárního k terciárnímu. Energetická politika patří mezi základní strategie ve všech vyspělých světových ekonomikách. Tato skutečnost činí z energetiky velmi atraktivní téma, které je velmi často skloňováno v předvolebních politických debatách. V posledních dekádách intenzivně sílí environmentalistické ideje, které nabraly na síle mimo jiné zveřejněním studie Limity růstu v roce 1972.[104] Tyto teorie často nabádají k umělému zastavení hospodářského růstu, varují před nárůstem populace a hrozí vyčerpáním přírodních zdrojů. Z těchto myšlenkových základů vychází mnoho silných zájmových skupin, které prostřednictvím veřejného mínění ovlivňují reálnou hospodářskou politiku. Společně s neustálým prohlubováním nástrojů v centrálně dirigisticky řízené ekonomice realizované prostřednictvím současné Evropské unie dochází k omezování ekonomické efektivity založené na principech volného trhu. Oblast energetiky je bohužel vhodným prostředím pro hlásání katastrofických scénářů spojených s využíváním fosilních paliv.

Téma budoucnosti uhelných elektráren považuji v dnešní době za více než aktuální, protože přebujelý byrokratický aparát Evropské unie stále více zahlcuje energetickou politiku mnoha regulacemi a omezeními. Při hlubším studiu problematiky uhelných zdrojů jsem si plně uvědomil fakt, že ve veřejné diskusi zcela absentuje jakákoliv ekonomická racionalita; navíc mainstreamová média, která ovlivňují společenské mínění, informují právě pod vlivem různých „zeleně“ smýšlejících zájmových skupin. Studium energetické problematiky mě utvrdilo v názoru, že pokud jsou státní zásahy a regulace tak četné, jako v případě energetiky, je velmi složité celou problematiku komplexně uvažovat v souvislostech volných tržních interakcí.

Teoretická část práce seznamuje čtenáře s využitím energie z uhlí v kontextu ostatních zdrojů elektrické energie a představuje uhlí jako jedno z nejdůležitějších a nejvyužívanějších

[104] O vlivu práce manželů Meadowsových a především pak tzv. Římského klubu píše např. Loužek v LOUŽEK, Marek. Globální problémy z pohledu environmentální ekonomie. *Politická ekonomie*, 2013, volume 61, number 3: 393-410. ISSN 0032-3233.

paliv při generaci elektrické energie. V teoretické části práce jsou pak především popisovány hlavní faktory pojící se s uhlím, jako přírodním palivem s rozličným energetickým využitím dle jeho složení a technologických způsobů získávání energie z něj.

V první kapitole je podán stručný přehled historie uhelných elektráren v kontextu České republiky. Na příkladu ČR lze dobře sledovat nárůst instalovaného výkonu uhelných elektráren, který v roce 2014 dosahoval 22 GW, což oproti roku 1960 znamená téměř čtyřnásobný nárůst. V ČR uhlí stále představuje dominantní palivo pro výrobu elektřiny a ukazuje se tak význam uhelných elektráren pro současnou hospodářskou politiku.

V další kapitole je rozčleněno uhlí dle kvalitativních vlastností, které jsou při jeho spalování rozhodující. Zásadní rozdíl mezi černým a hnědým uhlím je dán jeho výhřevností. K vytvoření jednotky elektrické energie je zapotřebí výrazně nižší množství uhlí černého než uhlí hnědého. Spalování černého uhlí s sebou nese další pozitivní efekty, jako jsou nižší emise škodlivin do ovzduší.

Kapitola zabývajících technologiemi spojenými se zpracováváním uhlí obsahuje stručný popis procesu přeměny energie vzniklé spalováním uhlí na energii elektrickou. Především pak vyhodnocuje fluidní spalování jako aktuálně nejvyspělejší technologii, která při vysoké účinnosti dokáže nejlépe eliminovat množství vzniklých polutantů. Využití fluidních kotlů je závislé na dostupnosti kvalitního paliva za regionálně efektivní cenu a také na nastavení limitů pro vypouštění škodlivých látek; jednoduše řečeno, pokud jsou přísné emisní limity, elektrárny musí investovat do dražšího fluidního kotle nebo do vysoce nákladných zařízení na snižování vypouštěných škodlivin. K redukci oxidů síry se využívá velmi nákladná mokrá FGD metoda, jejíž náklady se pohybují mezi 400-500 USD/KW instalovaného výkonu. Při odstranění oxidů dusíku se používá metoda SCR její náklady činí 200-350 USD/KW instalovaného výkonu. Ve struktuře kapitálových nákladů elektrárny tak tyto položky reprezentují velmi významnou část.

Pro ekonomiku energetických zdrojů, rentabilitu elektráren a rozhodování o investicích je zásadní velikost spreadu. Jedná se o teoretickou hrubou marži elektrárny z prodeje silové elektřiny. Z tohoto ukazatele vyplývá, že získávání energie z uhelných elektráren je v současné době ekonomicky stále efektivní, na rozdíl od elektráren plynových, do nichž bylo v poslední dekádě v EU investováno.

Z kapitoly zabývající se systémem obchodování s emisními povolenkami jednoznačně vyplývá, že náklady na emisní povolenky tvoří značnou část interních nákladů elektrárny. Jedná se však o uměle vytvořenou daň, kterou považuji za další prvek, který pokřivuje již tak výrazně státem regulované odvětví. Prvotním záměrem bylo sice vytvoření kvazi tržního prostředí, to však nikdy nemůže být uskutečněno, pokud budou firmy nuceny přednostně nakupovat elektřinu z obnovitelných zdrojů energie, která je dražší než tržně obchodovaná energie.

V další kapitole jsou představeny základní teoretické přístupy k řešení negativních externalit vznikajících při výrobě elektrické energie. Kromě pigouvské daně a Coaseho terému vyjednávání při vymezení vlastnických práv je také popsána teorie environmentálních ekonomů volného trhu, kteří kladou důraz na analýzu výnosů a nákladů při odstraňování případných externalit. Teorii považuji za nejlépe vystihující principy ekonomie životního prostředí, avšak v současné přeregulované realitě lze pouze stěží uvažovat její důslednou aplikaci, tak jako v ostatních odvětvích hospodářské politiky.

V analytické části jsou zkoumány interní a externí náklady uhelných elektráren a jsou porovnány s ostatními energetickými zdroji. Uhelné elektrárny mají své významné místo v současném energetickém mixu, jsou výrazně čistší než v předchozích desetiletích, kdy se formovala jejich negativní pověst. Cena energie v nich vyráběné je v porovnání s ostatními elektrárnami konkurenceschopná, např. elektřina z fotovoltaických elektráren je více než dvakrát vyšší, zatímco cena jaderné energie je přibližně o 40 % nižší. Uhelné elektrárny se vyznačují svou spolehlivostí a stabilitou, se kterou dodávají elektřinu do rozvodové sítě. Na druhé straně jsou dopady na životními prostředí, v porovnání s ostatními zdroji elektrické energie, vyšší. Například z hlediska emisí CO_2 produkují uhelné elektrárny společně s elektrárnami spalujícími biomasu nejvyšší množství této látky, konkrétně se u uhelné elektrárny jedná o téměř 1 tunu CO_2 na vyrobenou megawatthodinu, což je stejně jako u biomasy. Ale v kontrastu s fotovoltaickými, vodními a větrnými elektrárnami, které neprodukují žádné emise oxidu uhličitého. Nicméně musíme brát v potaz, že při výrobě zařízení OZE také dochází ke značné produkci CO_2 a dalších škodlivých emisí. Uhelné elektrárny také zásadně narušují krajinný ráz, zaujímají velkou zastavěnou plochu, což ovšem lze porovnávat složitě, neboť tyto charakteristiky jsou vlastní také ostatním elektrárnám. Výhodou uhelných elektráren, stejně jako všech elektráren, je vyrovnaný průběh dodávání elektřiny do rozvodové sítě. V kontrastu stojí obnovitelné zdroje energie (s výjimkou

biomasy), jejíž výroba je nestálá a závislá na aktuálních přírodních podmínkách. Hydroelektrárny a jejich výroba elektřiny jsou závislé na dostatečném průtoku vody, v případě sucha jsou jejich výrobní možnosti značně omezené. Zatímco fotovoltaické elektrárny v zimních měsících v důsledku nižšího množství slunečního záření produkují menší množství elektřiny. Také větrné elektrárny jsou zcela závislé na aktuálních povětrnostních podmínkách a jejich produkce způsobuje nestabilitu rozvodové sítě.

Elektřina z uhelných elektráren je jednoznačně konkurenceschopná, avšak současné legislativní podmínky tyto zdroje energie významně znevýhodňují. Jedná se především o globální snahu omezení škodlivých emisí, která právě silně postihuje uhelné elektrárny. Současná hospodářská politika drtivé většiny vyspělých zemí světa se vyznačuje proklamovaným bojem proti využíváním fosilních paliv, mezi které řadíme právě uhlí. Při současném ekonomicky neopodstatněném zavírání jaderných provozů (viz Německo) je o to důležitější ekonomicky obhajovat zachování existence uhelných elektráren.[105]

Cílem práce byla analýza významu uhelných elektráren na současném trhu elektrické energie s důrazem na aspekty, které zásadně ovlivňují produkci a fungování uhelných elektráren. Z provedené analýzy vyplynulo, že současné legislativní podmínky tento typ elektrické energie znevýhodňují v porovnání s ostatními energetickými zdroji, především obnovitelnými zdroji energie. Jedná se především o Směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2001/81/ES, která byla v roce 2013 revidována v rámci The Clean Air Policy Package, kde byly přesně stanoveny národní limity pro znečišťující látky (NOx, SOx, TZL). V důsledku tohoto nařízení musejí provozovatelé uhelných elektráren vynakládat značné prostředky na investice do zařízení zamezujících vznik polutantů. Diskriminační je také pro uhelné elektrárny Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, která nařizuje přednostní nakupování elektřiny z OZE. Tato směrnice jednoznačně deformuje evropský trh s elektřinou, což vede ke zvyšování ceny el. energie, na čemž tratí koncoví spotřebitelé. Ze závěrečné

[105] Zatímco v Německu jsou zavřené jaderné elektrárny nahrazeny OZE a novými uhelnými elektrárnami (tak významné množství, které bylo a je vyráběno v německých jaderných elektrárnách není technologicky možné nahradit elektřinou z OZE), v České republice se počítá s výrobou elektřiny z uhlí ve snižujícím se rozsahu. Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky počítá s poklesem výroby z uhelných zdrojů na 9 – 14 TWh ročně ze současných 46 TWh. Takto výrazný pokles má být kompenzován větší výrobou elektřiny v jaderných elektrárnách a OZE. (Ministerstvo průmyslu a obchodu. Aktualizace státní energetické koncepce České republiky [online]. 2015, *mpo.cz*. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: http://api.cenyenergie.cz/Files/Obrazky/dokumenty/St%C3%A1tn%C3%AD%20energetick%C3%A1%20koncepce%20(prosinec%202014).pdf).

analýzy jednotlivých zdrojů el. energie vyplynulo, že i při současných restriktivních opatřeních zaměřených proti užívání fosilních paliv, je energie vyráběná z uhelných zdrojů stále konkurenceschopná, a i přes některé nevýhody má řadu pozitivních vlastností. Mezi nevýhody patří bezpochyby vysoká míra znečištění životního prostředí a vysoká náročnost na spotřebu vodních zdrojů. Za pozitivní lze označit především stálost, se kterou uhelné elektrárny dodávají elektřinu do rozvodové sítě a tím částečně kompenzovat vysoce volatilní dodávky el. energie z OZE. Cenu elektřiny z uhelných elektráren lze ve srovnání s ostatními zdroji energie za relativně nízkou. Náklady na vyrobenou megawatthodinu v průměrné výši 82,1 EUR se pohybují lehce pod průměrem celkových průměrných nákladů napříč uvažovanými zdroji. I přes absenci některých dat spojených s výrobou el. energie, které samotní výrobci nezveřejňují jako součást svého obchodního tajemství lze konstatovat, že se podařilo potvrdit hypotézu, že z hlediska praktické hospodářské politiky není ekonomicky opodstatněná snaha o snižování podílu uhelných elektráren na množství produkované elektrické energie. Uhelné elektrárny považuje autor za velmi významný zdroj el. energie a není příliš obezřetné se jej zbavovat. Tvůrci hospodářské politiky by neměly podléhat tlaku zájmových skupin a měly by vytvářet vhodné a stabilní prostředí pro energetickou politiku, která stojí na ekonomicky racionálních základech.[106]

Pro další rozšíření tématu by bylo vhodné porovnávat jednotlivé národní energetické koncepce u vybraných států EU, které se značně odlišují i přes společný legislativní rámec nastavený ze strany EU. Hlubší analýzu by také vyžadovalo stanovení veškerých nákladů spojených s výrobou technologií nutných k rozvoji OZE.

[106] K podobnému závěru dochází i Tomšík: „Úkolem státu není a nemůže být říkat, jakých výsledků a struktury má energetický sektor dosáhnout. Role státu spočívá v tom, že je garantem jasných a pokud možno i stálých pravidel hry, které umožňují fungování klasického maximalizačního úsilí i v této oblasti.“ TOMŠÍK, Vladimír. *Ekonomie a zdravý rozum*. Praha: Fragment, 2011. ISBN 978-80-253-1393-0.

Seznam použitých zkratek

CCA - California Carbon Allowance

CFBC – circulating fludized bed combustion

DZ - druhotné energetické zdroje

ETS – Emission Trading System

FBC – fluidized bed combustion

FGD - flue gas desulfurization

KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla

LCOE – levelized costs of elektricity

NOx – oxidy dusíku

OZE – obnovitelné zdroje energie

O&M – operations and maintenance

PCC – pulverized coal combustion

SCR – selective catalytic reduction

SNCR – selective non-catalytic reduction

SOx – oxidy síry

TZL – tuhé znečišťující látky

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek č. 1: Podíl jednotlivých energetických zdrojů v celosvětovém měřítku

Obrázek č. 2: Rovnováha na trhu s elektřinou

Obrázek č. 3: Cena el. energie vyprodukované ve větrných, plynových a uhelných lektrárnách vs. náklady

Obrázek č. 4: Prognóza vývoje ceny emisních povolenek

Obrázek č. 5: Nákladové schéma uhelné elektrárny

Obrázek č. 6: Snižování koncentrací TZL v ovzduší

Obrázek č. 7: Snižování koncentrací SOx v ovzduší

Tabulka č. 1: Vlastnosti jednotlivých typů uhlí

Tabulka č. 2: Srovnání PCC a CFBC technologie

Tabulka č. 3: Dopad oteplení ovzduší v důsledku skleníkového efektu na HDP v jednotlivých světových regionech

Tabulka č. 4: Parametry moderních uhelných elektráren

Tabulka č. 5: Specifika elektrárny Moorburg

Tabulka č. 6: Emisní limity pro období 2010 až 2020 pro země, které strop ratifikovaly

Tabulka č. 7: Společenské mínění o elektrárnách situovaných v blízkosti lidských obydlí

Tabulka č. 8: Srovnání klíčových parametrů zdrojů elektrické energie na základě využitého paliva

Zdroje

ACAA. An American Recycling Success Story: Beneficial Use Of Coal Combustion Products [online]. Farmington Hills, USA 2014, *American Coal Ash Association*. Dostupné z: https://www.acaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/Production-and-Use-Brochure.pdf.

ANDREOVSKÝ, Jan. *Spalování paliv - Kotle* [online]. 2013. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminare/ovzdusi/seminar2/12_dil_7_tisk_andreovsky.pdf.

ANDOR, Mark A.; FRONDEL, Manuel; SOMMER, Stephan. Reforming the EU Emissions Trading System: An Alternative to the Market Stability Reserve. *Intereconomics*, 2016, volume 51, nzmber 2: 87-93. Dostupné z: https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/34128/1/DP_1915_SFB823_Andor_Frondel_Sommer.pdf.

ANGER, Niels, et al. Public interest versus interest groups: a political economy analysis of allowance allocation under the EU emissions trading scheme. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* [online]. 2016, volume 16, number 5: 621-638 [cit. 2016-11-03]. DOI: 10.1007/s10784-015-9285-6. ISSN 1567-9764. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Emmanuel_Asane-Otoo/publication/275248351_Public_interest_versus_interest_groups_a_political_economy_analysis_of_allowance_allocation_under_the_EU_emissions_trading_scheme/links/5536151f0cf20ea35f10fe80.pdf.

ANSOLABEHERE, Stephen; KONISKY, David M. Public Attitudes Toward Construction of New Power Plants. *Public Opinion Quarterly* [online]. 2009, volume 73, number 3: 566-577 [cit. 2016-12-13]. DOI: 10.1093/poq/nfp041. ISSN 0033-362x. Dostupné z: http://poq.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/poq/nfp041.

APPUNN, Kerstine. Germany's energy consumption and power mix in charts. In: *Clean Energy Wire*[online]. Berlin, 2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts.

APSIMON, H.. *Acid rain in Europe: counting the cost*. London: Earthscan, 1997. ISBN 1853834432.

AZAR, Christian, et al. Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass–Costs and potential role in stabilizing the atmosphere. *Climatic Change* [online]. 2006, volume 74, number 1: 47-79 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1007/s10584-005-3484-7. ISSN 0165-0009. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s10584-005-3484-7.

BEIS. Electricity generation costs [online]. *London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy*, 2016 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566567/BEIS_Electricity_Generation_Cost_Report.pdf.

BMWI. *Act on the Development of Renewable Energy Sources: (Renewable Energy Sources Act - RES Act 2014).* In: Berlín: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), 2016. Dostupné z: http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/renewable-energy-sources-act-eeg-2014,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf.

BP. Statistical Review of World Energy, June 2015 [online]. 2015 *bp.com*. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf.

BRANKER, K., M.J.M. PATHAK a J.M. PEARCE. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2011, volue 15, number 9: 4470-4482 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.104. ISSN 13640321. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032111003492.

BURKET, Daneš: *Zelená revoluce se mění na uhelnou.* Centrum pro ekonomiku a politiku, 2014. Dostupné z: http://cepin.cz/cze/clanek.php?ID=1208.

BURTRAW, Dallas, et al. A Proximate Mirror: Greenhouse Gas Rules and Strategic Behavior Under the US Clean Air Act. *Environmental and Resource Economics*[online]. 2015, volume 62, number 2: 217-241 [cit. 2016-11-07]. DOI: 10.1007/s10640-015-9963-4. ISSN 0924-6460. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s10640-015-9963-4.

California carbon. Trading & Auctions [online]. 2016 *californiacarbon.info* [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: http://californiacarbon.info/#trading_auction.

CICHANOWICZ, J. Edward. Current capital cost and cost-effectiveness of power plant emissions control technologies. *Prepared for UARG*, [online] 2010 [cit. 2016-07-01]. Dostupné z: http://appanet.cms-plus.com/files/Jan%202010%20Comments%20on%20Cost%20and%20Cost%20Effectiveness%20of%20Emissions%20Control%20Tech%20-%20UARGSCR_FGDFinal.pdf.

COASE, Ronald. The problem of social cost. *The Problem of Social Cost R. H. Coase The Journal of Law & Economics* [online]. The University of Chicago Press for The Booth School of Business, University of Chicago and The University of Chicago Law School, 1960, volume 44, number 3: 87 - 137 [cit. 2016-11-13]. DOI: 10.1002/sres.3850090105. ISSN 0022-2186. Dostupné z: http://www.jstor.org/stable/724810.

ČEZ. Historie českého elektrárenství: Historie českého elektrárenství a vznik ČEZ [online]. 2016 *cez.cz*. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-zajemce-o-informace/historie-a-soucasnost/historie-ceskeho-elektrarenstvi.html.

ČEZ. Historie společnosti ČEZ [online]. 2016 *cez.cz*. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/o-spolecnosti/cez/profil-spolecnosti/historie-spolecnosti.html.

ČEZ. Uhelné elektrárny skupiny ČEZ [online]. 2016 *cez.cz* [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost/content/pdf/cez_group_and_coal_power_plants.pdf.

ČTK, adk. Zbylé černouhelné doly ve střední Evropě žádají vlády o pomoc. Všechny prodělávají a v sázce jsou tisíce pracovních míst [online]. 2016 Economia - *Hospodářské noviny* [cit. 2016-12-19]. ISSN 1213-7693. Dostupné z: http://byznys.ihned.cz/c1-65251950-zbyle-cernouhelne-doly-ve-stredni-evrope-zadaji-vlady-o-pomoc-vsechny-prodelavaji-a-sazce-jsou-tisice-pracovnich-mist.

DE GOUW, J. A., et al. Reduced emissions of CO_2, NOx, and SO_2 from U.S. power plants owing to switch from coal to natural gas with combined cycle technology. *Earth's Future* [online]. 2014, volume 2, number 2: 75-82 [cit. 2016-12-06]. DOI: 10.1002/2013EF000196. ISSN 23284277. Dostupné z: http://doi.wiley.com/10.1002/2013EF000196.

DEMIREL, Yaşar. *Energy: production, conversion, storage, conservation, and coupling*. New York: Springer, c2012. Green energy and technology. ISBN 9781447123729, *The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal* [online]. 44 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: https://www.worldcoal.org/sites/default/files/coal_resource_overview_of_coal_report(03_06_2009).pdf).

EEX. European Emission Allowances [online]. *EEX: European Energy Exchange*, 2016 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: http://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/spot-market/european-emission-allowances#!/2016/11/04.

EEX European Energy Exchange: Phelix Power Futures [online]. [vid. 2014-11-6], dostupné z: http://www.eex.com/en/market-data/power/derivatives-market/phelix-futures#!/2014/11/06.

Energetický regulační úřad. Roční zpráva o provozu ES ČR [online]. 2015 *eru.cz.* [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2014.pdf/933fc41a-ad79-4282-8d0f-01eb25a63812.

Energostat. Enegetika v ČR a EU: informace, data, komentáře, zákony [online]. 2014 *energostat.cz* [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://energostat.cz/elektrina.html.

Energy Information Administration. How much coal, natural gas, or petroleum is used to generate a kilowatthour of electricity [online]. 2015 *eia.gov*. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=667&t=6.

Energy Information Administration. International energy statistics [online]. 2012 *eia.gov*. [cit. 2016-04-11] International Energy Statistics. Dostupné z: https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=7.

Energy information administration. Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants [online]. 2013 *eia.gov.* [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: http://www.eia.gov/outlooks/capitalcost/pdf/updated_capcost.pdf.

Energy Information Administration. What is the efficiency of different types of power plants? [online]. 2015 *eia.gov*. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=107&t=3.

European Commission. 2020 climate & energy package: Emissions trading system (ETS) [online]. *BRUSSELS: European Commission*, 2016 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm.

European Commission. Aviation included in EU ETS, [online]. *BRUSSELS: European Commission*, 2016 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/index_en.htm.

European comission. Attachment to the Proposal for a council decision for the acceptance of the Amendment to the 1999 Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone [online]. Brussels, 2014 *European Commission* [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/com2013_917/COM_2013_917_F1_ANNEX_EN.pdf

European Commission. Structural reform of the EU ETS, 'Back-loading' amendment to Auctioning Regulation. [online]. *BRUSSELS: European Commission*, 2016 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform/documentation_en.htm.

EUROSTAT: Electricity price statistics [online] . 2016 *ec.europa.eu.* Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics, ceny komodit.

Evropský parlament. Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/81/ES ze dne 23. října 2001 o národních emisních stropech pro některé látky znečisťující ovzduší [online]. Evropský parlament, Rada Evropské unie, *EUR-Lex - Access to European Union law* 2001 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32001L0081.

Evropský parlament – zpravodajství. Kvalita ovzduší: Poslanci schválili nové limity na látky znečišťující ovzduší. *Evropský parlament* [online]. *Evropský parlament*, 2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://www.europarl.europa.eu/news/cs/news-room/20161117IPR51548/kvalita-ovzdu%C5%A1%C3%AD-poslanci-schv%C3%A1lili-nov%C3%A9-limity-na-l%C3%A1tky-zne%C4%8Di%C5%A1%C5%A5uj%C3%ADc%C3%AD-ovzdu%C5%A1%C3%AD

FISHER, Juliya. Energy Density of Coal. [online]. 2003 *The Physics Factbook* [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://hypertextbook.com/facts/2003/JuliyaFisher.shtml.

FLEISHMAN, Lauren A.; DE BRUIN, Wändi Bruine; MORGAN, M. Granger. Informed Public Preferences for Electricity Portfolios with CCS and Other Low-Carbon Technologies. *Risk Analysis*, 2010, volume 30, number 9: 1399-1410. [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01436.x. ISSN 02724332. Dostupné z: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1539-6924.2010.01436.x.

FUJIWARA, Noriko, et al. How do stakeholders view the EU ETS? Diversity and differentiation of interests. POLIMP Working Document, Brussels 2, 2015. Dostupné z: https://www.ceps.eu/system/files/POLIMP%20WD%20No%202%20Stakeholder%20Views%20on%20ETS%20Reform.pdf.

GORE, Albert. *An inconvenient truth: the planetary emergency of global warming and what we can do about it*. Emmaus, Pa.: Rodale Press, c2006. ISBN 1594865671.

HIRSCHHAUSEN, Christian. The German 'Energiewende'--An Introduction [online], *Economics of Energy and Environmental Policy*, 2014, volume 3, number 2: 1-12. Dostupné z: http://www.iaee.org/en/publications/eeepjournal.aspx.

HOHMEYER, Olav; GAERTNER, Michael. The Costs of Climate Change: A Rough Estimate of Orders of Magnitude. Report to the Commission of the European Communities, Directorate General XII. Fraunhofer-Inst. for Systems and Innovation Research, 1992.

HOHMEYER, Olav. Social costs of climate change strong sustainability and social costs. In: *Social Costs and Sustainability*. Springer Berlin Heidelberg, 1997. p. 61-83. ISBN 9783642603655.

HOLÍK, Martin. Fotovoltaický boom v České republice, aneb krátké zamyšlení nad možnostmi podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. In: *Cofola 2010: the conference proceedings*. 1st ed. Brno: Masaryk University, 2010. Spisy Právnické fakulty Masarykovy univerzity v Brně, sv. 374. ISBN 978-80-210-5151-5

HOOZEMANS, F. M. J.; MARCHAND, M.; PENNEKAMP, H. A. A global vulnerability analysis: vulnerability assessment for population, coastal wetlands and rice production on a global scale. 1993 (2nd, Revised Edition).

HRUBÝ, Z., KRŠKA, Š. (2012). *Ekonomické dopady podpory výroby energie z fotovoltaických článků v České republice*. IES Working Paper 31/2012. IES FSV. Charles University.

HU, Jing, Wina CRIJNS-GRAUS, Long LAM a Alyssa GILBERT. Ex-ante evaluation of EU ETS during 2013–2030: EU-internal abatement. *Energy Policy* [online]. 2015, volume 77, 152-163 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.11.023. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421514006314.

ISMER, Roland, et al. Inclusion of Consumption into Emissions Trading Systems: Legal Design and Practical Administration. 2016, No. 1579. Dostupné z: https://www.econstor.eu/handle/10419/142025.

KAPLAN. *CRS Report for Congress: Power Plants: Characteristics and Costs* [online]. 2008, s. 108 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: https://fas.org/sgp/crs/misc/RL34746.pdf.

KEPPLER, J., MANSANET H., BATALLER, M. Causalities between CO_2, Electricity,and other Energy Variables during Phase I and Phase II of the EU ETS. *Energy Policy*, 2010, volume 38, iss. 7: 3329 – 3341. Dostupné z: http://www.cdcclimat.com/IMG/pdf/2_Working_Paper_EN_Causality_CO2_Energy.pdf.

Key world energy statistics 2016. *International Energy Agency (IEA)* [online]. Paris: Head of Communication and Information Office, 2016 [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf.

KIEHL, J.T. a Kevin E. TRENBERTH. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc* [online]. Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research, 1997, volume 78, number 12: 197 – 208. [cit. 2016-11-27]. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2. Dostupné z: http://climateknowledge.org/figures/Rood_Climate_Change_AOSS480_Documents/Kiehl_Trenberth_Radiative_Balance_BAMS_1997.pdf.

KLAUS, Václav. Modrá, nikoli zelená planeta: co je ohroženo: klima, nebo svoboda?. Praha: Dokořán, 2007. ISBN 978-80-7363-152-9.

KNIGHT, Frank. Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost. *The Quarterly Journal of Economics* [online], 1924, volume 38, number 4: 582 - 606 [cit. 2016-11-13]. DOI: 10.2307/1884592. ISSN 1531-4650. Dostupné z: http://www.jstor.org/stable/1884592.

KOST, Christoph, et al. Levelized cost of electricity renewable energy technologies [online]. In: KOST, Christoph. *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, 2013, s. 50 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/study-levelized-cost-of-electricity-renewable-energies.pdf.

KRUGMAN, Paul. Building a Green Economy. *The New York Times* [online], 2010, number 5: 2 - 16 [cit. 2016-11-12]. ISSN 1645522. Dostupné z: http://www.ohipl.org/sites/default/files/KrugmanNYT.pdf.

KUBÍN, Miroslav. *Elektroenergetika v Českých zemích: retrospektiva a vývoj na prahu 21. století* [online]. Praha, Panorama, 2000 [cit. 2016-12-18].

LEHMANN, Paul, et al. Capacity payments to secure electricity supply? On the future of Germany's power market design. *Energy, Sustainability and Society*, 2015, volume 5, number 1: 1-7 - [cit. 2016-10-31]. DOI: 10.1186/s13705-015-0039-7. ISSN 2192-0567. Dostupné z: http://www.energsustainsoc.com/content/5/1/15.

LI, Zhen-shan, Fan FANG a Ning-sheng CAI. CO2 Capture from Flue Gases Using Three Ca-Based Sorbents in a Fluidized Bed Reactor. *Journal of Environmental Engineering*. Beijing, 2009, Issue 6(Vol. 135), 9. ISSN 0733-9372.

LI, Y., et al. Structure and performance of a 600MWe supercritical CFB boiler with water cooled panels. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion*. Springer Berlin: 132 – 136, [online] 2009 [cit. 2016-07-01].

LIU, Dunnan, Xinming LIU, Liaoyi NING, Haichao WANG, Yu HU a Yujie XU. Research Electricity Production Costs and External Compensation Mechanism. *Journal of Power and Energy Engineering* [online]. 2014, volume 2, number 4: 94-102 [cit. 2016-11-26]. DOI:

10.4236/jpee.2014.24015. ISSN 2327-588x. Dostupné z: http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/jpee.2014.24015.

LOCKWOOD, Toby. *Techno-economic analysis of PC versus CFB combustion technology*. London, 2013: IEA Clean Coal Centre. ISBN 978-92-9029-546-4.

LOUŽEK, Marek. Globální problémy z pohledu environmentální ekonomie. *Politická ekonomie*, 2013, volume 61, number 3: 393-410. ISSN 0032-3233.

LUND, Henrik; KEMPTON, Willett. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. *Energy policy*, 2008, volume 36, number 9: 3578-3587 [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.06.007. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421508002838.

MACKNICK, J., et al. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 2012, volume 7, number 4: 045802- [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/045802. ISSN 1748-9326. Dostupné z: http://stacks.iop.org/1748-9326/7/i=4/a=045802?key=crossref.6f4ebd5836ab24141e19d95fd1e65709.

MAHLMAN, J. D. Uncertainties in Projections of Human-Caused Climate Warming. *Science* [online]. 278(5342), 1416-1417 [cit. 2016-11-27]. DOI: 10.1126/science.278.5342.1416. ISSN 00368075. Dostupné z: http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.278.5342.1416.

MAIORINO, José Rubens; MOREIRA, João Manoel Losada. Recycling and Transmutation of Spent Fuel as a Sustainable Option for the Nuclear Energy Development. *Journal of Energy and Power Engineering*, 2014, volume 9, number 8: 1505 – 1510. ISSN: 1934-8975.

MANKIW, Gregor. Al Gore in the Pigou Club. In: *GREG MANKIW'S BLOG: Random Observations for Students of Economics* [online]. 2006 [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: http://gregmankiw.blogspot.cz/2006/06/al-gore-in-pigou-club.html.

MANKIW, Gregory. One Answer to Global Warming: A New Tax. *The New York Times* [online]. New York, 2007, [cit. 2016-11-12]. ISSN 1645522. Dostupné z: http://www.nytimes.com/2007/09/16/business/16view.html.

MAROO, Jay. A renewed view on German power. *Energy Risk*, 2012, volume 9, number. 7: 15 – 18. ISSN 17424305. Dostupné z: http://search.proquest.com.zdroje.vse.cz/docview/1017914641?accountid=17203.

MCDONALD, Alan; SCHRATTENHOLZER, Leo. Learning rates for energy technologies. *Energy policy,* 2001, volume 29, number 4: 255-261 [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00122-1. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421500001221.

MIKOLÁŠ, Milan, et al. The new national energy concept 2015-The future of brown coal in the Czech Republic. *Acta Montanistica Slovaca,* 2015, vol. 20, number. 4: 298-310. Dostupné z: http://actamont.tuke.sk/pdf/2015/n4/6mikolas.pdf.

MENDELSOHN, Robert. The social cost of carbon: An unfolding value. In: *Paper for DEFRA Social Cost of Carbon Seminar, London*. 2003

MENDELSOHN, Robert, Wendy MORRISON, Michael E. SCHLESINGER a Natalia G. ANDRONOVA. *Climatic Change* [online]. Volume 45, number 4: 553-569 [cit. 2016-11-27]. DOI: 10.1023/A:1005598717174. ISSN 01650009. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1023/A:1005598717174.

Ministerstvo průmyslu a obchodu. Aktualizace státní energetické koncepce České republiky [online]. 2015, *mpo.cz.* [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: http://api.cenyenergie.cz/Files/Obrazky/dokumenty/St%C3%A1tn%C3%AD%20energetick%C3%A1%20koncepce%20(prosinec%202014).pdf.

NEWELL, Richard G.; PIZER, William A. Discounting the distant future: how much do uncertain rates increase valuations?. *Journal of Environmental Economics and Management,* 2003, volume 46, number 1: 52-71. ISSN: 0095-0696.

NGUYEN H, MORRISON A L, NELSON P F. Analysis of pollution control costs in coal based electricity generation, 2008 *Technology assessment report 68*. Pullenvale, QCAT Technology Transfer Centre, 116.

NOVÝ, T. Hnědé uhlí z ČSA je nenahraditelné, říká ředitelka Výzkumného ústavu [online]. *ParlamentníListy.cz* 2015, [cit. 2016-03-19], dostupné z:

http://www.parlamentnilisty.cz/arena/rozhovory/Hnede-uhli-z-CSA-je-nenahraditelne-rika-reditelka-Vyzkumneho-ustavu-379208.

NORDHAUS, William D. a Joseph BOYER. *Warming the world: economic models of global warming*. Cambridge, MA: MIT Press, c2000. ISBN: 0-262-14071-3

OECD. *Projected costs of generating elektricity* [online]. 2015, OECD, Nuclear Energy Agency, International energy agency. [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057- proj-costs-electricity-2015.pdf.

OTČENÁŠEK, Petr. *Elektroenergetika v 21. století: globální světové energetické hospodářství a jeho vliv na Českou republiku*. Praha: ČEZ, 2006. ISBN 80-239-9839-0.

OUYANG, Xiaoling a Boqiang LIN. Levelized cost of electricity (LCOE) of renewable energies and required subsidies in China. *Energy Policy* 2014, volume 70: 64 – 73. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.03.030. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421514001773.

PEARCE, D.W. The social costs of climate change: greenhouse damage and the benefits of control. In: O'RIORDAN, Timothy. Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* [online]. 1995 volume 39, number 9: 34-39 [cit. 2016-11-29]. DOI: 10.1080/00139159709604768. ISSN 0013-9157. Dostupné z: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00139159709604768.

PERCHANOK, Kirill. Trading power to spark profits. [online] *Futures - Alpha Pages*, 2012 volume 2, number 3. [cit. 2016-07-01]. ISSN 07462468. Dostupné z: http://search.proquest.com.zdroje.vse.cz/docview/921025697?accountid=17203.

RICHSTEIN, Jörn C., Émile J.L. CHAPPIN a Laurens J. DE VRIES. The market instability reserve for EU carbon emission trading: Why it might fail and how to improve it. *Utilities Policy* [online]. 2015, volume 43, 1-18 [cit. 2016-12-14]. DOI: 10.1016/j.jup.2015.05.002. ISSN 09571787. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957178715300059.

RUBIN, Edward S., Chao CHEN a Anand B. RAO. Cost and performance of fossil fuel power plants with CO2 capture and storage. *Energy Policy* [online]. 2007, volume 35, number

9: 4444-4454 [cit. 2016-12-16]. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.03.009. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421507000948.

RYABOV, G. A. Economical Comporison PC and CFB Boilers for Retrofit and New Power Plants in Russia. *Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, s. 282 [cit. 2016-08-01]. DOI: 10.1007/978-3-642-02682-9_40. ISBN 978-3-642-02681-2. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-02682-9_40.

SEKAR, Ram C., John E. PARSONS, Howard J. HERZOG a Henry D. JACOBY. Future carbon regulations and current investments in alternative coal-fired power plant technologies. *Energy Policy* [online]. 2007, volume 35, number 2: 1064-1074 [cit. 2016-12-16]. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.01.020. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421506000759.

SINE, Wesley D.; DAVID, Robert J.; MITSUHASHI, Hitoshi. From plan to plant: Effects of certification on operational start-up in the emergent independent power sector. *Organization Science*, 2007, volume 18, number 4: 578-594. [cit. 2016-12-15]. DOI: 10.1287/orsc.1070.0300. ISSN 1047-7039. Dostupné z: http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/orsc.1070.0300.

SMITH, J.B., Schellnhuber, H.-J., Mirza, M.Q., et al., 2001. Vulnerability to climate change and reasons for concern:a synthesis. In: McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (Eds.), Climate change 2001. *International Journal of Climatology* [online]. 2002, volume 22, number 10: 913 – 967. [cit. 2016-11-26]. DOI: 10.1002/joc.775. ISSN 08998418. Dostupné z: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/pdf/wg2tarchap19.pdf.

SONTAKKE, Mayur. Solar power plants less costly to build, operate. In: *Overview of the renewable energy industry* [online]. 2015 *marketrealist.com* [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: http://marketrealist.com/2015/02/overview-renewable-energy-industry/.

STAUDT, James E. Control technologies to reduce conventional and hazardous air pollutants from coal-fired power plants. Report prepared for Northeast States for Coordinated Air Use Management. http://www. nescaum. org/documents/coal-control-technology-nescaum-report-20110330. pdf, [online] 2011 [cit. 2016-07-01].

STIGLITZ, Joseph E. 1987. “Pareto Efficient and Optimal Taxation and the New New Welfare Economics.” In Alan J. Auerbach, and Martin Feldstein (eds.), *Handbook of Public Economics*, Volume 2: 991 – 1042. Amsterdam: Elsevier/North-Holland.

Svět energie, skupina ČEZ. Elektrárna Ledvice [online]. 2016 *svetenergie.cz*. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: http://www.svetenergie.cz/cz/elektrarny/uhelne-elektrarny/uhelne-elektrarny-cez/elektrarna-ledvice.

SYED, Arif. The Australian Energy Technology Assessment (AETA) 2013: Update [online]. 2013 *Bureau of Resources and Energy Economics (BREE*). s. 72 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: https://www.industry.gov.au/Office-of-the-Chief-Economist/Publications/Documents/aeta/AETA-Update-Dec-13.pdf.

TARJANNE, Risto, et al. Comparison of electricity generation costs [online]. *Research report/Faculty of Technology. Department of Energy and Environmental Technology*, 2008. [cit. 2016-12-13]. DOI: 978-952-214-588-8. Dostupné z: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/39685/isbn9789522145888.pdf.

TASCHINI, Luca, URECH, Simon. The real option to fuel switch in the presence of expected windfall profits under the EU Emission Trading Scheme. *The Journal of Energy Markets*. 2010, volume 3, number 2: 27 – 49. Dostupné z: http://search.proquest.com.zdroje.vse.cz/docview/763259624?accountid=17203.

TEIR, Sebastian. *Modern Boiler Types and Applications* [online]. 2002 Helsinki University of Technology [cit. 2016-06-29]. Dostupné z: http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/ManualCopy/Steam_Boiler_Technology/Modern_boiler_applications/modern_boiler_types_and_applications.pdf.

TODOROVA, Mariana. Air pollution with sulfur oxides from industry in South-western and South-eastern regions of Bulgaria. *Association Scientific and Applied Research*, 2013, volume 1: 105 – 117, ISBN 1314-6289.

TOL, Richard S. J. The Marginal Costs of Greenhouse Gas Emissions. *The Energy Journal* [online]. International Association for Energy Economics, 1999, volume 20, number 1: 21 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://www.jstor.org/stable/41322819.

TOL, Richard S.J. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy* [online]. 2005, volue 33, number 16**:** 2064-2074 [cit. 2016-11-26]. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.04.002. ISSN 03014215. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421504001028.

TOMŠÍK, Vladimír. *Ekonomie a zdravý rozum*. Praha: Fragment, 2011. ISBN 978-80-253-1393-0.

TORTORA, Marco. *Sustainable systems and energy management at the regional level: comparative approaches*. Hershey, PA: Information Science Reference, 2012. ISBN 9781613503461.

Trading & Auctions. *Californi Carbon.info* [online]. 2016 [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: http://californiacarbon.info/#trading_auction.

The Shift Project Data Portal. Countries with highest installed power capacity [online]. 2014 *tsp-data-portal.org*. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://www.tsp-data-portal.org/TOP-20-Capacity#tspQvChart

TURNOCK, S. T., et al. Modelled and observed changes in aerosols and surface solar radiation over Europe between 1960 and 2009. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, volume 15, number 16: 9477-9500 [cit. 2016-12-12]. DOI: 10.5194/acp-15-9477-2015. ISSN 1680-7324. Dostupné z: http://www.atmos-chem-phys.net/15/9477/2015/.

TURNOCK, S. T., et al. The impact of European legislative and technology measures to reduce air pollutants on air quality, human health and climate. *Environmental Research Letters*, 2016, volume 11, number 2: 024010- [cit. 2016-12-11]. DOI: 10.1088/1748-9326/11/2/024010. ISSN 1748-9326. Dostupné z: http://stacks.iop.org/1748-9326/11/i=2/a=024010?key=crossref.79dfb38064ff7788cd263494d6151e27.

United Nations. *Energy efficiency guide for industry in Asia*. Nairobi, United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry, and Economics, 2006. ISBN 9280726471.DOI: 10.1088/1748-9326/11/2/024010. ISSN 1748-9326. Dostupné z: http://stacks.iop.org/1748-9326/11/i=2/a=024010?key=crossref.79dfb38064ff7788cd263494d6151e27.

U.S. Energy Information Administration [online]. 2015 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=667&t=6).

UTT, J, GIGLIO, R. Technology comparison of CFB versus pulverized fuel firing for utility power generation. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2012, volume 112, number 6: 449-454. ISSN 2411-9717.

Vattenfall. Moorburg – one of the most modern and efficient power plants in the world [online]. 2016 *Vattenfall's power plants*. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: http://powerplants.vattenfall.com/moorburg.

VONDRUŠKOVÁ, Barbora (ČEZ). *Capacity mechanisms in Czech Republic* [online] 2014.

WHITE, Joseph D., et al. Assessing simulated ecosystem processes for climate variability research at Glacier National Park, USA. *Ecological Applications*, 1998, volume 8, number 3: 805-823.

WILLIAMSON, Oliver E.; WINTER, Sidney G. *The nature of the firm: origins, evolution, and development*. Oxford University Press, USA, 1993.

WITTNEBEN, Bettina BF. The impact of the Fukushima nuclear accident on European energy policy. *Environmental Science & Policy*, 2012, volume 15, number 1: 1-3 ISSN: 1462-9011.

WOERDMAN, E. (2015), 'The EU Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme' (Chapter 3), in: Woerdman, E., M.M. Roggenkamp and M. Holwerda (eds.), Essential EU Climate Law, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015. ISBN 9781783470570.

World Coal Association. The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal [online] 2016 *worldcoal.org* [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: https://www.worldcoal.org/sites/default/files/coal_resource_overview_of_coal_report(03_06_2009).pdf.

World Coal Institute. The Coal Resorce: A Comprehensive Overview of Coal [online]. 2009 *worldcoal.org*. [cit. 2016-06-11] Dostupné z: http://www.worldcoal.org/file_validate.php?file=coal_resource_overview_of_coal_report(03_06_2009).pdf.

YUSOF, Nurul Syazwani, BAKAR, Sumarni Abu, ISMAIL, Razidah. Modified graphical autocatalytic set model of combustion process in circulating fluidized bed boiler. In: Proceedings of the 21st national symposium on mathematical sciences. *Germination of Mathematical Sciences Education and Research towards Global Sustainability*. AIP Publishing, 2014, volume 1605, number 1: 70-75. [cit. 2016-07-01]. DOI: 10.1063/1.4887567. Dostupné z: http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.4887567.

ZAJÍČEK, Miroslav a ŠEVČÍK, Miroslav. *Validita prováděných odhadů nákladů evropského emisního cílování, smysluplnost evropského emisního cílování a komparace s alternativní energetickou politikou*: odborná monografie. Praha: Oeconomica, 2012. ISBN 978-80-245-1916-6.

ZHANG, ZhongXiang. Making the Transition to a Low-Carbon Economy: The Key Challenges for China. *Asia & the Pacific Policy Studies* [online]. 2016, volume 3, number 2: 1 -15 [cit. 2016-11-08]. DOI: 10.1002/app5.138. ISSN 2050-2680. Dostupné z: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app5.138/pdf.