

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

**Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Andrey Klimov**

**Fosilní zdroje energie:  
výhledy a vliv na životní prostředí**

Bakalářská práce

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

Praha, 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady, uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 17. dubna 2014

.....

## Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi zapůjčili potřebnou literaturu nebo mě jakkoliv podpořili při psaní této bakalářské práce. Děkuji svému vedoucímu, Ing. Luboši Matějčíkovi, Ph.D., který mi vybral téma ke zpracování a se kterým jsem měl možnost podrobně konzultovat náplň práce. Jsem mu vděčný za odborné vedení práce a za cenné informace. Děkuji také RNDr. Zuzaně Hořické, Ph.D. za ochotu a vstřícnost, za pomoc při stylistické a gramatické kontrole textu mé práce a za některé užitečné rady. Také děkuji své rodině za podporu a pomoc během mého studia.

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce bylo popsat systém fosilních zdrojů energie, jejich celkových zásob ve světě, prognózy do budoucna a zejména jejich dopady na životní prostředí. Práce má formu literární rešerše a je doplněna grafickými a mapovými ukázkami. Hlavním zaměřením práce byly zdroje ropy, plynu a uhlí, to, jaká je celková zásoba těchto zdrojů na Zemi a na kolik let lidstvu vystačí. Z environmentální stránky se práce zabývá vlivem těchto zdrojů energie na ekosystémy. Jsou zmíněny problémy a rizika spojená s hledáním nových ložisek paliv, jejich těžbou a transportem. Jsou diskutována možná budoucí řešení z hlediska ochrany životního prostředí.

**Klíčová slova:** Fosilní paliva, ropa, uhlí, zemní plyn, výhledy do budoucna, vliv na životní prostředí.

## **Abstract**

The aim of the bachelor thesis was to describe the system of fossil fuels as non-renewable energy sources, their overall supply in the World, predictions to the future, and namely their impact on the environment. The work is a literature review, with graphic and map examples. The work focused mainly on sources of petroleum, coal, and natural gas, their total supply, and the time before depletion. From environmental aspects, the work deals with the impact of these energy sources on ecosystems. Problems and risks of the survey, extraction, and transport of fuels are mentioned, and solutions for the future, with regard to environmental protection, discussed.

**Key words:** Fossil fuels, petroleum, coal, natural gas, predictions, environmental impacts.

# Obsah

1. Úvod .....	7
2. Charakteristika fosilních paliv .....	8
3. Vznik, dělení, těžba a zpracování fosilních paliv .....	9
3.1. Vznik, klasifikace a zpracování ropy .....	9
3.2. Vznik, těžba a zpracování zemního plynu .....	10
3.3. Vznik, dělení a těžba uhlí .....	11
4. Geografické rozmístění zásob fosilních zdrojů .....	12
4.1. Rozmístění zásob ropy ve světě .....	12
4.2. Rozmístění zásob zemního plynu ve světě .....	12
4.3. Rozmístění zásob uhlí ve světě .....	13
5. Vliv fosilních paliv na životní prostředí .....	13
5.1. Vliv SO <sub>x</sub> .....	14
5.2. Vliv NO <sub>x</sub> .....	15
5.3. Vliv CO <sub>2</sub> a CO .....	15
5.4. Přehled dopadů jednotlivých zdrojů energie .....	17
5.4.1. Vliv ropy na životní prostředí .....	17
5.4.2. Vliv uhlí na životní prostředí .....	19
5.4.3. Vliv zemního plynu na životní prostředí .....	24
6. Výhledy do budoucna .....	26
7. Závěr .....	29
8. Seznam literatury a použitých elektronických zdrojů .....	31
9. Přílohy .....	35
Příloha 1. Přehled zemí, vlastních zásoby ropy na konci roku 2010 .....	35
Příloha 2. Přehled světové produkce ropy za rok 2010 .....	36
Příloha 3. Přehled světové spotřeby ropy za rok 2010 .....	37
Příloha 4. Přehled zemí, vlastních zásoby plynu na konci roku 2010. ....	38
Příloha 5. Přehled světové produkce plynu za rok 2010. ....	39
Příloha 6. Přehled světové spotřeby plynu za rok 2010. ....	40
Příloha 7. Přehled zemí, vlastních zásoby uhlí na konci roku 2010. ....	41
Příloha 8. Přehled světové produkce uhlí za rok 2010. ....	42
Příloha 9. Přehled světové spotřeby uhlí za rok 2010. ....	43

# 1. Úvod

Žijeme v době neustálé války o energetické zdroje – tyto zdroje nám nestačí, a tak musíme hledat nová ložiska nebo alternativy. Žijeme doslova v epoše energetických válek, poptávka po energii roste a hlavními surovinami ve světě zůstávají fosilní paliva, která patří ke zdrojům neobnovitelným. Nesmíme zapomínat na to, že zásoby používaných zdrojů energie nejsou nekonečné a že jejich využívání má vliv na prostředí, ve kterém žijeme. Fosilní paliva přinášejí mnoho negativních aspektů – jsou to kyselé srážky a acidifikace půd a vod, znečišťující emise, které se podílejí na tvorbě smogu a působí tak negativně na lidské zdraví, a také devastace krajiny, kterou přináší rozsáhlá těžba (Vujić et al., 2012). Přesto fosilní paliva zůstávají na prvním místě mezi zdroji energií. Jejich zásoby však pomalu mizí, a proto se musíme chovat ohleduplně jak k surovinám, tak i k přírodě.

Od doby průmyslové revoluce celková míra využívání energie roste rychlejším tempem než světový populační růst. Když porovnáme spotřebu energie mezi lety 1970 a 1995, vidíme, že roste ročně o 2,5 % (Pimentel et al., 2008). Prognóza je taková, že každých 30 let se procento spotřeby zhruba zdvojnásobí. Populační růst se zvyšuje o 1,7 % ročně a jeho procento se zdvojnásobí každých 40-60 let (Pimentel et al., 2008). Problémem je také to, že spotřeba v různých částech světa není stejná a rovnoměrná. V USA je spotřeba energie vyrobené z fosilních zdrojů na osobu za rok více než sedmkrát vyšší než v Číně (Pimentel et al., 2008). Význam fosilních paliv ve světě je obrovský. Rozvinuté země v dnešní době spotřebovávají 70 % z celkové energie vyrobené z fosilních zdrojů, na rozdíl od zemí rozvojových, s velmi rychlým růstem populace, které tvoří přibližně 75 % celkové světové populace, avšak podílejí se pouze 30 % na spotřebě energie (Pimentel et al., 2008). Zejména rozvojové země zvyšují spotřebu energie z fosilních paliv kvůli zemědělství, při výrobě hnojiv a pesticidů a pro zavlažování. S poklesem zásob fosilních paliv ve světě tak bude omezena produkce potravin, což přispěje k dalšímu problému rychle rostoucí lidské populace.

Fosilními palivy jsou hlavně ropa, uhlí a zemní plyn. V posledních letech se ve světě přibližně 40-45 % veškeré elektrické spotřebované energie vyrábí z uhlí – např. v r. 2007 to bylo 42 % (Vujić et al., 2012).

Ropa zůstává jedničkou mezi možnými druhy paliva, její podíl na globální spotřebě energií v roce 2010 představoval 33,6 % (BP, 2011).

Protože je dnes toto téma velmi aktuální, rozhodl jsem se popsat ve své práci perspektivy týkající se fosilních zdrojů ve světě – na jak dlouhou dobu ještě vystačíme se současnými zásobami surovin a jaký osud je čeká, pokud je nahradíme alternativními zdroji energie nebo pokud se změní technologie jejich využívání. Zejména jsem si kladl za cíl charakterizovat vliv jejich využívání na životní prostředí a možné řešení těchto problémů. Chtěl jsem popsat především systém zachycování a uskladňování CO<sub>2</sub>, tzv. metodiku CCS. V první části své práce jsem uvedl zdroje a zásoby fosilních zdrojů energie, jejich rozmístění na Zemi a jejich obecnou charakteristiku. V druhé, hlavní části práce jsem popsal vliv používání fosilních paliv na životní prostředí. V této části jsem uvedl i několik významných havárií, těsně spojených s lidským zdravím a životním prostředím. Závěrem jsem zmínil prognózy fosilní energetiky.

## 2. Charakteristika fosilních paliv

Fosilní palivo je nerostná surovina, která vznikla přeměnou odumřelých rostlinných těl bez přístupu vzduchu. Patří sem zejména ropa, uhlí a zemní plyn (Augusta, 2001).

Fosilní paliva se dělí na tuhá, kapalná a plynná. Tuhými palivy jsou „tradiční“ uhlí, koks a rašelina. Mezi kapalná se řadí ropa a ropné produkty. Plynná paliva zahrnují zemní plyn a ostatní plyny, vyrobené z tuhých nebo kapalných zdrojů.

Ropa je přirozeně se vyskytující hnědá hořlavá kapalina, která je tvořená uhlovodíky, především alkany. Nachází se ve svrchních vrstvách zemské kůry.

Obsahuje přibližně 85 % uhlíku a 15 % vodíku, množství síry, kyslíku a dusíku v ropě je malé (Augusta, 2001).

Zemní plyn tvoří především metan. Typické složení je 70-80 % metanu, ostatních 20-30 % tvoří etan, butan a propan. Zastoupení jednotlivých složek se liší podle toho, z kterého ložiska se těží (Mongillo, 2011).

Uhlí je hnědá, černá nebo hnědo-černá hořlavá hornina, která obsahuje uhlík, vodík a kyslík a další chemické prvky, především síru (Augusta, 2001).

Rašelina představuje směs částečně rozložených zbytků rostlin. Jako zdroj energie se rašelina v současné době skoro nepoužívá, nejvíce se dnes uplatňuje jako prostředek ke zlepšení kvality půdy (Augusta, 2001).



Koks vzniká při zahřívání uhlí bez přístupu vzduchu a za vysoké teploty. Kvalitní koks vzniká jen z některých druhů spékavého černého uhlí, používá se jako palivo a redukční činidlo, například ve vysoké peci (Augusta, 2001).

### **3. Vznik, dělení, těžba a zpracování fosilních paliv**

#### **3.1. Vznik, klasifikace a zpracování ropy**

Pokud jde o způsob vzniku ropy, převládá domněnka o jejím organickém původu, podle které ropa vznikla z nahromaděných živočišných a částečně rostlinných zbytků v uzavřených zálivech a nádržích. Právě tyto zbytky se po mikrobiálním rozkladu a vlivu obrovských teplot a tlaku přeměnily na ropu, která se pak propustnými horninami dostala na místa dnešních ložisek (Augusta, 2001).

Základem klasifikace ropy je dělení podle jejího frakčního a chemického složení. Nejcennější jsou v ropě lehčí frakce. Dříve byly využívány středně těžké frakce jako petrolej, sloužící ke svícení a topení, nyní však používaný v letadlech jako palivo pro tryskové motory; později se začaly používat lehčí frakce pro pohon motorů s vnitřním spalováním ve formě benzínu (Augusta, 2001). Nejdůležitějšími destilačními frakcemi ropy jsou benzín, plynový olej, petrolej a neodpařený zbytek při destilaci tvoří mazut. Z mazutu se dále vakuovou destilací vyrábí asfalt a z plynového oleje se získává nafta. Ropa ale obsahuje také velké množství dalších látek jako voda, plyny a tuhé nečistoty (Augusta, 2001).

Za současného stavu techniky není možné přímé použití ropy. Ropa se zpracovává v rafinériích, kde pak vzniká celá řada produktů pro další použití podle účelu. Hlavními technologiemi zpracování ropy jsou atmosférická a vakuová destilace. Potom se produkty destilace upravují chemickými a rafinačními metodami. Hlavním chemickým postupem je krakování, což znamená rozklad těžších produktů destilace na lehčí produkty, např. těžkých olejů na benzíny (Augusta, 2001).

Jedním ze zdrojů ropy jsou dehtové písky, které představují směs písku, vody, jílu a živíc. Živice (bitumen) jsou velice viskózní kapaliny, které obsahují směs uhlovodíků a jejich dusíkatých a kyslíkatých derivátů. Pokud dehtové písky leží blízko zemského povrchu, těží se v povrchových dolech. Nákladní auta po vytěžení odvezou tento „písek“ do továrny, kde

vytěžený materiál smíchají s horkou vodou. Ropné živice se tak oddělí od písku a následně jsou sbírány z povrchu (Mongillo, 2011).

Jak uvádí Mongillo (2011), zdroje dehtových písků se nacházejí v Rusku, USA a na Blízkém východě, ale jejich největší zásoby jsou ve Venezuele v oblasti řeky Orinoco a v provincii Alberta v Kanadě (Athabaské ropné písky).

### **3.2. Vznik, těžba a zpracování zemního plynu**

Zemní plyn je složen ze směsi plynných uhlovodíků, ale obsahuje jenom nasycené uhlovodíky – alkany. Příměsi plynů neuhlovodíkového charakteru negativně ovlivňují zpracování zemního plynu. Zemní plyn je skoro zcela tvořen z metanu. Podle Mongillo, 2011 se podíl metanu v zemním plynů pohybuje v rozmezí 70 až 80 %. Zbyvajících složku tvoří etan, butan a propan.

Zemní plyn vznikl postupným rozkladem organického materiálu, společně s ropou a uhlím. Většina zásob zemního plynu se vyskytuje společně s nalezišti ropy. Existuje však i anorganická teorie vzniku zemního plynu (abiogenetická hypotéza), podle které metan vznikl štěpením uhlovodíků, které se do zemského nitra dostaly při vzniku planety z vesmírné hmoty (Augusta, 2001).

Plyn se většinou těží pomocí vrtů, které vedou z povrchu do horninových pórovitých horizontů. Hloubky vrtů se pohybují od několika stovek metrů až do hloubek kolem 3 km, výjimečně se těží i v hloubkách 8 km. Technologie úpravy zemního plynu jsou závislé na jeho složení, ale nezbytné je vždy odstranit vodu ve formě vodní páry. Ta může tvořit spolu s metanem pevné hydráty, které mohou ucpat potrubí při dálkovém transportu. Také je nutné před přepravou odstranit sulfan (Augusta, 2001).

Zemní plyn se může vyskytovat ve formacích břidlic, tehdy mluvíme o břidlicovém plynu. Nekonvenční ložiska břidlicového plynu – to znamená ložiska s netradiční technologií těžby – obsahují velké rezervy, ale je těžší se k nim dostat než při tradičních postupech těžby. Břidlicové formace neumožňují zemnímu plynů stoupat vertikálně, tomu napomáhá metoda horizontálních vrtů a hydraulického štěpení. Tyto metody jsou známé už 60 let, ale teprve nedávno se začaly v omezeném rozsahu používat u vertikálních vrtů (Rahm, 2011). Konvenční zemní plyn se většinou vrtá v hloubkách přibližně 1 800 – 2 000 metrů a pouze

vertikálně. Pro dosažení ložiska břidlicového plynu je třeba vybudovat nejdříve vertikální vrt a teprve potom vrtat pomocí směrovacího vybavení horizontálně. V takovém případě končí vertikální vrt v hloubce mezi 1 525 a 3 660 metry, kde začíná horizontální vrtání (Rahm, 2011). Horizontální vrt se táhne do délky přibližně 600 metrů. Pak následuje hydraulické štěpení, při kterém se za vysokého tlaku pumpuje do vrtu obrovské množství stlačené tekuté směsi, což vede k praskání okolních hornin a vytváření puklin. Tato tekutá směs obsahuje písek nebo keramické přísady, které drží praskliny otevřené i po skončení vtlačení směsi. Štěpení probíhá v horizontální části vrtu a umožňuje plynu difundovat podél vrtu a dále vertikálně nahoru pro jeho následující odběr. Hydraulické štěpení probíhá obvykle postupně a několikrát se opakuje (deset a více) (Rahm, 2011).

### **3.3. Vznik, dělení a těžba uhlí**

Uhlí patří stejně jako ropa a zemní plyn mezi fosilní zdroje energie, má tedy také původ ve zbytcích odumřelých živočichů a rostlin, které byly vystaveny vysokým teplotám a tlaku, popřípadě i katalytickému účinku hornin. Uhlí se dělí klasicky na černé a hnědé. Černé uhlí obsahují více uhlíku a méně kyslíku i vodíku než hnědé uhlí. Černé uhlí má vyšší výhřevnost než uhlí hnědé, a je proto kvalitnější, stejně tak černé uhlí obsahují menší množství síry, než uhlí hnědé (Augusta, 2001). Hnědé uhlí obsahuje značné množství síry, jejíž sloučeniny se při spalování přeměňují na oxid siřičitý, který je zdrojem celé řady environmentálních problémů.

Mocnost uhlí dosahuje až desítek metrů. Hlavními metodami těžby uhlí je hlubinné a povrchové dobývání. Nezbytným základem pro hlubinné dobývání jsou doly. K místu dobývání vedou chodby, a tak se důl člení na několik pater. K dobývání uhlí se v dnešní době používá rozvinutá mechanizace. Důl se musí pravidelně větrat a odvodňovat, a aby nedošlo k výbuchu, je třeba odsávat metan a oxid uhličitý (Augusta, 2001).

Podmínkou zahájení povrchové těžby uhlí je, že uhelná sloj je dostatečně mocná (poměr mocnosti nadloží ku mocnosti sloje nesmí být vyšší než 5:1). Hlavními stroji pro povrchovou těžbu jsou lopatová nebo kolesová rýpadla a pásové dopravníky. Před dopravou ke spotřebiteli musí být uhlí upravené. Hlavními metodami jeho úpravy jsou třídění, drcení, odvodňování a případně briketování a sušení uhlí (Augusta, 2001).

## **4. Geografické rozmístění zásob fosilních zdrojů**

### **4.1. Rozmístění zásob ropy ve světě**

Největší zásoby ropy jsou soustředěné na Středním východě, v Rusku, v Jižní a Severní Americe a v Severním moři. Tyto zdroje však nejsou na Zemi rozložené rovnoměrně: 12 států soustředěných v Organizaci zemí vyvážejících ropu (OPEC) vlastnilo na konci roku 2011 81 % celkových světových zásob ropy, přičemž přesně polovina účastnických států je z Blízkého východu a jejich podíl na světových ložiscích je odhadován na 53,4 %. Ruské federaci patří 79 432 milionů barelů ropy, což představuje přibližně 5,4 % celkových zásob ve světě. Pro porovnání, Evropská unie má zásoby 6,3 miliard barelů ropy, což odpovídá pouhým 0,5 %. Česká republika měla na konci roku 2008 12 milionů barelů ropy, ale ropu hlavně dováží. V období od ledna 2012 do ledna 2013 bylo do České republiky dovezeno 555 000 tun ropy (141 151 400 barelů), z toho 61,1 % bylo dovezeno z Ruska, 22,3 % z Ázerbájdžánu a 16,6 % z Kazachstánu.

Na spotřebě ropy v roce 2010 se podílely hlavně USA (21,1 %), následuje Čína s 10,6 %. Japonsko, které nemá téměř žádné vlastní zásoby ropy a vůbec je chudé na nerostné suroviny, spotřebovalo v roce 2010 2 016 milionů tun ropy (zhruba 15 080 milionů barelů), což tvoří 5,6 % její světové spotřeby. Na spotřebě ropy se značně podílejí také Indie a Saúdská Arábie. V Evropě v roce 2011 se nejvíce ropy spotřebovalo v Rusku – 3,7 %, Německu – 2,9 % a Francii – 2,1 %. Česká republika se na světové spotřebě ropy podílí 0,2 % a v roce 2010 snížila svou spotřebu oproti roku 2009 o 5 % (World Energy Council, 2010; BP, 2011; OPEC, 2012; ČSÚ, 2011-2013).

### **4.2. Rozmístění zásob zemního plynu ve světě**

Největší zásoby zemního plynu ve světě jsou soustředěné v Rusku – 23,9 %. Značnou roli tady opět hraje Blízký východ – Írán a Katar mají podíly 15,8 % a 13,5 %. USA vlastní 4,1 % zásob zemního plynu, ale spotřebuje se ho zde nejvíce – 21 % z celkového množství. Na druhém místě ve spotřebě je Rusko s 13 %. Evropská unie se na světových zásobách podílí

pouze 1,3 %. Česká republika měla na konci roku 2008 zásoby 4 miliardy m<sup>3</sup> zemního plynu, což odpovídá zhruba 0,02 % z celkových světových zásob; na spotřebě se v roce 2010 podílela 0,3 % a svou spotřebu tak v porovnání s rokem 2009 zvýšila o 13,7 % (World Energy Council, 2010; BP, 2011).

### **4.3. Rozmístění zásob uhlí ve světě**

Převažujícím typem uhlí je uhlí černé, které tvoří asi 75 % světových zásob uhlí. Celkově na Zemi je nejvíce uhlí soustředěno v USA (27,6 %), poté následuje Rusko (18,2 %) a Čína (13,3 %), které však přináležejí téměř polovina světové spotřeby – 48,2 %. V Evropě je nejvíce uhlí soustředěno v Německu (4,7 % z celkových světových zásob) a na Ukrajině (3,9 % z celkových světových zásob). Česká republika spotřebovala v roce 2010 16 milionů tun ropného ekvivalentu, což odpovídá 0,5 % celkové světové spotřeby; v porovnání s rokem 2009 je to o 1,3 % méně. V České republice tvoří podíl hnědého uhlí na výrobě energie přibližně 50 %, ve světě je to v průměru 29,6 %. Většina elektráren v České republice využívá uhlí hnědé, zatímco uhlí černé používají jenom dvě – Elektrárna Dětmarovice a Energetika Vítkovice, obě elektrárny se nacházejí v Moravskoslezském kraji. Ze všech zásob fosilních paliv tvoří uhlí jejich největší složku, ale budoucí vývoj v oblasti využívání uhlí bude záviset na vývoji technologií, ve vztahu k požadavkům na ochranu životního prostředí (BP, 2011; Mongillo, 2011; Ministerstvo životního prostředí, 2012).

## **5. Vliv fosilních paliv na životní prostředí**

Je obecně známo, že vedle získávání energie s sebou využívání fosilních paliv nese mnoho negativních účinků a dopadů na životní prostředí a lidské zdraví. Objev ropy a plynu znamenal pro lidstvo obrovský skok dopředu a umožnil rozvoj v energetice, průmyslu a dalších oblastech lidské činnosti. V mnoha státech se zvýšila životní úroveň obyvatel a některé se dokonce staly nejbohatšími zeměmi světa.

Ačkoliv používání elektrické energie je relativně neškodné, její produkce je jednou z činností, které jsou škodlivé pro životní prostředí. Zatímco energetický sektor se podílí na

49 % z emisí skleníkových plynů, samotná výroba elektrické energie produkuje více než 25 % emisí oxidu uhličitého. V průběhu posledních 20 let pocházela polovina všech emisí oxidu uhličitého spojených se spotřebou energie z produkce elektřiny (Rashad & Hammad, 2000). Emise do životního prostředí byly hlavním předmětem studií energetických dopadů, další významné dopady, jako jsou narušení krajinného rázu a přesuny obyvatelstva spolu s jejich ekonomickými a sociálními důsledky, byly méně zdůrazňovány. Hlavní dopady jako jsou vyčerpání přírodních zdrojů a velké palivové a dopravní nároky, které ovlivňují celou řadu oblastí, včetně pracovní a veřejné bezpečnosti, jakož i oblast vnitrostátních dopravních systémů, jsou obecně ignorovány. Množství toxických látek a odpadu vznikajících z fosilních paliv je mnohem vyšší než u jiných zdrojů energie. Obecně platí, že znečištění závisí na míře nečistot v palivu: zemní plyn je čistší než ropa a ropa je čistší než uhlí (Rashad & Hammad, 2000).

Těžba fosilních paliv má vliv i na krajinný ráz – místa, kde se těží, jsou nepřístupná obyčejnému obyvatelstvu a krajina se po těžbě úplně přemění a zdevastuje. Doly po sobě zanechávají doslova hromadné tunely v zemi a je třeba řešit i tento problém pomocí rekultivací.

Pozitivním aspektem využívání fosilních zdrojů energie je jejich hospodářská účinnost ve smyslu ušetření plochy. To znamená, že vysoká energetická hustota fosilních paliv umožňuje menší zábor půdy (kterou je možné ve větším rozsahu využít pro jiné účely) a snižuje tak vliv fosilních paliv na krajinu, v porovnání s jinými obnovitelnými zdroji energie. Například střední elektrárna potřebuje pro svůj provoz plochu 1-4 km<sup>2</sup>, kdežto solární park obdobného výkonu potřebuje plochu odpovídající rozloze malého města (20-50 km<sup>2</sup>) a plantáže pro biomasu 4 000-6 000 km<sup>2</sup> (Rashad & Hammad, 2000). Mezi hlavní environmentální dopady fosilních paliv na atmosféru patří působení SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO a CO<sub>2</sub>.

## 5.1. Vliv SO<sub>x</sub>

V případě, že fosilní palivo obsahuje síru, vzniká při jeho hoření oxid siřičitý, SO<sub>2</sub>; určité množství tohoto plynu (2-3 %) se přemění ještě ve spalovacím zařízení na oxid sírový, SO<sub>3</sub>. Oxid siřičitý je odolný vůči UV záření a v atmosféře dochází k jeho oxidaci na oxid sírový, který reaguje se vzdušnou vlhkostí na kyselinu sírovou. Ta se jako kyselý déšť dostává na

zemský povrch. Odstranit sloučeniny síry ze spalin lze několika metodami v procesu zvaném odsíření (desulfidace). Například technologie fluidního spalování tkví v tom, že jemně rozemleté uhlí při hoření tvoří nad roštem tzv. fluidní vrstvu, uhlí při tom nabývá vlastností tekutin. Nízká teplota spalování ve fluidním kotli umožňuje snížení emisí  $\text{NO}_x$ . Do uhlí se přidává mletý vápenec, na který se váže  $\text{SO}_2$  a vzniká síran vápenatý ( $\text{CaSO}_4$ ), který následně je zachycován v odlučovačích. Co se týče automobilové dopravy, síra se při spalování paliv nevolňuje, protože automobilová paliva ji dnes již neobsahují. Velký problém zde ovšem představují oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) (Škorpík, 2011).

## 5.2. Vliv $\text{NO}_x$

V důsledku automobilové dopravy, při používání motorových paliv jako benzín a motorová nafta, ropa nepřímo negativně ovlivňuje stav ovzduší.

Při spalování se oxiduje na oxidy jak dusík obsažený v palivu, tak především dusík obsažený ve vzduchu. Tento dusík reaguje ve spalovacích zařízeních s kyslíkem za vzniku oxidu dusnatého,  $\text{NO}$  (cca 95% z celkového množství  $\text{NO}_x$ ) a oxidu dusičitého,  $\text{NO}_2$  (cca 5% z celkového množství  $\text{NO}_x$ ). Tvorba oxidů dusíku především závisí na koncentraci kyslíku, době pobytu a teplotě ve spalovacím prostoru (Škorpík, 2011).

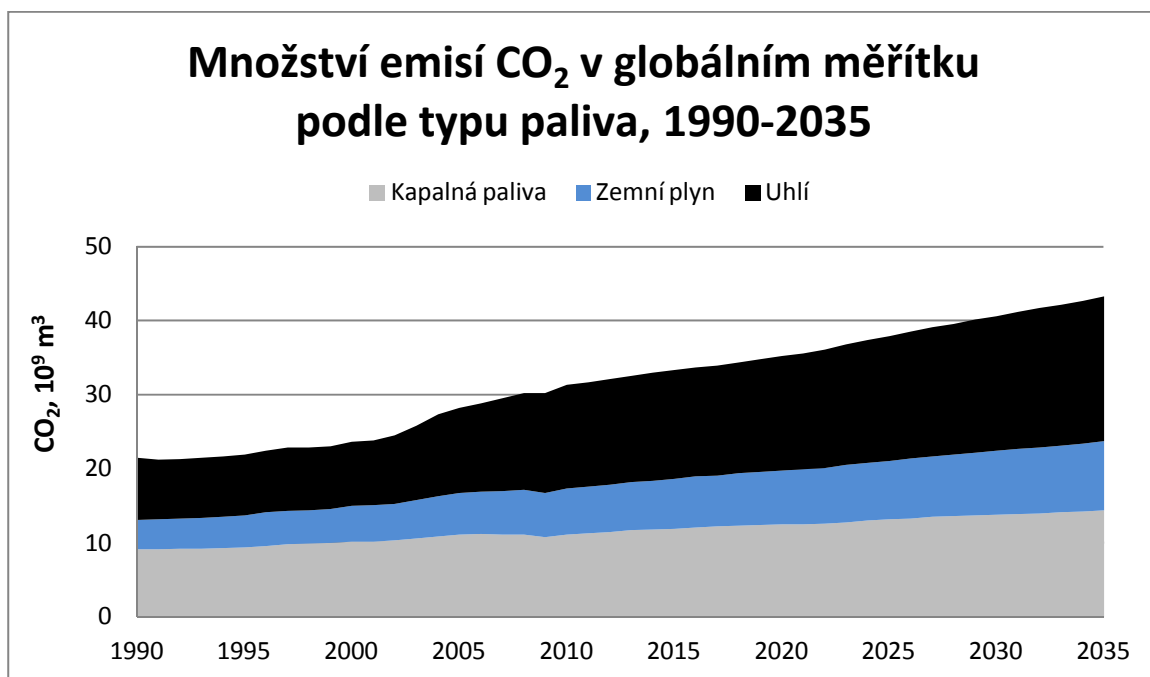
$\text{NO}_x$  stejně jako oxidy síry můžou způsobovat smog. Oxidy dusíku způsobují smog oxidační, kdežto  $\text{SO}_x$  způsobují smog redukčního typu. Oxidační smog má silné toxické účinky a působí negativně na lidské zdraví – dráždí sliznice, oči a dýchací cesty, ale také na vegetaci, protože ozon vzniklý zvýšenou koncentrací  $\text{NO}_2$  pod vlivem UV záření narušuje funkci buněk, za tím vyvolává poškození listů, jehličí a životně významných procesů.

## 5.3. Vliv $\text{CO}_2$ a $\text{CO}$

Protože hlavním prvkem fosilních paliv je uhlík, zákonitě vzniká při spalovacích procesech velké množství oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  a většina spalného tepla je vázána na uhlík. Zatímco  $\text{CO}_2$  je produkt spalování dokonalého, oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ) je produktem spalování

nedokonalého. Při tomto procesu nedochází k úplné oxidaci palivového uhlíku kvůli nedostatku kyslíku.

Zatímco přirozené uvolňování  $\text{CO}_2$  v důsledku rozpadu a dalšího zpracování biomasy je téměř vyrovnáno spotřebou tohoto plynu při fotosyntéze,  $\text{CO}_2$  který uvolněn při spalování fosilních paliv zůstává většinou v atmosféře. Naštěstí velká část oxidu uhličitého je pohlcována oceány. Tím, že se fosilní paliva spalují, se dávno deponovaný uhlík dostává do atmosféry, a jeho koncentrace v atmosféře tak roste v porovnání se stavem před hromadným spalováním těchto paliv. Zvýšená koncentrace  $\text{CO}_2$  má různé negativní důsledky, z nichž nejhorší je skleníkový efekt (Škorpík, 2011).



**Obr. 1. Množství emisí  $\text{CO}_2$  v globálním měřítku v letech 1990-2035** (převzato a upraveno z U.S. Energy Information Administration, 2013).



## 5.4. Přehled dopadu jednotlivých zdrojů energie

### 5.4.1. Vliv ropy na životní prostředí

Člověk si po objevení zdrojů energie kladl za cíl hlavně vytěžit co nejvíc surovin, těžba však měla za následek i přírodní odezvy. Jedním z prvních náznaků problémů byla situace, ke které došlo počátkem čtyřicátých let dvacátého století na ropném ložisku Wilmington v Kalifornii. Toto ložisko bylo objeveno v roce 1932 a k roku 1968 už bylo v tomto místě vytěženo téměř 160 milionů tun ropy a 24 miliard m<sup>3</sup> zemního plynu. Naleziště se nachází v industriálním centru s velkým počtem obyvatel, a proto hrálo důležitou roli v rozvoji ekonomiky celého státu Kalifornie. Právě z tohoto důvodu se těžba ve Wilmingtonu až do roku 1966 držela na nejvyšší úrovni v porovnání s jinými ropnými ložisky. Ale již v roce 1939 postihly obyvatele Los Angeles a Long Beach důsledky intenzivní těžby – začala se propadat půda nad ložiskem. Ve čtyřicátých letech tento proces sílil – vytvořil se propad ve tvaru eliptického poháru, v němž dno představovalo místo, ve kterém se těžilo nejvíce. V šedesátých letech amplituda propadnutí půdy dosáhla 8,7 m, pohyb půdy byl doprovázen zemětřesením – v období mezi lety 1949 a 1961 se vyskytlo pět nejsilnějších. Půda doslova mizela pod nohama, byly zničeny městské budovy, mosty, silnice, přístavy a ropné vrty. Obnovné práce stály 150 milionů dolarů. V roce 1951 dosáhla rychlost propadání svého maxima – 81 cm rok<sup>-1</sup>, a vzniklo tak riziko potopení souše v této oblasti. Městské úřady v Long Beach proto zastavily těžební práce do vyřešení problémů – to trvalo do roku 1954, kdy bylo zjištěno, že nejúčinnějším způsobem ochrany proti tomuto jevu je přidání vody do zemských vrstev v místech těžby. Po několika letech intenzivního zalévání půdy se její propadání téměř zastavilo, ložisko je znovu funkční a v současné době je třetím největším ropným nalezištěm v USA. Na každou tunu vytěžené ropy se však spotřebovává obrovské množství vody – kolem 1 600 litrů (Milanova & Ryabchikov, 1986; Los Angeles Almanac, 2013).

Propadnutí země a zemětřesení doprovázejí ropná ložiska nejen v USA, byly zaznamenány také ve starých ropných oblastech Ruska. Zejména se to projevilo ve Starogrozněnském úložišti, kde v roce 1971 propuklo zemětřesení o síle 7 stupňů Richterovy škály v epicentru. Stejná situace potkala stará ložiska v Ázerbájdžánu (Milanova & Ryabchikov, 1986).

Největší zdravotní a environmentální rizika spojená s těžbou, dopravou a skladováním ropy představují rizika ohně, explozí a významných ropných úniků. Přímé nebezpečí pro životní prostředí představuje právě riziko nekontrolovatelných úniků ropy během průzkumu nebo těžby, které bohužel nebývají vzácné. Bezprostřední roli tady hraje člověk: v roce 1991 během války v Perském zálivu byl iráckou armádou úmyslně způsoben významný únik ropy. Téměř šest měsíců trvalo, než byl zastaven únik ropy v Mexickém zálivu způsobený 20. dubna 2010 havárií ropné plošiny Deepwater Horizon – do vodního prostředí za tu dobu uniklo asi 300 000 tun surové ropy. Celkem za 152 dnů uniklo do moře v hloubce 1 500 metrů kolem 5 milionů barelů ropy. Tento případ patří mezi největší ekologické katastrofy v lidských dějinách (Rashad & Hammad, 2000).

Ropné látky nepříznivě působí na organismy, jak na rostliny, tak na živočichy (Mishra et al., 2012). Havárie v Mexickém zálivu měla za následek poškození mokřadů (povlaky na rostlinstvu a půdě), teplotní stres a snížení schopnosti fotosyntézy u rostlin. Studie Mishra et al. (2012) prokázaly snížení množství chlorofylu a celkové biomasy rostlin. Dalším problémem způsobeným ropnými uhlovodíky je snížení tolerance slaniskových druhů rostlin vůči salinitě, což vede k většímu počtu odumřelých rostlin a brání sukcesi. Poškození mokřadů se přirozeně negativně odrazilo také na společenstvu živočichů, kteří je osidlují (krabi, krevety, různé druhy ptáků a ryb) (Mishra et al., 2012). Podle zprávy NOAA Fisheries od 2. listopadu roku 2010, bylo nalezeno celkem 6 814 mrtvých zvířat, především ptáků – 6104 jedinců. Kromě toho, se zvýšil počet kytovců nalezených na pobřeží v severní části Mexického zálivu: do havárie a v prvním týdnu po havárie to bylo 114 jedinců, ale později, v době od 3.11.2010 – 28.7.2013, bylo nalezeno 794 jedinců. Z celkového počtu 1 030 kytovců nalezených v období od 1.2.2010 do 28.7.2013 jich přibližně 95 % zemřelo a pouze 5 % přežilo (USFWS & NOAA, 2010; NOAA Fisheries, 2013).

Přeprava ropy tankery přes oceán vedla k mnoha katastrofám, při nichž uniklo velké množství ropy a došlo k vážným ekologickým škodám. Na konci šedesátých let 20. století najel ropný tanker „Torrey Canyon“ na mělčinu v kanálu La Manche: únik činil 100 000 tun ropy (Rashad & Hammad, 2000). O 10 let později, v roce 1978, ropný tanker „Amoco Cadiz“ najel na mělčinu u Bretaně ve Francii – 250 000 tun ropy se vylilo a rozšířilo do vzdálenosti více než 350 km od pobřeží, celá desetiletí až do současné doby ničí mořský ekosystém (Rashad & Hammad, 2000).

V roce 1989 se odehrála katastrofa ropného tankeru „Exxon Valdez“ v Prince William Sound na Aljašce. Uniklo přes 40 000 tun ropy a kontaminovaná oblast zasáhla asi 1 600 km

pobřeží (Rashad & Hammad, 2000). V roce 1994 byl přijat plán na obnovu postižené oblasti včetně výzkumu a monitorování, ochrany biotopů a záchranných akcí. Po přijetí plánu však již bylo velmi těžké odlišit vliv této havárie od přírodního nebo jiného antropogenního vlivu na postiženou krajinu a odhadnout důsledky havárie na ryby a jiné živočichy. V současné době existuje mnoho informací o rybách, savcích a mořských ptácích v postižených oblastech Aljašky; podle zprávy amerického promulgačního listu Federal Register z roku 2010 uniklé ropné látky mají vliv na tamější půdu i v 21. století (Federal Register, 2010). Rozvíjející se snaha o dobývání ropy v nových arktických ložiscích přímo ohrožuje život mnoha druhů savců, zmenšuje jejich areál a narušuje jejich život (Greenpeace, 2013). Byl prokázán negativní vliv ropy na životní cyklus ledních medvědů (Hurst & Oritsland, 1982; Hurst et al., 1991). Ropná činnost má obrovský vliv na globální klima na Zemi – je možné, že se podílí i na tání ledu (Greenpeace, 2013). Lze předpokládat, že ropné giganty další těžbou ještě více zasáhnou život moří a případně klima na Zemi. Navíc podle některých vládních dokumentů neexistují konkrétní plány na likvidaci ropné havárie ve vodách Arktidy, což může vést k tragickým následkům (Greenpeace, 2013). Riziko katastrofy je poměrně velké, otázkou je, kdy k ní může dojít a jak ji bude třeba řešit. Minulé zkušenosti jsou smutné – i havárie ropné plošiny Deepwater Horizon v Mexickém zálivu měla katastrofální následky a trvalo dlouho, než byla ropa z mořského povrchu odstraněna. Doteď znečišťuje půdu Aljašky ropa, která unikla při havárii tankeru Exxon Valdez (Federal Register, 2010). Stává se, že tyto havárie ze začátku nikdo nehlásí a tím je minimalizována možnost okamžité pomoci životnímu prostředí.

#### **5.4.2. Vliv uhlí na životní prostředí**

Uhelné elektrárny s výkonem 1 000 MWe, které nemají žádné technologie omezující emise škodlivých plynů, produkují ročně v průměru asi 44 000 tun oxidů síry a 22 000 tun oxidu dusného, které jsou rozptýleny do ovzduší. Kromě toho se do ovzduší dostává také 320 000 tun popela, který obsahuje 400 tun těžkých kovů jako arzén, kadmium, kobalt, olovo, rtuť, nikl a vanad – množství, které ignorují takové energetické činnosti jako je těžba a doprava surovin (UNDP, 1995; IAEA, 1997 in Rashad & Hammad, 2000).

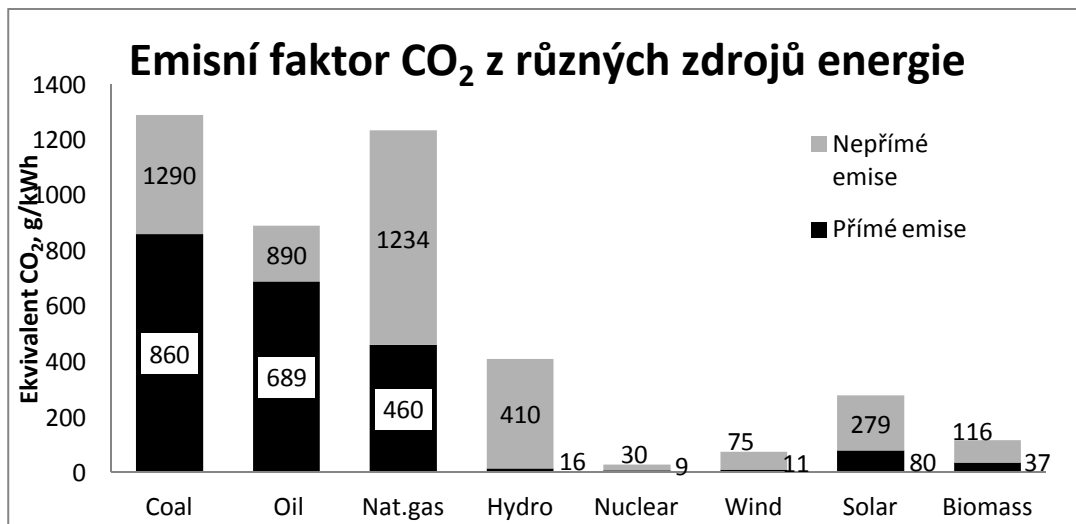
Elektrárny spalující fosilní paliva s použitím moderních technologií snižování emisí mohou snížit množství škodlivých látek uvolňovaných do ovzduší až desetkrát, ale existuje ještě

významné množství pevných odpadů, vznikajících během provozu. V závislosti na obsahu síry produkují zařízení s výkonem 1 000 MWe při odstraňování síry každoročně 500 000 tun tuhých odpadů z uhlí, více než 300 000 tun z ropy a kolem 200 000 tun z úprav zemního plynu (Rashad & Hammad, 2000). Odpad, který obsahuje malé množství toxických látek, je obvykle uložen v rybnících nebo formou výsypky. Regulační subjekty stále častěji zahrnují tento odpad do nebezpečné složky (Rashad & Hammad, 2000).

V důsledku spalování uhlí v elektrárnách je do ovzduší vypouštěno velké množství CO<sub>2</sub> – hlavního skleníkového plynu, což nepochybně přispívá ke globální změně klimatu. Faktor emisí skleníkových plynů se u fosilních paliv pohybuje v rozmezí 500-1 200 g kW(e)h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ekvivalentu (Rashad & Hammad, 2000). Budoucí zlepšení energetické účinnosti fosilních paliv by mohlo tyto emisní faktory snížit, ale překonání velkého rozdílu mezi fosilními palivy a jinými zdroji energie se zdá nepravděpodobné (Rashad & Hammad, 2000).

Hlavním faktorem nejistoty u zemního plynu je jeho možný únik při výrobě a přepravě. Podle prognózy může k roku 2030 dosáhnout množství emisí z uhelných elektráren 41 % z celkového množství CO<sub>2</sub> ve světě (Thitakamol et al., 2007). Kromě CO<sub>2</sub> při spalování uhlí je vypouštěno také velké množství znečišťujících látek jako rtuť, suspendované částice, oxidy síry (SO<sub>x</sub>) a dusíku (NO<sub>2</sub>).

Obr. 2 znázorňuje podíl různých druhů energie na emisích CO<sub>2</sub>. Emisní faktor fosilních zdrojů je mnohem vyšší než u ostatních druhů energie, např. u uhlí představuje 1 200±800 g kWh<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ekvivalentu. Emisním faktorem se myslí průměrné množství znečišťující látky vypouštěné do atmosféry, které je typické pro konkrétní skupinu zdrojů emisí, vztažené na jednotku charakterizující intenzitu provozu emisního zdroje (Rashad & Hammad, 2000).



**Obr. 2. Emisní faktor CO<sub>2</sub> z různých zdrojů energie** (převzato a upraveno z Rashad & Hammad, 2000).

Černá barva sloupců označuje přímé emise z energetických zdrojů, což znamená emise přímo ze zdrojů znečištění, např. komínu, kdyžto šedá barva označuje emise nepřímé, které v sobě zahrnují emise z převozu surovin, úniky z těžby surovin, výrobu a stavbu technologického zařízení.

Jednou ze strategií snižování množství emisí CO<sub>2</sub> je jeho zachycování a skladování, tzv. technologie CCS. Tato technologie také umožňuje používání fosilních paliv způsobem šetrným vůči životnímu prostředí.

CCS lze definovat jako zachycování takového množství CO<sub>2</sub>, které by jinak bylo emitováno z bodového zdroje přímo do ovzduší, a jeho následné ukládání v zabezpečených speciálních nádržích (Vanek & Albright, 2008; Oh, 2010; Farrelly et al., 2013). Nejpoužívanějšími nádržemi pro skladování CO<sub>2</sub> jsou vytěžená ložiska ropy a zemního plynu, hluboké solné formace a nepoužívané uhelné sloje (Xie & Economides, 2009; Farrelly et al., 2013).

Geologické formace jsou často používány pro ukládání oxidu uhličitého z důvodu své velké podzemní kapacity a relativně vyspělé technologie tzv. vstřikování (Xie & Economides, 2009; Farrelly et al., 2013).

Hlavním důvodem pro použití CCS technologie je její potenciál napomoci snížení emisí skleníkových plynů na stabilizovanou úroveň a zároveň umožnit další využívání fosilních paliv (Gerard & Wilson, 2009; Farrelly et al., 2013). Metoda se dělí na tři etapy – zachycování, transport a skladování (SEI, 2005 in Farrelly et al., 2013). Systém zachycování CO<sub>2</sub> může být integrován přímo do elektráren jako jednotka po úpravě kouřových plynů. To znamená, že před přepravou a vypouštěním CO<sub>2</sub> do nádrže musí být z plynu odstraněny

spaliny včetně pevných prachových částic a SO<sub>2</sub>, protože to zabrání ucpávání potrubí a minimalizuje degradaci CO<sub>2</sub> rozpouštědel. Spaliny obsahují různé škodlivé látky jako dioxiny, furany, suspendované částice a stopové prvky (Thitakamol et al., 2007).

Dnes existuje pro zachycování CO<sub>2</sub> množství metod, z nichž nejběžnější je absorpce plynu kapalnými rozpouštědly. Existuje velké množství rozpouštědel pro zachycování CO<sub>2</sub>, která se dělí na fyzikální a chemická. Chemická izolace CO<sub>2</sub> je nejčastěji používanou metodou, protože se ukázalo, že tato technologie je energeticky účinnější a levnější než ostatní (Stewart & Hessami, 2005; Farrelly et al., 2013). Nejpoužívanějším druhem chemických rozpouštědel jsou aminy, konkrétně monoetanolamin, MEA (Rao & Rubin, 2002; Alie et al., 2005; Farrelly et al., 2013). Tuto metodu používá například elektrárna Warrior Run v USA, která využívá aminovou absorpci CO<sub>2</sub>. Bylo zjištěno, že různé typy uhlí produkují různé typy spalin odlišného složení; nejčistším typem co do příměsí je antracit (Thitakamol et al., 2007).

Zachycování CO<sub>2</sub> má však hodně nevýhod, jednou z nich jsou látky, které obsahuje už tzv. zpracovaný plyn po zachycovacím procesu. Hlavní skupinou látek, která uniká do ovzduší, jsou kouřové plyny se sníženým obsahem CO<sub>2</sub> a plynné složky s ostatních procesu.

Oddělený CO<sub>2</sub> je dále přepravován potrubím nebo v tlakových nádržích na úložiště. Podle některých autorů (Packer, 2009; Farrelly et al., 2013) existují velké obavy, že investiční náklady na technologie zachycování CO<sub>2</sub> nebudou ekonomicky výhodné.

Dalším možným způsobem ukládání uhlíku je vypouštění skleníkového plynu do oceánu (vstřikování CO<sub>2</sub> do velkých hloubek, přes 1 000 m). Problémem je v tomto případě acidifikace vod a riziko vyhynutí živočichů (IOCCP, 2009 in Farrelly et al., 2013). Oceán navíc neposkytne možnost dlouhodobého uskladnění plynu, odhaduje se, že 15-20 % uloženého množství CO<sub>2</sub> se vrátí zpět do atmosféry již v průběhu následujících stovek let (Herzog, 2001; Farrelly et al., 2013).

Největší dopad na životní prostředí mají odpady, které vznikají během procesu zachycování CO<sub>2</sub>, jelikož obsahují inhibitory koroze s těžkými kovy a solemi stabilními vůči vysokým teplotám.

Problémem jsou ale také tzv. fugitivní (přechodné) emise. Během provozu uhelné elektrárny mohou být procesní tekutiny náhodně uvolněny ze zachycovací jednotky, a to především v důsledku úniku, ke kterému obvykle dochází při zhoršení stavu technologických zařízení a potrubí, v důsledku koroze, poškození nárazem a vibracemi. Tyto emise jsou na rozdíl od kouřových plynů nepředvídatelné a náhodné, může k nim dojít

kdekoliv v systému, např. u čerpadel, ventilů, větracích otvorů. Bez ohledu na jejich zdroj emitují fugitivní emise určité množství procesních tekutin a materiálů, za které se považují neupravené a upravené spaliny, absorpční rozpouštědla, toxické inhibitory koroze, produkty rozkladu a různé chemické přísady, které mají dráždivé a leptací účinky. Význam fugitivních emisí byl začleněn do zákonů a předpisů o ochraně přírody (Thitakamol et al., 2007).

Je třeba dodat, že hlubinné ukládání oxidu uhličitého, bez ohledu na to, jestli se jedná o vyčerpané ropné pole nebo uhelné sloje a vrstvy, může vést k acidifikaci vody, která se vyskytuje ve velkých hloubkách pod zemí (Riemer et al., 1999; Smekens & van der Zwaan, 2006). V případě porušení geologické vrstvy, do které je CO<sub>2</sub> aplikován, to může mít za následek znečištění okolních podzemních vod a případně ovlivnění kvality pitné vody, pokud je získávána ze zdrojů napájených podzemními vodami.

I za situace, že je zemní plyn uložen v podzemí dlouhodobě, i po několik geologických období, existuje pravděpodobnost postupného posunu a úniku CO<sub>2</sub> ze skladovací jednotky (Ha-Duong & Keith, 2003; Smekens & van der Zwaan, 2006). Právě toto riziko je příčinou pochybností o účinnosti metody CCS ve snižování emisí oxidu uhličitého, zvláště když se jedná o uložení skleníkového plynu ve vodních a uhelných vrstvách.

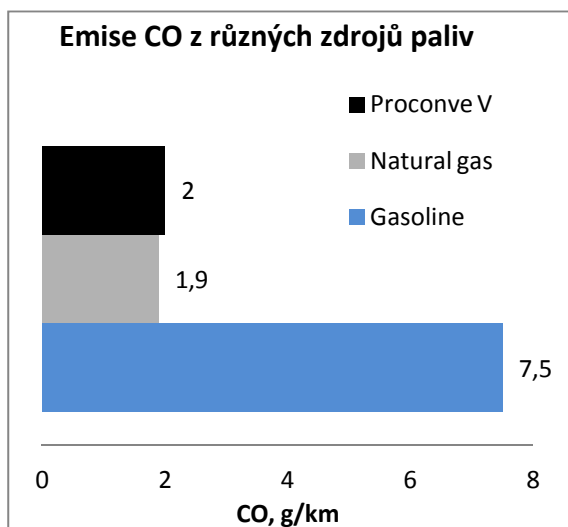
Podle stabilizačního scénáře Mezinárodní energetické agentury (IEA) se předpokládá, že technologie CCS by mohla přispět ke snížení emisí o 21 %, ale k tomu musí být splněna podmínka, že k roku 2050 bude více než 60 % uhelných spalovacích zařízení vybaveno technologií CCS (Corsten et al., 2013). Z nedávno publikovaného Globálního energetického stanovení (GEA) vyplynulo, že metoda CCS bude účinná jen za podmínky, že se objem skladovaného CO<sub>2</sub> bude blížit 250 Gt, a zároveň neklesne pod 55 Gt (Riahi et al., 2012). Všechny zmíněné faktory dělají z metody CCS dost pochybný a zcela ekologicky a ekonomicky nevýhodný nástroj pro snížení emisí CO<sub>2</sub>.

Dalším rizikem spojeným s těžbou uhlí je riziko sesuvu půdy. Odpad vzniklý v uhelných dolech se hromadí na obrovských výsypkách, kde se občas vyskytnou sesuvy půdy. Jeden takový případ nastal v městě Aberfan v Jižním Walesu v říjnu 1966. Velká část výsypky, podmáčená podzemními vodami a silným deštěm, sklouzla dolů po dvěstěmetrovém svahu a zavalila základní školu a osm dalších budov: 141 lidí při této nehodě zemřelo, 116 z nich byly malé děti (Rashad & Hammad, 2000).

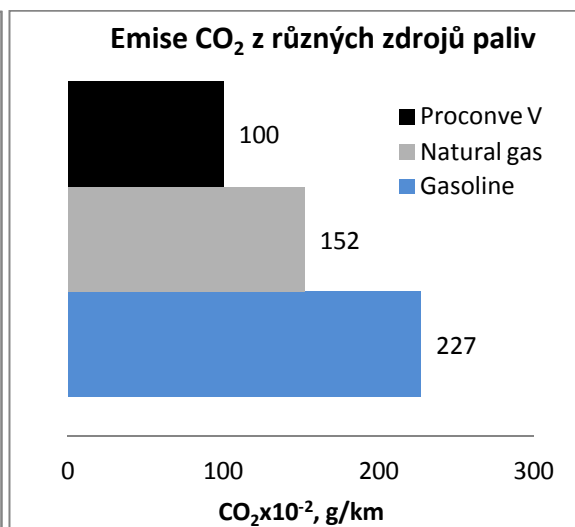
### **5.4.3. Vliv zemního plynu na životní prostředí**

Zemní plyn je relativně čistý zdroj energie, zejména v porovnání s uhlím a ropou. Při používání plynu jako dopravního paliva se toxické emise snižují o 70-85 % ve srovnání s benzínem a motorovou naftou (Barros Zárante & Sodr , 2009). Také podle Barros Zárante & Sodr  (2009) motory na zemní plyn produkují zanedbateln  emise karcinogenních a mutagenních druh  uhlovodíkových sloučenin, registrovaných Agenturou ochrany životního prostředí USA (EPA).

Podle výsledků brazilských výzkumníků pou iv n  zemního plynu jako náhrady za benzín snižuje emise oxidu uhelnatého o 75 % a oxidu uhličitého o 33 % (Barros Zárante & Sodr , 2009). Při pou iv n  zemního plynu se do ovzduší dostává množství CO<sub>2</sub>, kter  je ni  i než sou asn  pr m rn  úroveň emisí u evropských dopravních prostředků (Barros Zárante & Sodr , 2009). Proto může být zemní plyn významnou alternativou při snižování emisí skleníkových plynů.



**Obr. 3. Emise CO z různých zdrojů paliv** (převzato a upraveno z Barros Zárante & Sodr , 2009).



**Obr. 4. Emise CO<sub>2</sub> z různých zdrojů paliv** (převzato a upraveno z Barros Zárante & Sodr , 2009).

Grafy na obrázcích ukazují emise CO a CO<sub>2</sub> v gramech, vztažených na kilometr, kter  ujel v z.

Proconve V – motorov  palivo, kter  vyhovuje podmínkám programu Proconve, spln j c ho ekologick  normy, kter  byl vytvořen proti zne i t n  atmosféry transportn mi prostředky v roce 1986, a kterému musí vyhovovat všechny automobilov  prostředky v Brazílii (Barros Zárante & Sodr , 2009).



Také při používání zemního plynu však existují i zdravotní rizika – podílejí se na nich zejména katastrofy při různém nakládání s plynem (při průzkumu území, kde se plyn vyskytuje, těžbě vrtů a produkci plynu), významné úniky plynu z distribuční sítě, kompresorů a monitorovacích stanic, a oheň či exploze v oblastech s vysokou hustotou obyvatelstva. Nejnovějším problémem, představujícím potenciálně velmi významné riziko v přístavních městech, je problém spojený s přepravou zkapalněného zemního plynu (LNG).

Plošiny, na nichž v období rozvoje hlubinného průzkumu a vrtání bydleli a pracovali výzkumníci, byly často budovány v nepříznivých podmínkách daleko od pevniny, například v Severním moři.

Nehoda na ubytovací plošině „Alexander Kielland“ v ropném norském poli Ekofisk v Severním moři, ke které došlo 27. března 1980, je pravděpodobně nejhorší nehodou spojenou se zemním plynem. Plošina byla v důsledku bouřlivého počasí převržena. Z 225 osob přítomných na plošině 123 lidí zemřelo a mnoho těl nebylo nikdy nalezeno (Rashad & Hammad, 2000).

V červenci 1988 byla další ropná plošina v Severním moři, „Piper Alpha“, zcela zničena požárem a výbuchem. Tato plošina se používala pro těžbu ropy. V důsledku velkého úniku plynu v systému kompresoru vypukl požár a nastala exploze, která způsobila vypnutí všech elektrických napájecích zdrojů, mimo jiné i dispečinku, což vedlo k selhání protipožárního systému a rychlému šíření ohně. Hlavní plynové potrubí bylo zničeno bez možnosti zastavení úniku zemního plynu, jehož obrovské bubliny vystoupaly k mořské hladině a začaly hořet. Nakonec byla celá plošina zničena. Tato katastrofa měla za následek 167 mrtvých a ekonomická ztráta převýšila miliardu dolarů (Rashad & Hammad, 2000).

V říjnu 1949 došlo ke katastrofě spojené s únikem LNG plynu na East Ohio Company v USA. Únik z cisterny činil 2 900 m<sup>3</sup> LNG. Vznikl oblak plynu, který se rychle vznítil a vedl k výbuchu, část plynu se dokonce dostala do kanalizace, kde se také vznítila. Plameny dosáhly výše 900 m a ohnivá koule měla v průměru 300 m, nakonec všechny cisterny s LNG a celý závod pro zkapalnění plynu byly zničeny. Při této nehodě zemřelo 128 lidí a 400 jich utrpělo těžká zranění. V důsledku této katastrofy v Clevelandu došlo v USA k masivnímu tlaku obyvatelstva proti používání zemního plynu a provoz podobných zařízení spojených se zemním plynem byl zastaven na dobu téměř 30 let (Rashad & Hammad, 2000).

Během kruté zimy roku 1987 došlo v Evropě k několika nehodám v důsledku úniku z plynovodů, které byly roztrhány pohyby zemské kůry souvisejícími s chladným počasím. Oheň a následné exploze si vyžádaly několik lidských životů.

Nejhorší vlakovou katastrofou za dobu existence SSSR a nynějšího Ruska je havárie ze 4. června 1989, ke které došlo na úseku Transsibiřské magistrály v Baškirské ASSR u města Ufa. Zde nastal výbuch v důsledku úniku plynu z vedlejšího plynovodu. K úniku zkapalněného plynu docházelo zhruba po pět hodin a také se vytvořil oblak. Jiskra z jednoho z projíždějících vlaků zapálila tento plynový oblak, který zachvátil oblast do vzdálenosti několika kilometrů od místa úniku plynu. Následný výbuch převrátil vozy vlaku, jedenáct vagonů bylo smeteno z kolejí a sedm z nich hned shořelo. Teplo, které vzniklo při hoření zemního plynu, bylo tak silné, že se dva vozy roztavily a částečně se spojily. 600 až 800 lidí zemřelo, mnoho obětí byly děti. V okruhu čtyř kilometrů byly zničeny všechny stromy. Síla exploze byla přirovnána k ekvivalentu 10 kilotun TNT nebo síle malé atomové bomby (Rashad & Hammad, 2000).

## 6. Výhledy do budoucna

Pro mnoho zemí jsou fosilní paliva těmi zdroji energie, na kterých závisí energetická budoucnost státu a ekonomika; u většiny zemí tvoří fosilní paliva stále energetický základ. Ve většině ekonomicky silných zemí světa je efektivita využívání fosilních paliv vysoká a vyšší než celosvětové průměrné hodnoty.

Stejně tak jsou nároky na fosilní zdroje energie vysoké u zemí, které jsou na vrcholu svého rozvoje a které se bez těchto zdrojů neobejdou. Proto je nezbytné hledat rozumnou cestu, která by vyhovovala alespoň většině zemí. Zdrojem budoucnosti se může stát jaderná energie, která je mnohem efektivnější než fosilní paliva a produkuje větší množství energie. Během provozu jaderných zařízení je riziko nehod nižší než například u uhelné elektrárny. Stejně tak některé studie prokazují vyšší riziko pro lidské zdraví, spojené s radioaktivitou, u uhelných elektráren než u jaderných zařízení (Hong & Dong, 2000; Papastefanou, 2010). Energetika musí být zároveň efektivní a ekonomicky prospěšná. Je třeba ze začátku vytvořit stabilní systém smíšeného typu, kde budou používána jak fosilní paliva, tak i uran, a následně může většina zemí přejít v budoucnu na jadernou energetiku.

**Tabulka 1.** R/P index pro ropu, zemní plyn, uhlí a uran (převzato a upraveno z Energy Watch Group, 2006; BP, 2011).

Typ zdrojů energie	R/P index
Ropa	46,2 let
Zemní plyn	58,6 let
Uhlí	118 let
Uran	70 let

R/P index představuje poměr zásob ku produkci a ukazuje, na jakou dobu budou aktuální zásoby surovin stačit za podmínky udržení stejného tempa produkce.

Zásoby uhlí vystačí ze všech uvedených paliv na nejdelší dobu, ale když vezmeme v úvahu, že zdroje uranu v zemské kůře se odhadují na 40 bilionů tun, může toto množství vystačit na delší čas (Petroski & Wood, 2012). Podle energetických odborníků bude uhlí postupně nahrazováno zemním plynem a obnovitelnými zdroji energie. Největší růst spotřeby energie se očekává u obnovitelných zdrojů včetně biopaliva. Mezi roky 2010 a 2030 se očekává nárůst spotřeby energie z těchto zdrojů o 8,2 % ročně (BP; 2011). Z fosilních paliv je největší růst spotřeby energie odhadován u zemního plynu, a to na 2,1 % za rok. Podíl ropy na energetickém trhu bude klesat a podíl plynu naopak stoupat (BP; 2011).

Období industrializace v Číně a Indii způsobilo růst podílu uhlí na trhu, ale k roku 2030 se jeho podíl patrně zmenší. Podíl obnovitelných zdrojů v poptávce po energetických zdrojích bude vysoký a do roku 2030 se zvýší na 18 %. Rychlost, kterou obnovitelné zdroje pronikají na energetický trh, připomíná tempo vzniku jaderné energetiky. V dopravní sféře nastává diverzifikace, při které se role biopaliva zvyšuje. Téměř třetina poptávky po energii do roku 2030 bude v tomto sektoru připadat na biopalivo. Ropa bude v dopravním sektoru stále jedničkou mezi zdroji energie, ale její podíl v globální spotřebě energie bude klesat v závislosti na růstu využívání jiných zdrojů. Zpomalení růstu spotřeby ropy v dopravním sektoru bude souviset především s vyšší hospodárností v jejím využívání a s vysokými cenami. Velké naděje v souvislosti s dodáváním ropy se dnes vztahují k Iráku (BP, 2011). V určité míře se zvýší počet hybridních aut, elektromobilů a používání zkapalněného plynu v dopravě, to však nebude znamenat do roku 2030 přínos pro rozvoj dopravního systému. Podle prognóz společnosti British Petroleum (nyní BP) budou po roce 2020 představovat kolem 40 % globálního růstu poptávky po kapalných palivech právě kapalná biopaliva,

ve srovnání s rokem 2010 (13 %). Ve výrobě biopaliva jsou stálými lídry Brazílie a USA, v jeho spotřebě budou dominovat USA a Evropa (BP, 2011).

Podle základního scénáře British Petroleum bude v budoucnu hrát velkou roli mezi energetickými zdroji zemní plyn, v důsledku politických opatření na omezení emisí skleníkových plynů, cen za uhlík a podpory nízkouhlíkových technologií (BP, 2011).

Výroba elektrické energie s využitím zemního plynu přináší o polovinu menší emise CO<sub>2</sub> a téměř žádné emise síry v porovnání s tradiční výrobou energie z uhlí. Pro tyto vlastnosti zemního plynu, šetrné vůči životnímu prostředí, se očekává nahrazení uhlí tímto zdrojem elektrické energie ve všech státech Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD). Tento jev se bude projevovat zejména v evropských zemích. Podíl plynu na výrobě energií z fosilních paliv vyrostl ze 42 % v roce 2010 na 65 % v roce 2030 (BP, 2011).

V globálním měřítku se podíl zemního plynu na celkové výrobě elektrické energie zvýší z 20,5 % na 22 % v roce 2030 (BP, 2011).

Jedním z plyných energetických zdrojů budoucnosti může stát hydrát metanu. Tento plyn představuje krystalickou kombinaci molekul zemního plynu a vody. 0,76 m<sup>3</sup> hydrát metanu se uvolní při přiblížení k zemskému povrchu přibližně 344 m<sup>3</sup> zemního plynu (Mongillo, 2011). Ložiska tohoto plynu mohou mít rozsah stovek metrů a obecně se vyskytují na dvou typech nalezišť – pod arktickým permafrostem a pod mořským dnem. Avšak jak je známo, metan je skleníkový plyn a uvolnění velkého množství tohoto plynu vede k oteplování atmosféry Země. Ze začátku se bude těžit pravděpodobně pod permafrostem na Aljašce a pod mořským dnem v oblasti indického a čínského pobřeží, dále také v Mexickém zálivu (Science World, 2011).

Alternativou je také zemní plyn a metan ze skládek, vyráběné z biomasy. Výhodou tohoto typu technologie je dlouhodobá přítomnost skládkového plynu i po zavření skládek, po dobu 20 let a více (Mongillo, 2011).

Možností, jak omezit emise CO<sub>2</sub>, bude uplatnění emisních povolenek v různých státech.

Podle scénáře British Petroleum dosáhne množství emisí skleníkových plynů vrcholu kolem roku 2020 a k roku 2030 se sníží o 14 % v porovnání s rokem 2010 (BP, 2011).

V dopravním sektoru existuje omezený potenciál pro přechod na jiný typ paliva. Vzhledem k tomu, že k rozvoji elektromobilů dojde až kolem roku 2030, bude hlavním kritériem pro snížení emisí zvýšení efektivity dopravních prostředků se spalovacími motory.

Největší potenciál přechodu na jiný typ paliva než ropa se nachází ve sféře výroby elektrické energie, kde největším zdrojem budou obnovitelné zdroje poté, co klesne podíl

uhlí na výrobě energie a podíl plynu se zvětší, avšak celkový objem spotřeby energie se zmenší (BP, 2011).

## 7. Závěr

Každý den stoupá u lidstva potřeba energie, člověk potřebuje více a více energie pro různé aspekty svého života. To samozřejmě znamená, že se musí vyrábět energie stále více.

Podíl fosilních paliv na výrobě energie stále ve světě převládá. Některé státy se snaží u fosilních zdrojů energie o nezávislost na dodavatelích, to je však těžko dosažitelné bez dostačujících ložisek. Proto se hledají nová alternativní ložiska v podobě dehtových písků a břidlicového plynu. Je však třeba počítat i s ekologickými následky těchto alternativ.

V dnešní době se nejedná o objem zásob, ale o rychlost a objem těžby. Ložisko je nevýhodné, pokud není možné těžít hodně a neustále, protože s těžbou jsou spojené velké náklady. Nekonvenční zdroje jsou velké, ale vzhledem k velkým investicím a dopadům na životní prostředí je nemůžeme pokládat za skutečnou alternativu – tyto zdroje nemohou pokrýt energetickou potřebu lidstva a zároveň nemít razantní vliv na životní prostředí.

Samozřejmě není možné ze dne na den úplně nahradit fosilní zdroje energie ani posunout jejich dominantní roli při výrobě elektřiny, ale je možné a je nutné postupně uplatňovat jiné varianty. Spolehlivý a velmi produktivní zdroj je podle mého názoru uran: je úžasné, kolik energie je možné vyrobit z jedné jaderné tablety v porovnání s jinými zdroji. Jaderná energetika je poměrně stálý zdroj energie, přináší více energie a je šetrnější k životnímu prostředí než fosilní paliva. V poslední době je patrný zájem některých zemí o jadernou energetiku. Domnívám se, že tento zdroj může dobře konkurovat fosilním zdrojům, že alespoň částečně může toto odvětví zvyšovat svůj podíl na výrobě elektrické energie.

Někteří lidé si už dávno neumějí představit svůj život bez auta, je to samozřejmost, ale když se zamyslíme nad tím, kolik lidí dnes vlastní auto a kolik by jich auto vlastnit chtělo a bude chtít v budoucnu, vyvstane prognóza velké potřeby dopravního paliva. Používání ropy a benzínu v nádržích aut tedy nemůže trvat věčně, proto už nyní musíme myslet na budoucí generaci a nové druhy pohonných hmot. Takovou alternativou se mohou z mého pohledu stát auta, která budou používat jako palivo vodík. Ten je mnohem bezpečnější a šetrnější k životnímu prostředí než např. ropa. V průmyslu se vodík hlavně vyrábí ze zemního plynu

reakcí s vodní parou a kyslíkem. Dalším způsobem výroby je elektrolýza vodních roztoků NaOH a KOH. S využíváním vodíku jsou spojené potíže při skladování, ale už existují společnosti, které i tento problém vyřešily; většina automobilových koncernů pro své prototypy používá metodu skladování vodíku ve formě plynu (Bakker et al., 2012) včetně značky Hyundai, která jako první uvedla na trh auto na vodíkové palivové články (Anonymous, 2011).

Z fosilních paliv je mi sympatický zemní plyn, osobně si myslím, že je to ten druh fosilní energie, na který se může lidstvo spolehnout. Je bezpečnější než všechna ostatní fosilní paliva, produkuje v porovnání s ostatními zdroji menší množství emisí. Stejně tak může být dobrou alternativou pohonné hmoty místo ropy. Výhodou zemního plynu je i lepší rozmístění jeho ložisek ve světě než u ropy a dále možnost používat jej v různých modifikacích.

Co se týče vlivů na životní prostředí, opravdu účinným opatřením pro snížení environmentálních dopadů elektrické energie by bylo snížení objemu její spotřeby.

V dnešní době existuje hodně typů a druhů energie a lidstvo musí využívat nabídek, které nám poskytuje příroda. Při používání obnovitelných zdrojů tam, kde na to jsou vhodné podmínky, se sníží nežádoucí vliv na životní prostředí. Avšak pevným a spolehlivým zdrojem budoucnosti musí prozatím být mix jaderné a fosilní energie. Je třeba zkoušet různé nové technologie používání fosilních paliv, omezovat škodlivé emise cestou povolenek. Hlavně se domnívám, že je důležité omezit alespoň rychlost spotřeby energie, protože to pomůže celkové situaci v životním prostředí a usnadní práci takových technologií jako CCS.

Fosilní paliva nepředstavují zlo, ale dar, který je dán lidstvu k využití, nelze je však využívat zcela bez potíží. Každá věc má svůj čas – je třeba začít postupně uplatňovat i nové typy energie a technologie, které nahradí primární zdroje energie.

## 8. Seznam literatury a použitých elektronických zdrojů

### Literární zdroje

Alie C., Backham L., Croiset E. & Douglas P. L. (2005): Simulation of CO<sub>2</sub> capture using MEA scrubbing: a flowsheet decomposition method. *Energy Conversion and Management* 46: 475-487.

Anonymous (2011): European officials to drive leased Hyundai ix35 fuel cell vehicle. *Fuel Cells Bulletin* 2011 (10): 2.

Augusta P. (ed.) (2001): *Velká kniha o energii*. L.A. Consulting Agency, Praha, 383 pp, ISBN 80-238-6578-1.

Bakker S., van Lente H. & Meeus M. T. H. (2012): Dominance in the prototyping phase – the case of hydrogen passenger cars. *Research Policy* 41 (5): 871-883.

Barros Zárante P. H. & Sodr  J. R. (2009): Evaluating carbon emissions reduction by use of natural gas as engine fuel. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 1: 216-220.

Corsten M., Ramírez A., Shen L., Koornneef J. & Faaij A. (2013): Environmental impact assessment of CCS chains – lessons learned and limitations from LCA literature. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 13: 59-71.

Farrelly D. J., Everard C. D., Fagan C. C. & McDonnell K. P. (2013): Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21: 712-727.

Federal government of the U.S. (2010): *Federal Register* 75 (14): 3706-3707.

Tak  dostupn  v PDF z:

<http://www.evostc.state.ak.us/Universal/Documents/NEPA/FinalNOI.pdf>.

Gerard D. & Wilson E. J. (2009): Environmental bonds and the challenge of long-term carbon sequestration. *Journal of Environmental Management* 90: 1097-1105.

Ha-Duong M. & Keith D. W. (2003): Carbon storage: the economic efficiency of storing CO<sub>2</sub> in leaky reservoirs. *Clean Technologies and Environmental Policy* 5: 181-189.

Herzog H. (2001): What future for carbon capture and sequestration? *Environmental Science & Technology* 35: 148-153.

Hong L. & Dong F. (2000): Comparative health risk assessment of coal power and nuclear power in China. *Progress in Nuclear Energy* 37 (1-4): 31-35.

Hurst R. J. & Oritsland N. A. (1982): Polar bear thermoregulation: Effect of oil on the insulative properties of fur. *Journal of Thermal Biology* 7: 201-208.

Hurst R. J., Watts P. D. & Oritsland N. A. (1991): Metabolic compensation in oil-exposed polar bears. *Journal of Thermal Biology* 16: 53-56.

IAEA (1997): Sustainable development, and nuclear power. International Atomic Energy Agency. In: Rashad S. M. & Hammad F. H. (2000): Nuclear power and the environment:

- comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. *Applied Energy* 65: 211-229.
- IOCCP (2009): The ocean in a high CO<sub>2</sub> world: ocean acidification. The International Ocean Carbon Coordination Project, Monterey. In: Farrelly D. J., Everard C. D., Fagan C. C. & McDonnell K. P. (2013): Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21: 712-727.
- Milanova E. V. & Ryabchikov A. M. (1986): *Ispol'zovaniye prirodnykh resursov i okhrana prirody*. Vysshaya shkola, Moskva, 280 pp.
- Mishra D. R., Cho H. J., Ghosh S., Fox A., Downs C., Merani P. B. T., Kirui P., Jackson N. & Mishra S. (2012): Post-spill state of the marsh: Remote estimation of the ecological impact of the Gulf of Mexico oil spill on Louisiana Salt Marshes. *Remote Sensing of Environment* 118: 176-185.
- Mongillo J. F. (2011): *A Student Guide to Energy, Volume 1: Oil, Natural Gas, Coal, and Nuclear*. Greenwood, Santa Barbara, 262 pp, ISBN 9780313377204.
- Oh T. H. (2010): Carbon capture and storage potential in coal-fired plant in Malaysia – a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 14: 2697-2709.
- Packer M. (2009): Algal capture of carbon dioxide; biomass generation as a tool for greenhouse gas mitigation with reference to New Zealand energy strategy and policy. *Energy Policy* 37 (9): 3428-3437.
- Papastefanou C. (2010): Escaping radioactivity from coal-fired power plants (CPPs) due to coal burning and the associated hazards: a review. *Journal of Environmental Radioactivity* 101 (3): 191-200.
- Petroski R. & Wood L. (2012): Sustainable, full-scope nuclear fission energy at planetary scale. *Sustainability* 4 (11): 3088-3123.
- Pimentel D., Marklein A., Toth M. A., Karpoff M., Paul G. S., McCormack R., Kyriazis J. & Krueger T. (2008): Biofuel impacts on world food supply: use of fossil fuel, land and water resources. *Energies* 1: 41-78.
- Rahm D. (2011): Regulating hydraulic fracturing in shale gas plays: The case of Texas. *Energy Policy* 39 (5): 2974-2981.
- Rao A. & Rubin E. S. (2002): A technical, economic and environmental assessment of amine-based CO<sub>2</sub> capture technology for power plant greenhouse gas control. *Environmental Science and Technology* 36: 4467-4475.
- Rashad S. M. & Hammad F. H. (2000): Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. *Applied Energy* 65: 211-229.
- Riahi K., Dentener F., Gielen D., Grubler A., Jewell J., Klimot Z., Krey V., McCollum S., Pachiri S., Rao S., van Ruijven B., van Vuuren D. & Wilson C. (2012): Chapter 17 – Energy pathways for sustainable development. In: *Global Energy Assessment – Toward a sustainable future*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, and the International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg: 1203-1306.
- Riemer P., Eliasson B. & Wokaun A. (1999): *Greenhouse Gas Control Technologies*. Elsevier, Langford Lane Kidlington, 1205 pp, ISBN 008-043018-X.



- SEI (2005): Emerging energy technologies in Ireland: a focus on carbon capture and Hydrogen. Sustainable Energy Ireland, Dublin. In: Farrelly D. J., Everard C. D., Fagan C. C. & McDonnell K. P. (2013): Carbon sequestration and the role of biological carbon mitigation: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 712-727.
- Smekens K. & van der Zwaan B. (2006): Atmospheric and geological CO<sub>2</sub> damage costs in energy scenarios. Environmental Science & Policy 9: 217-227.
- Stewart C. & Hessami M. A. (2005): A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration – the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. Energy Conversion and Management 46: 403-420.
- UNDP (1995): United Nations Development Programme, Human development report. Oxford University Press, New York, 115 pp, ISBN 0-19-510023-9.
- Thitakamol B., Veawab A. & Aroonwilas A. (2007): Environmental impacts of absorption-based CO<sub>2</sub> capture unit for post-combustion treatment of flue gas from coal-fired power plant. International Journal of Greenhouse Gas Control 1: 318-342.
- Vanek F. M. & Albright L. D. (2008): Energy systems engineering – evaluation and implementation. McGraw-Hill, New York, 532 pp, ISBN 978-0071787789.
- Vujić J., Dragoljub P., Antić D. P. & Vukmirović Z. (2012): Environmental impact and cost analysis of coal versus nuclear power: The U.S. case. Energy 45 (1): 31-42.
- Xie X. & Economides M. J. (2009): The impact of carbon geological sequestration. Journal of Natural Gas Science and Engineering 1: 103-111.

## Elektronické zdroje

World Energy Council. 2010 Survey of energy resources. In: World Energy Council [online]. ©2010 [cit. 2013-01-22].

Dostupný v PDF z: [http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/09/ser\\_2010\\_report\\_1.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/09/ser_2010_report_1.pdf).

NOAA Fisheries, National Oceanic and Atmospheric Administration. 2010-2013 Cetacean Unusual Mortality Event in Northern Gulf of Mexico. In: NOAA Fisheries [online]. 2013 [cit. 2013-02-10].

Dostupný z: [http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/cetacean\\_gulfofmexico2010.htm](http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/cetacean_gulfofmexico2010.htm).

BP. BP statistical review of world energy. In: bp.com [online]. June 2011 [cit. 2013-07-12]. Dostupný v PDF z:

[http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGING/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2011.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf).

U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Deepwater Horizon Response Consolidated Fish and Wildlife Collection Report. In: RestoreTheGulf.gov [online]. November 2, 2010 [cit. 2013-03-03].

Dostupný v PDF z: <http://www.restorethegulf.gov/sites/default/files/documents/pdf/Consolidated%20Wildlife%20Table%20110210.pdf>.

Energy Watch Group. Uranium resources and nuclear energy. In: Energy Watch Group [online]. 2006 [cit. 2013-03-05].

Dostupný v PDF z:

[http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG\\_Report\\_Uranium\\_3-12\\_2006ms.pdf](http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG_Report_Uranium_3-12_2006ms.pdf)

Los Angeles Almanac. Great Oil Fields of Los Angeles County. In: Los Angeles Almanac [online]. 2013 [cit. 2013-03-07].

Dostupný z: <http://www.laalmanac.com/energy/en14.htm>.

Greenpeace. Save the Arctic. Greenpeace [online]. 2013 [cit. 2013-03-29].

Dostupný z: <http://www.savethearctic.org>.

Science World. Hydrát metanu, nástupce ropy: Jak vzniká a proč se hned nevypaří? In: Science World.cz [online]. Publikováno 03.02.2011 [2013-03-27].

Dostupný z: <http://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/hydrat-metanu-nastupce-ropy-jak-vznika-a-proc-se-hned-nevypari-6207/>.

U.S. Energy Information Administration (U.S. EIA). International Energy Outlook 2013. In: International Energy Outlook 2013 [online]. Publikováno July 25, 2013 [cit. 2013-07-30].

Dostupný z: [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more\\_highlights.cfm](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more_highlights.cfm).

Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). OPEC share of World Crude oil reserves 2011. In: OPEC Annual Statistical Bulletin 2012 [online]. ©2012 [cit. 2013-03-10].

Dostupný z: [http://www.opec.org/opec\\_web/en/data\\_graphs/330.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm).

ČSÚ. Dovoz ropy, ropných poloproduktů a produktů do ČR – od počátku roku 2011, 2012, 2013. In: Český statistický úřad [online]. Leden až duben 2011, 2012, 2013 [cit. 2013-05-15].

Dostupný v PDF z:

[http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/t/9D00270F09/\\$File/8105130403a.pdf](http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/t/9D00270F09/$File/8105130403a.pdf).

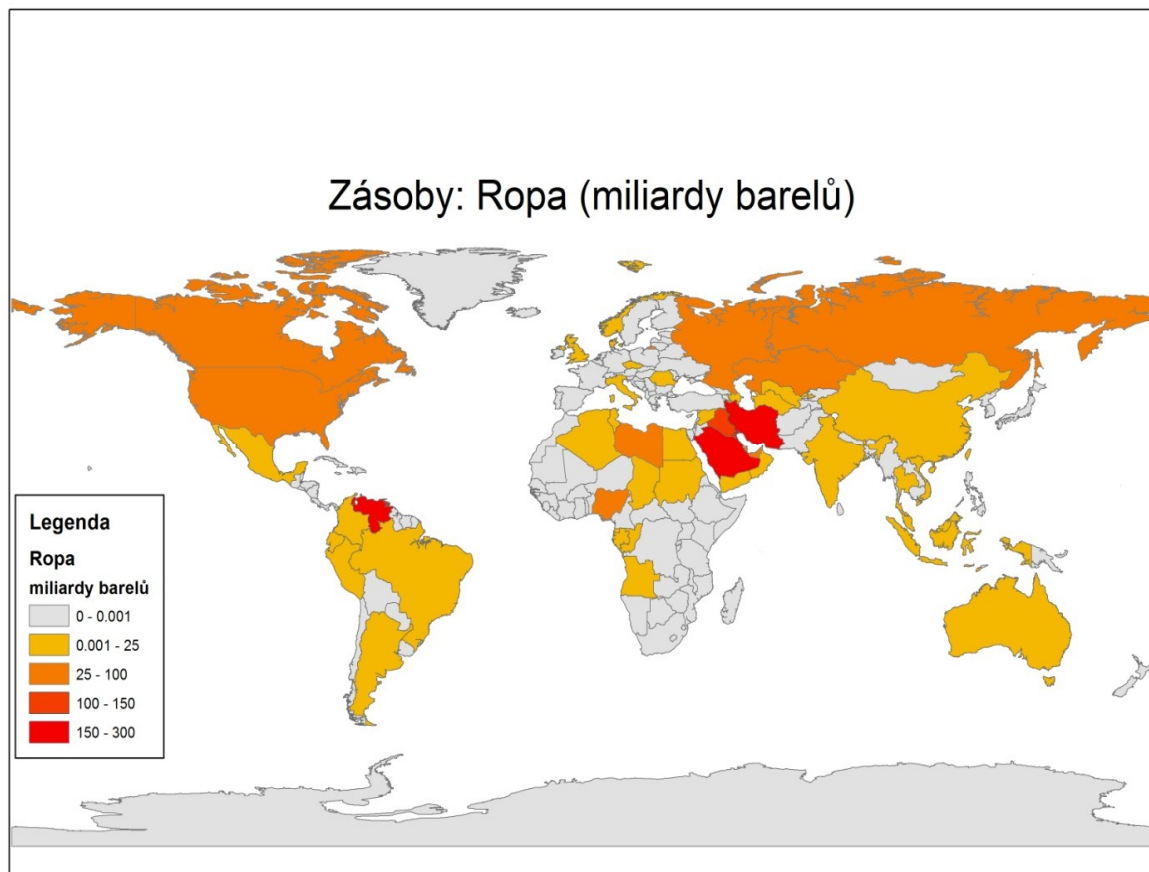
Ministerstvo životního prostředí. Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2012. In: CENIA, Česká informační agentura životního prostředí [online]. ©2012 [cit. 2013-02-17].

Dostupný v PDF z: [http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Rocenka\\_2012\\_cr.pdf](http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Rocenka_2012_cr.pdf).

Škorpík Jiří. Fosilní paliva, jejich využití v energetice a ekologické dopady. In: Transformační technologie [online]. Naposledy aktualizováno v červnu 2011 [cit. 2013-03-14].

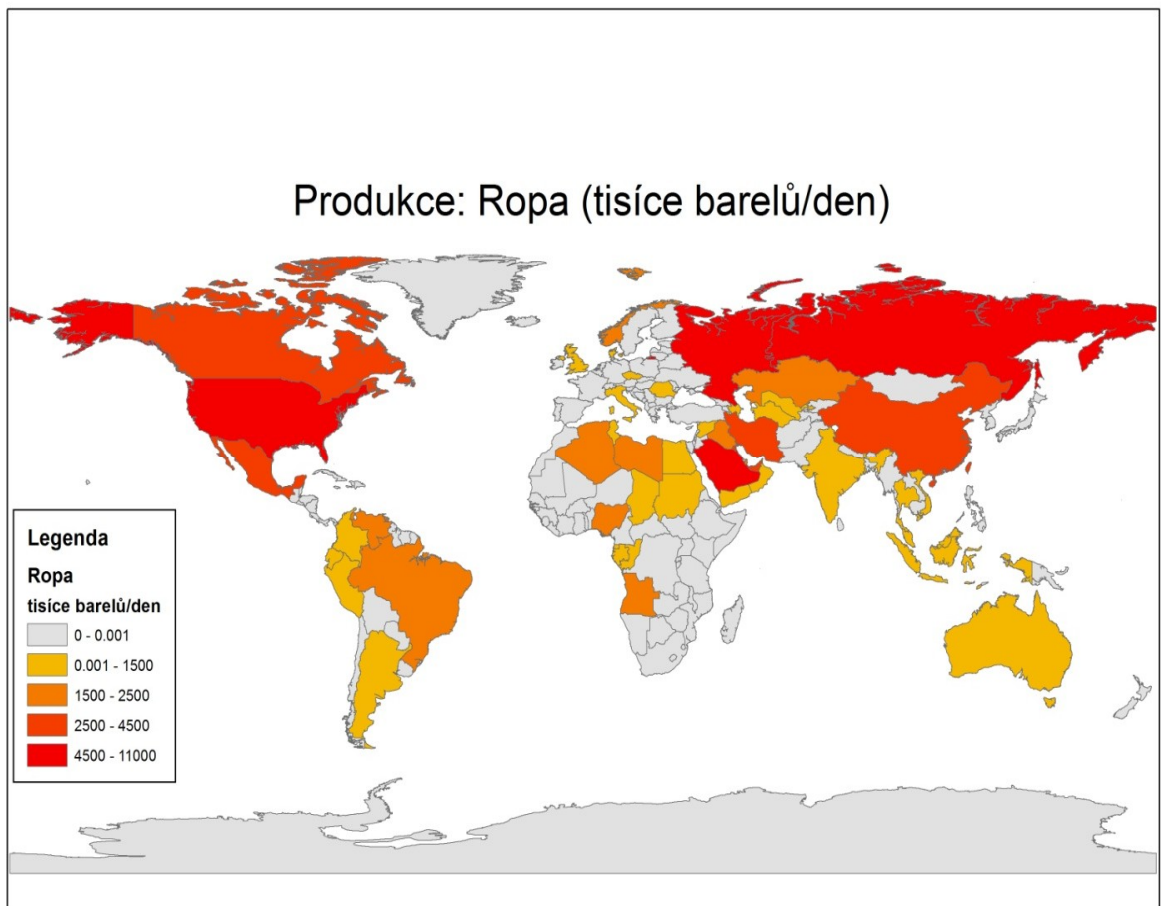
Dostupný z: <http://www.transformacni-technologie.cz/fosilni-paliva-jejich-vyuziti-v-energetice-a-ekologicke-dopady.html>.

## 9. Přílohy



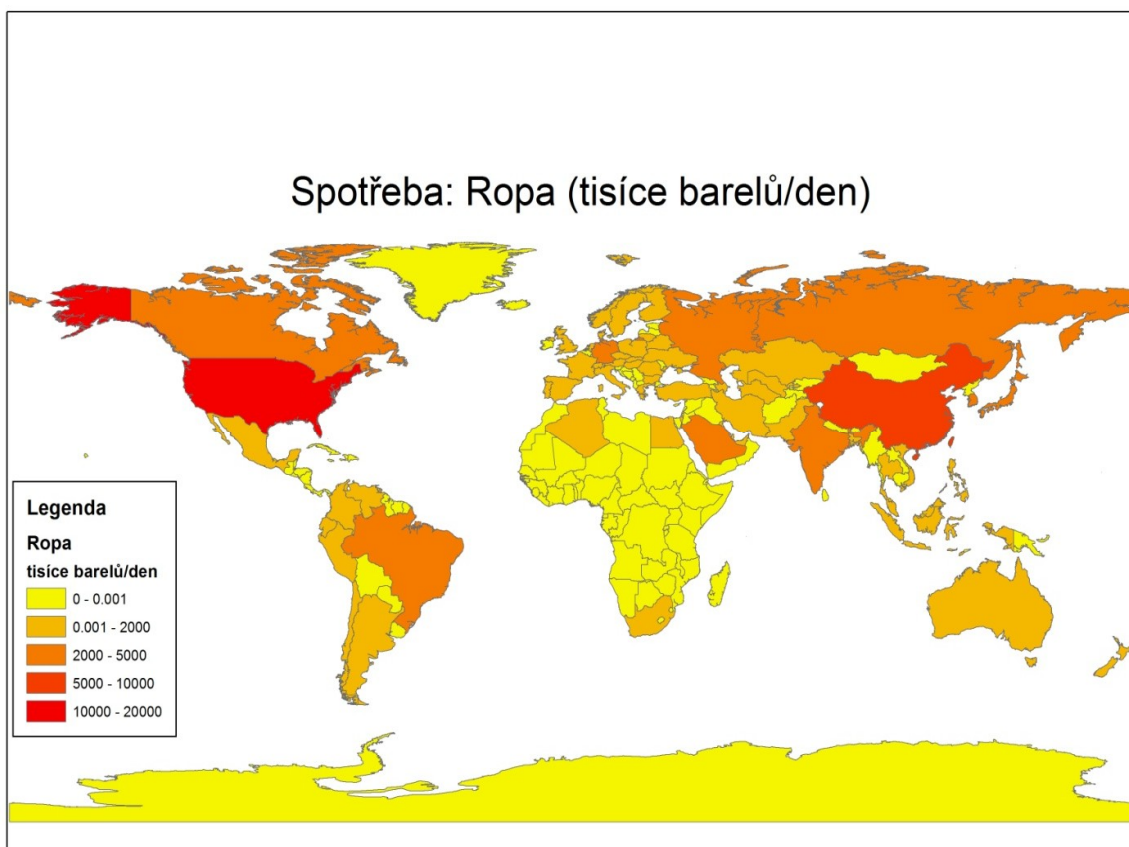
### **Příloha 1. Přehled zemí, vlastních zásoby ropy na konci roku 2010**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011; OPEC, 2012; World Energy Group, 2006)



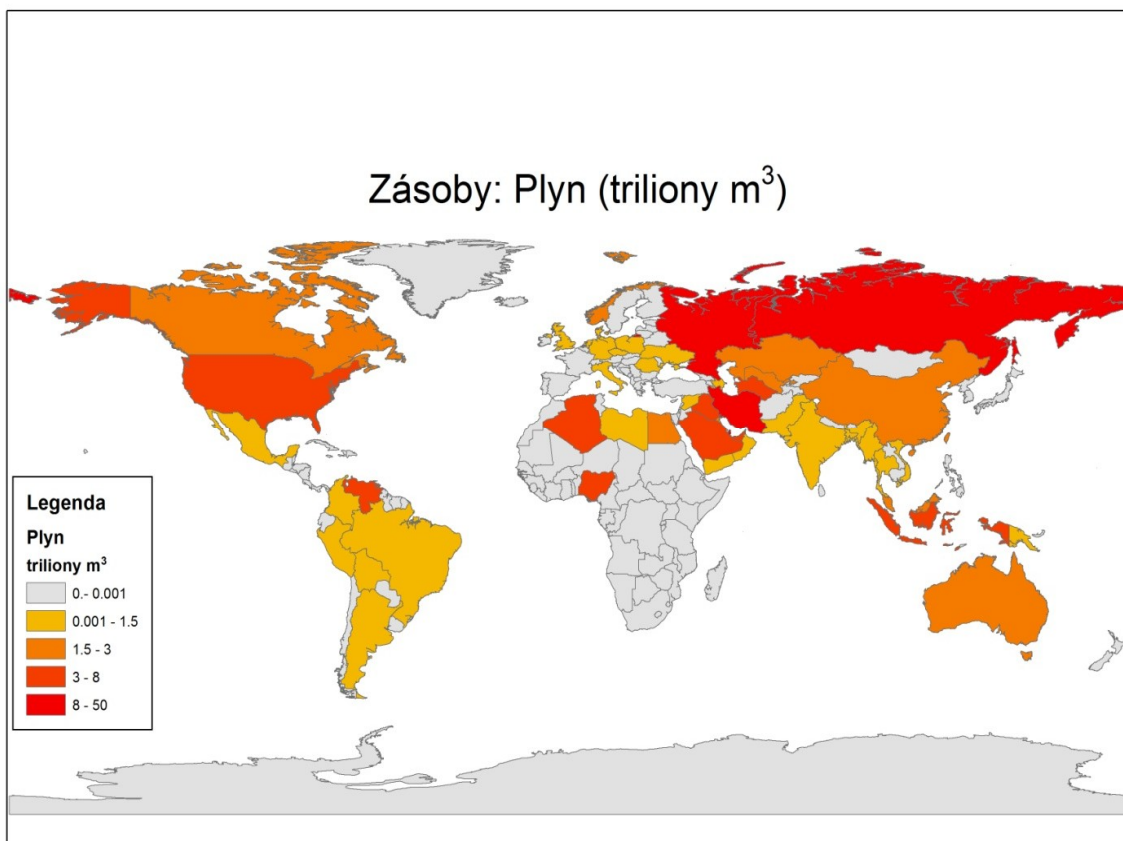
**Příloha 2. Přehled světové produkce ropy pro rok 2010.**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011; World Energy Group, 2006)



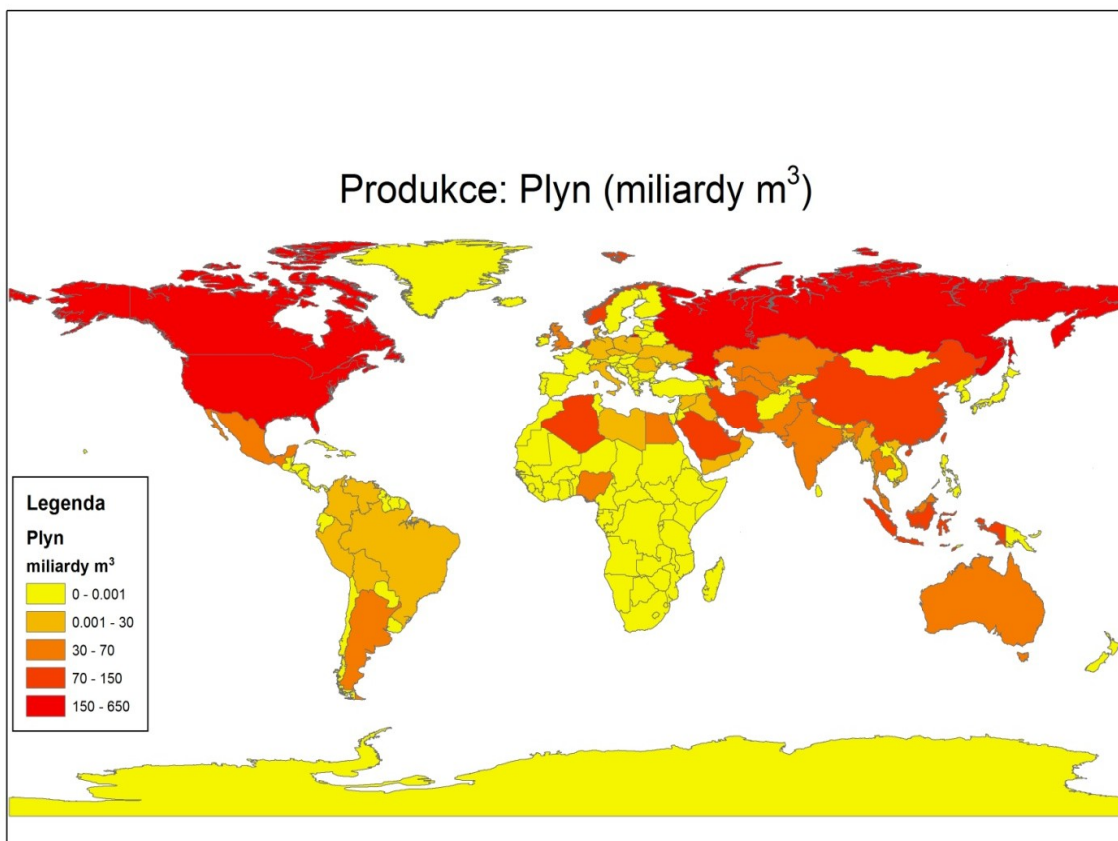
**Příloha 3. Přehled světové spotřeby ropy pro rok 2010.**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011)



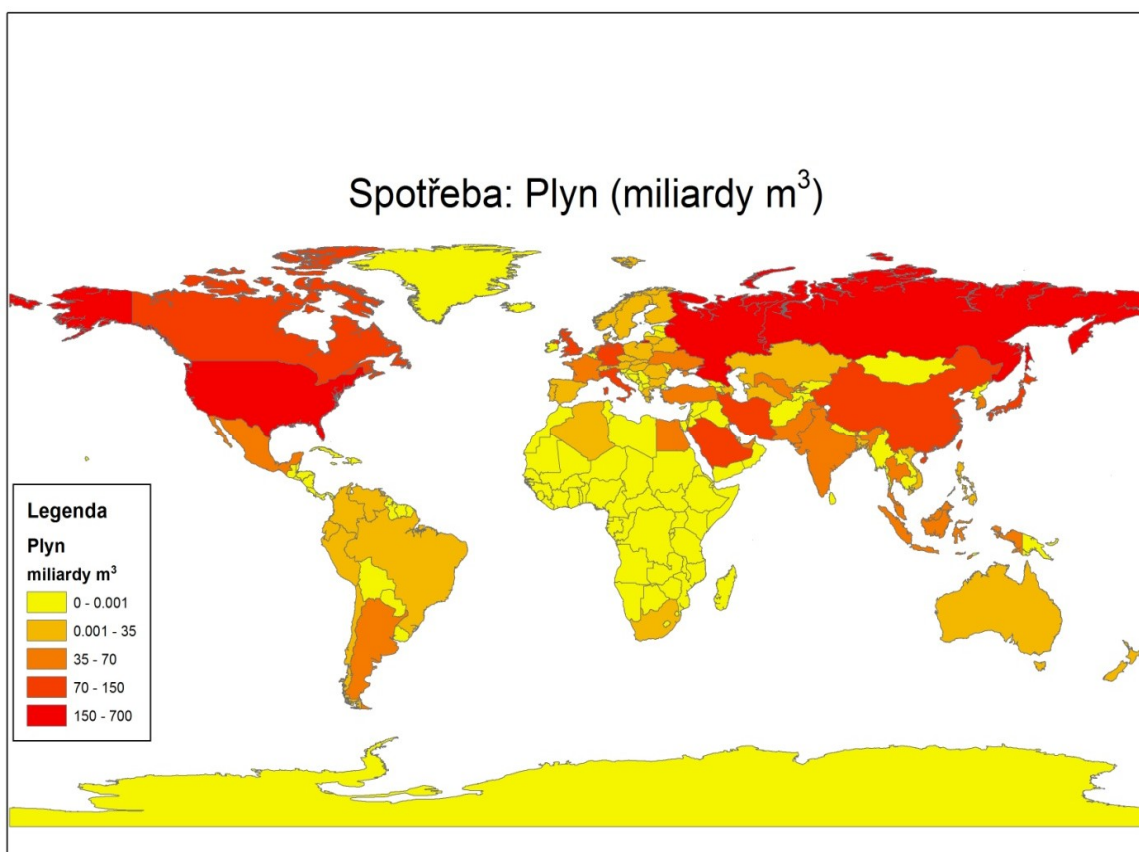
**Příloha 4. Přehled zemí, vlastních zásoby plynu na konci roku 2010.**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011; World Energy Group, 2006)



**Příloha 5. Přehled světové produkce plynu za rok 2010.**

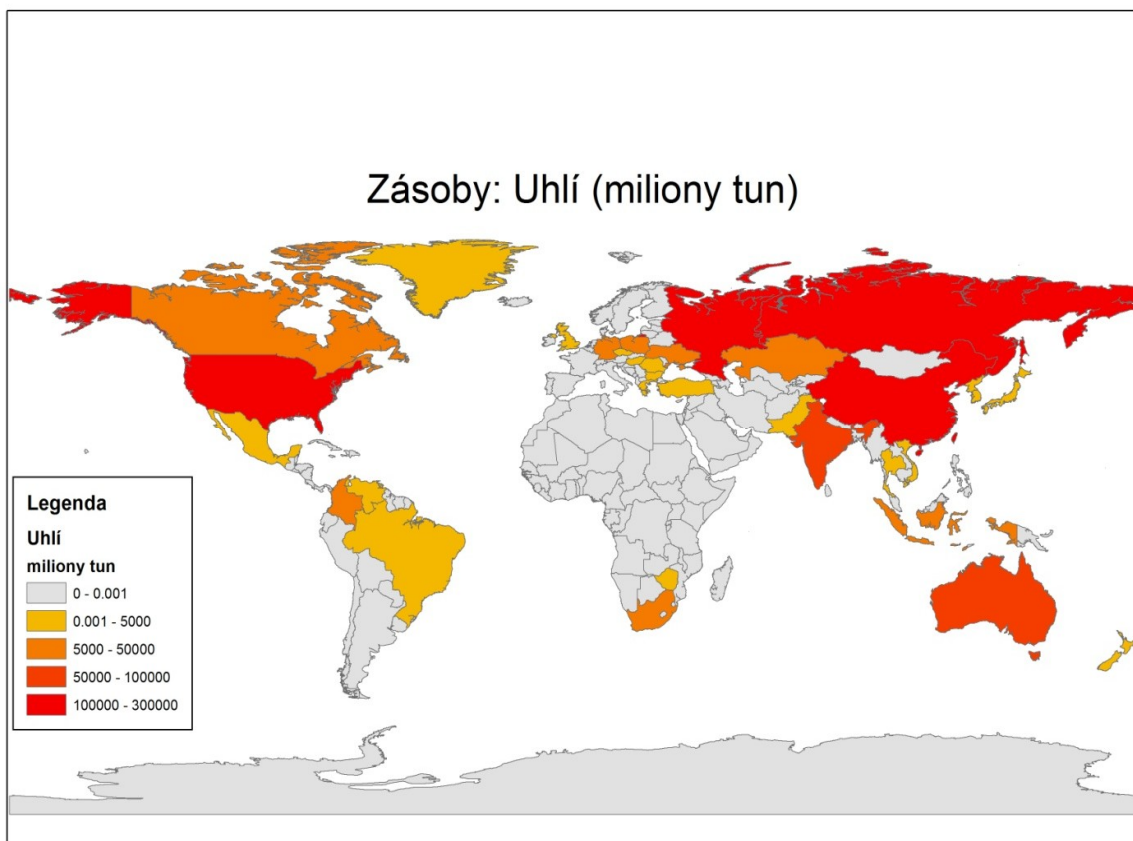
(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011; World Energy Group, 2006)



**Příloha 6. Přehled světové spotřeby plynu za rok 2010.**

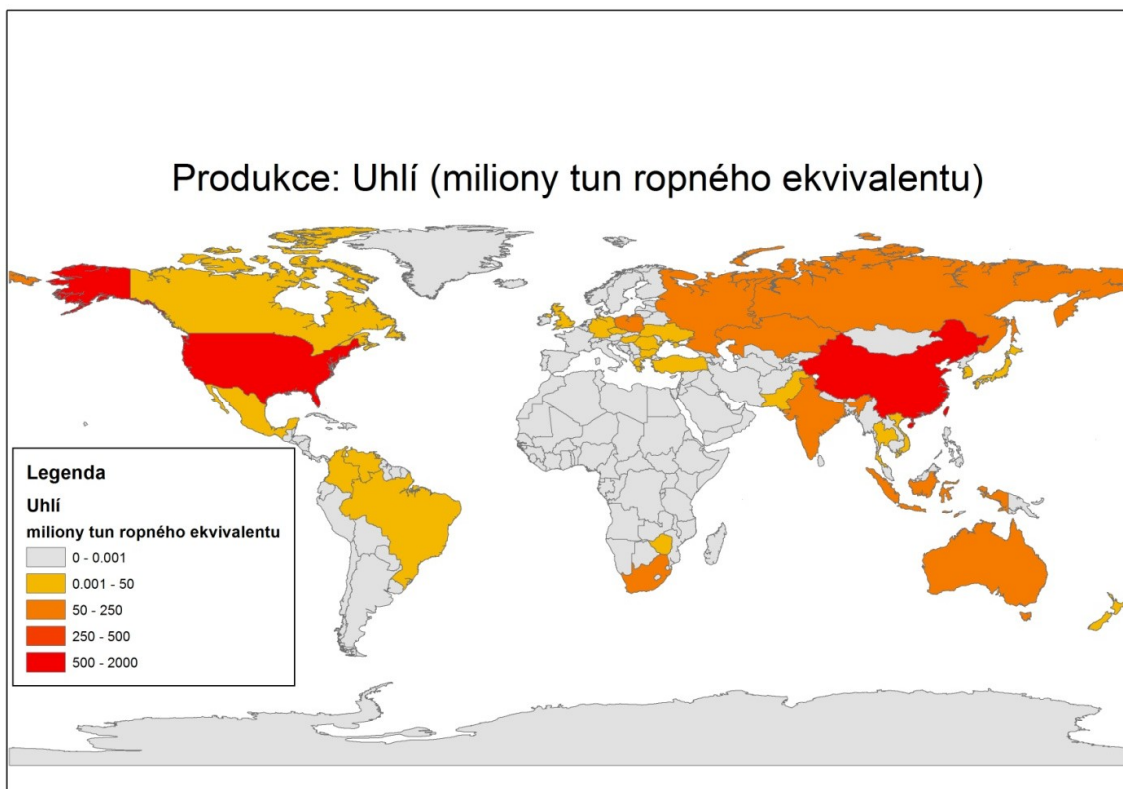
(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011)





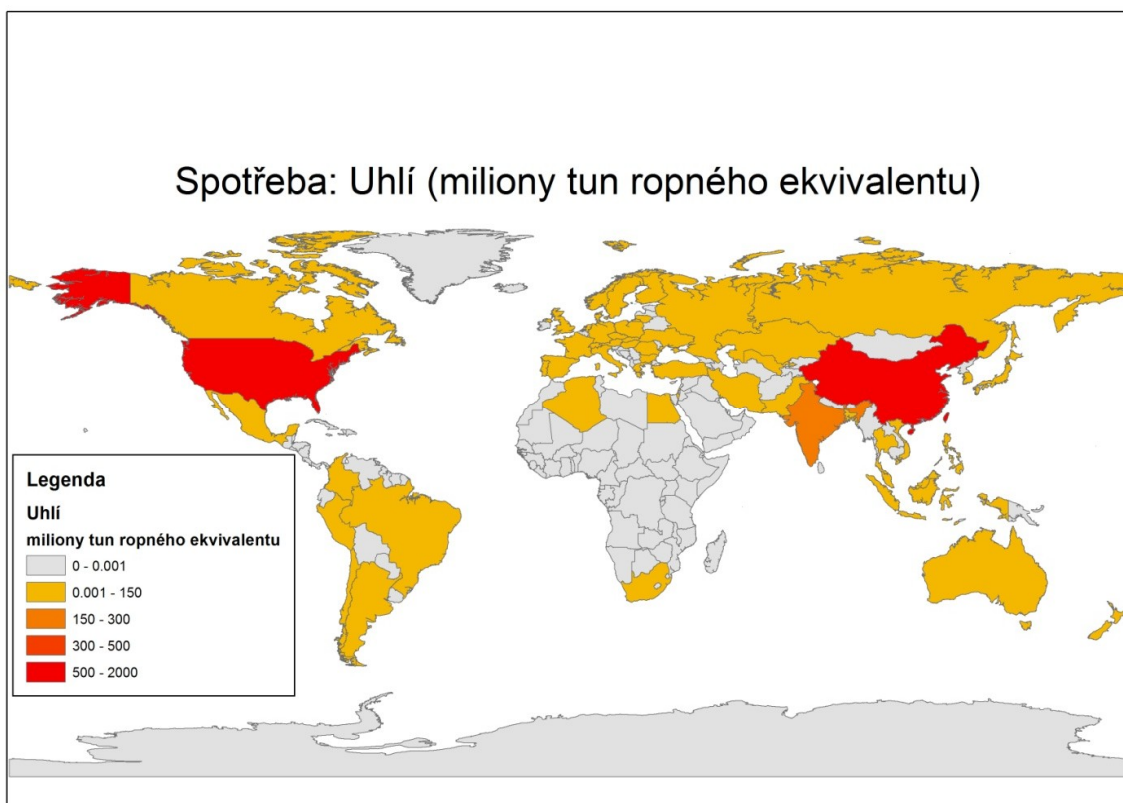
**Příloha 7. Přehled zemí, vlastních zásoby uhlí na konci roku 2010.**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011; World Energy Group, 2006)



**Příloha 8. Přehled světové produkce uhlí za rok 2010.**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011)



**Příloha 9. Přehled světové spotřeby uhlí za rok 2010.**

(vlastní zpracování v programu GIS, data jsou převzata z BP, 2011)