

Jaderná energie a klimatické změny

Felix Chr. Matthes

prosinec 2005

Obsah:

1	Úvod	3
2	Výzva klimatických změn.	5
3	Scénář BAU – Business As Usual.	7
4	Jak se vypořádat s komplexními riziky.	11
5	Možnosti snížení emisí	15
6	Klíčové strategie: studie o stavu v Německu	27
7	Závěr	31
8	Odkazy	32

O autorovi

Dr. Felix Chr. Matthes vystudoval elektrické inženýrství a politické vědy. Po několikaletém působení v průmyslu pracuje od roku 1991 v berlínské pobočce Öko-Institutu (Ústav aplikované ekologie) se sídlem ve Freiburgu. Vydal několik studií o energetické a klimatické politice a v tomto oboru také pracuje jako poradce na národní a evropské úrovni. V letech 2000–2002 byl odborným členem studijní komise německého parlamentu „Udržitelná energie v rámci globalizace a liberalizace“.

publikace tématické řady Jaderná energetika

Jaderná energie a klimatické změny

autor: Felix Christian Mathes

© Heinrich Böll Foundation 2005

Všechna práva vyhrazena.

spoluvydavatel: WISE

Publikace nemusí nutně vyjadřovat názor Nadace Heinricha Bölla.

Kontakt:

Heinrich Böll Foundation Regional Office for Southern Africa, PO Box 2472; Saxonwold, 2132; South Africa.

phone: +27-11-447 8500; fax: +27-11-447 4418; info@boell.org.za

Heinrich Böll Foundation, Rosenthaler Str. 40/41, 10178 Berlin, Germany.

phone ++49 30 285 340; fax: ++49 30 285 34 109; info@boell.de; www.boell.de/nuclear

České vydání vzniklo ve spolupráci se sdružením Jihočeské matky, Calla a Hnutím DUHA za finanční podpory Nadace Partnerství.



Jihočeské matky

1 Úvod

Globální oteplování představuje jednu z největších výzev 21. století. Výsledky rozsáhlých výzkumů v této oblasti stále jasněji ukazují, že pokud mají důsledky globálního oteplování zůstat na únosné úrovni, bude třeba značně snížit emise.

Nutnost změn se bude především týkat energetického sektoru. Emise oxidu uhličitého ze spalování fosilních paliv mají hlavní podíl na tvorbě skleníkových plynů. Během tohoto století bude nutné zásadně snížit emise CO₂, a tak celý energetický sektor, a zvláště výrobci elektřiny, budou muset projít zásadními změnami.

Výroba elektřiny z jádra hraje významnou roli mezi technologiemi, které by měly mít podíl na snížení emisí. Jaderná energie byla po uvedení na trh energií předmětem zásadního sporu. Mezi rizika, která jsou spojovaná s touto technologií, patří závažné havárie nebo zneužívání jaderných materiálů armádou či teroristy.

Výroba jaderné energie začala stagnovat po černobylské katastrofě a dalších haváriích. Po liberalizaci trhů elektřinou ve většině zemí OECD čelilo navíc mnoho jaderných zařízení vážným problémům a pro mnoho investorů byly investice do jaderné energie neekonomické. Debata o klimatických změnách však vrátila jadernou energii na pořad dne. Bylo to poté, kdy Evropská unie zavedla plán na obchodování s emisemi a vypouštění emisí CO₂ je zpoplatněno. Jaderná energetika je v této souvislosti stále častěji prezentována jako klíčová technologie v souboru opatření na snížení emisí.

Klimatická politika, která má vyřešit globální oteplování a konkrétní rizika spojovaná s jadernou energií se dostávají do konfliktu. Diskutuje se o různých modelech rizik a různých alternativách řešení problematiky globálního oteplování. Rizika pro zdraví, ekosystém, ale i pro sociální a ekonomické struktury se musí vyhodnocovat v porovnání s dosažitelností a náklady na potenciální alternativy. Pokud by bylo třeba pouze mírného snížení emisí nebo by byl k dispozici velký potenciál atraktivních alternativ, debata o jaderné energii by nenabyla takové důležitosti. Na základě těchto skutečností musí hrát zásadní roli nejenom objem snížení emisí v budoucnosti, ale i podíl různých technologií na jejich snížení.

Tato studie se zabývá debatou o klimatické politice a jaderné energii a vyvozuje závěry z řady recenzí odborných publikací a debat. Kapitole 2 nastiňuje problematiku nutnosti snížení emisí a definujeme základ pro diskusi o jaderné energii v rámci ambiciózní klimatické politiky. V kapitole 3 je popsán konkrétní návrh scénáře BAU (Business As Usual) pro emise CO₂ i vývoj jaderné energetiky v příštích desetiletích. V kapitole 4 je, na pozadí zcela rozdílných rizikových modelů globálního oteplování a jaderné energie, znázorněn ilustrační model pro systematickou analýzu a vyhodnocení různých typů rizik. Kapitola 5 popisuje a hodnotí různé možnosti, jak snížit emise v dlouhodobé perspektivě.

Modelovému experimentu, jak by mohlo ve vyspělé průmyslové zemi, jako je např. Německo, vypadat 80 procentní snížení emisí CO₂, se věnuje kapitola 6.

Obsahem závěrečné 7. kapitoly jsou některá klíčová ponaučení, která bychom si mohli vzít z analýz předvedených v této studii.

Kvůli dlouhodobé charakteru problému globálního oteplování se musí různé možnosti hodnotit v dlouhém časovém úseku. V naší analýze omezujeme tento úsek rokem 2050, protože čím delší daný úsek je, tím více jsou hodnocení technologií a dalších možností nepřesná. Časový horizont pro analýzu a debatu tak omezujeme na padesát let. Všechny analýzy prezentované v této studii vypracovány na globální úrovni. U mnoha otázek by však byla hodnotnější regionálnější diskuze, která by dovolovala hlubší pochopení specifik různých zemí a regionů.

2 Výzva klimatických změn

Globální klimatické změny jsou pravděpodobně největší dlouhodobou výzvou pro energetickou a environmentální politiku. Stále více vědeckých důkazů o klimatických změnách a důsledky globálního oteplování způsobené antropogenními emisemi nutí k novým přístupům v energetické politice. Pokud emise skleníkových plynů budou stále narůstat, dojde ještě k zásadnějšímu narušení klimatu planety.

Emise oxidu uhličitého (CO₂) hrají důležitou roli v klimatických změnách. Emise CO₂ ze spalování fosilních paliv tvoří asi 80 procent celosvětových emisí. Oxid uhličitý je jedním z nejvýznamnějších skleníkových plynů, které mají podíl na globálním oteplování. Ačkoliv koncentrace některých jiných skleníkových plynů za poslední století významně narostly a ačkoliv některé plyny mají velmi dlouhou dobu životnosti v atmosféře, emise oxidu uhličitého vznikající lidskou činností, přispívají více než 50 procenty ke globálnímu oteplování. (Tabulka 1)

	Koncentrace před rokem 1750	Současné troposférické koncentrace	GWP (horizont 100 let)	Životnost v atmosféře roky	Zvýšená radiční zátěž W/m ²	
Koncentrace v ppm (částic na milion)						
Oxid uhličitý (CO ₂)	280	374,97	1	různé	1,46	
Koncentrace v ppb (částic na miliardu)						
Methan (CH ₄)	730/688	1852/1730	23	124	0,48	
Oxid dusný (N ₂ O)	270	319	296	1144	0,15	
Troposférický ozon (O ₃)	25	344		hodiny–dny	0,35	
Koncentrace v ppt (částic na bilion)						
CFC-11 (trichlorfluormethan)(CCl ₃ F)	nula	256/253	4600	45	0,34 pro všechny halokarbony dohromady, včetně mnohých zde neuvedených	
CCl ₂ F ₂	nula	546/542	10600	100		
CFC-113 (trichlorfluorethan)(C ₂ Cl ₃ F ₃)	nula	80/80	6000	85		
Chlorid uhličitý (CCl ₄)	nula	94/92	1800	35		
Trichlorethan (CH ₃ CCl ₃)	nula	28/28	140	4,8		
HCFC-22 (chlordifluormetan)(CHClF ₂)	nula	15811	1700	11,9		
HFC-23 (trifluormethan)(CHF ₃)	nula	1412	12000	260		
Perfluorethan (C ₂ F ₆)	nula	312	11900	10000		
Fluorid sírový (SF ₆)	nula	5,2111	22200	3200		0,0025
Sloučenina SF ₅ CF ₃	nula	0,1213	~ 18000	~ 3200 (?)		< 0,0001

Zdroj: Blasing/Jon (2005)

Diskuze o tom, na jaké úrovni by se koncentrace skleníkových plynů měla stabilizovat, „aby se zabránilo antropogenní interferenci s klimatickým systémem“ (článek 2 UNFCCC), stále probíhá. Hranice nárůstu průměrné teploty na Zemi o 2 °C oproti předindustriální úrovni je stále více vnímána jako prahová hodnota, která povede k nevratným negativním důsledkům a pro přírodu a lidské společnosti.¹ Zvážíme-li fakt, že průměrná globální teplota od 19. století již vzrostla o 0,6 °C, je možné tolerovat další oteplení o 1,4 °C. Průměrná dlouhodobá průměrná rychlost oteplování by neměla překročit 0,2 °C.²

Převedení takových cílů do koncentrací a křivek emisí je předmětem nejasností (např. citlivost klimatu) a rozsáhlé vědecké diskuze. Následující parametry jsou nezbytné pro určení opatření, která je třeba učinit, aby se globální oteplování omezilo v rámci tzv. „klimatických oken“.

- křivky emisí v čase pro různé skleníkové plyny, ale také pro jiné plyny, které mají vliv na tepelnou zátěž (např. emise síry, protože aerosoly SO₂ mají „ochlazující efekt“), kde je velmi důležitá rychlost růstu, doba dosažení vrcholu a následná rychlost poklesu;
- koncentrace nebo profily tepelné zátěže pro různé plyny vyplývající z emisních křivek;

- citlivost klimatu, používaná pro současné modely, se pohybuje v rozmezí nárůstu teploty o 1,5 a 4,5 při zdvojnásobení koncentrací CO₂, průměrná hodnota je 2,5 °C; pokud by se ukázalo, že citlivost klimatu je na horní hranici, bylo by třeba pro splnění výše uvedeného cíle snížit emise mnohem radikálněji; pokud by byla na spodní hranici, mělo by to za následek nutnost menšího omezení budoucích emisí (většina modelových situací je ale založena na citlivosti klimatu 2,5 až 2,8 °C).

Výsledky modelových situací, které mají zjistit emisní křivky přijatelné z hlediska řešení problémů globálního oteplování, se pohybují v širokém rozmezí. Pro diskuzi jsou obzvláště důležité alternativní strategie snížení emisí u různých plynů nebo alternativní načasování.³ Hare/Meinshausen (2004) ukazují, že

- při stabilizaci koncentrací skleníkových plynů na ekvivalentu 550 ppm CO₂ (všechny plyny, to odpovídá přibližně stabilizaci CO₂ na 475 ppm), nebezpečí překročení hranice 2 °C je mezi 68 % a 99 % (průměr 85%, „velmi vysoké“ podle definic IPCC);
- při stabilizaci koncentrací skleníkových plynů na ekvivalentu 450 ppm CO₂ (všechny plyny, to odpovídá přibližně stabilizaci CO₂ na 400 ppm), nebezpečí překročení hranice 2 °C je mezi 26 % a 78 % (průměr 47 %, „střední pravděpodobnost“ podle definic IPCC);
- při stabilizaci koncentrací skleníkových plynů na ekvivalentu 400 ppm CO₂ (všechny plyny, to odpovídá přibližně stabilizaci na 350 ppm), nebezpečí překročení hranice 2 °C je mezi 2 % a 57 % (průměr 27 %, „nepravděpodobné“ podle definic IPCC);

Na základě těchto skutečností by ambiciózní klimatická politika měla mít za cíl stabilizovat koncentrace skleníkových plynů na 400 ppm až 450 ppm (to se rovná stabilizaci koncentrací CO₂ na 350 až 400 ppm).⁴ Aby se dosáhlo takových koncentrací, měly by se emise skleníkových plynů snížit asi o 50 % do roku 2050 (proti úrovni v roce 1990).

Existuje velký počet emisních křivek, které ukazují, jak těchto koncentrací dosáhnout. Je však třeba zvážit důležité interakce mezi bodem, ve kterém rostoucí trendy emisí dosáhnou vrcholu a začnou klesat na jedné straně, a nutnou rychlostí poklesu emisí od bodu obratu na straně druhé. Meinshausen (2005) ukazuje, že pokud svět začne řešit problém globálního oteplování o deset let později, povede k nutnosti dvakrát zvýšit rychlost snižování emisí po dosažení vrcholu, mají-li se emise skleníkových plynů v globálním hledisku snížit na polovinu oproti roku 1990. Na základě těchto skutečností není „včasné jednání“ nutné pouze z hlediska „učit se praxí“, ale také proti, aby se zabránilo dalším nákladům a v období po vrcholu objemu emisí skleníkových plynů.

Tabulka 3

Příklady cílů na stabilizaci emisí CO₂ na 400, 450 nebo 550 ppm, v letech 2020 a 2050

Míra stabilizace	Oblast	Emise CO ₂	
		2020	2050
oproti úrovni v roce 1990 (pokud není uvedeno jinak)			
400 ppm CO ₂	Svět	+10 %	-60 %
	Annex I	-25 % až -50 %	-80 % až -90 %
	Non-Annex I	Velké odchylky: Jižní Amerika, Střední východ, východní Asie a asijské země s centrálním plánováním	Velké odchylky ve všech oblastech
450 ppm CO ₂	Svět	+30 %	-25 %
	Annex I	-10 % až -30 %	-70 % až -90 %
	Non-Annex I	Velké odchylky: Jižní Amerika, Střední východ, východní Asie a asijské země s centrálním plánováním	Velké odchylky ve všech oblastech
550 ppm CO ₂	Svět	+50 %	+45 %
	Annex I	-5 % až -25 %	-40 % až -80 %
	Non-Annex I	Velké odchylky: Jižní Amerika, Střední východ, východní Asie	Velké odchylky ve všech oblastech, zvláště v Jižní Americe a na Středním východě

Zdroj: Ecofys (2004)

Tabulka 3 ukazuje příklady emisních stropů pro stabilizaci koncentrací CO₂ na různých úrovních rozlišených podle skupin zemí (země Annex I a non-Annex I podle UNFCCC). Pokud je nutná stabilizace koncentrací skleníkových plynů na 400 až 450 ppm a koncentrace CO₂ mezi 350 a 400 ppm, musely by se globální emise CO₂ snížit o cca 60 % do roku 2050 oproti stavu v roce 1990.

V zemích Annex I by bylo třeba snížit emise CO₂ o 80–90 %. I při menších stabilizačních cílech by nutné snížení emisí v průmyslových zemích mělo být více než 70 % proti stavu v roce 1990.

U těchto emisních křivek by se muselo dosáhnout podstatného snížení emisí v rozvojových zemích. Podle tohoto ukázkového scénáře by se v globálním měřítku mohly emise CO₂ do roku 2020 zvýšit, ale v zemích uvedených v Annexu I by se musely po roce 2020 výrazně snížit.

Rozsah emisí CO₂ nutných k omezení globálního oteplování na 2 °C oproti předindustriální úrovni velmi záleží na citlivosti klimatu.⁵ Tabulka 4 toto ilustruje pomocí dat dodaných WBGU (2003). Pokud se předpokládá vysoká citlivost klimatu, kumulativní emise CO₂ na období 2000–2100 jsou čtyřikrát nižší než v případě nižší citlivosti klimatu.⁶

Tabulka 4

Kumulativní emise CO₂ na dosažení omezení globálního oteplování na 2 °C oproti předindustriálním úrovním

Předpokládaná citlivost klimatu	Přípustné kumulativní emise CO ₂	
	2000–2100	
°C	miliard tun uhlíku	miliard tun CO ₂
1,5	1780,0–1950,0	6527–7150
2,5	850,0–910,0	3117–3337
3,5	530,0–560,0	1943–2053
4,5	380	1393

Zdroj: WBGU (2004)

Na základě těchto skutečností se musí při hodnocení jaderné energetiky a dalších alternativních řešení vzít do úvahy rychlost a objem snížení emisí CO₂, při kterém by se v průmyslových zemích dosáhlo vrcholu objemu emisí během příštích dvaceti let. Globální emise CO₂ by se měly snížit o 30–60 % do roku 2050 a emise v průmyslových zemích by se měly snížit o 60–90 % do roku 2050. To však stále představuje velkou nejistotu, zda je tak možné splnit cíl 2 °C.

3 Scénář BAU – Business As Usual

Tendence emisí CO₂

Od počátku dvacátého století se emise CO₂ zvýšily dvanáctkrát. Zatímco severní Amerika a západní Evropa produkovaly nejvíce skleníkových plynů do roku 1950, v době po 2. světové válce se rapidně zvýšily emise ze socialistických zemí. Před ropnou krizí v 70. letech 20. století produkovaly evropské země s centrálním plánováním 22 % globálních emisí CO₂ ze spalování paliv – západní Evropa 23 % a severní Amerika 32 %.

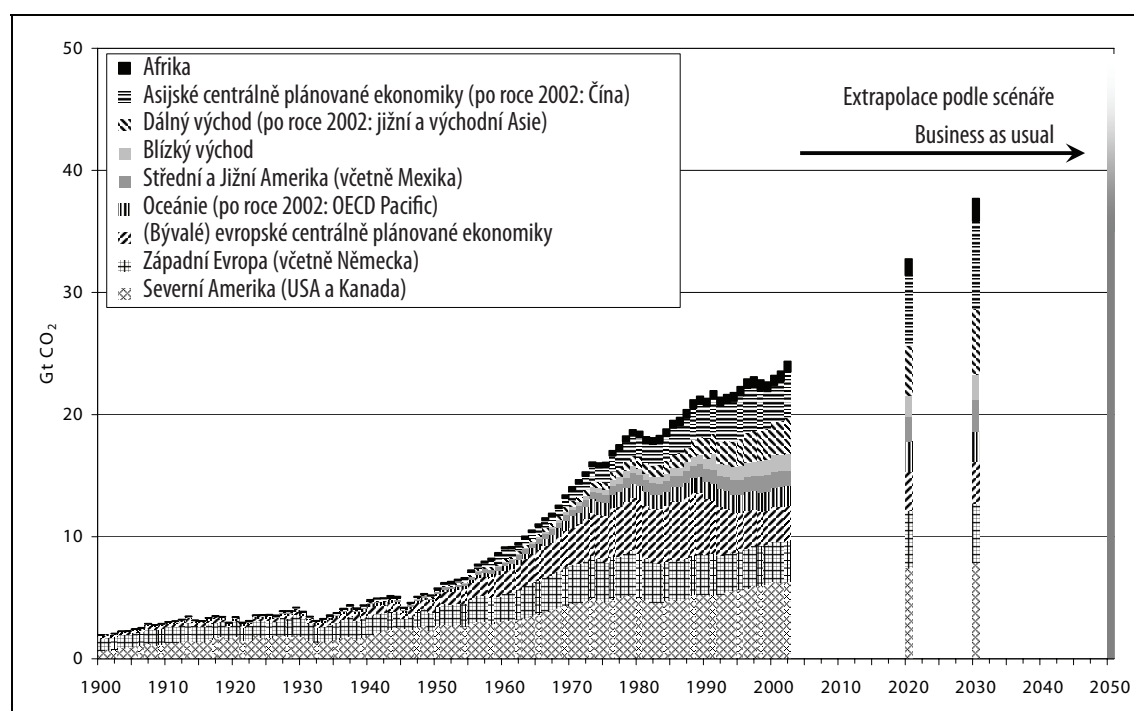
Nejvýznamnější tendence u globálních emisí CO₂ od roku 1980 jsou:

- stálý nárůst emisí v severní Americe
- víceméně stagnující tendence u emisí v západní Evropě
- prudké snížení emisí CO₂ po kolapsu evropských zemí s centrálním plánováním
- nárůst emisí v asijských zemích s centrálním plánováním (zvláště v Číně) a dalších rozvíjejících se ekonomikách na dálném východě.

V roce 2002 se severní Amerika podílela na celosvětové produkci globálních emisí CO₂ pouze 26 %. Podíl západní Evropy (14 %) byl srovnatelný s asijskými zeměmi s centrálním plánováním (15 %) a překonal podíl produkce v zemích s transformovanou ekonomikou (12 %).

Obrázek 1

Globální emise CO₂ ze spalování paliv, 1900–2050



Zdroj: Marland a kol. (2005), IEA (2004), vlastní propočty

Co se týče kumulativních emisí mají však severní Amerika a západní Evropa lví podíl na emisích CO₂ v období od roku 1900 do 2002. Celkové emise CO₂ v tomto období činí 1012 miliard tun CO₂. Co se týče kumulativních emisí, podíly různých zemí jsou zhruba srovnatelné se situací u skutečných emisí v roce 1970. Severní Amerika je zodpovědná za asi 32 % celkových kumulativních emisí CO₂, západní Evropa představuje 22 % a bývalé evropské socialistické země představují 18 %. Podíl asijských zemí s centrálním plánováním a dalších zemí dálného východu je stále nízký s 8 % respektive 5 %.

Mezinárodní agentura pro energii (IEA 2004) předpokládá, že současné trendy budou pokračovat:

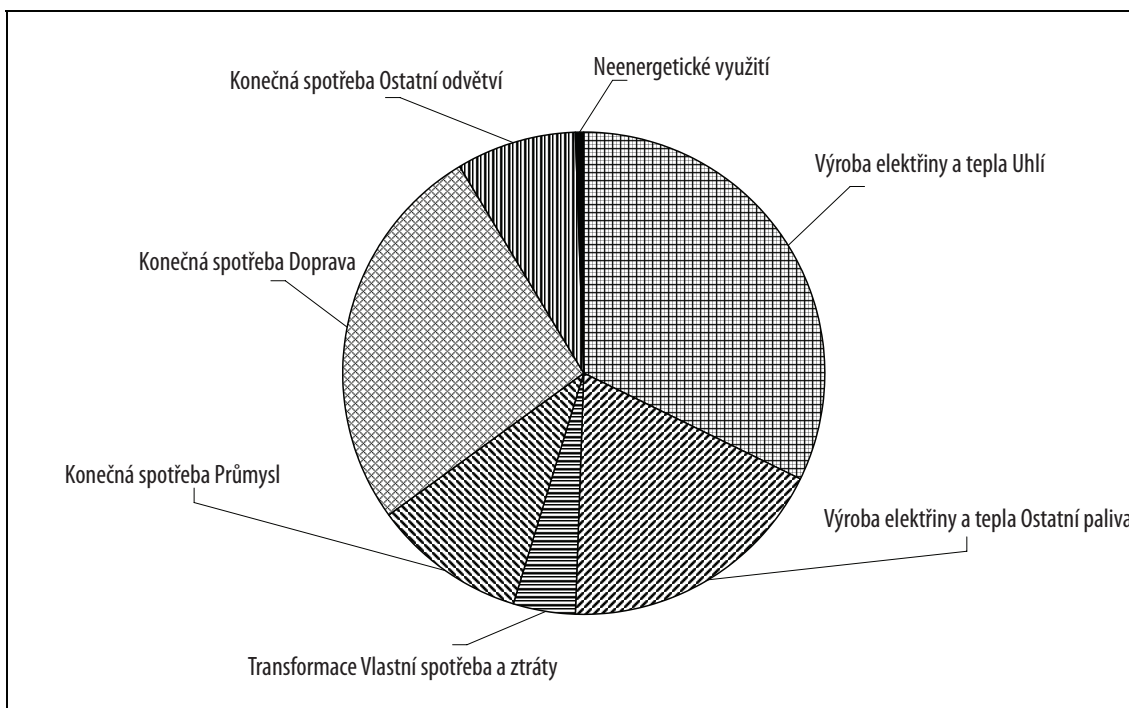
- v letech 2002–2030 by mohly globální emise CO₂ ze spalování paliv vzrůst o 62 %
- nárůst emisí CO₂ v severoamerických zemích OECD by mohl činit 33 %
- emise v západní Evropě a Evropské unii by mohly vzrůst o cca 20 %
- emise v zemích OECD v Asii a tichomořské oblasti by mohly vzrůst o 20 %
- emise CO₂ v transformovaných ekonomikách (zvláště v Rusku) by opět mohly vzrůst o 40 %
- emise CO₂ v mnoha rozvojových zemích (Čína, Indie, Indonésie, Brazílie atd.) by mohly vzrůst 1,2 až 1,6 krát.

Obrázek 2 ukazuje klíčové sektory, které podle IEA způsobují nárůst emisí. Polovina nárůstu odhadovaných emisí v období 2002–2030 pochází z energetického sektoru, asi jedna třetina z uhelných elektráren. Druhým klíčovým sektorem je doprava, která způsobuje cca 26 % růstu emisí. Ačkoliv opatření na snížení emisí musí podléhat všem sektorům, sektor energetiky a dopravy musí v jakékoli strategii pro snižování emisí hrát hlavní roli.

Pokud jde o „historickou odpovědnost“ za kumulované emise CO₂, ta by se – i za předpokladu různé dynamiky růstu emisí ve světě – téměř nezměnila. Severní Amerika by byla zodpovědná za 28 % celkových kumulativních emisí CO₂ v období 1900–2030, západoevropské země by představovaly 18 % a bývalé evropské socialistické země 14 %. Rychle rostoucí ekonomiky v Asii a na dálném východě by představovaly 12 % respektive 9 % globálních kumulativních emisí CO₂ v období 1900–2030.

Obrázek 2

Podíl jednotlivých sektorů na růstu globálních emisí CO₂ ze spalování paliv, 2002–2030



Pokud bude citlivost klimatu vyšší než cca 2,5 °C, nemohly by se tendence v objemu emisí přiblížit k žádné emisní křivce, která by vedla ke splnění cíle 2 °C. Pokud by citlivost klimatu byla cca 2,5 °C, tendence objemu emisí by musely okamžitě po roce 2030 začít rapidně klesat, aby zůstala určitá šance na omezení globálního oteplování na 2 °C oproti předindustriální úrovni. (Tabulka 6)

Tabulka 6 Kumulativní emise CO₂ na dosažení omezení globálního oteplování na 2 °C oproti předindustriální úrovni a referenční stav pro tendence emisí CO₂ do roku 2030

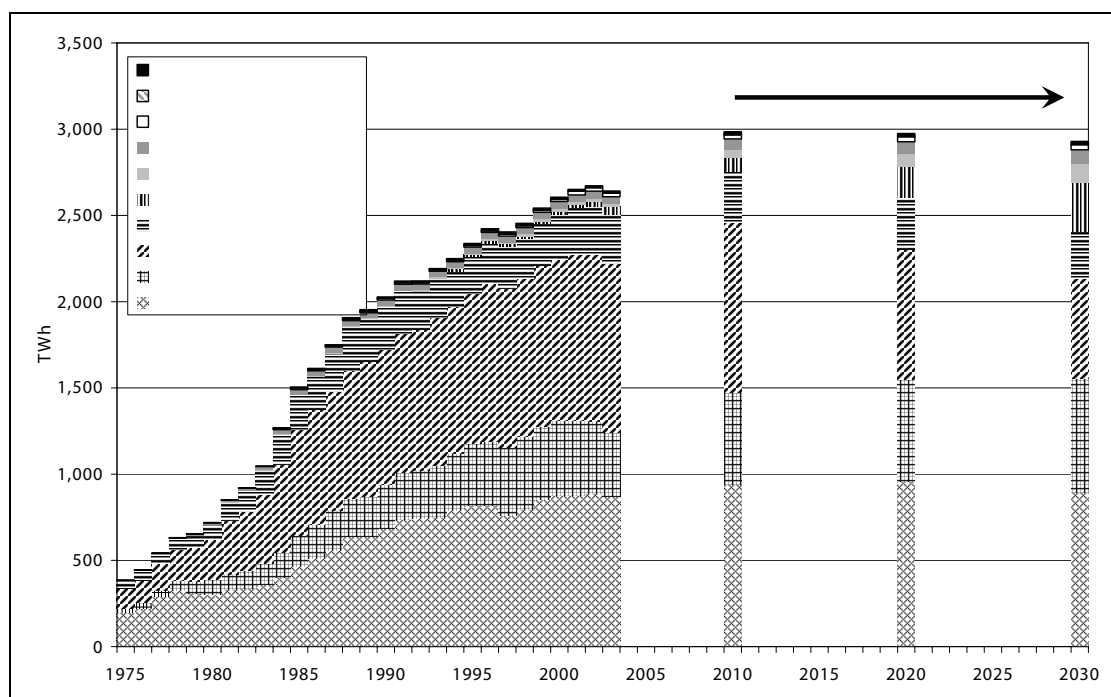
Zdroj: WBGU (2004), IEA (2004), vlastní propočty

Výroba jaderné energie

Jaderná energetika se rozvíjela především v zemích OECD, v evropských socialistických zemích nebo transformovaných ekonomikách. Růst výroby jaderné energie v 70. a 80. letech minulého století se významně snížil po černobylské katastrofě. Po roce 2000 lze pozorovat jen malý nárůst. Podíl jádra na výrobě energie v roce 2003 byl v zemích OECD 22 % a 6 % v zemích mimo OECD. Jen některé země světa vyrábí více než jednu třetinu své elektřiny z jádra. Mezi ně patří některé země OECD: Francie, Švédsko, Belgie, Maďarsko, Korea, Slovensko a Švýcarsko a také některé transformované ekonomiky: Bulharsko, Slovinsko, Arménie, Litva a Ukrajina.

Obrázek 4

Výroba jaderné energie, 1975–2030



Zdroj: IEA (2004+2005)

Hlavní důvody poklesu zájmu o jadernou energetiku v mnoha zemích světa lze připsat těmto faktorům:

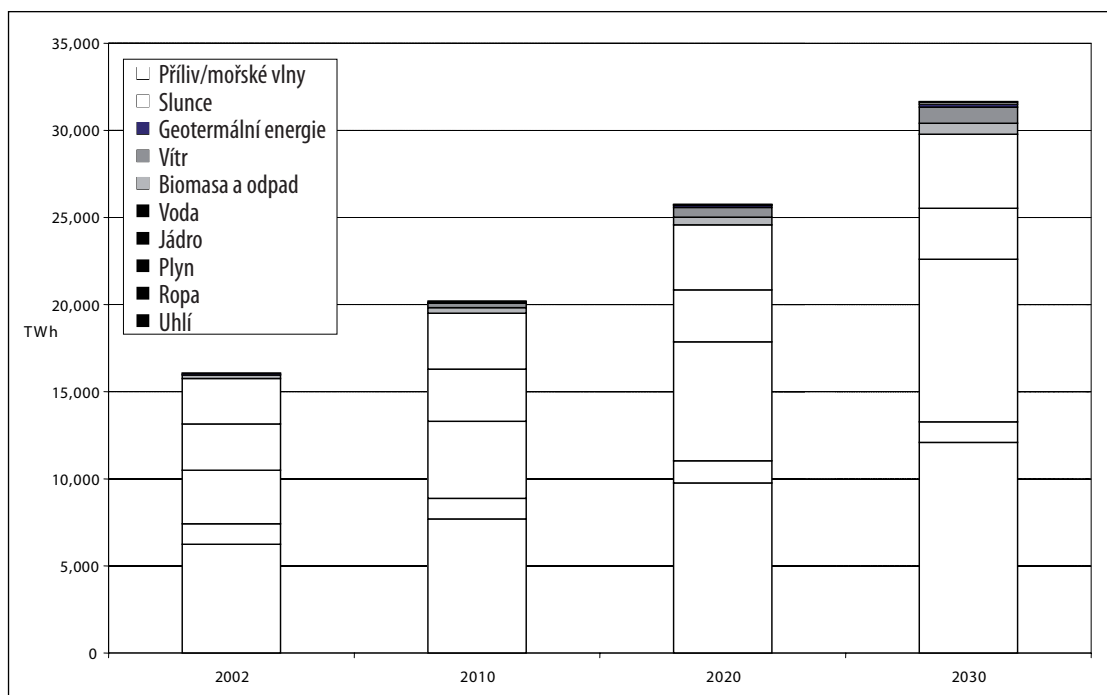
- rostoucí odpor veřejnosti proti jaderné energii, způsoben především jadernými haváriemi, problémy s ukládáním jaderného odpadu, přepravě jaderných materiálů a problému šíření jaderných zbraní a terorismu
- ekonomické problémy, jimž jaderné elektrárny čelily po liberalizaci trhů s elektřinou v některých zemích OECD, včetně problému financování odstavení elektráren a ukládání jaderného odpadu
- stále vyšší bezpečnostní požadavky a standardy pro nové i již existující jaderné elektrárny
- poměrně nízké ceny fosilních paliv a zdokonalení konkurenčních technologií výroby elektrické energie.

Odhad výroby jaderné energie ukazuje na malý růst do roku 2010 a nepatrný pokles v období dvaceti let po roce 2010. Tato tendence vyplývá ze třech různých trendů. Především se předpokládá silný pokles ve výrobě jaderné energie v evropských zemích OECD. V těchto zemích, stejně jako v Evropské unii, má výroba elektřiny klesnout o 40% v příštích třiceti letech. V severní Americe a v transformovaných ekonomikách se předpokládá stagnace výroby jaderné energie. Nicméně v asijských zemích

OECD a v některých rozvojových zemích IEA (2004) předvídá masivní růst výroby jaderné energie. V asijských zemích OECD činí tento odhadovaný růst 60%. Očekává se, že výroba jaderné energie v Číně vzroste desetkrát a v Indii 4,8 krát. V ostatních rozvojových zemích zřejmě dojde k mnohem menšímu, ale i tak významnému, nárůstu jaderné energie (latinská Amerika +38% mezi lety 2002–2030, v Africe +18%).

Obrázek 5

Výroba elektřiny v případě scénáře BAU, 2002–2020



Zdroj: IEA (2004)

Ačkoliv se ve zprávě World Energy Outlook předvídá mírný nárůst výroby jaderné energie, podíl jádra na celkové výrobě energie by měl významně klesnout. V roce 2002 byl podíl jádra 17% a do roku 2030 by měl poklesnout na pouhých 9%. Dokonce i v Číně, v zemi s nejsilnějším dynamikou růstu jaderné energetiky, má být příspěvek jádra do celkové výroby energie pouhých 5%. Největší nárůst ve výrobě elektřiny má podle World Energy Outlook zaznamenat uhlí a zemní plyn. Ačkoliv se také odhaduje silný růst výroby energie z obnovitelných zdrojů, tyto zdroje (kromě vodních elektráren) nebudou však podle odhadů IEA hrát důležitější roli.

4 Jak se vypořádat s komplexními riziky

Rizika globálního oteplování a rizika spojená s jadernou energetikou se dostávají do střetu. Proto je třeba vypracovat strategii systematictějšího přístupu k hodnocení různých typů rizik.

Německá poradní rada pro globální změnu (WBGU) navrhla model, který umožňuje porovnání a vyhodnocení různých typů rizik. V tomto modelu by se rizika měla řadit do kategorií podle následujících kritérií (WBGU 2000):

- pravděpodobnost výskytu
- rozsah škod
- jistota vyhodnocení pravděpodobnosti a rozsahu škod
- obecný výskyt (globální účinek)
- trvalost (velmi dlouhý čas na odstranění)
- nezvratnost (škody se nedají zvrátit)
- efekt zpoždění (velmi dlouhé zpoždění)
- mobilizační potenciál (vysoká psychologická a politická závažnost)

Na základě těchto kritérií mohou být rizika řazena do různých oblastí. Rizika v „normální oblasti“ jsou charakterizována následujícími vlastnostmi (WBGU 2000):

- vysoká předvídatelnost, pokud jde o pravděpodobnost rozšíření škod
- celkově malý katastrofický potenciál
- střední až vysoká předvídatelnost pravděpodobnosti výskytu i následného rozsahu škod
- nízké statistické intervaly spolehlivosti s ohledem na pravděpodobnost a rozsah škod
- nízká úroveň trvalosti a obecného výskytu (v čase a prostoru)
- vysoká pravděpodobnost zvratu potenciálních škod
- nízký potenciál pro sociální konflikt a mobilizaci.

Problematictější je situace u kritické oblasti, kterou tvoří „přechodová oblast“ a „zakázaná oblast“. Rizika v „kritické oblasti“ mají alespoň jednu z následujících charakteristik (WBGU 2000):

- nízká předvídatelnost u všech rizikových parametrů
- vysoký potenciál škod
- pravděpodobnost výskytu je vysoká (blíží se k 1)
- nízká předvídatelnost vyhodnocení, ale existují rozumné důvody pro předpoklad, že rozsáhlá škoda je možná
- vysoká trvalost, obecný výskyt a nezvratnost, existují nutné rozumné důvody pro předpoklad, že škoda je možná
- lze očekávat velký mobilizační potenciál (odmítnutí, protest, odpor) z důvodu vnímané nespravedlnosti při distribuci nebo kvůli jiným sociálním a psychologickým faktorům.

Rozdíl mezi „přechodovou oblastí“ a „zakázanou oblastí“ tkví v možnosti snížit riziko nebo najít konsensus, když možnosti převyšují škody (WBGU 2000):

- Pokud jsou možná opatření na snížení rizika, jejichž zavedení slibuje přechod do „normální oblasti“, mělo by být riziko vnímáno jako „přechodová oblast“
- Pokud je rozsah škod kritický a nelze podniknout žádná opatření na zásadní snížení těchto škod, nebo nelze ve společnosti najít konsensus, aby rizika byla akceptována díky příležitostem s nimi spojovanými, měla by se rizika řadit do „zakázané oblasti“.

Na základě těchto skutečností jsou klíčové otázky ohledně všech rizik řazených do kritické oblasti následující:

- Existují již hotová, nebo ještě rozpracovaná, opatření, která by mohla s vysokou jistotou a v dohledné budoucnosti snížit rozsah škod na míru, která by mohla být označena „normální oblast“? Pokud ne, mělo by se vyvinout veškeré úsilí na nahrazení takové technologie.
- Existuje ve společnosti konsensus, nebo dá se k takovému konsensu dojít, aby se riziko rozsáhlých škod dalo přijmout díky příležitostem s ním spojovaným? Pokud ne, mělo by se vyvinout veškeré úsilí na nahrazení takové technologie. Tato dimenze je zvláště složitá, má-li problém silný mezinárodní a mezigenerační přesah a neexistují-li žádná institucionální ustanovení, která by takový konsensus odrážela.

Ke kritériím kategorizujícím rizika zavedla WBGU několik tříd rizik, které označují velikost ekologických a jiných rizik. Tabulka 8 uvádí přehled rizikových tříd „Damokles“, „Kyklop“, „Pýthie“, „Pandora“, „Kassandra“ a „Medusa“.

Tabulka 8

Přehled tříd rizik: charakterizace a příklady

Třída rizika	Charakteristika	Příklady
Damokles	<ul style="list-style-type: none"> • Pravděpodobnost výskytu je nízká • Jistota v odhadu pravděpodobnosti je velká • Rozsah škod je velký • Jistota v odhadu rozsahu škod je velká 	<ul style="list-style-type: none"> • Jaderná energie • Velké chemické továrny • Přehrady • Povodně • Pád meteoritu • Zemětřesení
Kyklop	<ul style="list-style-type: none"> • Pravděpodobnost výskytu je neznámá • Spolehlivost odhadu pravděpodobnosti je neznámá • Rozsah škod je velký • Jistota v odhadu rozsahu škod je velká 	<ul style="list-style-type: none"> • Sopečné erupce • AIDS • Masový rozvoj antropogeneticky modifikovaných druhů • Protijaderné systémy včasného varování a systémy zbraní NBC • Kolaps termální cirkulace
Pýthie	<ul style="list-style-type: none"> • Pravděpodobnost výskytu je neznámá • Jistota v odhadu pravděpodobnosti je neznámá • Rozsah škod je neznámý (potencionálně vysoký) • Jistota v odhadu rozsahu škod je neznámá • Rozsah škod je neznámý (pouze odhady) • Pravděpodobnost výskytu je neznámá 	<ul style="list-style-type: none"> • Samovolné globální oteplování • Rozšíření infekce BSE • Některé genové modifikace • Nestabilita antarktického ledovce
Pandora	<ul style="list-style-type: none"> • Jistota v odhadu pravděpodobnosti je neznámá • Rozsah škod je neznámý (pouze odhady) • Jistota v odhadu rozsahu škod je neznámá • Návrat k původnímu stavu trvá dlouho (několik generací) • Pravděpodobnost výskytu je spíše vysoká 	<ul style="list-style-type: none"> • Trvalé organické polutanty • Látky napadající endokrinní žlázy
Kassandra	<ul style="list-style-type: none"> • Jistota v odhadu pravděpodobnosti je spíše malá • Rozsah škod je spíše malý • Velké zpoždění následků • Pravděpodobnost výskytu je spíše nízká 	<ul style="list-style-type: none"> • Postupné klimatické změny způsobené člověkem • Destabilizace zemského ekosystému
Medusa	<ul style="list-style-type: none"> • Jistota v odhadu pravděpodobnosti je spíše malá • Rosah škod je spíše malý (vystavení velké) • Jistota v odhadu rozsahu škod je spíše velká • Mobilizační potenciál je velký 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromagnetické pole

Zdroj: WBGU (2000)

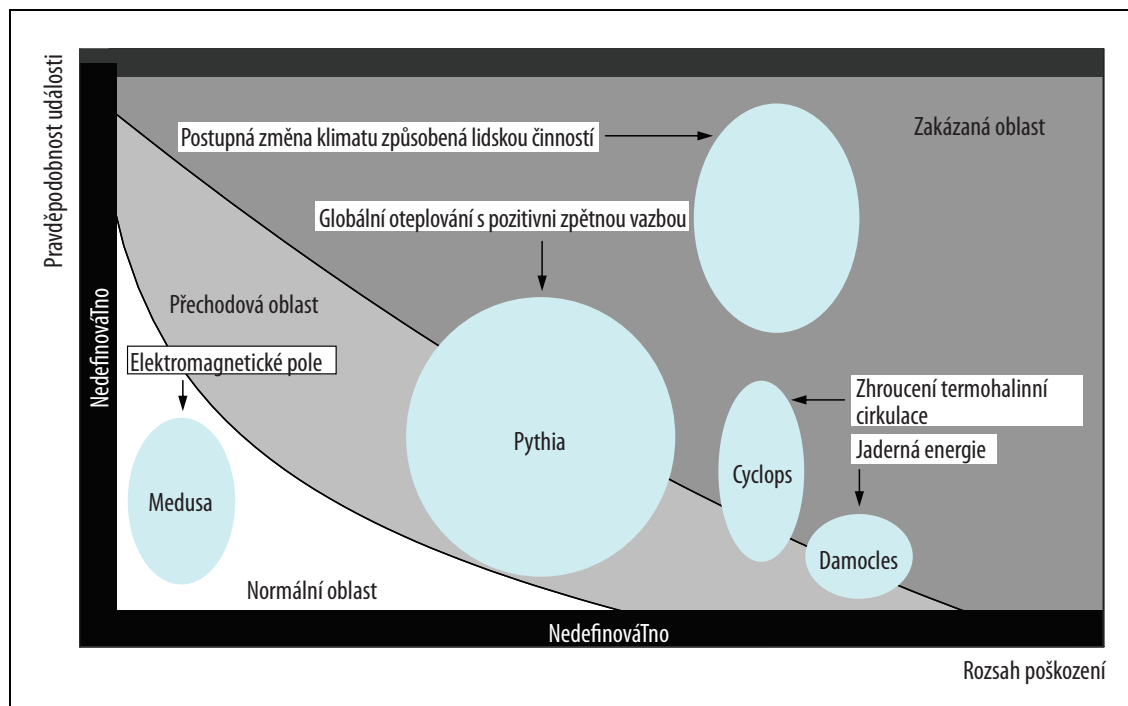
Pro debatu o jaderné energii a klimatu jsou zvláště důležité třídy rizik „Kassandra“ a „Damokles“. WBGU zdůrazňuje nutnost přijmout preventivní opatření klimatické politiky a doporučuje vyvinout

úsilí na snížení rizika globálního oteplování typu „Kasandra“ (viz Obrázek 6) v rámci konceptu přijatelných tzv. „klimatických oken“:

- Nárůst průměrné globální teploty by se měl omezit na 2 °C oproti předindustriální úrovni.
- Rychlost změny teploty by měla být nižší než 0,2 °C za deset let.

Obrázek 6

Třídy rizik a jejich umístění v normální, přechodové a zakázané oblasti



Zdroj: WBGU (2000)

O třídě rizika „Damokles“ u jaderné energie WBGU uvádí: „Pokud i největší úsilí nemůže účelně zredukovat katastrofický potenciál nebo tak může učinit pouze za nepřiměřené náklady, pak ... by se takový zdroj rizika měl schválit pouze za dvou podmínek: za první, pokud je prospěšnost takového zdroje rizika životně důležitá, a za druhé, pokud se dá zajistit, aby veškeré technologické, institucionální a organizační možnosti byly využity k tomu, aby ke katastrofické události pokud možno vůbec nedošlo, a pokud by došlo, aby se škoda maximálně snížila. Tento druhý předpoklad je obzvláště důležitý, pokud se takové zdroje rizika vyváží do jiných zemí.“

S ohledem na toto hodnocení je situace jaderné energetiky složitá:

- První klíčovou otázkou je, zda existují dostatečné technologické, institucionální a organizační možnosti pro přesun rizika třídy „Damokles“ do třídy „Medusa“, tj. snížit rozsah škod a udržet nízkou pravděpodobnost výskytu. Tyto možnosti by se měly hodnotit s ohledem na současné využívání jaderné energie a také na mnohem rozsáhlejší využití jaderné energie kdekoli na světě.
- Druhá otázka zní, zda by jaderná energie mohla být tím životně důležitým faktorem, který vyváží rizika globálního oteplování, tj. nahrazení rizika třídy „Kasandra“, které bezesporu patří do „zakázané oblasti“.

Můžeme s určitostí konstatovat, že se současnými technologiemi reaktorů nelze snížit rozsah škod (po velkých haváriích, teroristických útocích, zpracování a uložení radioaktivních materiálů atd.) na úroveň vyžadovanou v „normální oblasti“. Nedá se také předvídat, jak budou budoucí generace reaktorů vyhovovat výše zmíněným požadavkům a silnému vztahu mezi riziky jaderné energie a sociální, politickou a institucionální stabilitou.

První a zásadní otázka o budoucnosti jaderné energie v globálním energetickém systému tedy zní, zda existují na globální úrovni alternativní možnosti jak zajistit dostatečné množství energie i za silných omezení, vyvolaných nutností snížit emise skleníkových plynů. Za druhé, je nutné se zabývat otázkou, zda a jak se dá snížit na přijatelnou úroveň riziko klimatických změn, aniž bychom spoléhali na jadernou energii a za jakých přijatelných důsledků se tak dá učinit (náklady, společenská přijatelnost a jiná rizika).

5 Možnosti snížení emisí

Úvodní poznámky

Celá řada vědeckých analýz, zabývajících se strategiemi snížení emisí na ustálení koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, ukazuje, že neexistuje pouze jediná možnost, díky které by došlo k potřebnému snížení všech emisí. Podíl různých možností bude velmi záviset na úrovni, na které se koncentrace emisí stabilizuje. Pokud bychom se soustředili na méně ambiciózní cíle snížení emisí, byla by zde samozřejmě velká flexibilita míry využití různých technologických možností. Při takovém scénáři by bylo mnohem snazší upustit od využívání jaderné energie z důvodů zmíněných v předchozí kapitole.

Technologický mix strategií na snížení skleníkových plynů byl analyzován za použití různých metodologických přístupů, např. ve Třetí hodnotící zprávě vydané IPCC (2001), ale i jiných studiích (např. Schrattenholzer a kol. 2004, WBGU 2004).

V naší analýze se na tyto studie odvoláváme. Předpokládejme, že podle scénáře BAU globální emise CO_2 ze spalování paliv vzrostou do roku 2050 na 40–50 miliard tun, a že nutné snížení emisí CO_2 na úroveň, při které lze dosáhnout cíle 2°C , je 30–60 %, oproti stavu z roku 1990. Potom bude třeba v roce 2050 překlenout rozdíl 25–40 miliard tun CO_2 . Ve zjednodušeném modelu předpokládáme lineární křivku a nebereme v úvahu různé možnosti dosažení emisního vrcholu. Nebereme také v úvahu různé stupně snížení emisí po dosažení vrcholu. Využíváme tohoto zjednodušeného modelu, abychom ukázali potenciální podíly a potenciální vztahy mezi různými soubory strategií na snížení emisí.

Jaderná energie

V roce 2004 bylo na světě v provozu 442 reaktorů s celkovým výkonem 368,6 GW. Valná většina těchto reaktorů jsou lehkovodní reaktory různých typů. V roce 2003 se v jaderných elektrárnách vyrobilo 15,7 % celkové produkce energie. Podíl jaderné energie se výrazně liší mezi zeměmi OECD a mimo ni. V zemích OECD se v roce 2003 vyrobilo v jaderných elektrárnách cca 2223 TWh elektrické energie, což odpovídá podílu 22,3 %. Výroba jaderné energie v zemích mimo OECD v roce 2003 činila 412 TWh, což odpovídá podílu pouhých 6 %.

V návrhu, předpokládajícím udržení současných tendencí, se do roku 2030 u zemí OECD předpokládá pouze pomalý růst ve výrobě jaderné energie. Nárůst celkového výkonu z 359 GW v roce 2002 na 376 GW v roce 2030 odpovídá v průměru čistému růstu 600 MW ročně v letech 2002–2030. Jinými slovy, k udržení této tendence se každé dva roky musí spustit nová jaderná elektrárna o výkonu 1200 MW. Když však zvážíme věkovou strukturu současných jaderných elektráren, je třeba spustit v průměru 4–5 GW nového jaderného výkonu (asi 3 až 4 velké elektrárny).

Potenciální podíl jaderné energie na ambiciózních cílech snížení emisí byl hodnocen v několika studiích.

- Desetinásobné rozšíření výroby jaderné energie v období mezi rokem 2000 a 2075 (van der Zwaan 2002) by v roce 2050 znamenalo celosvětový jaderný výkon 2050 MW a výrobu 17283 TWh. To přibližně šestkrát převyšuje stav, který by nastal při zachování současných tendencí. Do roku 2050 by musel být výkon vyšší v průměru o 35 GW ročně. Takový nárůst výroby jaderné energie by nejen nahradil elektřinu z uhlí, ale také podstatnou část elektřiny vyráběné z plynu. Pokud by se naplnil tento extrémní a evidentně nerealistický scénář, došlo by v roce 2050 ke snížení CO₂ o 9700 mil. tun.
- Pacala/Socolow (2004) předpokládají do poloviny tohoto století nárůst o 700 GW, což odpovídá trojnásobnému výkonu oproti současné úrovni. Zvážíme-li nutnou výměnu současných elektráren, je třeba každý rok zahájit výrobu dalších 25 GW výkonu, abychom v roce 2050 dosáhli výkonu z jaderných elektráren 1060 GW. Celková výroba energie by v tomto případě činila 8260 TWh a v roce 2050 by snížila emise CO₂ o 7000 mil. tun, ale pouze za předpokladu, že by došlo k nahrazení uhelných elektráren. V případě, že by došlo k nahrazení mixu uhelných a plynových elektráren, podíl na snížení emisí by v roce 2050 činil 5000 mil. tun CO₂.

Na základě historických zkušeností s vývojem jaderné energie se zdají oba scénáře velmi nerealistické. V těchto dvou scénářích by se však měla odrážet hlavní rizika a obavy spojené s jadernou energií. Dále je třeba zdůraznit, že by takové scénáře znamenaly výrazný nárůst podílu jaderné energie v zemích, ve kterých dnes nehraje žádnou nebo jen minimální roli. Troj až šestinásobný nárůst výroby jaderné energie v severní Americe, Evropě nebo Japonsku nebude za současného výrazného podílu jaderné energie v jejich energetickém mixu možné.

Hlavním rizikem, které představují jaderné reaktory, je velká havárie s rozsáhlým únikem radioaktivních látek. Takový únik by bez pochyb výrazně poškodil zdraví, ekosystém a sociální a ekonomické systémy (UNDP/UNICEF 2002). Valná většina současných elektráren, a v příštích třech desetiletích také valná většina nových jaderných elektráren, budou pracovat s lehkovodními typy reaktorů. Tyto reaktory však mají velmi vážné inherentní bezpečnostní vady (Froggatt 2005).

I když se v současné době zdá, že je pravděpodobnost katastrofické havárie velice nízká,⁷ troj až šesti násobné rozšíření jaderné energie v příštích 50 letech by vedlo k enormnímu riziku jedné nebo více vážných havárií. Modelová cvičení o ekonomických důsledcích velké havárie v německé jaderné elektrárně ukázala, že celková cena za takovou katastrofu by se vyšplhala na 2000 až 5000 miliard amerických dolarů (Ewers/Rennings 1991+1994).

Kromě lehkovodních reaktorů je v různých stupních vývoje několik nových typů reaktorů. U všech těchto „evolučních pojetí“ (tzv. „reaktorů třetí generace“) existují velká a inherentní rizika různých scénářů havárií, které by vedly k masivnímu úniku radioaktivních materiálů. V některých zemích již začal vývoj „revolučních typů reaktorů“ (tzv. „reaktorů čtvrté generace“), které mají být mnohem bezpečnější, spolehlivější a úspornější než reaktory třetí generace a současně by měly být bezpečné, pokud jde o rizika šíření jaderných zbraní atd. (NERAC 2002). Bližší pohled na tato technická řešení ukazuje, že mnoho bezpečnostních problémů zůstává stále ještě nevyřešeno. Existují také empirické důkazy o tom, že některá bezpečnostní vylepšení by v určitých ohledech mohla způsobit nové bezpečnostní problémy (Froggatt 2005). V neposlední řadě zůstává naprosto otevřená otázka, jak by tyto nové, bezpečnostně vylepšené reaktory vyvážily cíle nízkých investic a provozních nákladů. Vývoj nové generace reaktorů vyžaduje velké investice s nejistým výsledkem. Reaktory čtvrté generace budou k dispozici – pokud vůbec – nejdříve za 20–30 let. Zda a jakým způsobem by konstrukce nových reaktorů mohla adekvátně řešit hrozbu teroristických útoků (včetně nárazu letadel), je stále velmi nejisté. Podobné problémy by mohly nastat, kdyby došlo k výraznějšímu rozšíření jaderných elektráren v zemích nebo regionech s vyšším rizikem vojenských konfliktů, než je v zemích, kde je v současnosti v provozu většina reaktorů.

Dostupnost jaderného paliva bude hlavním podmínkou masivního podílu jaderné energie na ambiciózním cíli snížení emisí v roce 2050. Roční poptávka po jaderném palivu v současnosti činí 70 tis. tun uranu. Při trojnásobném až šestinásobném rozšíření v poměrně krátké době by se několikrát zvýšila poptávka po jaderném palivu, a to i v případě významného zvýšení účinnosti jeho využívání. Za několik desítek let by se dodávky jaderného paliva musely spoléhat na spekulativní (dosud neobjevené) zásoby (viz Kreusch a kol. 2005). Kapacita těžby uranu by se musela podstatně zvýšit, což by podle zkušeností trvalo mnoho let. Navíc by bylo třeba vybudovat nové nových kapacity na obohacování uranu.⁸ Lovins (2005) uvádí, že na 700 GW nových jaderných elektráren se musí postavit 15 nových závodů na obohacování uranu.

Na základě těchto skutečností Rothwell/van der Zwaan (2003) označují systémy lehkovodních reaktorů jako nevhodné s ohledem na čerpání neobnovitelných zdrojů. Plány na zavádění reaktorů čtvrté generace navíc jasně poukazují na problém konečných zásob paliva pro lehkovodní reaktory (NERAC 2002). Pokud bude dostupnost (a cena) jaderného paliva pro lehkovodní reaktory vnímána jako problém, nebudou mít otevřené palivové cykly v budoucnu téměř žádný význam. V současné době se otevřeným palivovým cyklem dává přednost, protože jsou méně nákladné a vylučují riziko hrozící při regeneraci jaderného paliva. Ačkoliv je využívání reaktorů čtvrté generace stále v mnoha ohledech otázkou spekulací, jsou opět na pořadu dne, díky důrazu na „uzavřené palivové cykly“, na rozšíření rychlých množivých reaktorů a na regeneraci jaderného paliva (NERAC 2002). Pokud se řetězec jaderných technologií rozšíří o množivé reaktory a provoz na regeneraci paliva (s dodatečnými požadavky na dopravu), významně se zvýší riziko havárií i zranitelnost vůči teroristickým útokům nebo vojenským konfliktům. Lovins (2005) uvádí rozsah regenerace paliva pro další jaderné elektrárny o celkovém výkonu 700 GW – po celém světě by bylo třeba cca 50 nových závodů na přepracování paliva.

Nebezpečí šíření jaderných zbraní se opět od konce studené války zvyšuje. Konkrétní případy (Írán, KLDK) ukazují, že při rozšíření jaderné energie, a to i v regionálním měřítku, přibude dalších rizik (Nassauer 2005). Jaderná zařízení s lehkovodními reaktory o celkovém výkonu 1000 GW by každý rok vyprodukovala 290 tun plutonia. Pokud by v roce 2050 byl jaderný výkon 2000 GW, dosáhla by roční produkce plutonia 560 tun. Takové množství štěpného materiálu by představovalo vážný problém s ohledem na riziko šíření jaderných zbraní a bylo by třeba vytvořit nový systém mezinárodních záruk. Pokud by se otevřené palivové cykly nahradily uzavřenými palivovými cykly s regenerací paliva a separací plutonia, mohlo by to znamenat vážné ohrožení mezinárodní bezpečnosti v oblastech, kde by se vyskytovala významná množství plutonia. Ani u reaktorů čtvrté generace nelze očekávat, že by riziko šíření zbraní bylo nulové nebo zanedbatelné. Ačkoliv bylo vypracováno mnoho studií na prokázání dlouhodobé spolehlivosti konečných úložišť, ani jedna země ještě nenašla řešení konečného uložení jaderného odpadu. Výzkumy a vývoj konečných úložišť i úsilí získat pro ně souhlas veřejnosti jsou stále v plném proudu (Kreusch a kol 2005). Pokud by se výrazně zvýšilo množství jaderného odpadu, mezera mezi produkcí vysoceradioaktivního odpadu a počtem úložišť by se stále více rozšiřovala. Van der Zwaan (2002) udává příklad, že dvojnásobný nárůst výroby jaderné energie v USA by vyvolal nutnost vybudovat každých 25 let úložiště o kapacitě, které se rovná projektu Yucca Mountain. Podle Lovinse (2005) by rozšíření globálního jaderného výkonu 700 GW vyžadovalo vybudování úložiště o kapacitě odpovídající čtrnácti projektům úložiště v Yucca Mountain.

V neposlední řadě je pro budoucí roli jaderné energetiky v rámci ambiciózní klimatické strategie rozhodující ekonomika její výroby. Bez zpoplatnění CO₂ (buď v podobě daně za uhlík nebo v rámci plánu obchodování s emisemi) je nepravděpodobné, že by jaderná energie byla na trhu konkurenceschopná (Thomas 2005). Nicméně postupné zavedení tržních nástrojů klimatické politiky (např. plán EU na obchodování s emisemi) by mohlo tuto situaci změnit. Výše zpoplatnění CO₂, které by mohlo výrazně zvýšit ekonomický výkon nových jaderných elektráren, je stále kontroverzní otázkou. Sailor a kol. (2000) uvádí, že pokud mají být nové jaderné elektrárny na trhu konkurenceschopné, měla by být výše daně za uhlík přibližně na úrovni 100 US\$/tC (27 US\$/t CO₂). Jiné studie uvádějí výrazně vyšší prahové hodnoty pro ekonomickou konkurenceschopnost výroby jaderné energie. Na druhou stranu by se měl zvážit fakt, že na ekonomické hodnocení výroby jaderné energie má vliv mnoho dalších faktorů.

Chybějící dostatečné fondy na likvidaci jaderných zařízení, velmi nízká výše odpovědnosti za škodu, daňové úlevy a ostatní slevy v mnoha zemích zakrývají reálné náklady na elektrickou energii z jádra., Tyto skryté náklady by vyšly na povrch, pokud by měla jaderná energie hrát v budoucnu významnější roli.

Jaderná energetika by tedy mohla do určité míry přispět ke splnění ambiciózních cílů snížení emisí na globální úrovni. Tento podíl by sice nemohl zcela nahradit žádnou jinou možnost, ale mohl by být významný. Aby se však jaderná energetika mohla uplatnit, muselo by dojít k jejímu významnému rozšíření. využití jaderné energie. Tyto důsledky je třeba vyhodnotit, aby bylo možné provést fakty podložené porovnání s ostatními možnostmi na snížení emisí. Masivní rozvoj jaderné energie

- by kvůli možnosti velké havárie (včetně teroristického útoku) výrazně zvýšil riziko pro zdraví, ekosystémy, sociální a ekonomické systémy.
- by zvětšil problém ukládání jaderného odpadu a šíření jaderných zbraní s ohledem na množství materiálu, regiony a země, kde by se tento problém objevil.
- by vyžadoval nahrazení otevřeného palivového cyklu cyklem uzavřeným a opětovné využívání paliva a rychlých množivých reaktorů, což by vedlo k dalším rizikům
- by vyžadoval ohromné investice do celého technologického řetězce, včetně těžby, obohacování a regenerace jaderného paliva v dlouhodobém měřítku
- by vyžadoval spolehlivou síť s dostatečnou kapacitou síť a další infrastrukturu pro stabilní operace.
- bude atraktivnější, pokud se zpoplatní emise CO₂, vynesl by ale na povrch ekonomická pokřivení výroby jaderné energie.

Tato rizika jsou předmětem politických a vědeckých debat. U některých rizik existují technologické a institucionální návrhy na jejich omezení nebo vyloučení jejich důsledků (viz Sailor a kol. 2000, van der Zwaan 2002). Je však velmi nejisté, zda takové návrhy budou vůbec někdy fungovat či zda se dají použít v reálných podmínkách.

Na základě těchto skutečností budou následující kapitoly analyzovat, jaké jiné možnosti by mohly přispět k zásadnímu snížení emisí, jaký je jejich potenciál, jaká omezení, požadavky, časové limity a politické nástroje jsou s nimi spojené, jaké jsou jejich další důsledky a náklady v porovnání s jadernou energií.

Pokud jsou výše zmíněná rizika a problémy jaderné energetiky vyhodnocena seriózně, klíčovou otázkou je, zda různé alternativy využití jaderné energie (včetně jejich důsledků) dovolí splnit ambiciózní cíle snížení emisí. Jinými slovy,

- bylo by možné dosáhnout ambiciózních cílů snížení emisí bez jaderné energie, s ohledem na potenciál nebo náklady?
- zabránily by nakonec důsledky jednotlivých možností snížení emisí?
- mohla by se strategie s výrazným podílem jaderné energie ukázat kontraproduktivní pro ambiciózní snížení emisí, protože by se jiné možnosti nemohly vyvíjet?

Klíčovým problémem v hodnocení jaderné energie s ohledem na ambiciózní plány snížení emisí je zvážení, do jaké míry explicitně (pokud jde o potenciál) nebo implicitně (pokud jde o následky a důsledky pro další možnosti snížení emisí) zahrnovat jadernou energii do portfolia ke Pokud by měla jaderná energie hrát v budoucnu významnější roli splnění cílů klimatických strategií.

Účinnost koncové spotřeby energie

Podle zprávy World Energy Outlook (IEA 2004) dojde v příštích třiceti letech na globální úrovni k meziročnímu zvýšení energetické účinnosti o 1,3–1,6%. Jinými slovy, na vytvoření stejné ekonomické hodnoty (pokud jde o paritu kupní síly) bude v roce 2030 (oproti roku 2002) třeba vynaložit o jednu třetinu méně primární energie. Výrazný ekonomický růst úspory z energetické účinnosti vyrovná. Pro období 2002 až 2030 IEA odhaduje globální ekonomický růst 2,4% (předpokládaný růst populace je v tomto období asi 30%). V důsledku toho se spotřeba primární energie zvýší téměř o 60%. Pokud by měly tyto trendy pokračovat, mohlo by to mít v roce 2050 za následek spotřebu primární energie

rovnající se 21 miliónům tun ropy a roční emise CO₂ ze spalování paliv by dosáhly 48 miliard tun. V případě scénáře BAU však nebudou uvedeny do praxe možnosti s velkým potenciálem zvýšit energetickou účinnost, ačkoliv mnoho z těchto možností bude ze všeobecného hlediska cenově efektivních. Jochem a kol. (2000) poukazuje na významný potenciál energetické účinnosti (5–80 %) ve všech sektorech a ve všech zemích světa. IPCC (2001) uvádí oblasti spotřeby energie, ve kterých existují značné možnosti jejího efektivnějšího využití.

Následující sektory jsou považovány za nejdůležitější s ohledem na zvýšení energetické účinnosti:

- energetická náročnost budov (včetně spotřebičů), IPCC (2001) zde uvádí potenciál na snížení emisí 1000 až 1100 mil. tun C (3667–4033 mil. tun CO₂) v časovém horizontu do roku 2020. Pacala/Socolov (2004) předpokládají stejné množství v období do roku 2050, což se dá pokládat za konzervativní odhad.
- v průmyslu má hlavní potenciál úspor energetická účinnost a zvýšená účinnost při výrobě materiálů, podle IPCC (2001) činí celkový potenciál úspor 1300–1500 mil. tun C (4767–5500 mil. tun CO₂) ročně v roce 2020.
- spotřeba energie v dopravě je významná kvůli rychle rostoucím emisím v tomto sektoru. IPCC (2001) odhaduje potenciál úspor na 300–700 mil. tun C (1100–2567 mil. tun CO₂) v roce 2020. Pacala/Socolov (2004) uvádějí 2000 mil. tun C (7333 mil. tun CO₂) v časovém horizontu do roku 2050.

Celkem se odhaduje potenciál snížení emisí až 16 miliard tun CO₂ do roku 2050, pokud by se zavedla komplexní opatření na zvýšení energetické účinnosti v sektoru koncové spotřeby. To je 40–60% rozdíl mezi scénářem BAU a ambiciózním scénářem snížení emisí na stabilizaci koncentrací CO₂ v rozsahu mezi 400 a 450 ppm.

Jedna z hlavních výhod strategií zaměřených na zvýšení energetické účinnosti je, že mnohé možnosti jsou cenově výhodné a snížení emisí by se tak dalo dosáhnout při nízkých nebo i žádných dodatečných nákladech. Hlavní problémy s uváděním opatření na zvýšení energetické účinnosti do praxe však nejsou ekonomické povahy. Hlavním problémem strategií na zvýšení energetické účinnosti jsou četné překážky a strukturální bariéry na jedné straně (např. nedostatek informací a motivace, nebo dilema uživatel-investor) a velmi heterogenní struktury pokud jde o účastníky, motivaci a schopnosti na straně druhé. Významných zvýšení energetické účinnosti se dá dosáhnout za využití současných technologií. Navíc technologické a organizační inovace budou časem hrát ještě významnější roli. Klíčovým problémem strategií na zvýšení energetické účinnosti je nutnost neustálé a postupné snahy účinnost zvyšovat. Zvláště v této oblasti bude včasný start a postup krok za krokem mnohem důležitější, než nějaký rychlý technologický průlom.

Zvýšení energetické účinnosti v energetickém sektoru

Technologický rozvoj zvláště v energetickém sektoru vykázal v posledních letech významná zlepšení. Pokud bude v příštích letech a desetiletích probíhat dynamický výzkum a vývoj, se dá předpokládat stále vyšší účinnost. Účinnost uhelných elektráren by se mohla v blízké budoucnosti zvýšit na 50 %, u plynových elektráren na 65 % oproti dnešnímu celosvětovému průměru 30–35 % (EK 2002). V dlouhodobější perspektivě příštích dvaceti let by mohly kombinované plynové turbíny dosáhnout účinnosti až 70 % a nové parní turbíny by mohly vykazovat účinný výkon 55 %.

Mnohem výraznějších zlepšení v účinnosti výroby energie by se mohlo dosáhnout kombinovanou výrobou tepla a elektřiny (CHP) nebo kombinovanou výrobou tepla, elektřiny a chladu (CHPC). Využití odpadního tepla z výroby elektřiny na vytápění, průmyslové zpracování nebo dokonce chlazení by mohlo zvýšit celkovou účinnost elektráren CHP a CHPC na 90 %. CHP a CHPC lze využívat na úrovni vysokých instalovaných výkonů několika set megawattů pro dodávání tepla do průmyslových podniků a domácností. Nicméně i s instalovaným výkonem CHP několika kilowattů (Pehnt a kol. 2005) by mohl být k dispozici obrovský potenciál dodávek tepla pro vysoce účinné technologie CHP. Zatímco je neustálé vylepšování elektráren zahrnuto ve scénáři BAU a dodatečný potenciál pro snížení emisí je omezený, podle nedávných odhadů ještě zdaleka nebyl vyčerpán potenciál CHP. Zjednoduše-

ný propočer podtrhuje důležitost potenciálu CHP a CHPC v integrované strategii na snížení CO₂. Předpokládáme-li, že v roce 2050 bude energie z CHP nevyužívající biomasu představovat 20 % celosvětové výroby elektřiny 30 tis. TWh (bereme v úvahu výrazné snížení díky vyšší energetické účinnosti), povede to ke každoročnímu snížení CO₂ o 2 miliardy tun, a to pouze zvýšením účinnosti při výrobě energie. Přitom nebereme v úvahu zlepšení technologie přechodem na jiné palivo.

Přechod na jiné palivo v energetickém sektoru

Ve scénáři BAU od IEA (2004) bude do roku 2030 dominovat výroba elektrické energie z fosilních paliv. V období mezi roky 2002 a 2030 se odhaduje, že uhelné elektrárny rozšíří výkon z 1135 GW na 2156 GW a plynové elektrárny zvýší celkový výkon z 893 na 2564 GW. Za celé období se to rovná průměrnému ročnímu růstu 36 GW u uhlí a 60 GW u plynu. Uvědomíme-li si, že během příštích 30 let se musí nahradit asi polovina současného výkonu novými elektrárnami, je třeba každý rok uvést do provozu v průměru 57 GW nových uhelných elektráren a 76 GW nových plynových elektráren. Pokud bychom s touto tendencí počítali až do roku 2050, nové investice do uhelných elektráren by představovaly asi 2700 GW a asi 3600 GW do plynových elektráren. Stavba nových elektráren o výkonu 1 GW znamená roční emise asi 4,7 mil. tun CO₂ (průměrná účinnost nových elektráren je 40 % a činitel doby zatížení je 0,63) po celou dobu životnosti elektráren, která je 40 i více let. Podobný odhad u nových investic do plynových elektráren vede k ročním emisím 1,3 mil. tun CO₂ za 1 GW (předpokládáme-li průměrnou účinnost 55 % a činitel doby zatížení 0,40).

Díky palivu s menším obsahem uhlíku a významně vyšší účinností produkuje plynová elektrárna o 57 % méně CO₂ než nová uhelná elektrárna. Na základě těchto skutečností by dodatečný přechod z uhlí na plyn v energetickém sektoru mohl otevřít nové možnosti snížení emisí.

Pacala/Socolow (2004) předpokládají nahrazení 28 GW energie z uhlí plynem, aby se dosáhlo dalšího snížení emisí. To je asi polovina ročních investic do nových uhelných elektráren (viz výše). Pokud by do roku 2000 padesát procent nových investic do uhlí směřovalo do zemního plynu, byly by uhelné elektrárny produkující 6300 mil. tun CO₂ v roce 2050 nahrazeny plynovými elektrárnami produkující 2700 mil. tun CO₂. Pokud by všechny investice směřovaly místo do uhelných elektráren do elektráren plynových, došlo by k dvojnásobnému snížení emisí: 12 700 mil. tun CO₂ u uhlí a 5500 mil. tun CO₂ u plynu. Pokud by do plynových elektráren šlo 50 % těchto investic, byl by v roce 2050 potenciál ročního snížení emisí 3600 mil. tun CO₂.

Je samozřejmé, že dodatečné investice do plynových elektráren budou vyžadovat dodatečné dodávky zemního plynu. Pro výše zmíněný odhad je dodatečná poptávka po plynu na výrobu energie 29 EJ v roce 2030 a 49 EJ v roce 2050. Poptávka po plynu ve scénáři BAU činí 176 EJ v roce 2030. Jinými slovy, poptávka po zemním plynu by se zvýšila o cca 16 % oproti situaci ve scénáři BAU. Zvýšení poptávky po plynu do roku 2050 by mělo být stejně velké. V rámci udržitelné strategie výroby energie by se toto zvýšení spotřeby zemního plynu mělo vykompenzovat opatřeními na zvýšení energetické účinnosti buď v jiných sektorech (např. stavební sektor) nebo v samotném energetickém sektoru. Klíčovou technologií na snížení dodatečné poptávky po zemním plynu je kombinovaná výroba tepla a elektřiny (CHP) nebo kombinovaná výroba tepla, elektřiny a chladu (CHPC). Pokud by jedna čtvrtina nových plynových elektráren byla založena na CHP nebo na CHPC, snížila by se dodatečná poptávka po plynu o cca 7 %.

Obnovitelné zdroje energie

Celosvětový potenciál obnovitelných zdrojů energie o tři řády převyšuje současnou nebo odhadovanou poptávku po primární energii (Rogner 2000). Řada technologií na využití obnovitelných zdrojů energie již existuje a řada dalších je ve vývoji. Většímu rozšíření obnovitelných zdrojů brání (Rogner 2000, WBGU 2004):

- nízký počet způsobů využití obnovitelných zdrojů energie je v současném ekonomickém systému (nelze internalizovat externí náklady) konkurenceschopných ve srovnání s energií z fosilních paliv nebo jádra.
- na využití a ekonomiku obnovitelných zdrojů působí několik omezení, jako jsou spory o využití

půdy (např. biomasa), zeměpisná šířka (např. sluneční energie), poloha (např. větrná energie a geotermální energie) nebo ochrana přírody a sociální faktory (např. vodní energie).

- zeměpisné rozložení současného a budoucího zásobování energií z obnovitelných zdrojů vykazuje rozdíly; potenciál obnovitelných zdrojů je mnohem menší v Evropě (vyjma bývalého Sovětského svazu) a Asii, než v severní i jižní Americe nebo v zemích s velkou intenzitou slunečního záření.

Obnovitelné zdroje energie již dnes pokrývají významnou část dodávek globální primární energie.

V současnosti však nelze s jistotou určit přesný podíl, protože hlavní část dnes využívaných obnovitelných zdrojů tvoří tradiční biomasa, která v mnoha oblastech světa není obchodovatelnou energií. Navíc „tradiční biomasa“ (např. palivové dřevo) se nedá v mnoha oblastech světa považovat za zdroj obnovitelné energie kvůli jejímu podílu na odlesňování a desertifikaci. Mezinárodní agentura pro energii (IEA 2004) odhaduje současný podíl biomasy na celkové poptávce po primární energii asi 10%. IEA (2004) předpokládá, že asi 70% veškeré biomasy je „tradiční biomasa“, která by mohla působit těžkosti pro udržitelný rozvoj. Celkem vzato by se využití „moderní biomasy“ ve výrobě udržitelné energie mohlo zvýšit šest a více krát s ohledem na technologický potenciál, který splňuje požadavky udržitelného rozvoje (Rogner 2000, WGBU 2004).

Vodní energie je v současné době druhým obnovitelným zdrojem energie, který nepředstavuje jen okrajový podíl v celosvětových dodávkách primární energie. Vodní energie představuje 16% současné výroby energie a asi 6% dodávek primární energie ve světě. Ačkoliv existuje významný technický potenciál pro rozšíření vodní energie (Rogner (2000) uvádí technický potenciál, který je oproti současnému pětikrát vyšší), je to mezi všemi obnovitelnými zdroji možnost s nejmenším potenciálem pro další růst.

Kromě těchto obnovitelných zdrojů energie může hrát stále významnější roli v dodávkách primární energie příštích desetiletích ještě několik zdrojů.

Především větrná energie vykazala v posledních letech významný růst. V období od roku 1990 do roku 2002 výroba větrné energie rostla průměrnou rychlostí asi 30% ročně v zemích OECD i v zemích mimo OECD (Turkenburg 2000, IEA 2005). Rogner (2000) uvádí technologický potenciál budoucího využití větrné energie 640 EJ, což je asi stokrát více než je současný stav.

Výroba elektřiny ze sluneční energie je stále na počátku vývoje. Ačkoliv výroba energie z fotovoltaických systémů v posledních letech rostla asi o 30% ročně (Turkenburg 2000, IEA 2005) a předpokládá se, že výroba sluneční termální elektřiny vykáže opět významný růst v následujících letech, podíl sluneční energie na globální výrobě energie je stále velmi malý. Nicméně obrovský potenciál výroby elektřiny ze sluneční energie a rychlý rozvoj technologií by mohl během příštích padesáti let během příštích padesáti let vést k významnému podílu sluneční energie v celkových dodávkách primární energie (van der Zwaan/Rabl 2004).

Největší technologický potenciál mezi obnovitelnými zdroji tkví v geotermální energii, které se již využívá při výrobě energie v několika oblastech světa. Rogner (2000) uvádí potenciál 500 EJ, o kterém se dá předpokládat, že bude ekonomicky dosažitelný během 10 až 20 let a potenciál 5000 EJ, který by mohl být ekonomický během 40 až 50 let.

V neposlední řadě je zde energie moří (přílivová energie, energie mořských vln, termální energie, energie solného gradientu), která by mohla mít obrovský podíl na globálních dodávkách primární energie ve středně a dlouhodobé perspektivě. Rogner (2000) odhaduje technický potenciál na 7400 EJ u různých způsobů využití energie moří.

Tabulka 10

Skutečné a budoucí náklady na výrobu energie z obnovitelných zdrojů

	UNDP (2000)		ICCEPT (2002)		Enquete-Kommission (2002)			
	současnost	budoucnost	současnost	po 2020	současnost	2010	2020	2050
	centy/ kWh				centy/ kWh			
Vodní energie	2... 10	2... 10	2... 10	2... 10	5,5...15	–	–	–
Větrná energie na pevnině	5... 13	3... 10	3...5	2...3	4,5...9	3...6	3...6	3...5
Větrná energie na moři			6...10	2...5	6,3...10	4...6	3...5,5	3...4,5
Fotovoltaika	25...125	5...25	50...80 ^a	~8 ^a	50...100	29...58	12,5...25	9...18
			30...50 ^b	~5 ^b				
			20...40 ^c	~4 ^c				
Solární termální elektrárny	12...18	4...10	12...18	4...10	8...16		5...6	~4
Biomasa	5...15	4...10	5...15	4...10	3,5...30	–	–	–
Geotermální energie	2...10	1...8	2...10	1...8	–	–	–	–
Energie moří	8...20	5...15						

Poznámky: a) při 1000 kWh/m² (střední Evropa).

b) při 1500 kWh/m² (jižní Evropa).

c) při 2500 kWh/m² (jižní oblasti)

d) v oblastech s 2500 kWh/m²

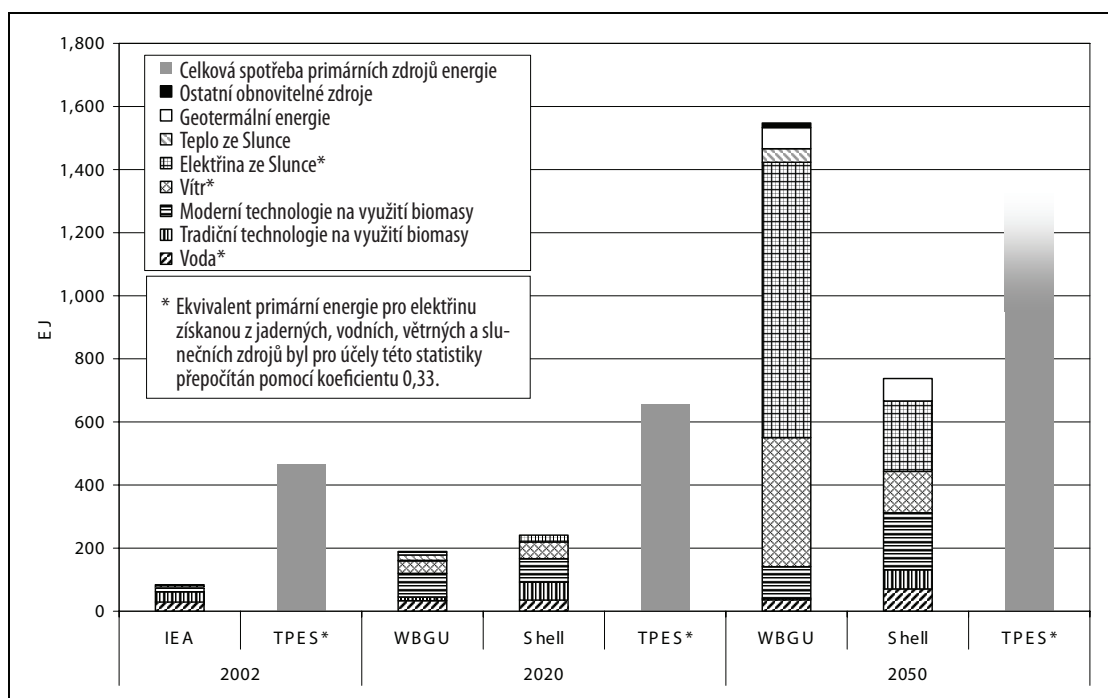
Zdroj: Turkenburg (2000), ICCEPT (2002), EK (2002)

Ačkoliv je technický potenciál obnovitelných zdrojů energie obrovský, klíčovou bariérou pro širší využití obnovitelných zdrojů je jejich konkurenceschopnost. Kromě vodní energie a některých možností využití biomasy je většina technologií výroby energie z obnovitelných zdrojů v počátečních fázích vývoje. Pokud se zintenzivní výzkum a vývoj, a bude se pokračovat v časném uvádění na trh, mnoho studií předpokládá výrazné snížení nákladů. U mnoha způsobů výroby energie z obnovitelných zdrojů se ukázal významný „efekt učení“ po jejich uvedení na trh (IEA 2000).

Tabulka 10 ukazuje rozdílné odhady nákladů u klíčových technologií výroby energie z obnovitelných energií. Z přehledu vyplývá během příštích padesáti let, že významná snížení nákladů se dají předpokládat v příštích dvaceti letech, zvláště u větrné energie, biomasy a geotermální energie. Ve střednědobé a dlouhodobé perspektivě (více než dvacet let) by se výrazná snížení nákladů mohla projevit u výroby elektřiny ze sluneční energie a energie moří.

Obrázek 8

Odhady podílu obnovitelných zdrojů energie na celkových dodávkách primární energie, 2002–2050



Zdroj: WBGU (2004), Shell (2002), IEA (2004), vlastní odhady a výpočty

Obrázek 8 ukazuje přehled dvou rozdílných odhadů budoucího růstu obnovitelných energií.⁹ Oba scénáře jsou intervenční scénáře, předpokládají silné politické intervence, aby na globální úrovni bylo dosaženo udržitelného energetického systému. V závislosti na předpokladu budoucí celkové dodávky primární energie by se 50–100 % celkových dodávek primární energie dalo pokrýt z obnovitelných zdrojů. Srovnání též ukazuje na rozdílné hodnocení budoucího podílu obnovitelných zdrojů. Zatímco Shell (2002) vidí ve svém scénáři „Spirit of the coming age“ srovnatelný růst u energie z biomasy, větrné a sluneční energie, WBGU (2004) předpokládá potenciál pro mnohem agresivnější růst, technologické průlomy u větrné a sluneční energie a mnohem menší nárůst využití biomasy. V obou odhadech hraje geotermální energie významnou roli.

Obnovitelné zdroje energie by tedy z technického hlediska mohly plně, nebo alespoň ve velké míře, pokrýt budoucí poptávku po primární energii. Nicméně některé technologie, dovolující širší využití obnovitelných zdrojů, jsou v počátečních fázích vývoje. ICCEPT (2002) uvádí následující rozdělení obnovitelných zdrojů energie:

- vyspělé technologie: biomasa (společné spalování), velké a malé vodní elektrárny, přílivové elektrárny, fotovoltaika nepřipojená k síti
- technologie ve vývoji, které se brzy stanou vyspělými technologiemi: větrné elektrárny, fotovoltaické systémy pro budovy, biomasa (spalování)
- technologie ve vývoji: pobřežní vítr, biomasa (zplyňování)
- konceptuální technologie, které se brzy stanou technologiemi ve vývoji: pokročilé fotovoltaické systémy, vlnový a přílivový proud, biomasa (hydrolýza), geotermální technologie (hot dry rock)
- konceptuální technologie: fotosyntetický vodík.

Tento dlouhý seznam technologických možností nabízí dostatečnou flexibilitu pro různé scénáře technologického rozvoje s ohledem na snížení nákladů výroby energie z obnovitelných zdrojů. Do roku 2020 by hlavní podíl mohl přicházet z biomasy, větru a vody. V časovém horizontu po roce 2020 bude klíčové, kolik energie se dá vyrobit ze solárních technologií a v jaké fázi vývoje bude výroba energie z větrných, geotermálních a mořských zdrojů.

Přesto bude nutné soustředit úsilí na zlepšení ekonomičnosti různých technologií, dosáhnout dalších technologických průlomů a vybudovat nutnou infrastrukturu. Hlavním problémem, pokud jde o infrastrukturu, je přerušovaná výroba z fotovoltaických a větrných elektráren. Systém dodávek elektřiny s velkým podílem přerušované výroby energie bude vyžadovat úplně nové nároky na síť a flexibilitu jiných zdrojů energie. Pokrok, kterého bylo dosaženo v posledních letech (vyspělé modely prognóz, vývoj vysoce účinných a flexibilních technologií výroby energie z plynu atd.), podtrhuje fakt, že integrace přerušovaných zdrojů energie by se měla chápat spíše jako výzva než jako bariéra pro širší využití obnovitelných zdrojů v energetickém sektoru. Také u obnovitelných zdrojů se však musí počítat s různým ekologickým a sociálním omezením. V některých zemích světa jsou možnosti využití větrné energie, některých mořských technologií (přílivové elektrárny) nebo vodní energie omezené, protože by to mohlo mít negativní lokální ekologické a sociální dopady.

Je tedy zřejmé, že výrazné pokroky u technologií a ekonomičnost výroby energie z obnovitelných zdrojů v poměrně krátkém čase ohromně zvýší potenciál tohoto způsobu výroby energie. Pokud se dosáhne podstatného snížení nákladů u sluneční, větrné technologie a technologie z biomasy, bude vybudovaná odpovídající infrastruktura, potom dojde k rychlé změně energetického systému. Jinými slovy, podíl obnovitelných zdrojů na globálních dodávkách primární energie v budoucnu buď zůstane na poměrně nízké úrovni a nebo bude od poloviny tohoto století ve struktuře primární energie dominantní. „Střední cestu“ v podílu obnovitelných zdrojů energie si lze těžko představit.

Záchycování a skladování uhlíku

Jedna z vyvíjených technologií na snížení produkce emisí skleníkových plynů je možnost zachycování a skladování uhlíku (CCS). CCS jsou technologie, které z různých zdrojů shromažďují a skladují CO₂, který je pak převezen na vhodné skladovací místo a po dlouhou dobu skladován. CCS se dá aplikovat na CO₂ vznikající při spalování fosilních paliv nebo na emise CO₂ ze spalování biomasy (na uhlík neutrální). Druhá možnost by znamenala výrazné snížení emisí CO₂ a měla by mít svou roli v dlouhodobé klimatické politice.

Ačkoliv některé ekonomicky výhodné technologie CCS již existují, je třeba vyvinout a zlepšit ještě další technologie. Největšího úsilí bude třeba na dosažení integrovaného systému CCS, který bude spolehlivý z hlediska technologického, ekonomického a s ohledem na veřejné mínění. Zachycování a skladování uhlíku je předmětem intenzivního výzkumu a vývoje, a v současnosti je tato metoda analyzována a vyhodnocována (viz IPCC 2005, IEA 2004b + 2005b).

Z ekonomického hlediska je pro CCS klíčové zachycování CO₂. Hlavní problémem je, že zachycování CO₂ vyžaduje velké množství energie, které zásadním způsobem snižuje energetickou účinnost elektráren. Zachycování emisí CO₂ by mohlo snížit energetickou účinnost asi o 10% a do velké míry by negovalo technologický pokrok, kterého bylo dosaženo za posledních dvacet let. Výsledkem však není elektrárna bez emisí, protože míra snížení emisí CO₂ se pohybuje pouze mezi 80 a 90% u upřednostňovaných technologií (IPCC 2005). Zachycování uhlíku by mohlo být založeno na jiných technologiích:

- zachycování před spalováním
- zachycování po spalování
- zachycování technologií oxyfuel (spalování čistým kyslíkem)
- zachycování z průmyslových procesů (např. výroba oceli nebo čpavku)

U technologie zachycování CO₂ před spalování nebo pomocí oxyfuel musí technologie výroby energie projít zásadní přeměnou. Ačkoliv tyto technologie již existují v modelových elektrárnách (IGCC – integrovaný zplyňovací kombinovaný cyklus) nebo jako plánované ukázkové projekty, prozatím neexistuje dostatek důkazů o technologické použitelnosti v komerčním provozu. Např. technologie

IGCC neuspěla v posledních dvaceti letech v konkurenci s parními turnínami s kritickými a nadkritickými parametry. Ukázalo se, že elektrárny na práškové uhlí s konvenčními parními turbínami mnohem lépe vyhovují požadavkům každodenního komerčního provozu, než modernější a účinnější technologie IGCC.

Doprava CO₂ by mohla využívat již existující technologie (plynovod, lodní doprava) a na vzdálenosti do 200–300 km by nebyla příliš nákladná. Pokud by se musely překonávat mnohem větší vzdálenosti mezi zdroji CO₂ a skladovacími místy, náklady na dopravu by mohly významně zvýšit celkové náklady.

Existují tři hlavní možnosti skladování CO₂. Zachycený CO₂ by se mohl vtlačovat do geologických útvarů nebo do hlubin oceánu (do hloubek větších než 1000 m), nebo by mohl být mineralizován, a v této formě skladován na vhodných místech. Na základě současných znalostí by se pouze skladování v geologických útvech dalo považovat za akceptovatelné. Existují důkazy, že vtlačování velkého množství CO₂ do hlubin oceánu by mohlo poškodit mořské ekosystémy. Není jasné, co by pro mořské ekosystémy znamenalo dlouhodobé vtlačování CO₂ do rozsáhlého prostoru moří. Minerální saturace CO₂ by vedla k produkci velkého objemu materiálů, k nutnosti jejich likvidace a přinesla by další ekologické problémy. Proces minerální saturace by spotřeboval 1,6–3,7 tun silikátů na 1 tunu uloženého CO₂ a vzniklo by 2,6–4,7 tun materiálu k likvidaci. Produkce těchto materiálů a s ní spojené procesy (dolování, drcení, mletí, přeprava a likvidace) by také byly zdrojem poměrně vysokých nákladů.

V důsledku těchto faktorů by se mělo nahlížet na skladování v geologických útvech (vyčerpaná ropná pole, netěžitelné uhelné sloje, hlubinné solné útvary) jako na klíčovou možnost pro CCS v příštích desetiletích. IPCC (2005) uvádí množství 200–2000 miliard tun CO₂ jako ekonomický potenciál pro CCS v příštím století. IPCC charakterizuje dolní mez jako „prakticky jistou“ (pravděpodobnost 99% a více), vyšší údaj je považován za „pravděpodobný“ (pravděpodobnost 66–90%). Na základě těchto skutečností by technologie CCS mohla mít významný podíl na dlouhodobém snižování emisí CO₂. CCS však bude představovat pouze dočasnou možnost snižování emisí, neboť skladovací kapacity jsou omezené.

Tabulka 11 uvádí rozsah nákladů na různé komponenty systému CCS. V případě skladování v geologických útvech bude zachycování CO₂ představovat nejvýznamnější část nákladů. Přepravy CO₂ na dlouhé vzdálenosti by sice mohly zvýšit náklady systému, ale využití zachyceného CO₂ na intenzifikaci těžby ropy (EOR) nebo intenzifikaci těžby slojového metanu (ECBM) zvyšuje ekonomický výnos, což by snížilo nákladnost systému CCS. Celkové náklady na snížení emisí u CCS se pohybují mezi 15–90 \$/t CO₂, což je srovnatelné s mnoha zdroji obnovitelné energie.,

Tabulka 11

Rozpětí nákladů na komponenty systému CCS u nových velkých zařízení

	Komponenty systému CCS	Rozsah nákladů	Poznámky
Zachycování	Zachycování z uhelných a plynových elektráren	15...75 \$ na tunu zachyceného CO ₂ netto	Čisté náklady na zachycení CO ₂ v porovnání se stejnou elektrárnou nevybavenou CCS
	Zachycování při výrobě vodíku a čpavku nebo při zpracování plynu	5...55 \$ na tunu zachyceného CO ₂ netto	Týká se velmi čistých zdrojů vyžadující jednoduché sušení a kompresi
	Zachycování z jiných průmyslových zdrojů	25...115 \$ na tunu zachyceného CO ₂ netto	Tento rozsah odráží využití různých technologií a paliv
	Přeprava	1...8 \$ na tunu přepraveného CO ₂	Za 250 km přepravy plynovodem nebo lodí při objemu 5 (vyšší mez) až 40 (nižší mez) MtCO ₂ /rok
Skladování	Geologické skladování	0,5...8 \$ na tunu vtláčeného CO ₂ netto	Vyjma potenciální výnosy z EOR nebo ECBM
	Geologické skladování: monitoring a kontrola	0,5...8 \$ na tunu vtláčeného CO ₂ netto	Částka zahrnuje přípravné práce, vtláčení plynu a následný monitoring, také záleží na požadavcích kontrolního úřadu.
	Skladování v oceánu	5...30 \$ na tunu vtláčeného CO ₂ netto	Včetně přepravy na souši (100–500 km), vyjma monitoringu a kontroly
	Minerální saturace	50...100 \$ na tunu	Rozsah pro nejlepší studovaný případ. Zahrnuje dodatečnou spotřebu energie při saturaci.

Zdroj: IPCC (2005)

Systémy CCS by mohly představovat určitá rizika, zvláště pokud jde o skladování CO₂. Globální rizika plynou z potenciálního úniku části skladovaného CO₂ do atmosféry. Takový únik by mohl opět přispět ke globálnímu oteplování. Výběr míst k uskladnění CO₂ musí odrážet nutný předpoklad, že skladovaný CO₂ by měl zůstat v rezervoárech 100–1000 let. Pokud jde o lokální rizika, náhlý a rychlý únik CO₂ (jako následek poruchy jímky atd.) by mohl ohrozit lidské životy. Postupné a rozptýlené úniky by mohly zasáhnout spodní vody a ekosystémy, nebo způsobit okyselení půdy. Taková rizika by se dala eliminovat vhodným výběrem a konstrukcí úložišť, komplexním monitoringem a strategiemi nápravy škod.

Je třeba vyřešit mnoho problémů, aby se systém CCS mohl zavést jako účinná možnost pro ambiciózní strategie snížení emisí. Kromě technologických, ekonomických a bezpečnostních problémů se musí vyřešit problémy s ručením, vlastnictvím, právním rámcem, monitoringem a ověřováním, než bude systém CCS vnímán jako účinná možnost snížení emisí.

Hodnocení podílu CCS na globálním snížení emisí v horizontu příštích padesáti let se velmi liší. IPCC (2005) zdůrazňuje, že většina systémů CCS bude rozmístěna až v druhé polovině tohoto století. Oproti tomu WBGU (2004) předpokládá výrazný roční podíl CCS na snížení emisí (> 15 Gt CO₂) již v roce 2050. Pacala/Socolow (2004) předpokládají snížení emisí 3,7 Gt CO₂ z uhelných elektráren o výkonu 800 MW a plynových elektráren o výkonu 1600 MW díky použití technologie CCS v polovině tohoto století.

Pokud půjde technologický vývoj rychle dopředu, problémy (spolehlivost rezervoárů, infrastruktura, právní otázky atd.) budou vyřešeny, a podaří-li se získat veřejnou podporu, mohla by CCS mít v roce 2050 podíl na snížení emisí několik miliard tun CO₂. Nejdříve se zařízení CCS budou instalovat v průmyslových zemích. Celosvětové rozšíření bude záležet na mnoha faktorech (infrastruktura, institucionální kapacity atd.). Nicméně bychom měli mít na paměti fakt, že i když je technologie CCS částečně založena na technicky pokročilých komponentech, patří stále mezi vyvíjené varianty způsobů snížení emisí.

Předběžné závěry

To, že žádný způsob snižování emisí sám o sobě nebude stačit k snížení emisí na takovou úroveň, která omezí globální oteplování na přijatelnou mez, patří mezi známá fakta. Odpověď na otázku, jestli jednotlivé způsoby mohou být vyňaty z portfolia opatření na snížení emisí, je mnohem obtížnější. Předpokládejme, že rozdíl v množství emisí CO₂ podle scénáře BAU a množstvím emisí, pokud budeme chtít dosáhnout cíle 2° C, bude v roce 2050 v rozmezí 25–40 Gt CO₂. Potom hrubé odhady u různých způsobů snížení emisí ukazují následující výsledky:

- cca 5 Gt CO₂ z trojnásobného zvýšení výroby jaderné energie
- cca 4 Gt CO₂ ze zvýšených energetických úspor v budovách
- cca 5 Gt CO₂ ze zvýšené energetické a materiálové účinnosti v průmyslu
- cca 7 Gt CO₂ ze zvýšené energetické účinnosti v dopravě
- cca 2 Gt CO₂ ze zvýšené energetické účinnosti v energetickém sektoru (kromě přechodu na jiné palivo)
- cca 3,6 Gt CO₂ z přechodu z uhlí na plyn v sektoru výroby elektřiny
- cca 15 Gt CO₂ (i více) z obnovitelných zdrojů energie (v sektoru výroby elektřiny i tepla)
- mezi 4 a 10 Gt CO₂ ze zachycování uhlíku a sekvestrace

Oproti scénáři BAU, by v roce 2050 mělo být možné snížit produkci emisí o 45–55 Gt CO₂. V tomto případě by podíl jaderné energie nebyl potřebný a to ani v případě ambiciózního programu na snížení emisí. Nejasnosti a rizika a interakce však v různé míře existují u všech možností

- I když každý způsob snížení emisí (od obnovitelných zdrojů po CCS) představuje určité riziko pro zdraví a ekosystémy, žádná nepředstavuje taková rizika pro zdraví, ekosystémy a sociální a ekonomické systémy jako jaderná energie.
- Oproti obnovitelným zdrojům energie a CCS má dnes (a určitě i v blízké budoucnosti) jaderná energie silné vazby na systém dodávek elektřiny. Obnovitelné zdroje a CCS vyžadují fundamentální změnu systému elektrizační soustavy (nové základní technologie, zásadně změněnou geografickou strukturu, propojení sítí atd.). Pokud by jaderná energie měla mít významný podíl na snížení emisí, za 20–30 let by muselo dojít k významným změnám v technologickém řetězci (zpracování paliva, množivé technologie). Stále však není jasné, zda jsou tyto změny možné či ne.
- Změny v technologickém řetězci jaderné energetiky vyžadují dlouhodobé přípravy (od těžby uranu po ukládání odpadu) a je třeba vyřešit mnoho nejasností, pokud mají být všechny části řetězce připraveny včas.
- Požadavky plynoucí z významného podílu obnovitelných zdrojů energie a CCS v dodávkách elektřiny (zvýšená flexibilita, propojení decentralizace a centralizace, řešení přerušované výroby energie, zlepšení infrastruktury pro dodávky elektřiny a CO₂) by se mohly dostat do konfliktu s požadavky výroby jaderné energie (velké bloky, centralizované sítě, nízká flexibilita).
- Přechod na jiné palivo a zvýšení účinnosti v energetickém sektoru (včetně CHP) jsou jediné možnosti, které mají podobné nároky na současný systém dodávek elektřiny. Ačkoliv bude jejich podíl časem omezený, mohly by tyto dvě možnosti hrát klíčovou roli v zahájení přeměny elektroenergetického systému.
- Z ekonomického hlediska nejúčinnější možnosti snížení emisí (různé způsoby zvýšení energetické účinnosti) vyžadují, kvůli četným překážkám při jejich zavádění, rozsáhlé politické intervence. Tím se liší od zavádění krátkodobých opatření v energetickém sektoru. Dostatečné zpoplatnění emisí CO₂ (a vhodná forma plánu obchodování s emisemi atd.) by mohly být prvními nutnými opatřeními.
- Ve střednědobé perspektivě nebudou klíčové možnosti snížení emisí konkurenceschopné v porovnání s jadernou energií, pokud externí náklady na jadernou energii (zodpovědnost a pojištění, fondy na odstavení, atd.) nebudou řádně zohledněny nebo budou nadále existovat jiná ekonomická pokřivení (přímé či nepřímé subvence). Pokud objem jaderné energie v příštích desetiletích poroste (jinak by podíl na snížení emisí byl zanedbatelný), bude kvůli nutným změnám v technologickém řetězci čelit významným ekonomickým problémům. Z tohoto hlediska by se jaderná cesta mohla ukázat jako špatná cesta.

- Žádná jiná technologie v portfoliu způsobů snížení emisí s sebou nenese srovnatelný mobilizační potenciál. Pokud by v jaderných zařízeních (včetně závodů na obohacení, přepracování a ukládání paliva) došlo k jedné nebo i více haváriím, velice brzy by se jaderná cesta stala nepřijatelná. To by mohlo mít katastrofické následky pro klimatickou politiku, v případě, že by jaderná energie měla významný podíl na snižování emisí.

Při zohlednění těchto složitých vzájemných vztahů, je potřebné (i možné) vypracovat důkladný plán strategií pro krátkodobou, střednědobou i dlouhodobou perspektivu. Pokud nebude jaderná energie považovaná za nepostradatelnou z krátkodobého hlediska (k čemuž se dá dospět z výše uvedené analýzy), měli bychom se při výrobě elektřiny v příštích dvaceti až třiceti letech zaměřit na přechod z výroby elektřiny z uhlí na výrobu elektřiny z plynu. Současně by se mělo vyvinout velké úsilí na zvýšení energetické účinnosti v energetickém sektoru a sektoru koncové spotřeby. To by mohlo pomoci překlenout dobu, než se díky „efektu ponaučení“ významně sníží náklady u obnovitelných zdrojů, a než přinesou ovoce výzkumné práce na technologii CCS.

6 Klíčové strategie: studie o stavu v Německu

Studijní komise německého Bundestagu (Enquete-Kommission) která zpracovává studii „Udržitelná energie v rámci globalizace a liberalizace“, vypracovala model, ve kterém analyzuje různé strategie k dosažení 80 procentního snížení emisí CO₂ (oproti stavu v roce 1990) do roku 2050.

Cílem bylo vypracování modelu dodávek energie a vyhodnocení jeho roli v rámci ambiciózní klimatické politiky. V této analýze byly rozpracovány čtyři různé scénáře (které také byly předmětem komplexní analýzy citlivosti):

- V „Referenčním scénáři“ se rozšiřují současná opatření a po roce 2012 se nepředpokládá realizace žádné žádné ambiciózní klimatické politiky.
- Ve scénáři „Obnovitelné zdroje energie a účinnost“ by se měl cíl 80 procentního snížení emisí CO₂ splnit bez využívání technologie na zachycování uhlíku a sekvestraci nebo využívání jaderné energie (při zachování současné strategie likvidace jaderných zařízení v Německu).
- Ve scénáři „Zaměřeno na energetický sektor“ se uvažovalo s využitím technologie zachycování uhlíku a sekvestrace.
- Ve scénáři „Mix fosilní a jaderné energie“ byla k ostatním způsobům snížení emisí přidána jaderná energie.

Pracovalo se s různými modely simulace a optimalizace, aby bylo dosaženo kvalitních výsledků.

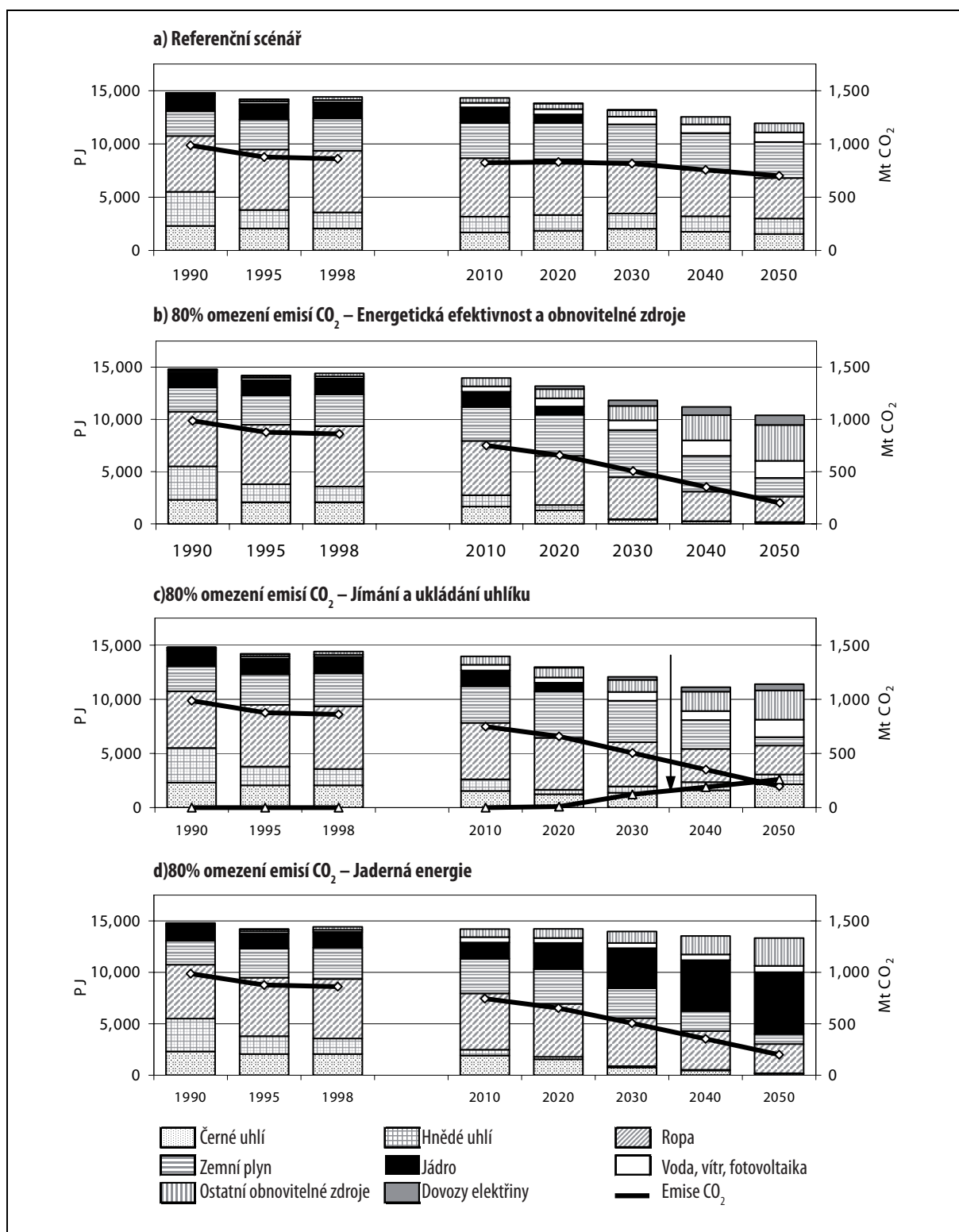
Obrázek 9 uvádí přehled těchto výsledků.

Ve scénáři BAU vidíme lehký pokles dodávek primární energie a snížení emisí CO₂ na úroveň 29 % oproti stavu v roce 1990, což představuje další nárůst emisí asi o 10 % oproti stavu dosaženého v roce 1998. Struktura primární energie je víceméně zachovaná – pokles ve spotřebě minerálního oleje a mírný nárůst využívání obnovitelných zdrojů energie. Tyto vývojové tendence vyplývají z demografických charakteristik a autonomního zvýšení energetické účinnosti v národní ekonomice.

Pokud by se mělo dosáhnout cíle snížení emisí o 80 % (oproti stavu v roce 1990) na základě zvýšení energetické účinnosti a nárůstu podílu obnovitelných zdrojů, významně by se snížily dodávky primární energie. V porovnání s referenčním scénářem by přínos energetické účinnosti činil 13 %. Asi 48 % celkových dodávek primární energie by se pokrylo z obnovitelných zdrojů. Významný podíl by měly především biomasa a větrná energie. S využíváním uhlí (černého i hnědého) by se skončilo do roku 2030 a výrazně by se snížilo využívání plynu a minerálního oleje. Plyn a olej by stále představovaly 40 % celkových dodávek primární energie v roce 2050. Stojí za zmínku, že kvůli geografickým podmínkám v Německu by dovoz elektřiny z oblastí s větším potenciálem pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů činil 9 % celkových dodávek primární energie.

Obrázek 9

Dodávky primární energie a emise oxidu uhličitého, scénáře ze studie německého Bundestagu



Zdroj: EK(2002)

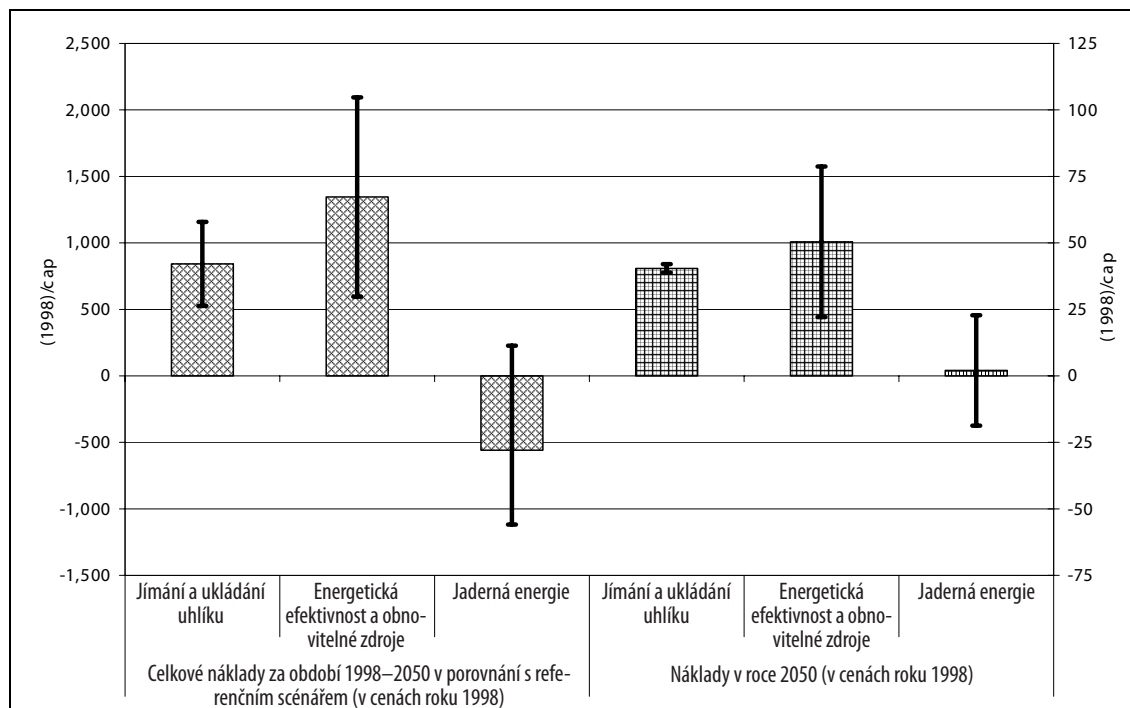
Pokud by se vzala v úvahu možnost využívání CCS, potom by se struktura dodávek primární energie by se výrazně lišila. Ačkoliv se předpokládá velká snaha zvýšit energetickou účinnost v sektorech koncové spotřeby, úroveň celkových dodávek primární energie by byla pouze 4,5 % pod úroveň v referenčním scénáři. Je to hlavně kvůli dodatečné poptávce po energii, plynoucí z využíváním technologií CCS, které se začnou postupně zavádět do praxe v roce 2030 a které by v roce 2050 mohly zachytit asi 260 mil. tun CO₂. Nicméně i podíl obnovitelných zdrojů v tomto scénáři významně poroste a v roce 2050 dosáhne podílu 38 %. Díky zaměření na technologie CCS bude využití uhlí na výrobu energie opět atraktivní. Podíl plynu v celkové struktuře primární energie je do velké míry nahrazen energií z obnovitelných zdrojů a zvýšením energetické účinnosti.

Pokud se bude strategie snížení emisí zaměřovat především na jadernou energii, bude v roce 2050 tato energie dominovat struktuře primární energie. Jaderná energie by plně nahradila uhlí a technologie CCS by nebyla konkurenceschopná. Oproti technologii CCS budou některé obnovitelné zdroje energie atraktivní (hlavně biomasa a větrná energie) a dosáhnou podílu 23 %. Úroveň dodávek primární energie je nad úroveň referenčního scénáře. Je to hlavně z důvodu konverze elektřiny do formy primární energie při nízkém konverzním faktoru 33 %, ale také kvůli tomu, že se už nepředpokládala další (politická) snaha zvýšit energetickou účinnost v energetickém sektoru a sektoru koncové spotřeby. Využívání minerálního olej a plynu hrají v tomto scénáři pouze malou roli. Sektor dopravy kompletně využívají vodík produkovaný jadernými elektrárnami.

Jak analýza scénáře ukázala, strategie snížení emisí není závislá na potenciálech různých kombinací opatření na snížení emisí. Až na jaderný scénář (kde by mohly vyvstat vážné otázky bez ohledu na to, zda je takový vývoj možný či ne), rozmanitost možností na snížení emisí umožňuje vypracovat různé strategie. Jinými slovy, portfolio způsobů snížení emisí je větší, než je nutné na 80% snížení emisí do roku 2050.

Obrázek 11

Kumulativní a roční náklady na hlavu pro různé scénáře



Zdroj: EK (2002)

Co se týče nákladů spojených s různými scénáři (Obr. 11) lze vyvodit dva hlavní závěry. Za prvé, u scénářů existují různé zásadní nejasnosti. Kvůli rozmanitosti technologií využívaných ve scénáři zaměřeném na energetickou účinnost a obnovitelné zdroje energie, je rozsah nákladů širší než u scénářů, ve kterých jednotlivé technologie hrají dominantnější roli. Za druhé, oproti celkovým nákladům systému jsou náklady na snížení emisí sice nezanedbatelné, ale stále na přijatelné úrovni. Ve srovnání s hrubým domácím produktem dosáhnou náklady na snížení emisí v roce 2050 maximálně 2%. Hodnocení jaderného scénáře do velké míry závisí na předpokladech budoucích nákladů na jaderné technologie. Pokud se analýza opře o spíše „optimistické“ předpoklady, bude využití jádra atraktivní. Pokud se vyberou „pesimističtější“ parametry, mohly by náklady být srovnatelné s ostatními scénáři. Pokud se však k tomu ještě přičtou externí náklady jaderné energie (u nichž existuje mnoho prognóz a žádný konsensus), rozdíl v nákladech se mezi jaderným a ostatními scénáři se značně sníží nebo budou náklady na nejaderné scénáře nižší.

Ačkoliv všechny výsledky této německé modelové studie nelze aplikovat na jiné země nebo regiony, a ačkoliv existuje hodně nejasností a citlivých otázek u tohoto druhu dlouhodobých odhadů, můžeme přesto vyvodit některé klíčové závěry:

- Existuje velký počet způsobů snížení emisí, a tak je možno navrhnout kvalitní ambiciózní strategie snížení emisí. Energetická účinnost a obnovitelné zdroje energie budou hrát roli v každé strategii, ale neexistuje žádný důvod pro to, aby jaderná energie byla nezbytná.
- Náklady na dosažení ambiciózního cíle snížení emisí nejsou zanedbatelné, ale méně než 2% HDP v roce 2050 je úroveň, která by měla být akceptovatelná ve srovnání s náklady spojenými s řešením problematiky globálním oteplováním. Na výši nákladů bude mít mnohem významnější vliv výše plánovaného objemu snížení emisí, než struktura způsobů snížení emisí.
- Kromě rizika globálního oteplování a nákladů na snížení emisí se musí brát v úvahu i jiná rizika. Existuje velký prostor na zavedení strategie celkové minimalizace rizik.

Stále pokračující debata o výši externích nákladů na řešení problematiky globálního oteplování a jadernou energii ukazuje, že hlavním problémem jsou rozhodnutí týkající se našich hodnot – to by se však nemělo týkat jen výzvy globálního oteplování. Strategie na minimalizaci rizik, ambiciózní cíle na snížení emisí a odklon od jaderné energetiky je, s ohledem na potenciál a přijatelnost nákladů, možné uskutečnit. Ambiciózní strategie týkající se ochrany klimatu budou mnohem problematičtější, bude-li v nich mít jaderná energie významný podíl.

7 Závěr

Globální oteplování představuje pravděpodobně jednu z největších výzev 21. století. Rozsah potenciálních škod a jejich dlouhodobé důsledky představují zvláštní třídu rizika (typ „Kassandra“). Klimatické změny však nejsou pro zdraví, ekosystémy a sociální a ekonomické struktury jediným rizikem. Potenciální důsledky využívání jaderné energie (katastrofická havárie, ukládání paliva, šíření jaderných zbraní atd.) představují sice jiný typ rizika (typ „Damokles“), přesto by se měly brát vážně. To, že žádný způsob snížení emisí sám o sobě nebude stačit k nutnému snížení emisí na úroveň, která omezí globální oteplování na přijatelnou mez, patří mezi známá fakta. Odpověď na otázku, zda mohou být jednotlivé způsoby vyňaty z portfolia opatření na snížení emisí, je obtížná. Analýza interakcí mezi různými způsoby na snížení emisí ukazuje, že jaderná energetika není pro ambiciózní strategie snížení emisí nezbytná a mohla by dokonce bránit dalšímu vývoji:

- Některé nároky obnovitelných zdrojů a technologie CCS na infrastrukturu a flexibilitu elektroenergetického systému by se mohly dostat do rozporu s požadavky výroby jaderné energie.
- U obnovitelných zdrojů a CCS můžeme ve střednědobé perspektivě počítat s „efektem ponaučení“ a snížením nákladů. Na jadernou energii se naopak budou muset vynaložit další prostředky, pokud kvůli dostupnosti zdrojů a neřešeným problémům s odpadem budou nutné zásadní změny jaderného řetězce.
- Nejdůležitější podíl na ambiciózním snížení emisí z pohledu co nejmenší nákladnosti bude mít velké zvýšení energetické účinnosti v energetickém sektoru a sektoru koncové spotřeby. Kvůli mnohým překážkám a bariérám je třeba na rozvoj tohoto potenciálu vyvinout dlouhodobé politické úsilí. Polemika o jaderné energii často tuto nutnost maskuje.

Při zohlednění těchto složitých vzájemných vztahů, je potřebné (i možné) vypracovat důkladný plán strategii pro krátkodobou, střednědobou i dlouhodobou perspektivu. Pokud nebude jaderná energie považovaná za nepostradatelnou z krátkodobého hlediska, měli bychom se u výroby elektřiny v příštích dvaceti až třiceti letech zaměřit na přechod z výroby elektřiny z uhlí na výrobu elektřiny z plynu uhlí a současně vyvinout velké úsilí na zvýšení energetické účinnosti v energetickém sektoru a sektoru koncové spotřeby. To by mohlo pomoci překlenout dobu, než „efekt ponaučení“ u obnovitelných zdrojů významně sníží náklady, a než přinesou ovoce výzkumné projekty technologie CCS. Bylo by také možné navrhnout a uvést do praxe strategii celkové minimalizace rizik. Ambiciózních cílů snížení emisí by se dalo dosáhnout jak s jadernou energií tak i bez ní. V rámci nutných zásadních změn v globálním energetickém systému bude strategie nevyužívající jadernou energii pravděpodobně pokrokovější a kvalitnější.

8 Odkazy

Blasing, T.J., Jon, S. (2005): Current Greenhouse Gas Concentrations. Updated February 2005. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory (http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current_ghg.html)

Ecofys (2004): Options for the second commitment period of the Kyoto Protocol. Report for the German Federal Environmental Agency. Cologne, November 2004.

EK (Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung des 14. Deutschen Bundestages) (2002): Bericht der Enquete-Kommission. Bundestags-Drucksache 14/9400.

Ewers, H.-J.; Rennings, K. (1991): Die volkswirtschaftlichen Kosten eines Super-GAUS' in *Biblis. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, 4/1991, 379–396.

Ewers, H.-J.; Rennings, K. (1994): Economics of Nuclear Risks – A German Study. In: Hohmeyer/Ottinger: *Social Costs of Energy – Present Status and Future Trends*. Proceedings of an international Conference, Racine, Wisconsin, September 8–11, 1992.

Frogatt, A. (2005): Nuclear Reactor Hazards. Nuclear Issues Paper No. 1. Berlin: Heinrich Böll Foun-

ation.###

Hare, B., Meinshausen, M. (2004): How much warming are we committed to and how much can be avoided? PIK Report Nr. 93. Potsdam: PIK.

ICCEPT (Imperial College Centre for Energy Policy and Technology) (2002): Assessment of Technological Options to Address Climate Change. A Report for the Prime Minister's Strategy Unit. London, December 20, 2002.

IEA (International Energy Agency) (2000): Experience Curves for Energy Technology Policy. Paris: OECD/IEA.

IEA (International Energy Agency) (2004a): World Energy Outlook 2004. Paris: OECD/IEA.

IEA (International Energy Agency) (2004b): Prospects for CO₂ Capture and Storage. Paris: OECD/IEA.

IEA (International Energy Agency) (2005a): Electricity Information 2005. Paris: OECD/IEA.

IEA (International Energy Agency) (2005b): Legal Aspects of Storing CO₂. Paris: OECD/IEA.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): Special Report Emissions Scenarios. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate Change 2001: Mitigation.

A Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2005): IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage.

Jochem, E. (2000): Energy End-Use Efficiency. In: UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: UNDP, 173–217.

Kreusch, J., Neumann, W., Appel, D., Diehl, P. (2005): The nuclear fuel cycle. Nuclear Issues Paper No. 2. Berlin: Heinrich Böll Foundation.###

Lovins, A.B. (2005): Nuclear power: economics and climate-protection potential. Rocky Mountain Institute (www.rmi.org/sitepages/pid171.php@E05-08)

Marland, G., Boden, T.A., Andres, and R. J. (2005): Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Meinshausen, M. (2005): On the risk of overshooting 2 °C. Scientific Symposium "Avoiding Dangerous Climate Change" Exeter, Met Office, UK, 2 February 2005.

Meinshausen, M., Hare, B., Wigley, T.M.L., van Vuuren, D., den Elzen, M.G.J., Swart, R. (2005): Multi-gas emissions pathways to meet climate targets. Climatic Change, forthcoming.

Nassauer, O. (2005): Nuclear energy and proliferation. Nuclear Issues Paper No. 3. Berlin: Heinrich Böll Foundation.###

NERAC (Nuclear Energy Research Advisory Committee) (2002): A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. Washington, D.C.: US DOE NERAC.

Pacala, S., Socolow, R. (2004): Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. Science 305 (2004) 968–972.

Pehnt, M., Cames, M., Fischer, C., Praetorius, B., Schneider, L., Schumacher, K., Voß, J.-P. (2005): Micro Cogeneration. Towards decentralized energy systems. Berlin/Heidelberg: Springer.

Price, R.R., Blaise, J.R., Vance, R.E. (2004): Uranium production and demand. Timely mining decisions will be needed. NEA News 2004 – No. 22.1.

Rogner, H.-H. (2000): Energy Resources. In: UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: UNDP, 135–171.

Rothwell, G., van der Zwaan, B. (2003): Are light-water reactor energy systems sustainable? The Journal of Energy and Development 29 (2003) No. 1, 65–79.

Sailor, W.C., Bodansky, D., Braun, C., Fretter, S., van der Zwaan, B. (2000): A Nuclear Solution to Climate Change?. Science 288 (2000) 1177–1178.

Schrattenholzer, L., Miketa, A., Riahi, K., Roehrl, R.A. (2004): Achieving a Sustainable Global Energy System. Identifying possibilities using long-term Energy Scenarios. ESRI Studies on the Environment, Cheltenham: Edgar Elgar.

Shell (2002): Energy Needs, Choices and Possibilities Scenarios to 2050. Scenarios to 2050. Shell International.

Thomas, S. (2005): The economics of nuclear power. Nuclear Issues Paper No. 4. Berlin: Heinrich Böll Foundation.###

Turkenburg, W.C. (2000): Renewable Energy Technologies. In: UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: UNDP, 219–272.

UNDP (United Nations Development Programme)/UNICEF (United Nations Children’s Fund) (2002): The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident. A Strategy for Recovery. A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO. New York: UNDP.

van der Zwaan, B., Rabl, A. (2004): The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy. Energy Policy 32 (2004) 1545–1554.

van der Zwaan, B.C.C. (2002): Nuclear energy: Tenfold expansion or phase-out? Technological Forecasting & Social Change 69 (2002) 287–307.

WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2000): Strategies for Managing Global Environmental Risks. Berlin/Heidelberg: Springer.

WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2003): Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and beyond. Special Report. Berlin: WBGU.

WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2004): Towards Sustainable Energy Systems. London: Earthscan.

Použité zkratky

BAU	business as usual
CCS	zachycování a skladování uhlíku (carbon capture and storage)
CO ₂	oxid uhličitý
ECBM	intenzifikace těžby slojového metanu (enhanced coalbed methane recovery)
EJ	exajoule
EOR	intenzifikace těžby ropy (enhanced oil recovery)
HDP	hrubý domácí produkt
Gt	gigatuny (miliardy tun)
IEA	Mezinárodní agentura pro energii (International Energy Agency)
IGCC	integrované zplyňování v kombinovaném cyklu (integrated gasification combined cycle)
IPCC	Mezivládní panel pro klimatické změny (Intergovernmental Panel on Climate Change)
Mt	megatuny (miliony tun)
OECD	Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)
ppm	částic na jeden milion (parts per million)
SO ₂	oxid siřičitý
t	tuna
TWh	terawatthodina (miliardy kilowatthodin)
UNFCCC	Rámcová úmluva OSN o změnách klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change)
W	watt

Poznámky

- 1) Například Rada Evropy uvedla, “abychom splnili závěrečný cíl UNFCCC zabránit nebezpečným antropogenním interferencím s klimatickým systémem, celkový nárůst teploty na zemi by neměl překročit 2 °C proti předindustriální úrovni”.
- 2) Viz WBGU (2003+2004)
- 3) více o ukázkových konceptech “včasná akce” nebo “opožděná reakce” viz Meinshausen a kol (2005)

- 3) debata o dočasných překročení těchto hodnot a následném návratu ("peaking") viz Meinshausen (2005).
- 4) Citlivost klimatu se vyjadřuje jako nárůst průměrné globální teploty v případě dvojnásobné koncentrace skleníkových plynů
- 5) Jiní autoři (např. Meinshausen 2005) z modelových výsledků soudí, že splnění cíle 2 °C je pouze "pravděpodobné" pokud mohou být kumulativní emise CO₂ z fosilních paliv omezeny na 400 miliard tun uhlíku (Gt C) v období od roku 1990. Pokud se zváží kumulativní emise mezi roky 1990 a 2000, vedlo by to k objemu emisí 333 Gt C (nebo cca 1221 Gt CO₂) u emisí ze spalování fosilních paliv.
- 6) Sailor a kol (2000) zmiňuje riziko nehody s velkým externím unikem radioaktivity na cca 10–5 až 10–6 na jeden reaktor za rok. Nicméně se v té době nebraly v úvahu spojené teroristické útoky.
- 7) Price a kol. (2004) uvádí přehled těžebních projektů, u kterých období mezi začátkem průzkumu a začátkem těžby trvalo 20 až 30 let a období mezi objevením ložiska a začátkem těžby trvalo 10 až 20 let.
- 8) Pro účely této studie byla data z různých zdrojů upravena kvůli společné metodice. Běžně používané statistiky IEA berou v úvahu energetický objem elektřiny (3,6 MJ/kWh) z vodní, větrné a sluneční energie na převod do primární energie. Pro výrobu jaderné energie IEA předpokládá převodní účinnost 33%. Oproti této definici odhady IPCC (2000) nepoužívají tento převod u jaderné energie. Místo toho používají energetický objem elektřiny. Pro účely této studie byla elektřina vyrobená z jaderné, vodní, větrné a sluneční energie převedena do primární energie použitím převodního činitele 33%, aby bylo možné vhodně porovnat podíl výroby fosilní, jaderné a obnovitelné energie na dodávkách primární energie.

Nadace Heinricha Bölla

Nadace Heinricha Bölla, která je blízká německé Straně zelených, s hlavním sídlem na Hackesche Höfe v srdci Berlína, je samostatným právním politickým subjektem, který pracuje v duchu intelektuální otevřenosti. Prvotním cílem této nadace je podporovat politické vzdělávání a osvětu jak v Německu, tak i v zahraničí, a tak podporovat zapojení veřejnosti do demokratického rozhodování, sociálně-politickou aktivitu a vzájemné pochopení mezi kulturami.

Nadace rovněž poskytuje podporu umění a kultuře, vědě a výzkumu a rozvojové spolupráci. Při své činnosti se řídí základními politickými hodnotami jako jsou ekologie, demokracie, solidarita a nenásilí. Díky její mezinárodní spolupráci s velkým počtem partnerů – v současnosti je počet projektů asi 100 v téměř 60 státech – se nadace soustřeďuje na posílení ekologického a občanského aktivizmu na celosvětové úrovni. To umožňuje výměnu nápadů a zkušeností a prohlubování naší vnímavosti a ostražitosti vůči změnám.

Spolupráce Nadace Heinricha Bölla na programech sociálně-politického vzdělávání a osvěty v zahraničí probíhá dlouhodobě formou projektů. Dalšími významnými nástroji mezinárodní spolupráce jsou výměnné pobyty, které zdokonalují výměnu zkušeností a vytváření politických sítí, jakož i základní a pokročilé školící programy pro angažované. Nadace Heinricha Bölla má okolo 180 zaměstnanců na plný úvazek a přibližně 320 podporujících členů, kteří poskytují pomoc jak finanční, tak i nemateriální povahy. Ralf Fücks a Barbara Unmüßig tvoří současnou správní radu Nadace Heinricha Bölla. Generální ředitelkou je Dr. Birgit Laubach. Další dva orgány, které se podílejí na vzdělávací a osvětové práci Nadace Heinricha Bölla, jsou: „Zelená akademie“ a „Feministický ústav“.

Nadace v současnosti provozuje zahraniční kanceláře a kanceláře projektů v USA, na arabském Středním východě, v Afghánistánu, Bosně a Hercegovině, Brazílii, Kambodži, Chorvatsku, České republice, El Salvadoru, Gruzii, Indii, Izraeli, Keni, Libanonu, Mexiku, Nigerii, Pákistánu, Polsku, Rusku, Jižní Africe, Srbsku, Thajsku, Turecku a u úřadu EU v Bruselu.

Pro rok 2005 měla Nadace Heinrich Bölla k dispozici téměř 36 milionů € z veřejných fondů.

*Heinrich Böll Stiftung – kancelář v Praze, Spálená 23 zadní trakt – vchod Spálená 21, 110 00, Praha 1, Česká republika
tel.: 251 814 173, fax: 251 814 174, e-mail: info@boell.cz*

*Heinrich Böll Foundation, Rosenthaler Str. 40/41, 10178 Berlin, Germany
tel.: +49 30.28534.0, fax: +49 30.28534.109, e-mail: info@boell.de, Internet: www.boell.de/nuclear*

Jaderná energie: Mýtus a skutečnost

Tématická řada šesti publikací k tématu jaderné energetiky, kterou vydává Nadace Heinricha Bölla, je příspěvkem do debaty o budoucnosti tohoto odvětví. Její vydání připadá na dvacáté výročí černobylské katastrofy. Publikace podávají aktuální přehled o situaci jaderného sektoru a vývoji diskuse o jeho budoucnosti v různých částech světa. Jejich cílem je poskytnout kvalitní informace politikům, úředníkům, novinářům, pracovníkům nevládních organizací i široké veřejnosti.

Nuclear Issues Paper Series

Editor: Felix Christian Matthes

Nuclear Power: Myth and Reality. By G. Rosenkranz

Nuclear Reactor Hazards. Nuclear Issues Paper Series

Editor: Felix Christian Matthes

Nuclear Power: Myth and Reality. By G. Rosenkranz

Nuclear Reactor Hazards. By A. Froggatt

The Nuclear Fuel Cycle. By J. Kreusch, W. Neumann, D. Appel, P. Diehl

Nuclear Energy and Proliferation. By O. Nassauer

The Economics of Nuclear Power. By S. Thomas

Nuclear Energy and Climate Change. By F. Ch. Matthes

Vydáno ve spolupráci s  wise

NUCLEAR ISSUES PAPERS AT THE www.boell.de/nuclear

České vydání vzniklo ve spolupráci se sdružením Jihočeské matky, Calla a Hnutím DUHA za finanční podpory Nadace Partnerství.