



**Hnutí DUHA**  
Friends of the Earth Czech Republic

# **Meze atomového optimismu:**

**Proč není jaderná cesta řešením  
energetických problémů**

**Studie Hnutí DUHA – červen 2005**

Zpracovalo Hnutí DUHA  
Karel Polanecký, červen 2005

Zpracování této analýzy umožnila laskavá finanční podpora  
Honorakouské vlády



**Hnutí DUHA**  
Friends of the Earth Czech Republic

**A**› Bratislavská 31, 602 00 Brno  
**T**› 545 214 431  
**F**› 545 214 429  
**E**› [info@hnutiduha.cz](mailto:info@hnutiduha.cz)  
[www.hnutiduha.cz](http://www.hnutiduha.cz)

**Hnutí DUHA s úspěchem prosazuje ekologická řešení, která zajistí zdravé a čisté prostředí pro život každého z nás.** Navrhujeme konkrétní opatření, jež sníží znečištění vzduchu a vody, pomohou omezit množství odpadu, chránit krajinu nebo zbavit potraviny toxických látek. Naše práce zahrnuje jednání s úřady a politiky, návrhy zákonů, kontrolu průmyslových firem, pomoc lidem, rady domácnostem a vzdělávání, výzkum, informování novinářů i spolupráci s obcemi. Hnutí DUHA působí celostátně, v jednotlivých městech a krajích i na mezinárodní úrovni. Je českým zástupcem Friends of the Earth International, největšího světového sdružení ekologických organizací.

## 1. Úvod a shrnutí

Vysoká cena ropy, závislost západního světa na dovozu z geopoliticky nestabilních oblastí, spekulace o životnosti ložisek této suroviny, snižování exhalací skleníkových plynů. Čtyři faktory se stávají úhelnými kameny debaty o budoucnosti energetiky.

Někteří politici soudí, že řešením bude masivní přechod od fosilní k jaderné energetice v příštích desetiletích. Náměstek ministra průmyslu a obchodu Martin Pecina napsal:

*„Jaderná energetika je přitom zatím bohužel jedinou perspektivou výroby elektrické energie po vyčerpání fosilních zdrojů. Možná se to někomu může zdát jako příliš vzdálená budoucnost, ale skutečnost může být dramaticky jiná. Ceny fosilních paliv budou nutně růst a jádro je jejich jedinou alternativou.“ [1]*

Jde o kvalitativně odlišný přístup než doposud. Jaderné zdroje zatím byly jen menšinou součástí palivového mixu. Nyní se mají stát základem globální energetiky.

Ambiciózní koncepce ovšem čelí vážné překážce: možnosti jaderné energetiky jsou omezené a její rozvoj má své technické limity. Optimistická atomová vize se nemusí vyplnit, i kdyby měla silnou veřejnou podporu.

Tato studie postupně analyzuje tři vážné problémy, které masivnímu rozvoji jaderné energetiky brání:

- 
- poměrně rychlé vyčerpání zásob uranu v případě razantního zvýšení spotřeby;
  - vysoké investiční náklady, z nich vyplývající finanční riziko a potažmo nezáměr investorů;
  - obavy z vojenského nebo teroristického zneužití jaderného materiálu, jež budou blokovat silnější šíření hlavně do zemí třetího světa.

### Co znamená razantní rozvoj

Současná jaderná energetika čelí přesně opačným výzvám, než je plán masivního rozvoje. V příštích letech bude končit životnost řady reaktorů. Aby si odvětví vůbec jen udrželo svůj současný podíl na světové výrobě energie, muselo by se tempo výstavby atomových nových bloků v letech 2005 až 2015 zvýšit na dvojnásobek úrovně let 1992 až 2004. Další rozšiřování by ovšem vyžadovalo ještě daleko větší nasazení.

Přitom pokud spotřeba energie poroste očekávaným tempem, dokonce ani zvýšení výroby v jaderných elektrárnách na čtyřnásobek současného stavu v roce 2050 nezabrání zvyšování emisí oxidu uhličitého. V případě, že bude kombinován s aktivní snahou omezit nebo zastavit růst spotřeby, by rozvoj jaderné energetiky mohl ke snížení emisí přispět. Ovšem jen v omezené míře. Kompletní náhrada všech uhelných elektráren jadernými do roku 2050 by v případě stagnace poptávky znamenala zvýšení produkce jaderných elektráren na trojnásobek a snížení emisí oxidu uhličitého o 17 % oproti roku 1990. Teoretická náhrada čtvrtiny světové spotřeby ropy vodíkem vyráběným pomocí atomových reaktorů by při nezměněném růstu spotřeby znamenala, že se instalovaný výkon jaderných elektráren bude muset zvýšit na šestnásobek. Znamenalo by to přitom stavět dvacetkrát více jaderných bloků než v posledních patnácti letech.

### Zásoby uranu

Jedním z technických limitů, na kterých závisí možnosti jaderných zdrojů při řešení energetických problémů, jsou omezené zásoby přírodního uranu.

Dokonce i v případě, že se v budoucnu potvrdí těžitelnost všech zásob, o nichž se dnes geologové domnívají, že by mohly existovat, nebude možné dlouhodobě pokrýt zvýšenou poptávku. Pro případ totální jaderné náhrady uhlí při výrobě elektřiny by tyto hypotetické zásoby uranu byly kompletně vyčerpány koncem století. Pokud se k tomu přidá přechod pohonu čtvrtiny automobilů z ropy na vodík vyráběných z atomových zdrojů, k vyčerpání zásob by došlo již kolem roku 2070. Přepřacování vyhořelého paliva může prodloužit trvanlivost zásob o 10 až 20 let. Vývoj jaderných technologií, které by teoreticky mohly problém neobnovitelného uranu řešit, dosud nepokročil natolik, aby v dohledné době situaci změnily.

Kalkulace životnosti ložisek je vždy namísto brát poněkud s rezervou. Zkušenost ukazuje, že výsledky nemusí zdaleka být tak pesimistické, jak ukazovaly původní odhady. Ovšem zde nejde o to, zda uran dojde v roce 2070 či 2170. Pointa tkví v něčem jiném: v celkem novém poznání, že nukleární energetika čelí nějakému neoddiskutovatelnému limitu. Zatím jej nemusela a nemusí řešit. Masivní rozvoj ovšem znamená, že dříve či později na ubývající zásoby narazí.

### **Investiční náklady**

Dalším významným limitem jaderné energetiky je technická a investiční náročnost výstavby elektráren. Proveditelnost rozvojových variant závisí na tom, zda bude nukleární průmysl schopen dlouhodobě uvádět do provozu 25 – 35 GWe nových elektráren ročně. To by znamenalo významné zrychlení současného tempa – mezi lety 1992 a 2004 bylo spuštěno celkem 52 nových reaktorů o výkonu 45 GWe. Vzhledem k tomu, že v současné době jsou rozestavěny reaktory o výkonu 21,5 GWe, nelze předpokládat výrazný nárůst v příštích letech.

Pravděpodobnost výrazného oživení jaderného průmyslu snižují rovněž ekonomické problémy firem, které v odvětví podnikají. Patrně nejdůležitějším problémem bude v příštích letech finanční pokrytí likvidace elektráren po skončení jejich životnosti.

### **Bezpečnostní rizika**

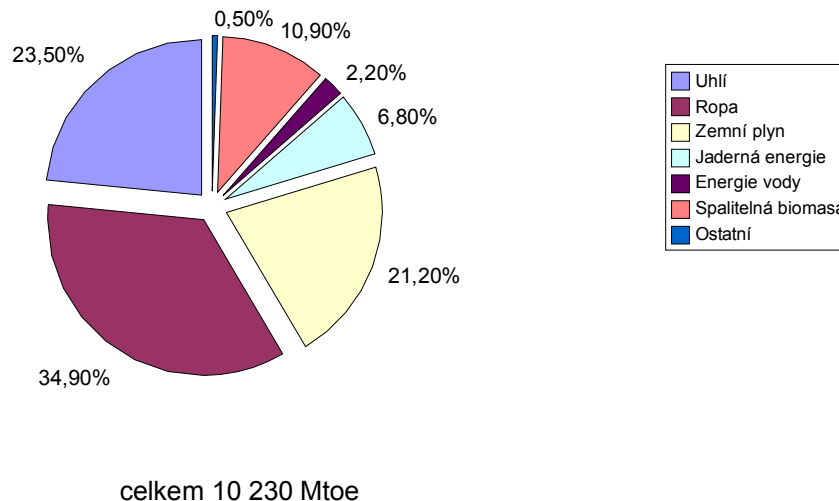
Globální růst jaderné energetiky by znamenal rozšíření nukleárních technologií do zemí, které je dosud nevyužívají. Tím by vzrostlo riziko zneužití civilních jaderných programů k vojenským účelům. Obohacování uranu a přepracování vyhořelého paliva, technologie, pomocí kterých lze získávat štěpitelný materiál k výrobě zbraní hromadného ničení, může řada zemí rozvinout v rámci civilních programů. Podobným způsobem získaly jadernou zbraň Indie a Pákistán.

Aby bylo možné zabránit zneužití civilních jaderných programů k vojenským účelům, bude nezbytné aktualizovat mezinárodní mechanismy k nešíření jaderných zbraní.

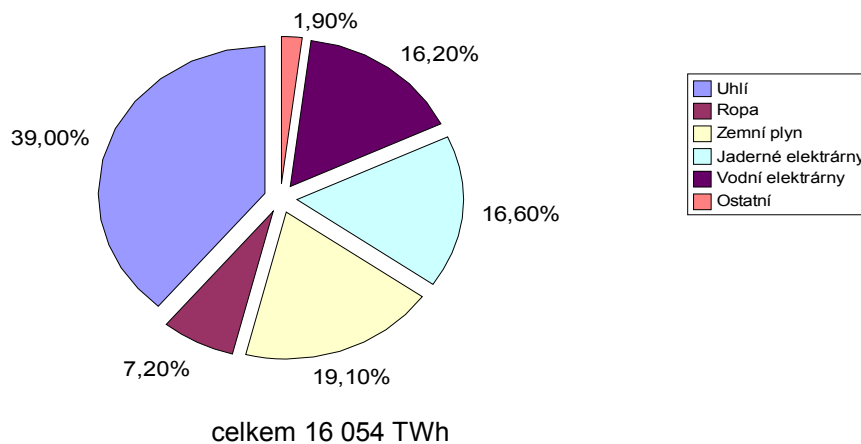
## 2. Globální energetické trendy

Současná světová energetika stojí především na spalování fosilních paliv. Ropa, uhlí a zemní plyn pokrývají téměř čtyři pětiny spotřeby primárních energetických zdrojů, výroba elektřiny na nich závisí ze dvou třetin. Během poměrně dlouhé historie využívání fosilních paliv se rozvinula infrastruktura, která je oproti jiným energetickým zdrojům zvýhodňuje.

Graf 1: Světová struktura primárních zdrojů energie



Graf 2: Struktura výroby elektřiny podle druhu zdroje



Zdroj: International Energy Agency, 2004 [2]

Poznámka: Velký rozdíl mezi podílem jaderné a vodní energie ve struktuře primárních zdrojů energie je způsoben tím, že v případě jaderné energie se jako primární zdroj uvažuje teplo uvolněné v reaktoru. Není zohledněna účinnost přeměny tepla na elektřinu. Z grafu 2 plyne, že podíl obou zdrojů na výrobě elektřiny je srovnatelný.

V průběhu 21. století nevyhnutelně dojde k zásadním proměnám struktury energetiky. Dva hlavní důvody – omezení spotřeby fosilních paliv kvůli riziku globálních změn podnebí

a vyčerpávání geologických zásob – podrobněji diskutujeme v této kapitole. V dalším textu budeme posuzovat možnosti jaderné energetiky při náhradě fosilních paliv.

## **2.1. Snižování emisí oxidu uhličitého**

Mezinárodní společenství i vědecká komunita se shodují, že je nutné snížit emise oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů. Globální změny podnebí způsobené rostoucím znečištěním podle prognóz zvýší frekvenci i sílu extrémních výkyvů podnebí, jako jsou povodně, vlny horka a sucha, hurikány, vichřice a podobně; šíření tropických nemocí; pokles zemědělských výnosů a nedostatek vody v suchých oblastech; zaplavení hustě osídlených pobřežních nížin.

Průměrná teplota planety se během uplynulého století zvýšila o 0,6 °C a průměrná hladina oceánů o 0,1–0,2 metru [3]. Za posledních tisíc let bylo dvacáté století zřejmě nejteplejším na severní polokouli a devadesátá léta nejteplejším desetiletím [4]. Devět z deseti nejteplejších let od začátku měření byly roky 1995 a 1997-2004 [5]. Léto 2003 bylo v Evropě nejteplejší za posledních přinejmenším 500 let [6]: statistická analýza ovšem ukázala, že příčinou není přímo oteplování, nýbrž právě větší výkyvy počasí (zde tedy vlny horka) [7].

Teoreticky by mohlo jít o první příznaky změn způsobených znečištěním, nebo o přírodní výkyvy (vedle lidských vlivů se podnebí mění také přirozeně), nebo o směs obojího. Výsledky ukazují, že samotné přírodní faktory nemohou trend posledního století a zřejmě ani tisíciletí vysvětlit [8]. Většina změn za posledních 50 let je podle kalkulací velikosti jednotlivých faktorů zřejmě způsobena rostoucí koncentrací skleníkových plynů [8].

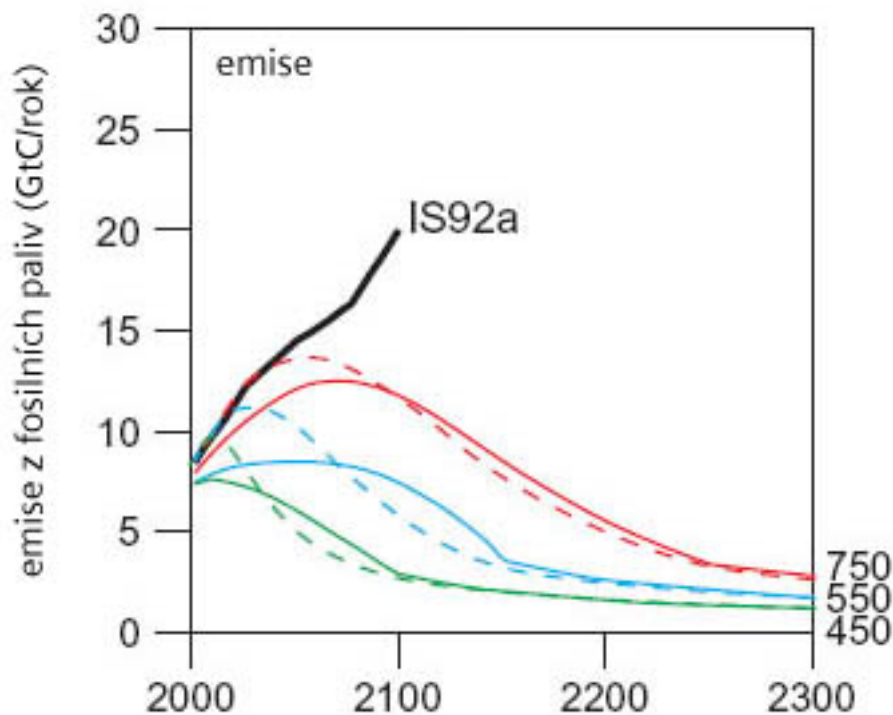
Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je nyní největší za posledních 420 000 let (a zřejmě dokonce za posledních 20 miliónů let) [8]. Rychlost, s jakou přibývá, nemá obdobu od poslední doby ledové [8].

Podstatné ale nejsou příčiny relativně malých změn, ke kterým došlo v posledních desetiletích, nýbrž několikanásobně horší prognózy pro desetiletí příští. Rostoucí znečištění podle nich zvýší frekvenci i sílu extrémních výkyvů podnebí, jako jsou povodně, vlny horka a sucha, hurikány, vichřice a podobně; šíření tropických nemocí; pokles zemědělských výnosů a nedostatek vody v suchých oblastech; zaplavení hustě osídlených pobřežních nížin.

Mezinárodní společenství i vědecká komunita se proto shodují, že je nutné snížit emise oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů. Hlavní příčinou znečištění je spalování fosilních paliv – uhlí, ropy a zemního plynu – v energetice, dopravě, těžkém průmyslu a dalších odvětvích.

První, kdo formuloval dlouhodobé koncepční záměry, je Evropská unie. Hlavy států a vlád pětadvacítky se shodly, že cílem klimatické politiky EU bude zajistit, aby se průměrná teplota nezvýšila o více než 2 stupně Celsia nad hodnoty z předprůmyslového období, a kvůli tomu snížit emise skleníkových plynů o 15-30 % do roku 2020, respektive 60-80 % do roku 2050, ve srovnání s rokem 1990 [9].

**Graf 3: Scénáře vývoje emisí oxidu uhličitého**



Zdroj: Royal Commission on Environmental Pollution, 2001 [10]

Komentář ke grafu:

Scénáře ukazují možnosti vývoje emisí oxidu uhličitého pro různé úrovně spalování fosilních paliv. Čísla přiřazená u pravého okraje grafu k jednotlivým křivkám znamenají hodnotu, na které se ustálí atmosférická koncentrace oxidu uhličitého v případě uvedeného vývoje emisí. Hodnota 450 ppm (hmotnostních jednotek oxidu uhličitého na milion) je považována za koncentraci, při jejíž dosažení budou rizika globálních změn podnebí přijatelně omezena.

V devadesátých letech pod patronací OSN začala mezinárodní jednání o snížení emisí skleníkových plynů. Začátkem roku 2005 vstoupil v platnost jejich výsledek: Kjótský protokol. Očekává se, že v prvním kole povede k omezení znečištění asi o 1 % – v praxi tedy k zastavení růstu každoročních emisí [11].

Plán dalších opatření po roce 2012, který je termínem pro splnění Kjótského protokolu, bude třeba dohodnout na dalších mezinárodních jednáních, jež už začala.

Klíčovým zdrojem hlavního z antropogenních skleníkových plynů, oxidu uhličitého, je energetika. V České republice se na jeho emisích podílí asi polovinou.

Ke snížení emisí skleníkových plynů z energetiky mohou vést dvě cesty: snižování spotřeby energie a změna struktury zdrojů. (Další možnosti, jako trvalé ukládání podstatného množství oxidu uhličitého pod zemí nebo do oceánů, jsou zatím pouze teoretické.) Porovnání jednotlivých fosilních paliv podle jejich emisí skleníkových plynů je uvedeno v tabulce 1.

**Tabulka 1: Porovnání měrných emisí oxidu uhličitého při spalování různých fosilních paliv**

<b>Palivo</b>	<b>Emise oxidu uhličitého (tCO<sub>2</sub>/toe)</b>
<b>Uhlí</b>	3,76
<b>Ropa</b>	2,82
<b>Zemní plyn</b>	2,27

*Podle International Energy Agency, 2004 [2]*

Poznámka: Čísla v tabulce jsou určena na základě údajů Mezinárodní energetické agentury o podílu jednotlivých paliv na celosvětových emisích oxidu uhličitého. Stejný zdroj uvažuje emise spojené s jadernou energetikou a obnovitelnými zdroji energie jako nulové.

## **2.2. Limity zásob fosilních paliv**

Debata nad omezenými zásobami fosilních paliv se zařadila mezi hlavní témata ekonomické diskuse zejména v souvislosti s rostoucími cenami ropy.

Globální zásoby fosilních paliv se vzhledem k pokroku geologického výzkumu i těžebních technologií odhadují obtížně. Každá kalkulace je nutně zatížena chybou. Dosavadní zkušenost s prognózami životnosti zásob různých nerostných surovin radí, abychom k propočtům přistupovali s rezervou. Výsledky často bývají méně pesimistické, než se původně zdálo. Omezenost zásob je ovšem geologickým faktem, ostatně už došlo k vyčerpání řady historicky významných ložisek. Platí to pro fosilní paliva i uran, který diskutujeme v kapitole 4.1.

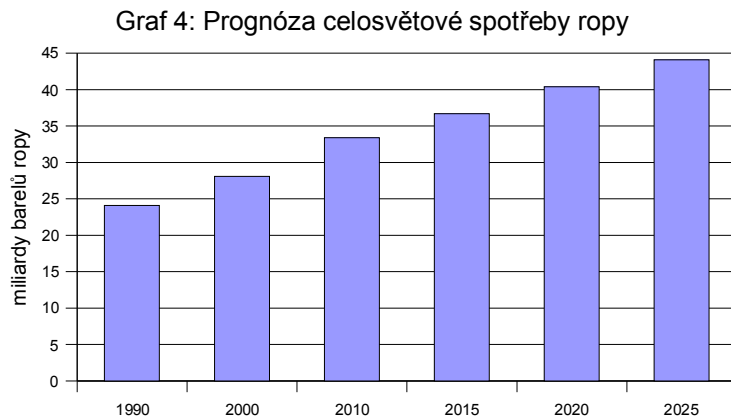
Při diskusi o odhadech se nebudeme soustředit na ověřené zásoby fosilních paliv, které se rychle mění s pokračujícím průzkumem. Zaměříme se na celkové propočty těžitelných zásob, které zahrnují i odhady množství surovin v dosud neprozkoumaných lokalitách.

Zároveň je nutné připomenout, že problém nepředstavuje totální vyčerpání ložisek, nýbrž životnost relativně levných zásob. Limit je tedy spíše ekonomický než geologický.

### **Ropa**

Celkové odhady těžitelných zásob ropy se pohybují mezi 1800 a 3000 miliard barelů. World Resources Institute sesbíral více než 50 odhadů zpracovaných výzkumnými týmy ropných společností i státních institucí. Kromě dvou všechny spadají do intervalu mezi 1800 a 2600 miliard barelů [12]. Významnou výjimku představuje odhad United States Geologic Survey, který dosahuje 3021 miliard barelů [13]. Při současné celosvětové spotřebě, která dosáhla v roce 2002 úrovně 28,5 miliard barelů [14], by uvedené těžitelné zásoby vystačily na 60 až 100 let. Podle prognóz Mezinárodní energetické agentury, ministerstva energetiky USA a dalších institucí ovšem spotřeba ropy v příštích letech poroste. Nasvědčují tomu i dosavadní trendy.

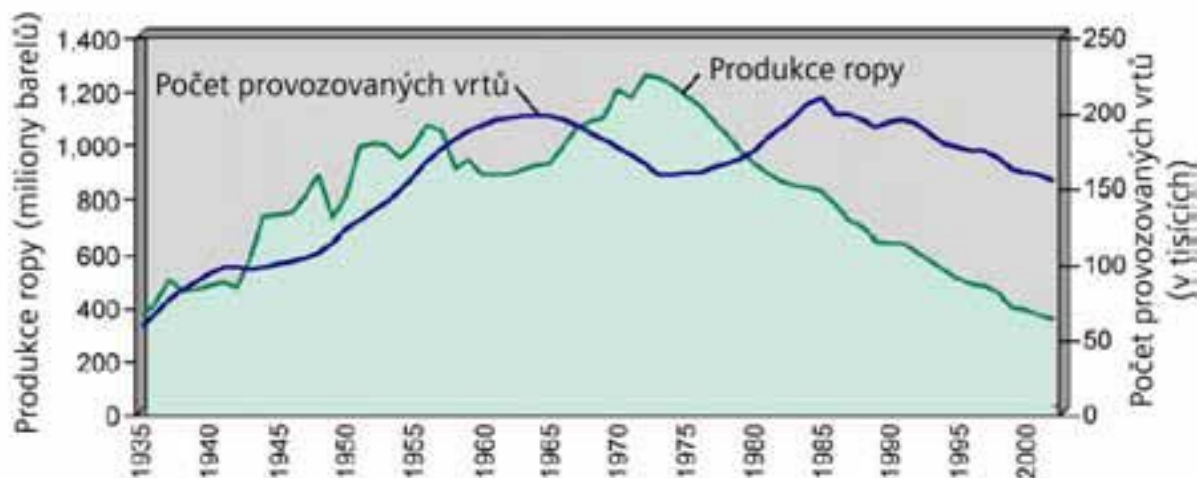




Zdroj: Energy Information Administration, 2004 [15]

Z různých scénářů vývoje spotřeby lze odvodit také různé odhady termínu, kdy dojde k maximu těžby ropy. Například společnost Shell předpokládá, že k maximu těžby dojde mezi lety 2025 a 2040 [16]. Také po dosažení maxima bude produkce ropy alespoň zčásti pokrývat poptávku, ale postupně bude klesat. K podobnému vývoji historicky došlo například v případě ropných zásob v Texasu, kde těžba ropy dosáhla maxima začátkem sedmdesátých let a od té doby pozvolna klesá.

Graf 5: Vývoj těžby ropy v Texasu během 20. století



Zdroj: Bureau of Economic Geology, 2003 [17]

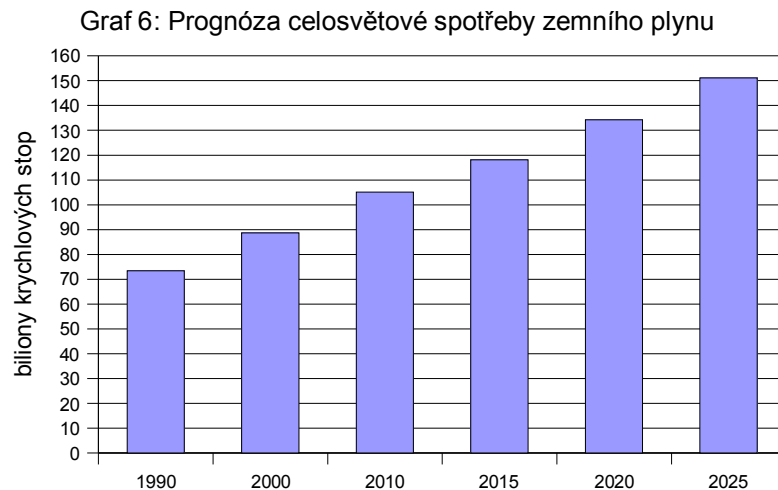
Bude-li spotřeba ropy růst uvedeným tempem, pak i v případě, že by platily horní odhady množství zásob, bude od poloviny století nutné postupně začít nahrazovat ropné produkty jinými energetickými zdroji. Jestli se potvrdí nižší odhady zásob, nastane potřeba nahrazovat ropu již kolem roku 2030.

Trendy se ovšem mohou změnit v důsledku aktivních opatření ke snížení emisí oxidu uhličitého. V takovém případě se spotřeba ropy bude vyvíjet pomalejším tempem. V případě udržení spotřeby na současné úrovni nebo jejího poklesu vystačí odhadované zásoby pochopitelně déle.

## Zemní plyn

United States Geologic Survey odhaduje celkové těžitelné zásoby zemního plynu na 436 bilionů ( $10^{12}$ ) krychlových metrů, což zhruba odpovídá ekvivalentu 2600 miliard barelů ropy [13].

Při současné celosvětové spotřebě, která dosáhla v roce 2002 úrovně 2,6 bilionu krychlových metrů [18], by takové zásoby vystačily zhruba na 170 let. Podle prognózy ministerstva energetiky USA spotřeba zemního plynu v příštích letech poroste rychlým tempem a v roce 2025 by měla překročit 4,25 krychlových metrů, viz Graf 6.



Zdroj: *Energy Information Administration, 2004* [15]

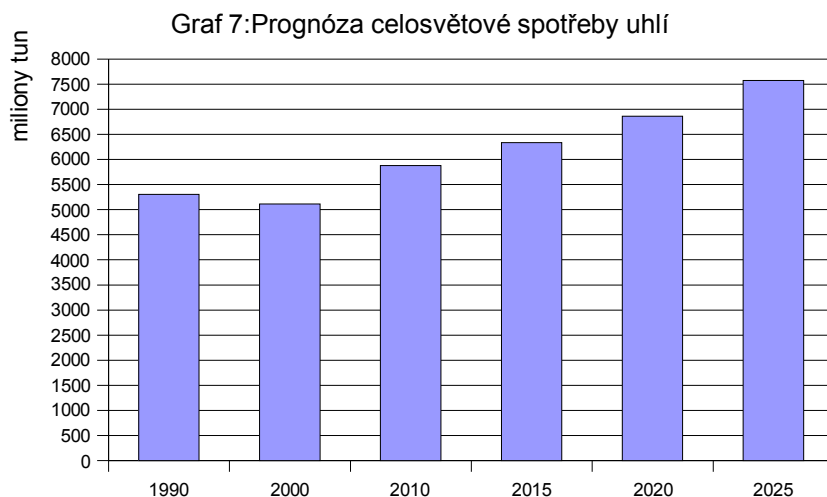
Protože zemní plyn dokáže nahradit ropu ve většině energetických aplikací, lze předpokládat výrazný nárůst spotřeby zemního plynu poté, co těžba ropy přestane pokrývat poptávku. Podle rychlosti poklesu těžby ropy se bude řídit i úbytek zásob zemního plynu. Ovšem i v případě, že se naplní optimistické odhady zásob, začne podíl obou paliv na pokrývání poptávky během druhé poloviny 21. století klesat.

Odhadované růstové scénáře vycházejí pouze z ekonomických předpokladů. Na druhé straně i v případě opatření k omezení emisí skleníkových plynů nemusí spotřeba zemního plynu, jako fosilního paliva s nejpříznivějšími emisními parametry, klesnout tak významně jako u ropy nebo uhlí. Energetické koncepce některých států (například Velké Británie nebo Německa) výslovně počítají s tím, že zemní plyn bude hrát významnou roli v přechodu od fosilních paliv k obnovitelným zdrojům [19], [20].

## Uhlí

Na rozdíl od ropy a zemního plynu nejsou v případě uhlí k dispozici celkové odhady těžitelných zásob. Vzhledem k tomu, že ověřené zásoby jsou velmi rozsáhlé, nepotřebuje se uhelný průmysl zabývat kalkulacemi zásob v neprozkoumaných lokalitách.

Ověřené zásoby uhlí (součet černého a hnědého uhlí včetně lignitu) jsou podle analýzy World Energy Council vyčísleny na 984,5 miliard tun [21]. To by při současné spotřebě, která v roce 2001 dosáhla 5,26 miliard tun [22], vystačilo zhruba na 190 let. Odhad vývoje spotřeby uhlí v první čtvrtině 21. století podle ministerstva energetiky USA předpovídá trvalý nárůst až na 7,5 miliard tun v roce 2025 (viz Graf 7).



Zdroj: *Energy Information Administration, 2004 [15]*

Během 21. století nemůže ani při předpokládaném nárůstu poptávky dojít k vyčerpání světových zásob uhlí. K výraznějšímu zvýšení spotřeby by ve druhé polovině století mohlo dojít v případě, že by uhlí částečně nahrazovalo výpadky v dodávkách ropy a zemního plynu. Také v tomto případě lze předpokládat nárůst ověřených zásob. Nedostatek uhlí do roku 2100 s vysokou pravděpodobností nenastane.

Z pohledu emisí oxidu uhličitého je ovšem uhlí nejméně výhodným palivem a zvyšování jeho podílu na pokrývání energetických potřeb není žádoucí.

## Shrnutí

Naplnění scénářů vývoje spotřeby energetických zdrojů v příštích desetiletích by znamenalo s vysokou pravděpodobností nedostatek rozumně levné ropy a zemního plynu ve druhé polovině století. Zvyšování spotřeby fosilních paliv by navíc vedlo k dalšímu růstu emisí oxidu uhličitého a potažmo k zesilování globálních změn podnebí.

Proto v příštích desetiletích poroste ekonomický i politický tlak na snížení spotřeby fosilních paliv. K diskutovaným řešením patří i strategická náhrada uhlí, ropy a zemního plynu razantním nárůstem využití jaderné energie, včetně vodíku vyráběného s využitím nukleárních zdrojů: prakticky přebudování fosilní ekonomiky na atomovou. Při výrobě elektřiny v jaderných elektrárnách k významným emisím skleníkových plynů nedochází a představují technickou alternativu k fosilním palivům. V dalších kapitolách této studie analyzujeme technickou proveditelnost takového řešení. Celosvětovou výrobu a spotřebu energie uvažujeme proto, že i změny podnebí či vyčerpávání zdrojů patří ke globálním problémům.

### 3. Možné role jaderné energetiky v 21. století

Mnozí politici nebo představitelé průmyslu soudí, že cestou, která může energetické problémy řešit, bude jaderná energetika. Náměstek ministra průmyslu a obchodu Martin Pecina napsal:

*„Jaderná energetika je přitom zatím bohužel jedinou perspektivou výroby elektrické energie po vyčerpání fosilních zdrojů. Možná se to někomu může zdát jako příliš vzdálená budoucnost, ale skutečnost může být dramaticky jiná. Ceny fosilních paliv budou nutně růst a jádro je jejich jedinou alternativou.“ [1]*

Nikoli debata o jednom, dvou, třech, pěti nebo deseti nových atomových reaktorech – jaderné zdroje coby koncepční alternativa k současné energetice, jež je založena převážně na fosilních zdrojích.

Masivní využívání jaderné energetiky ovšem čelí několika zásadním limitům. Patří k nim vyčerpatelnost zásob uranu, nutnost zabezpečení štěpitelných materiálů proti vojenskému zneužití či technické a ekonomické zajištění výstavby reaktorů.

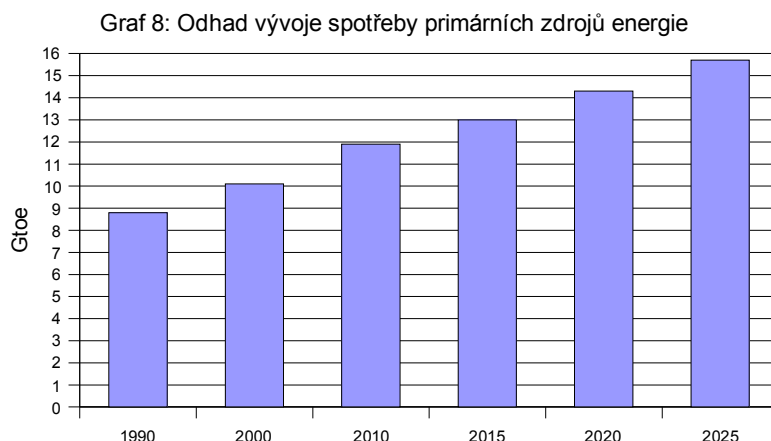
V této studii analyzujeme, jaké vlastně jsou možnosti jaderné energetiky jako nástroje pro snížení rizika globálních změn podnebí náhradou fosilních paliv. Budeme prověřovat několik různých scénářů vývoje za prvé spotřeby primárních zdrojů energie, za druhé výroby elektřiny v jaderných elektrárnách. Pracujeme přitom se scénáři vyvinutými třemi institucemi: Mezinárodní energetickou agenturou (IEA), americkým federálním ministerstvem energetiky a Světovou energetickou radou (WEC) . V rámečcích je uveden přehled dat z dostupných scénářů.

#### Scénáře vývoje světové spotřeby primárních zdrojů energie

Spotřeba energie závisí na řadě faktorů: ekonomickém výkonu, vývoji lidské populace, technologických inovacích i ekonomických a legislativních pravidlech. Předem ji lze odhadovat jen v omezené míře. Několik institucí však vyvinulo sofistikované kalkulace, které propočítávají trendy na příštích několik desetiletí.

#### Neregulovaný růst

Pokud se nezmění současné podmínky a trendy, odhaduje Ministerstvo energetiky USA výrazný nárůst celosvětové spotřeby primárních zdrojů energie v první čtvrtině 21. století.



Zdroj: Energy Information Administration, 2004 [15]

Spotřeba má v roce 2025 dosáhnout úrovně 15,7 Gtoe, viz Graf 8. Vzhledem k současné hodnotě 10,2 Gtoe (rok 2002) by se jednalo o 54% nárůst,.

S podobným trendem počítá rovněž International Energy Agency – podle jejích kalkulací dosáhne spotřeba v roce 2030 hodnoty 16,3 Gtoe [2] – a střední scénář World Energy Council – 19,8 Gtoe v roce 2050 [23]. V každém případě tedy lze počítat, že se globální spotřeba energie v příštích desetiletích zvýší řádově o střední až vyšší desítky procent.

### **Regulovaný růst podle World Energy Council**

World Energy Council nechala propočítat také scénář regulovaného růstu, který počítá s výrazným snižováním energetické náročnosti a zaváděním ekologické daňové reformy. V takovém případě odhaduje spotřebu primárních zdrojů energie na 14,2 Gtoe v roce 2050, tedy o 28 % méně než ve středním scénáři neregulovaného růstu [23].

### **Stagnace**

Nelze vyloučit možnost, že se růstové prognózy nepotvrdí a spotřeba energetických zdrojů zůstane dlouhodobě na dnešní úrovni. Důvodem může být zpomalení ekonomického růstu nebo aktivní opatření k ochraně klimatu či ke snížení závislosti na konvenčních energetických zdrojích z geopolitických důvodů. Spotřeba primárních zdrojů energie v roce 2050 by pak zůstala na úrovni dnešních 10,2 Gtoe.

Žádný z těchto scénářů nepočítá s poklesem spotřeby. Hlavním důvodem je vysoká pravděpodobnost rostoucí poptávky v zemích s velkým počtem obyvatel. Ze 145 scénářů vývoje spotřeby energie do roku 2050 zkoumaných Mezivládním panelem pro změny klimatu pouze dva předpokládají nárůst spotřeby menší než 1,5 násobek vzhledem k roku 1990. Pokud se nepodaří zásadně změnit podmínky, lze scénář stagnace spotřeby považovat za minimální.

### **Vývoj výroby energie v jaderných elektrárnách**

V roce 2002 dosáhla výroba energie v jaderných elektrárnách úrovně 0,7 Gtoe, což znamená výrazný nárůst proti 0,055 Gtoe z roku 1973 [2]. Koncem osmdesátých let se ovšem růst instalovaného výkonu výrazně zpomalil [24]. Co se tedy bude dít v příštích letech? Předpovědi budoucnosti jaderného průmyslu se od sebe značně liší. Scénáře vývoje výroby elektřiny v atomových reaktorech lze rozdělit na stagnační a růstové.

Nejaderná varianta scénáře regulovaného růstu podle World Energy Council předpokládá stagnaci a mírný pokles k roku 2050. V polovině století by podle ní jaderné elektrárny vyrobily energii v objemu 0,5 Gtoe [23]. Rovněž odhad Mezinárodní energetické agentury počítá se stagnací jaderné energetiky: předpokládá výrobu 0,7 Gtoe v roce 2030 [2], stejně jako nízký scénář vývoje podle Mezinárodní agentury pro atomovou energii (0,76 Gtoe v roce 2030) [25].

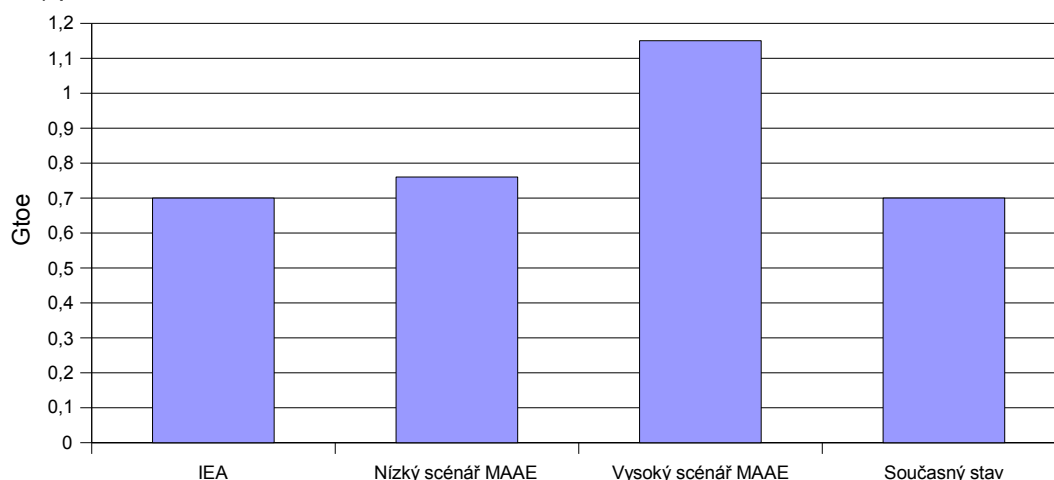
Ovšem už střední scénář neregulovaného růstu podle World Energy Council předpokládá výrazný rozvoj využívání jaderné energetiky – výroba by dosáhla 2,7 Gtoe v roce 2050. Podle jaderné varianty scénáře regulovaného růstu by šlo o 1,8 Gtoe [23].

Scénář jaderného rozvoje podle Nuclear Energy Agency počítá s produkcí jaderných elektráren na úrovni 2,1 Gtoe do roku 2050 [26].

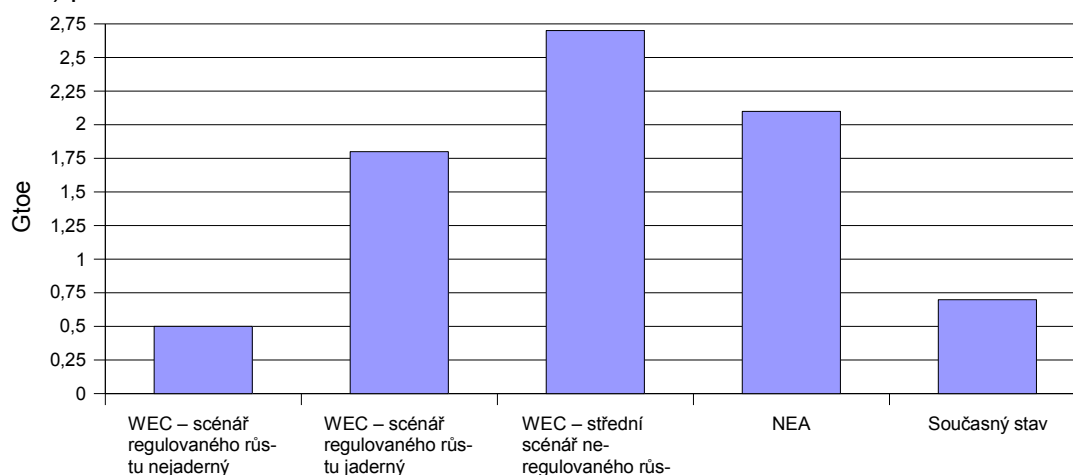
K růstovým patří i vysoký scénář Mezinárodní agentury pro atomovou energii, který předpokládá výrobu 1,15 Gtoe v roce 2030 [25].

**Graf 9: Přehled odhadů vývoje výroby energie v jaderných elektrárnách**

a) pro rok 2030



b) pro rok 2050



### 3.1. Odhady možností vývoje pro různé scénáře

Pokud mají jaderné elektrárny významně přispět ke snížení spotřeby fosilních paliv, musí se vyplnit některý z růstových scénářů nukleárního průmyslu. V této kapitole proto podrobněji analyzujeme a diskutujeme prognózy, které předpokládají současný pokles emisí a růst jaderné energetiky.

Z prognóz, které se zabývají vývojem světové energetiky do roku 2050, do největších podrobností jdou scénáře World Energy Council. K podrobnějšímu prověření proto vybereme právě je.

Protože dostupné scénáře přímo nerozebírají možnost využití jaderné energetiky ke snížení rizika globálních změn podnebí, diskutujeme vedle nich i scénář jaderné náhrady uhlí. Počítá s hypotetickým odstoupením od výroby elektřiny v uhelných elektrárnách a jejich nahrazením

odpovídajícím výkonem jaderných reaktorů do roku 2050. Protože uhlí je palivem s nejvyššími měrnými emisemi oxidu uhličitého, jednalo by se o nejefektivnější možnost využití jaderných elektráren k omezení rizika globálních změn podnebí.

Jako poslední diskutujeme možnost náhrady části kapalných paliv (tedy především pohonných hmot pro auta) vodíkem vyráběným pomocí jaderné energetiky, která má řešit zároveň problém globálních změn podnebí i úbytku přírodních zdrojů ropy. Touto možností se intenzivně zabývá vláda Spojených států, která k jejímu prověření zřídila program Nuclear Hydrogen Initiative.

### Scénáře World Energy Council

Studie zpracovaná World Energy Council ve spolupráci s International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) prezentuje tři typy scénářů. První dva popisují vývoj energetiky v případě neregulovaného růstu, a to ve vysoké a střední variantě. Třetí typ uvažuje opatření ke snížení spotřeby [23].

Střední scénář neregulovaného růstu předpokládá zvyšování spotřeby všech druhů energetických zdrojů. Ani rychlý rozvoj jaderné energetiky (zvýšení výroby na čtyřnásobek současného stavu) a obnovitelných zdrojů nezabrání dramatickému nárůstu emisí oxidu uhličitého – na 167 % oproti roku 1990 (referenční rok Kjótského protokolu). Důvodem je pokračující růst spotřeby fosilních paliv: na 170 % současného stavu (rok 2002) v případě uhlí, 110 % u ropy a na 210 % v případě zemního plynu (viz Tabulku 2).

**Tabulka 2: Střední scénář neregulovaného růstu spotřeby primárních zdrojů energie podle World Energy Council – situace v roce 2050**

<b>Celková spotřeba primárních zdrojů energie</b>	<b>19,7 Gtoe</b>
Uhlí	4,1 Gtoe
Ropa	4,0 Gtoe
Zemní plyn	4,5 Gtoe
<b>Jaderná energie</b>	<b>2,7 Gtoe</b>
Vodní elektrárny	0,9 Gtoe
Biomasa	0,8 Gtoe
Ostatní obnovitelné zdroje	2,8 Gtoe
<b>Emise oxidu uhličitého</b>	<b>167 % oproti roku 1990</b>

Scénář regulovaného růstu počítá s výrazným snižováním energetické náročnosti a zaváděním ekologické daňové reformy. Obě varianty scénáře regulovaného růstu předpokládají významný rozvoj obnovitelných zdrojů energie.

Ve své jaderné variantě počítá tento scénář s rozvojem jaderné energetiky na úroveň 2,5násobku současné výroby, přičemž předpokládá pokles emisí oxidu uhličitého na 83 % objemu z roku 1990. Pokles emisí vyplývá ze snížené spotřeby fosilních paliv. Poptávka po uhlí podle této prognózy klesne na 62 %, po ropě na 72 % a v případě zemního plynu, který má z fosilních paliv nejnižší měrné emise oxidu uhličitého, se předpokládá nárůst na 150 % dnešní spotřeby (Tabulka 3).

**Tabulka 3: Jaderná varianta scénáře regulovaného růstu spotřeby primárních zdrojů energie podle World Energy Council – situace v roce 2050**

<b>Celková spotřeba primárních zdrojů energie</b>	<b>14,2 Gtoe</b>
Uhlí	1,5 Gtoe
Ropa	2,6 Gtoe
Zemní plyn	3,3 Gtoe
<b>Jaderná energie</b>	<b>1,8 Gtoe</b>
Vodní elektrárny	1,0 Gtoe
Biomasa	0,8 Gtoe
Ostatní obnovitelné zdroje	3,2 Gtoe
<b>Emise oxidu uhličitého</b>	<b>83 % oproti roku 1990</b>

Nejaderná varianta téhož scénáře předpokládá mírný pokles výroby v jaderných elektrárnách a pokles emisí oxidu uhličitého na 90 % objemu z roku 1990. Hlavním rozdílem proti jaderné variantě je vyšší nárůst spotřeby zemního plynu – na 180 % dnešního stavu (viz Tabulku 4).

**Tabulka 4: Nejaderná varianta scénáře regulovaného růstu spotřeby primárních zdrojů energie podle World Energy Council – situace v roce 2050**

<b>Celková spotřeba primárních zdrojů energie</b>	<b>14,2 Gtoe</b>
Uhlí	1,5 Gtoe
Ropa	2,7 Gtoe
Zemní plyn	3,9 Gtoe
<b>Jaderná energie</b>	<b>0,5 Gtoe</b>
Vodní elektrárny	1,0 Gtoe
Biomasa	0,8 Gtoe
Ostatní obnovitelné zdroje	3,8 Gtoe
<b>Emise oxidu uhličitého</b>	<b>90 % oproti roku 1990</b>

Ze scénářů podle World Energy Council vyplývá, že podmínkou regulace emisí skleníkových plynů je v první řadě snížení poptávky po energetických zdrojích. V případě neomezeného růstu spotřeby budou emise skleníkových plynů výrazně narůstat, i přes eventuální prudký rozvoj jaderné energetiky.

Ovšem také v případě regulovaného růstu by došlo k poklesu emisí, který nedosahuje hodnot potřebných k udržení globálních změn podnebí v únosném rozsahu. Dopady změn podnebí by ovšem v tomto případě nedosáhly takových rozměrů, jaký lze očekávat za předpokladu neregulovaného růstu. Jaderná varianta scénáře vychází z pohledu snižování emisí jako účinnější. V dalším textu se jí proto budeme zabývat podrobněji.

### **Scénáře jaderné náhrady uhlí při výrobě elektřiny**

Předpokládejme tedy, že energetický průmysl bude mobilizovat jaderné zdroje coby náhradu uhelných elektráren. Co by to v různých případech znamenalo?



### - Za předpokladu stagnace spotřeby primárních zdrojů energie

Předpokládáme optimistický scénář: v roce 2050 zůstane spotřeba primárních energetických zdrojů na úrovni roku 2002. Výroba elektřiny v uhelných elektrárnách bude kompletně nahrazena elektřinou jadernou. Výroba elektřiny v jaderných elektrárnách by vzrostla na 8926 TWh (součet výroby jaderných a uhelných elektráren v roce 2002). Uvažujeme-li stejnou účinnost jaderných a uhelných elektráren, došlo by k náhradě 1635 Mtoe uhlí, což by vedlo ke snížení emisí oxidu uhličitého o 6148 Mt ročně (25,5 % emisí z roku 2002) na úroveň 83 % emisí roku 1990. Podíl jaderné energetiky na pokrývání spotřeby primárních energetických zdrojů by stoupl na 23 % (2,3 Gtoe). Do roku 2050 by bylo nutné uvést do provozu více než 1000 nových reaktorů o výkonu 1000 MWe.

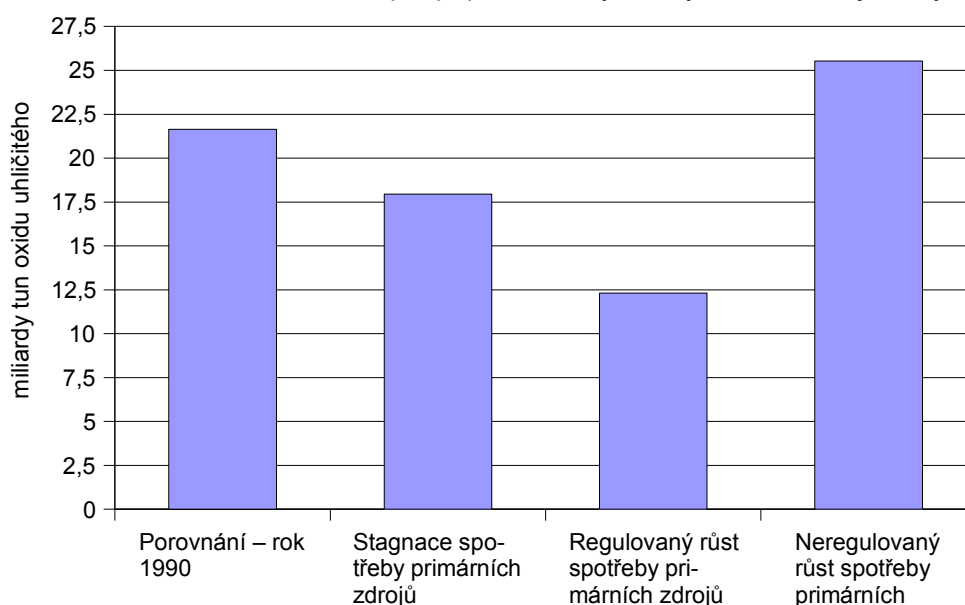
### - Za předpokladu regulovaného růstu spotřeby primárních zdrojů energie

Předpokládáme, že veškeré uhlí spotřebované ve scénáři regulovaného růstu podle World Energy Council (Tabulka 3) se používá na výrobu elektřiny (ve scénáři samotném není specifikováno). Náhrada uhelných elektráren jadernými by pak znamenala zvýšení výroby nukleární elektřiny na 12 636 TWh, téměř pětinasobek současného stavu. Oproti původní verzi scénáře regulovaného růstu by došlo k náhradě 1500 Mtoe uhlí, což by vedlo ke snížení emisí oxidu uhličitého o dalších 5640 Mt ročně (23,4 % objemu emisí z roku 2002), tedy na úroveň 57 % emisí roku 1990. Podíl jaderné energetiky na pokrývání spotřeby primárních energetických zdrojů by stoupl na 23 % (3,3 Gtoe).

### - Za předpokladu neregulovaného růstu spotřeby primárních zdrojů energie

Předpokládáme, že ve scénáři neregulovaného růstu podle World Energy Council (Tabulka 2) připadá na výrobu elektřiny stejný podíl uhlí jako v roce 2002 (ve scénáři samotném není specifikováno). Náhrada uhelných elektráren jadernými by pak znamenala zvýšení výroby elektřiny z atomových reaktorů na 21 060 TWh, téměř osminásobek současného stavu. Oproti původnímu scénáři by došlo k náhradě 2800 Mtoe uhlí, což by vedlo ke snížení emisí oxidu uhličitého o 10 529 Mt ročně, tj. na úroveň 118 % emisí roku 1990. Podíl jaderné energetiky na pokrývání spotřeby primárních energetických zdrojů by stoupl na 28 % (5,5 Gtoe).

Graf 10: Emise oxidu uhličitého pro případ náhrady uhelných elektráren jadernými



Scénáře totální náhrady uhelných elektráren jadernými ukazují, že pokud bude zároveň stagnovat spotřeba primárních energetických zdrojů nebo se podaří udržet regulovaný růst, dojde k významnému snížení emisí oxidu uhličitého: řádově o desítky procent. V prognóze regulovaného růstu se jedná o větší snížení, protože tento scénář počítá také s razantním nárůstem využívání obnovitelných zdrojů energie.

Za předpokladu neregulovaného růstu spotřeby primárních zdrojů dokonce ani jaderná náhrada uhelných elektráren, jejíž podmínkou by byl strmý růst jaderného průmyslu, nezastaví zvyšování emisí oxidu uhličitého.

### **Scénář částečné náhrady ropy vodíkem vyráběným v jaderných zdrojích**

Zatím jsme se zabývali pouze využitím jaderné energetiky k náhradě fosilních zdrojů elektřiny – tedy především uhlí. Atomové reaktory ovšem lze použít také coby zdroje vodíkového paliva nahrazujícího ropu.

Předpokládejme tedy vývoj spotřeby primárních energetických zdrojů podle středního scénáře neregulovaného růstu WEC, ovšem tentokrát s tím rozdílem, že v roce 2050 bude nezbytné nahradit 25 % spotřeby ropy jiným zdrojem. Podobný vývoj nelze vyloučit. Příčinou může být pokles těžby ropy v důsledku postupného vyčerpávání zásob nebo záměrné snižování závislosti vyspělých zemí na dovozech surovin z oblasti Perského zálivu, Latinské Ameriky či Ruska. Uvažujeme tedy o náhradě 1 Gtoe ropy.

Odhad energetické náročnosti uvažované náhrady komplikuje fakt, že příslušné technologie teprve vznikají. Problematické jsou zejména odhady energetické účinnosti výroby vodíku v jaderných zařízeních i jeho spotřeby.

V případě výroby vodíku vyjdeme ze studie Office of Nuclear Energy, Science and Technology amerického ministerstva energetiky [27], která předpokládá rozšíření výroby vodíku z vody pomocí termochemického cyklu. Účinnost technologie dosahuje 50 % – množství energie uskladněné v získaném vodíku odpovídá polovině tepelné energie spotřebované termochemickými reakcemi. Analýza předpokládá, že teplo potřebné ke získání vodíku dodá jaderný reaktor. Termochemický cyklus má lepší účinnost než elektrolýza vody, protože odpadají ztráty spojené s výrobou elektřiny.

Na straně spotřeby dosavadní zkušenosti nepotvrzují teoretické předpoklady vysoké účinnosti vodíkových pohonů s palivovými články, které dosud nedosahují ani hodnot účinnosti klasických pohonů se spalovacími motory na uhlovodíková paliva. Navíc je třeba brát v potaz energii, která bude v případě rozšíření vodíkových pohonů potřeba ke stlačování, případně zkapalňování vodíku. V případě širokého rozšíření vodíkových pohonů lze samozřejmě očekávat výrazné zlepšení technických parametrů, které ovšem můžeme jen těžko vyčíslit. Zhruba můžeme realisticky předpokládat, že v roce 2050 bude technická úroveň vodíkových pohonů taková, že budou k zajištění funkce spotřebovávat 80 % energie z paliva ve srovnání s klasickými pohony provozovanými v současnosti.

K nahrazení 1 Gtoe ropy vodíkovým palivem bude za těchto předpokladů potřeba 1,6 Gtoe energie uvolněné v jaderných reaktorech. Oproti původnímu scénáři WEC by tato náhrada znamenala snížení emisí oxidu uhličitého o 4512 Mt ročně na úroveň 146 % emisí roku 1990. Podíl jaderné energetiky na pokrývání spotřeby primárních energetických zdrojů by stoupl na 21 % (4,3 Gtoe).

## Výběr scénářů

Přehled scénářů vybraných k podrobnějšímu prověření je uveden v Tabulce 5. Vybrány byly prognózy, které předpokládají významný příspěvek jaderné energetiky ke snížení emisí oxidu uhličitého.

**Tabulka 5: Scénáře vybrané k dalšímu prověření**

Název scénáře	Primární energie z jaderných reaktorů v roce 2050 (Gtoe)	Porovnání výroby v jaderných elektrárnách s rokem 2002 (%)	Emise oxidu uhličitého v roce 2050 (v % oproti roku 1990)
Regulovaný růst podle WEC	1,8	257	83
Náhrada uhlí – stagnace spotřeby	2,3	329	83
Náhrada uhlí – regulovaný růst spotřeby	3,3	471	57
Výroba vodíku	4,3	614	146

## 4. Neobnovitelný uran jako limit rozvoje jaderné energetiky

Uran coby nerostná surovina patří k neobnovitelným zdrojům a jeho zásoby jsou omezené. Současný jaderný průmysl pokrývá svoji potřebu těžbou přírodního uranu a využitím materiálu z likvidace jaderných hlavic. Nedostatek uranu při současné spotřebě v nejbližších desetiletích nenastane. Tato situace by se mohla změnit v případě rychlého růstu jaderné energetiky a s ním spojeného zvýšení tempa poptávky po palivu.

V následující kapitole se pokusíme shrnout odhady zásob přírodního uranu a možnosti jejich využití. Pro jednotlivé scénáře vyčíslíme, na jak dlouhé období zásoby uranu vystačí v případě, že palivo bude použito pouze jednou a poté zůstane odpadem. Dále zhodnotíme možnosti přepracování vyhořelého paliva a získávání uranu nekonvenčním způsobem (z mořské vody).

V kapitole 4.2. uvedeme přehled současného stavu vývoje technologií, které by teoreticky mohly problém omezených zásob uranu řešit.

### 4.1. Zásoby uranu a možnosti využití sekundárních zdrojů

Podobně jako u ostatních přírodních zdrojů nelze ani velikost zásoby uranu přesně určit. Obecně respektovaný odhad zásob přináší pravidelná publikace *Uranium: Resources, Production and Demand* vydávaná Nuclear Energy Agency. Přehled zásob podle metodiky této publikace uvádíme v Tabulce 6. Množství známých konvenčních zásob, jejichž existence je prakticky jistá, činí 3,93 milionu tun. Neznámé konvenční zásoby, s jejichž existencí lze počítat s určitou pravděpodobností, uvádí ve výši 12,27 milionu tun. Ze sekundárních zdrojů lze získat 0,91 milionu tun uranu.

**Tabulka 6: Odhadované zásoby uranu**

Označení kategorie zásob		Odhad množství uranu (1000 t)
Znamé konvenční zásoby	Věrohodně potvrzené zásoby	2850
	Odhadované dodatečné zásoby kat. 1	1080
Neznámé konvenční zásoby	Odhadované dodatečné zásoby kat. 2	2330
	Spekulativní zásoby	9940
Sekundární zdroje	Komerční rezervy	220
	Přebytky z likvidace zbraní	250
	Opětovné obohacování	440
Celkem		17110

Vysvětlivky k tabulce:

*Věrohodně potvrzené zásoby (reasonable assured resources – RAR)* – ověřené zásoby těžitelné pomocí současných technologií s náklady nižším než 130 US\$/kgU (během minulého desetiletí se tržní cena uranu pohybovala mezi 20 a 50 US\$/kgU, v posledním čtvrtletí 2004 se dostala přes 50 US\$/kgU).

*Odhadované dodatečné zásoby kat. 1 (estimated additional resources cat. 1 – EAR-I)* – neověřené zásoby známých ložisek, o jejichž existenci jsou přímé geologické důkazy.

*Odhadované dodatečné zásoby kat. 2 (estimated additional resources cat. 2 – EAR-II)* – neověřené

zásoby známých ložisek, o jejichž existenci jsou nepřímé geologické důkazy.

*Spekulativní zásoby (speculative resources)* – hrubý odhad zásob v neprozkoumaných oblastech.

*Komerční rezervy* – část uranu vytěženého v minulosti, kterou vlády států i elektrárenské a těžební společnosti drží jako strategickou rezervu.

*Přebytky z likvidace zbraní* – využitelný uran získaný při likvidaci jaderných zbrojních arzenálů Spojených států a Ruska.

*Opětovné obohacování* – potenciál zpracování ochuzeného uranu (vedlejší produkt procesu obohacování).

Zdroj: Nuclear Energy Agency, 2002, [28]

## Odhady životnosti zásob uranu

Doba, po kterou zásoby uranu stačí pokrývat poptávku, závisí na jejich objemu a rychlosti čerpání. Podle Uranium Information Centre vyžaduje pokrytí potřeb v současnosti provozovaných reaktorů 66 000 tun uranu ročně [29]. Pokud by opravdu existovaly všechny teoreticky předpokládané zásoby, včetně spekulativních, by bylo možné současný počet reaktorů zásobovat po dobu 260 let. Za předpokladu, že se potvrdí existence poloviny neznámých konvenčních zásob, by bylo možné poptávku současných reaktorů pokrývat 165 let.

Pro scénáře uvedené v Tabulce 5 budeme uvažovat rovnoměrný nárůst výkonu jaderných reaktorů mezi lety 2010 a 2050 a s ním spojený nárůst spotřeby uranu. V dalším období budeme předpokládat, že se výroba jaderných reaktorů ustálí na hodnotě dosažené v roce 2050. Předpokládáme, že převládající technologií zůstanou lehkovodní reaktory a palivo bude použito pouze jednou (vyhořelé palivo nebude přepracováno). Životnost zásob uranu pro jednotlivé scénáře je uvedena v Tabulce 7. Pro oba vyšší scénáře spotřeby by ani kompletní potvrzení spekulativních zásob uranu nezažehalo útlum ve třetí čtvrtině 21. století. Pro nižší scénáře růstu by potvrzení těchto zásob znamenalo životnost zásob až do prvních dekád 22. století. Budou-li spekulativní zásoby potvrzeny poze zčásti, životnost zásob se úměrně sníží.

**Tabulka 7: Životnost zásob uranu pro různé scénáře rozvoje jaderné energetiky**

Název scénáře	Spotřeba uranu do roku 2050 (1000 tun)	Spotřeba uranu v roce 2050 (1000 tun)	Životnost zásob uranu po roce 2050	
			Varianta 100 % potvrzení neznámých zásob	Varianta 50 % potvrzení neznámých zásob
Regulovaný růst podle WEC	4838	170	72	36
Náhrada uhlí – stagnace spotřeby	5801	217	52	24
Náhrada uhlí – regulovaný růst spotřeby	7728	311	30	10
Výroba vodíku	9655	405	18	3

Poznámka: Je pravděpodobné, že v budoucnosti dojde ke zlepšení účinnosti jaderných reaktorů, které umožní lepší využití jaderného paliva a částečně sníží spotřebu uranu. Tento vliv ovšem nelze jednoduše vyčíslit. Hodnoty životnosti uvedené v tabulce lze z tohoto důvodu pokládat spíše za nižší odhad.

## **Přepřacování vyhořelého paliva**

Propočty životnosti zásob ovšem počítají pouze s jednorázovým využitím přírodní suroviny. Využití štěpitelných izotopů uranu a plutonia přítomných ve vyhořelém jaderném palivu je vyzkoušenou alternativou k přírodnímu uranu. Štěpitelný izotop plutonia Pu - 239, který tvoří zhruba 1 % objemu vyhořelého paliva, se po přepřacování používá ve směsném palivu společně s přírodním nebo ochuzeným uranem (palivo MOX) [30]. Uran získaný z přepřacování lze po opětovném obohacení použít rovněž k výrobě čerstvého paliva: ve srovnání s přírodním uranem je mírně bohatší na štěpitelný izotop U – 235.

Opětovné přepřacování je limitováno postupně stoupající koncentrací nežádoucích izotopů – recyklovaný produkt je stále méně a méně kvalitní. V současné době se proto nepoužívá. Palivo vzniklé přepřacováním se po použití v reaktoru stává odpadem [28].

V současnosti se podle World Nuclear Association [31] na světě přepřacovává 3000 tun vyhořelého paliva ročně (asi 25 % celkového množství). Kapacita přepřacovacích závodů činí více než 5000 tun. Poptávka po přepřacovaném palivu v současné době nepokrývá výrobu přepřacovacích závodů: část jejich produkce je skladována pro pozdější využití [32]. Hlavním důvodem je vyšší cena ve srovnání s palivem vyráběným z přírodního uranu – podle ekonomických propočtů by se výroba jaderného paliva s využitím přepřacování stala konkurenceschopnou, pokud by cena přírodního uranu vyšplhala na 360 USD/kg, tedy sedminásobek současné hodnoty [33].

Podle Uranium Information Institute lze pomocí přepřacování vyhořelého paliva a opětovného použití uranu a plutonia v tlakovodních reaktorech zvýšit využití energie přírodního uranu o 20 % [34]. Odhad Nuclear Energy Agency je mírně nižší: 11 – 18 % [28]. Uvažujeme-li zvýšení využití energie přírodního uranu přepřacováním vyhořelého paliva o 20 %, životnost zásob se pomocí této technologie pro scénáře uvedené v tabulce 7 ve variantě 100% potvrzení neznámých zásob prodlouží o 10 – 20 let.

Ekonomickými a bezpečnostními aspekty rozvoje technologie přepřacování se budeme zabývat v dalších kapitolách.

## **Uran z mořské vody**

Další faktor v odhadech životnosti představují nekonvenční zásoby – tedy jiné zdroje, než je těžba ložisek uranové rudy. Nejvýznamnějším příkladem je uran obsažený v mořské vodě. Vyskytuje se sice v minimální koncentraci (řádově stotisíckrát menší než v chudé uranové rudě), ale vzhledem k množství mořské vody dosahuje celkové množství uranu v ní obsaženého 4 miliard tun (více než dvěstě násobek těžitelných zásob odhadnutých v Tabulce 6).

Proto byly přes zřejmou technickou obtížnost pokusy o získání uranu z mořské vody již uskutečněny. V Japonsku po dva roky pracoval závod na získávání uranu na principu čerpání mořské vody skrz speciální adsorbent (chemická látka, na jejímž povrchu se uran usazuje). Výsledek zkušebního provozu nebyl uspokojivý – na čerpání vody se spotřebovalo více energie, než by šlo získat ze zachyceného uranu.

Přestože byly naznačeny další možné směry výzkumu (například umístování adsorbentu do mořských proudů), další pokusy zatím nebyly realizovány. Získávání uranu z mořské vody v průmyslovém měřítku v příštích letech a desetiletích rozhodně nepřichází v úvahu [33].

## **4.2. Vývoj jaderných technologií k řešení problému neobnovitelného uranu**

Mezi teoretickými možnostmi, které by mohly vyřešit problém omezených zásob přírodního uranu a poskytnout jaderné energetice perspektivu několika století, bývá nejčastěji zmiňováno plošné nasazení rychlých množivých reaktorů, využití thoria k výrobě jaderného paliva a energetické využití termojaderné syntézy. Stav výzkumu těchto technologií diskutujeme v této kapitole.

### **Rychlé množivé reaktory**

Výzkum rychlých množivých reaktorů byl zahájen kvůli jejich teoretické schopnosti vyprodukovat během provozu více štěpného materiálu, než samy spotřebují. Díky zvýšené koncentraci štěpitelných izotopů v palivu lze v těchto reaktorech udržet řetězovou reakci bez zpomalování neutronů. Rychlé neutrony efektivněji přeměňují neštěpitelný izotop U – 238, obsažený v palivu a zároveň také v přídavném ochuzeném uranu, na štěpitelný izotop plutonia Pu - 239. Během provozu reaktoru tak vzniká stejné nebo větší (zhruba o 20 %) množství štěpného materiálu, než spotřebuje řetězová reakce. Po následném přepracování lze štěpný materiál opět využít k výrobě jaderného paliva [35]. Vzhledem k tomu, že rychlé reaktory dokáží využít ochuzený uran, mohlo by jejich využití teoreticky prodloužit životnost zásob uranu na několik tisíc let [28].

Dosavadní praktické zkušenosti s provozem rychlých množivých reaktorů ovšem ukázaly na technické problémy, které zabránily očekávanému rozšíření a rozvoji této technologie. Asi nejznámějším projektem byl francouzský Superphénix. Reaktor o výkonu 1240 MWe byl uveden do provozu v září 1985. Do prosince 1996, kdy jej definitivně odstavili, vyrobil Superphénix 8,2 TWh elektrické energie, což znamená 7% využití teoretické kapacity. Důvodem byly časté odstávky kvůli poruchám. Vleklé technické problémy vedly k zastavení projektu, o investici do dalších rychlých množivých reaktorů v současnosti neuvažuje Francie ani žádná jiná ze zemí Evropské unie [36].

Druhým pokusem o provoz rychlého množivého reaktoru byl japonský projekt Monju. Reaktor o výkonu 280 MW byl uveden do provozu v roce 1994. V prosinci 1995 došlo k havarijnímu úniku chladícího sodíku, v jehož důsledku byl odstaven. Provozovatel, japonská společnost JNC, se sice nevzdává možnosti obnovení provozu, konkrétní časový plán zatím nepředložila [37].

Využívání tekutého sodíku jako chladícího média je jednou z hlavních příčin technických problémů spojených s rychlými reaktory. Vodu nelze v těchto reaktorech k chlazení použít, protože zpomaluje neutrony. Tekutý sodík tuto vlastnost nemá, na druhé straně přináší řadu omezení a rizik – způsobuje korozi potrubí, prudce reaguje s vodou.

Jediným rychlým množivým reaktorem komerčně provozovaným v současnosti je ruský BN -600 v Bělojarsku na Urale, který jako palivo využívá vysoce obohacený uran. Rovněž během provozu tohoto reaktoru, spuštěného v roce 1980, došlo k řadě technických problémů (mimo jiné také k úniku sodíku). Podle údajů Rosenergotomu je kapacita reaktoru využita ze 77 %, ročně vyrábí v průměru 3,8 TWh [38]. Po skončení provozu BN-600, který je plánován na rok 2010, chce Rusko spustit ve stejné elektrárně větší rychlý množivý reaktor BN-800, jehož stavba byla zahájena v osmdesátých letech [39].

Kromě Ruska staví dnes rychlý množivý reaktor pouze Indie. Stavba reaktoru s plánovaným výkonem 440 MW byla v indickém Kalpakkamu zahájena v roce 2003. Spuštěn by měl být v roce 2010 [40].

Jeden provozovaný a dva rozestavěné komerční rychlé reaktory jednoznačně ukazují, že tato technologie nemůže minimálně v první čtvrtině století počítat s významnějším rozšířením. Vedle technických problémů limituje rychlé reaktory také jejich ekonomická nekonkurenceschopnost, nároky na infrastrukturu a riziko zneužití plutonia k vojenským účelům, kterými se budeme zabývat v dalších kapitolách.

### **Využití thoria k výrobě jaderného paliva**

Myšlenka částečné náhrady uranu při výrobě jaderného paliva thoriem plyne z toho, že izotop thoria Th-232 lze využít jako množivý materiál k výrobě štěpitelného izotopu uranu U-233. Konstrukce paliva je navržena tak, že jádro z obohaceného uranu je obklopeno thoriem, které se za provozu pohlcováním neutronů přeměňuje v uran. Tento proces může probíhat také v lehkovodních reaktorech. Izotop uranu U-233 lze po přepracování použít k výrobě čerstvého paliva.

V minulosti byl princip ověřen v experimentálních reaktorech. Patrně nejznámějším z nich byl americký Light Water Breeding Reactor provozovaný v sedmdesátých letech. Thoriové palivo bylo testováno rovněž v energetických reaktorech: v osmdesátých letech v Německu a ve Spojených státech. V současnosti možnosti využití thoria zkoumá Rusko – Kurčatovův institut pracuje na vývoji thoriového paliva, které by bylo možné využít v rozšířených tlakovodních reaktorech VVER. Plány na využití thoria v několika reaktorech byly představeny rovněž v Indii.

Důvody k nízkému praktickému využívání thoria po uzavřených experimentech, které probíhaly ve dvacátém století, jsou ekonomické i technické. Výroba paliva z izotopu U-233 je velmi náročná vzhledem k jeho vysoké radioaktivitě. Ze stejného důvodu vznikají komplikace při přepracování. K významnému rozšíření technologie z těchto důvodů v příštích desetiletích nedojde. [41]

### **Termojaderná fúze**

Termojaderná fúze probíhá v nitru Slunce a ostatních hvězd, kde se za vysokých teplot slučují atomová jádra vodíku na helium a při tom se uvolňuje energie. Myšlenka napodobit tento proces na Zemi je stejně lákavá jako obtížně uskutečnitelná. Jádra vodíku totiž fúzí za velmi vysokých teplot – kolem 100 miliónů stupňů Celsia.

Případné využití termojaderné reakce k energetickým účelům by nepochybně znamenalo zásadní zlom – možnosti ke získání vodíku z mořské vody jsou prakticky neomezené. Kontrola termojaderné reakce je ovšem extrémně technicky náročná, mimo možnosti současné úrovně vývoje.

Investice do výzkumu termojaderné fúze zatím vedly k sestrojení zařízení Tokamak (sovětský patent z padesátých let), v němž bylo dosaženo termojaderné reakce v horké plazmě prostřednictvím silného magnetického pole. Největším dosavadním úspěchem bylo udržení termojaderné reakce po dobu jedné sekundy v britském tokamaku JET. Za tuto dobu byl uvolněn tepelný výkon 16 MW. [42]

Výzkum termojaderné fúze probíhá v současné době na mezinárodní úrovni. Na projektu ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) spolupracují Evropská unie, Spojené státy, Japonsko, Rusko, Čína a Jižní Korea. Cílem projektu je výstavba experimentálního termojaderného reaktoru a prokázání využitelnosti termojaderné fúze k energetickým účelům. Náklady na výstavbu jsou odhadovány na 5 miliard dolarů. V červnu 2005 bylo rozhodnuto, že experimentální reaktor bude postaven ve francouzském Cadarache. Experimenty mají být zahájeny kolem roku 2015. [43]



Ani v případě úspěšného výzkumu ovšem není realistické jakkoli očekávat, že zdroje využívající termojadernou fúzi ovlivní globální energetickou bilanci v první polovině 21. století.

## **Shrnutí**

Pokud v průběhu 21. století zůstanou dominantní jadernou technologií lehkovodní reaktory, nelze počítat, že by toto odvětví v dlouhodobé perspektivě sehrálo klíčovou roli při snižování emisí oxidu uhličitého nebo nahrazování fosilních paliv. Dokonce i v případě kompletního potvrzení všech spekulativních zásob uranu by tato surovina začala podle většiny scénářů docházet ve druhé polovině století. Výjimkou je scénář regulovaného růstu podle WEC: v případě jeho naplnění by zásoby uranu vystačily do prvních dekád 22. století.

Přechod na kompletní přepracování vyhořelého paliva a jeho opětovné využití v lehkovodních reaktorech by znamenal zlepšení využití energie uranu o 20 %, což by přineslo prodloužení životnosti zásob o 10 - 20 let pro jednotlivé scénáře.

Vývoj alternativních jaderných technologií není v současnosti ve stavu, který by umožňoval věrohodně odhadnout možnosti jejich rozšíření během 21. století. S jistotou lze ovšem tvrdit, že k zásadnímu rozšíření rychlých množivých reaktorů nebo využívání thoriového paliva nedojde v první čtvrtině 21. století. Také v případě technologického pokroku bude tedy vliv nových jaderných technologií z hlediska světové energetické bilance do roku 2050 minimální.

## 5. Výstavba nových reaktorů a dalších jaderných zařízení

Výstavba jaderných zařízení je technicky i ekonomicky velmi náročná. Právě kvůli investičním nákladům a finančním komplikacím se v posledních desetiletích rozvoj tohoto odvětví prakticky zastavil, s výjimkou několika dílčích projektů.

V této kapitole proto diskutujeme, nakolik by byl jaderný průmysl případné rozvojové varianty schopen zvládnout.

### 5.1. Investiční náklady různých variant jaderného rozvoje

Není pochyb o tom, že elektrárenské společnosti budou v příštích desetiletích investovat desítky miliard dolarů, eur či jenů do nových zdrojů, ať půjde energetika jadernou, nebo nejadernou cestou. Jaderná varianta je ovšem na investice náročnější. Například ve srovnání s plynovou elektrárnou využívající kombinovaný cyklus jsou investiční náklady potřebné k výstavbě srovnatelného jaderného zdroje více než trojnásobné [44]. Atomové reaktory mají podstatně nižší náklady na palivo, což výslednou cenu energie vyrovnává. Přesto investiční náročnost spojená s dlouhou dobou návratnosti zůstává významným limitujícím faktorem rozvoje jaderné energetiky.

#### Výstavba reaktorů

Přesné náklady na výstavbu jaderných elektráren lze předem jen obtížně odhadovat, o čemž svědčí změny rozpočtu řady projektů během jejich realizace. Analýza Hnutí DUHA ukázala, že u 53 reaktorů dodaných firmou Westinghouse ve Spojených státech byly původní rozpočty překročeny v průměru pětinásobně [45]. Pro odhad investičních nákladů využijeme částku uvedenou ve smlouvě mezi finskou elektrárenskou společností TVO, investorem výstavby elektrárny Olkiluoto 3 zahájené v roce 2003, a dodavatelským konsorciem Framatome-Siemens. Dodavatelská strana se ve smlouvě zavazuje postavit tlakovodní reaktor o elektrickém výkonu 1600 MW za 3 miliardy eur [46] – jedná se o fixní částku a případné zvýšení nákladů by musel pokrýt dodavatel. V případě, že se dodavatelskému konsorciu podaří výstavbu za podepsanou částku realizovat, vycházejí investiční náklady na 1875 eur na instalovaný kilowatt. Náklady na výstavbu jaderné elektrárny Temelín – považované i oficiální vládní zprávou za ekonomické fiasko – činily 1650 eur na instalovaný kilowatt.

Studie francouzské vlády, která se zabývá náklady na jaderné reaktory EPR (European Pressurised Water Reactor, stejný typ jako ve finském Olkiluoto), dochází k mírně nižším odhadům v důsledku sériové výstavby. Při diskontní sazbě 8 % se dostává zhruba na úroveň Temelína. Investiční náklady pro různé diskontní sazby jsou uvedeny v Tabulce 8.

**Tabulka 8: Odhady investičních nákladů výstavby série reaktorů EPR**

Diskontní sazba	Investiční náklady (€/kWe)
5 %	1496
8 %	1663
11 %	1871

Poznámka: V částkách jsou zahrnuty i náklady na likvidaci elektráren.

Zdroj: *World Nuclear Association, 2004, [47]*

Předpokládáme-li průměrné investiční náklady případných nových jaderných elektráren ve výši 1750 eur na instalovaný kilowatt, tedy přibližný průměr uvedených odhadů, dostaneme celkové potřebné investiční náklady pro jednotlivé prognózy, které se pohybují od 1615 miliard eur pro scénář regulovaného růstu podle WEC do 3860 miliard pro scénář výroby vodíku (viz Tabulku 9). Zároveň předpokládáme, že v roce 2050 již nebude v provozu žádná z elektráren provozovaných v současnosti.

**Tabulka 9: Odhady celkových investičních nákladů výstavby reaktorů pro jednotlivé scénáře**

Název scénáře	Instalovaný výkon v roce 2050 (GWe)	Celkové investiční náklady (miliardy €)
<b>Regulovaný růst podle WEC</b>	923	1615
<b>Náhrada uhlí – stagnace spotřeby</b>	1180	2065
<b>Náhrada uhlí – regulovaný růst spotřeby</b>	1692	2960
<b>Výroba vodíku</b>	2205	3860

Nuclear Energy Agency v publikaci *Nuclear Power and Climate Change* uvádí odhad schopnosti jaderného průmyslu technicky a investičně zajistit nárůst instalovaného výkonu jaderných reaktorů. Předpokládá technickou proveditelnost nárůstu instalovaného výkonu na hodnotu 1120 GWe v roce 2050 za předpokladu rovnoměrného rozložení v čase, tj. pokud mezi lety 2010 a 2050 budou každoročně zprovozněny jaderné elektrárny s instalovaným výkonem v intervalu 25 – 35 GWe.

Proveditelnost takového růstu autoři dokládají historickou zkušeností: v letech 1984 a 1985 bylo uvedeno do provozu 32 GWe za rok. Případný požadovaný nárůst instalovaného výkonu na úrovni 55 GWe ročně je hodnocen jako problematický. Pro srovnání celkový světový instalovaný výkon jaderných elektráren činí v současnosti 364 GWe [48]. Každý z temelínských bloků má výkon 1 GWe (1000 MWe). Spuštění výkonu 30 GWe ročně by znamenalo, že v každé zemi, která dnes využívá jadernou energetiku, bude v průměru uveden do provozu jeden 1000 MW blok ročně.

Uvažovaný nárůst na 1120 GWe v roce 2050 je vyšší, než vyžaduje splnění scénáře regulovaného růstu, a nižší než ve scénáři náhrady uhlí při stagnující spotřebě.

Nuclear Energy Agency soudí, že investiční zajištění takového rozvoje je dosažitelné z hlediska celkového objemu potřebných finančních prostředků. Za hlavní problém označuje finanční riziko pro investory vyplývající z vysokých investičních nákladů ve srovnání s ostatními technologiemi (investiční náklady na výstavbu plynové elektrárny s kombinovaným cyklem jsou odhadnuty na 30 – 60 % ve srovnání s jadernou elektrárnou). Jinými slovy: peníze by v zásadě byly k dispozici, není však jisté, zda je někdo bude ochoten do atomových projektů investovat.

Tyto odhady se týkají lehkovodních reaktorů. V případě dokončení vývoje a následného rozšíření rychlých množivých reaktorů se investiční náklady odhadují obtížně. Tým Harvardovy univerzity pracoval s odhadem, podle kterého budou investiční náklady na výstavbu rychlých reaktorů v porovnání s lehkovodními reaktory vyšší o 200 dolarů na

instalovaný kilowatt. Odhady nárůstu investičních nákladů se v případě rychlých reaktorů pohybují v poměrně širokém rozmezí od 10 do 50 % oproti lehkovodním reaktorům [33].

### Výstavba závodů na přepracování vyhořelého paliva

V případě strategického rozhodnutí přepracovávat veškeré vyhořelé palivo bude nezbytné razantně zvýšit kapacitu přepracovacích závodů. Současnou celosvětovou kapacitu odhaduje World Nuclear Association na 5000 tun vyhořelého paliva ročně. Vzhledem k roční světové produkci 12 000 tun by kompletní přepracování vyhořelého paliva ze současných elektráren vyžadovalo nárůst kapacity na více než dvojnásobek. V případě naplnění některého z rozvojových scénářů jaderné energetiky by kompletní přepracování předpokládalo opět odpovídající zvýšení kapacity.

Náklady na výstavbu přepracovacích závodů se liší případ od případu. Příklady zařízení postavených v nedávné minulosti jsou uvedeny v Tabulce 10. Odhady komplikuje malá zkušenost: přepracovacích zařízení bylo zatím vybudováno velmi málo. Největší investici si vyžádala výstavba závodu v japonském Rokkašo, kde na 100 tun přepracovací kapacity bylo třeba utratit 2,25 miliardy dolarů. V britském Sellafieldu stála stejná kapacita 0,5 miliardy dolarů.

**Tabulka 10: Příklady investičních nákladů na výstavbu přepracovacích závodů**

Přepracovací závod	Země	Uvedení do provozu	Kapacita přepracování (tuny za rok)	Náklady na výstavbu (miliardy dolarů)
La Hague	Francie	1990	1600	16
Sellafield	Velká Británie	1997	1200	5,9
Rokkašo	Japonsko	2005 <sup>+</sup>	800	18

<sup>+</sup> předpoklad

Zdroje:

Harvard University, 2003, [33]

World Nuclear Association 2004 [31]

Budeme-li předpokládat průměrné investiční náklady závodů postavených v budoucnu podle francouzského La Hague na úrovni 10 miliard dolarů investic připadajících na přepracovací kapacitu 1000 tun za rok, můžeme vypočítat nutné investiční náklady do roku 2050 pro jednotlivé scénáře. Celkové investice do výstavby přepracovacích závodů se pohybují od 303 miliard dolarů pro scénář regulovaného růstu podle WEC do 725 miliard dolarů pro scénář výroby vodíku (viz Tabulku 11). Protože životnost současných přepracovacích závodů skončí před rokem 2050, jsou započítány také investice do jejich náhrady.

**Tabulka 11: Odhad investičních nákladů výstavby přepracovacích závodů**

Scénář	Teoretická kapacita přepracovacích závodů v roce 2050 (1000 tun)	Celkové investiční náklady na výstavbu přepracovacích závodů (miliardy dolarů)
Regulovaný růst podle WEC	30,3	303
Náhrada uhlí – stagnace spotřeby	38,8	388
Náhrada uhlí – regulovaný růst spotřeby	55,6	556
Výroba vodíku	72,5	725

V případě rozšíření rychlých reaktorů, eventuálně využití thoriového paliva, vzrostou nároky na kapacitu přepracovacích závodů zhruba dvojnásobně v důsledku nutnosti přepracování množivého materiálu, což by vyvolalo nutnost příslušného nárůstu investic do těchto zařízení.

## 5.2. Současný stav jaderného průmyslu

Rozvojové scénáře jaderné energetiky, které byly dosud posuzovány, předpokládají poměrně strmý a stabilní růst celého odvětví. Taková vize má ovšem vážný nedostatek: současný trend je přesně opačný.

### Současné trendy jaderného průmyslu

Podle současných odhadů bude mít světový jaderný průmysl v příštích letech velké problémy, aby vůbec jen udržel svůj dnešní podíl na pokrývání energetických potřeb. V současné době se ve světě staví 27 reaktorů o celkovém plánovaném výkonu 21,5 GWe [48].

Pokud během příštích deseti let skončí provoz všech reaktorů, které dosáhnou konce své plánované životnosti (předpokládá se v průměru 40 let), bude k jejich náhradě potřeba do roku 2015, kromě dnes rozestavěných bloků, naprojektovat, postavit a spustit dalších 73 jednotek. V období 2015 až 2025 se tento počet ještě podstatně zvýší – životnost bude končit dalším 198 reaktorům o výkonu 172 MWe. Vzhledem k tempu výstavby v posledních letech a současným podmínkám na trhu je tento nárůst krajně nepravděpodobný, pro období do roku 2015 prakticky nemožný. Pro srovnání: mezi lety 1992 a 2004 bylo spuštěno celkem 52 reaktorů [24].

Tato čísla ovšem platí pouze v případě, že hovoříme o zachování současné výroby: nikoli o jejím zvyšování či snad dokonce razantním růstu.

Jaderný průmysl se snaží čelit úbytku provozovaných reaktorů prodloužením životnosti stávajících. Tento postup má ovšem své technické limity. Nedojde-li k zásadní změně podmínek na trhu, musí v horizontu příštích dvaceti let atomová energetika počítat se stagnací či poklesem.

Nízkou pravděpodobnost rychlého nastartování strmého růstu nukleární energetiky potvrzuje také výroční zpráva Mezinárodní agentury pro atomovou energii. V části věnované jaderným technologiím uvádí na prvním místě nutnost eliminace rizika úbytku kvalifikovaných pracovníků v oboru. Po výrazném zpomalení růstu odvětví v devadesátých letech začaly

technické univerzity omezovat počet míst v oborech souvisejících s jadernou energetikou, protože absolventi obtížně hledali uplatnění [49]. Výzvy, kterým odvětví nyní čelí, jsou tedy na hony vzdáleny vizím razantního rozvoje.

### **Současné ekonomické problémy jaderného průmyslu**

Případný růst jaderné energetiky bude podmíněn ochotou energetických společností a dalších komerčních investorů k masivním kapitálovým vkladům. Významným kritériem při rozhodování o těchto investicích pak budou podnikatelské výsledky firem působících v atomovém průmyslu. Zprávy z nedávné doby hovoří spíše o problémech nukleárních podniků.

#### *Velká Británie*

Britská soukromá společnost British Energy, která provozuje osm jaderných elektráren, je zadlužená a dlouhodobě ztrátová, přičemž její ztráta se v posledním období zvyšuje [50]. British Energy požádala v roce 2000 britskou vládu o státní podporu ve výši 6 miliard eur za účelem pokrytí části provozních nákladů a budoucích nákladů na likvidaci vyřazených jaderných reaktorů. Čelila v té době bezprostřední hrozbě bankrotu. Britská vláda prostředky vyčlenila a generální ředitelství Evropské komise pro hospodářskou soutěž tuto státní podporu v září 2004 schválilo [51]. Komerční společnost, jejíž podnikání stojí především na jaderných elektrárnách, tedy nedokázala vytvořit fond, ze kterého by bylo možné hradit náklady na likvidaci reaktorů. Před úpadkem ji zachránila pouze masivní státní dotace.

Začátkem prosince 2004 oznámila Evropská komise zahájení dalšího šetření k porušení hospodářské soutěže spojeného s britským jaderným průmyslem. Britská vláda totiž hodlá převést závazky státem vlastněné společnosti BNFL (British Nuclear Fuel Limited) ve výši 60 miliard eur na nově založenou agenturu (Nuclear Decommissioning Agency – NDA) [52]. BNFL vlastní jedenáct jaderných elektráren, z nichž sedm již bylo vyřazeno z provozu, továrnu na výrobu jaderného paliva v lokalitě Springfiels a komplex v Sellafieldu, který se skládá ze dvou přepracovacích závodů a továrny na výrobu směsného paliva MOX. Hospodaření společnosti je ztrátové – za období od 1. dubna 2003 do 31. března 2004 činila její ztráta 300 milionů liber, tj. téměř 450 milionů eur [53]. Ani BNFL nevytvořila fondy dostatečné k pokrytí nákladů na likvidaci svých zařízení a také ona čelí vážným finančním problémům. Záměrem britské vlády je rozdělení BNFL, přičemž část majetku včetně odpovědnosti za jeho likvidaci bude převedena na státní agenturu NDA. Evropská komise zkoumá, zda se ze strany britské vlády jedná o státní podporu, která by byla v rozporu s pravidly hospodářské soutěže.

Stojí za zmínku, že významný podíl na ekonomických problémech BNFL má jaderný komplex v Sellafieldu. Továrna na výrobu směsného paliva MOX zde byla uvedena do provozu v prosinci 2001. Investiční náklady dosáhly 480 milionů liber. Návrh této investice je dnes velmi nepravděpodobná, neboť závod nemá předpokládaný odbyt. Zamýšlené kontrakty na dodávky směsného paliva do Japonska, Kanady, Francie a Španělska nebyly uzavřeny. Smlouvy uzavřené mezi BNFL a provozovateli jaderných elektráren v Německu, Švédsku a Švýcarsku pokrývají podle BNFL 40 % výrobní kapacity a nestačí k ziskovému provozu. [54], [55]

Ani oba sellafieldejské přepracovací závody nejsou pro BNFL příslibem pro budoucnost. První z nich, který přepracovává palivo z dosluhujících reaktorů typu Magnox, bude uzavřen v roce 2012 a bude třeba finančně zajistit jeho likvidaci. Budoucnost druhého přepracovacího závodu (THORP) závisí na počtu zahraničních zakázek, které získá v příštích letech. Dnes je jeho nejvýznamnějším zákazníkem zadlužená British Energy.

## Francie

Potíže jaderného průmyslu nejsou specialitou britských ostrovů. Finančním problémům musí čelit i největší evropská energetická společnost – francouzský státní gigant EdF.

V souvislosti s chystanou privatizací 30 % akcií EdF, kterou hodlá francouzská vláda dokončit v roce 2005, byly zveřejněny analýzy hospodaření společnosti, jejichž výsledky jsou dost pesimistické. Čistý dluh EdF se odhaduje na 24 miliard eur. Tato částka převyšuje aktiva společnosti, která jsou oceňována na 19 miliard eur. Podle kreditní agentury Standard & Poor's musí EdF počítat s částkou 22 miliard eur na likvidaci jaderných elektráren v několika příštích letech. Peníze z takzvané jaderné rezervy, které byly na tento účel určeny, ovšem EdF z velké části utratila za investice v sousedních zemích s cílem posílit svoji pozici na evropském trhu. Jadernou rezervu tedy musí společnost znovu vytvořit. [56]

## Slovensko

Také podnik Slovenské elektrárne, provozovatel jaderných elektráren Jaslovské Bohunice a Mochovce, se musí potýkat s problémem nedostatku prostředků na likvidaci jaderných zátěží. Odvody na jaderný účet byly zahájeny pozdě a uložené peníze nestačí náklady na likvidaci jaderných elektráren a jaderného odpadu pokrýt.

Problém vystoupil do popředí během privatizačního řízení na prodej 66 % akcií SE v roce 2004. Generální ředitel ČEZ, jednoho z uchazečů o koupi podílu v SE, Martin Roman na jaře 2004 řekl:

*"Klíčové je, jak se bude financovat trvalé vyřazování jádra z provozu. Je to věc, kterou Slovensko teď akutně řeší, protože to bohužel nebylo dořešeno a dnes je na jaderném účtu deficit v řádu mnoha desítek miliard slovenských korun. Bez vyřešení této otázky jsou SE samozřejmě neprodejně."* [57]

Slovenská vláda přijala v červnu roku 2004 na popud investorů přihlášených v privatizačním tendru usnesení, ve kterém požaduje přípravu nového zákona o odvodech na jaderný účet. Z tezí připravovaného zákona vyplývá, že na vyrovnání deficitu jaderného účtu bude odváděna určitá částka z každé kilowatthodiny elektřiny (nikoli pouze jaderné) spotřebované na Slovensku. Podle náměstka fondu pro likvidaci jaderně energetických zařízení Imricha Szitáse půjde o částku 0,12 Sk z každé kWh [58]. Rovněž v tomto případě probíhá vyšetřování Evropské komise, zda takový postup není v rozporu s pravidly pro poskytování státní pomoci soukromým firmám [59]. Vláda totiž prakticky chce, aby neschopnost Slovenských elektráren zajistit uložení svého radioaktivního odpadu a likvidaci uzavřených elektráren dotovali jejich konkurenti.

## Finský reaktor Olkiluoto

Žádost o přezkoumání dodržení pravidel hospodářské soutěže byla podána také v případě financování výstavby reaktoru ve finském Olkiluoto, která má začít v roce 2005. Žádost k Evropské komisi podalo v prosinci 2004 sdružení nezávislých výrobců energie z obnovitelných zdrojů EREF (European Renewable Energies Federation) kvůli podezření z porušení pravidel liberalizovaného trhu s elektřinou.

Kontrakt na výstavbu byl uzavřen mezi finským investorem TVO a dodavatelským konsorciem Framatome ANP – Siemens na pevnou částku 3 miliardy eur. V čele konsorcia bank, které poskytlo TVO půjčku na zaplacení více než 60 % ceny, stojí německá Bayerische Landesbank většinou vlastněná státem. Půjčka byla poskytnuta na nízký 2,6% úrok. Evropská komise bude zkoumat, zda se nejedná o nepřípustnou státní podporu kontraktu, na němž participuje německá firma Siemens. Druhým bodem stížnosti je podpora francouzského státního rozpočtu společnosti AREVA, která prostřednictvím exportní

agentury COFACE dostala dotaci 610 milionů eur. AREVA je vlastníkem Framatome ANP. EREF požaduje přezkoumání, zda tyto veřejné prostředky určené k podpoře vývozu do politicky nestabilních oblastí nebudou využity k podpoře aktivit společnosti Framatome ANP ve Finsku, které očividně nesplňují kritéria pro tuto dotaci. [60], [61]

## **Shrnutí**

Vysoké investiční náklady spojené s výstavbou jaderných reaktorů v kombinaci se současným stavem jaderného průmyslu prakticky vylučují významný růst jaderné energetiky v horizontu příštích dvaceti let. Samotná náhrada reaktorů, kterým bude v příštích letech končit životnost, by vyžadovala razantně rychlejší výstavbu nových bloků, než je současné tempo. Významné jaderné firmy se ovšem potýkají s finančními obtížemi a nemohou investičně zajistit výstavbu zvýšeného počtu nových reaktorů. Navíc musí atomový průmysl v příštích letech potvrdit schopnost finančního pokrytí likvidace elektráren po skončení jejich životnosti, což mu nyní působí problémy.



## 6. Bezpečnostní riziko globálního rozšíření jaderných technologií

Obtížně měřitelným, ale nepochybně významným limitem rozvoje jaderné energetiky je problém jejího globálního zabezpečení proti vojenskému či teroristickému zneužití. Zásadní nárůst pokrývání energetické poptávky nukleárními zdroji by vyžadoval rozšíření technologie do zemí a regionů, kde se dnes atomová energie nevyužívá. Přitom řada zemí, které by mohly energeticky zdůvodnit rozvoj jaderného programu, patří k politicky nestabilním.

Mezinárodní společenství vytvořilo mechanismy, jejichž cílem je zabránit vojenskému zneužívání civilních jaderných programů. Praxe ovšem ukazuje jejich omezenou účinnost. Příkladem může být úspěšný vývoj jaderných zbraní v Indii a Pákistánu, který byl v obou případech propojen s programem rozvoje jaderné energetiky, nebo vznik černého trhu se štěpitelným materiálem i se zařízeními potřebnými k výrobě jaderné nálože. Státům či organizovaným skupinám, které usilují o zisk jaderné zbraně, se v případě rozvoje jaderné energetiky v nových regionech otevrou nové možnosti. Zaručená opatření, která by vojenskému zneužití jaderné energetiky zabránila, zatím mezinárodní společenství k dispozici nemá.

### 6.1. Rozšíření jaderných technologií při zvýšení výroby

V současné době provozuje jaderné elektrárny třicet států. Více než polovina jaderné elektřiny je ovšem vyráběna na území tří států a 90 % produkuje dvanáct zemí – viz Tabulku 12.

**Tabulka 12: Přehled výroby elektřiny v jaderných elektrárnách podle jednotlivých států v roce 2003**

Stát	Výroba elektřiny v JE (TWh)	Stát	Výroba elektřiny v JE (TWh)
USA	763,7	Finsko	21,8
Francie	420,7	Slovensko	17,9
Japonsko	230,8	Indie	16,4
Německo	157,4	Bulharsko	16,0
Rusko	138,4	Litva	14,3
Jižní Korea	123,3	Brazílie	13,3
Velká Británie	85,3	Jihoafrická rep.	12,7
Čína	79,0	Maďarsko	11,0
Ukrajina	76,7	Mexiko	10,5
Kanada	70,3	Argentina	7,0
Švédsko	65,5	Slovinsko	5,0
Španělsko	59,4	Rumunsko	4,5
Belgie	44,6	Nizozemí	3,8
Švýcarsko	25,9	Arménie	1,8
Česká republika	25,9	Pákistán	1,8

Zdroj: Uranium Information Centre, 2005 [48]

Většina jaderné elektřiny, zhruba 85 %, se vyrábí v zemích OECD, tedy vesměs vyspělých průmyslových státech. Tento podíl ovšem bude v blízké budoucnosti pravděpodobně klesat. Nejvíce rozestavěných reaktorů totiž mají v současné době Čína, Indie a Rusko. Ze zemí, které dosud jadernou energii nevyužívaly, staví dnes staví reaktory Írán a Severní Korea. Záměr výstavby reaktoru oznámily rovněž Egypt, Izrael, Indonésie a Turecko [48].

Pravděpodobnost rozšíření jaderných technologií do nových států je dána především rostoucím podílem rozvojových zemí na globální spotřebě energie. Podle Mezinárodní energetické agentury vzroste podíl třetího světa do roku 2030 na 48 % [44]. Teoreticky by samozřejmě šlo soustředit potřebný rozvoj jaderné energetiky do zemí, které tyto technologie již využívají, a do rizikových území elektřinu dovážet. V praxi by ovšem podobný postup byl těžko uskutečnitelný – z důvodů ekonomických, politických i praktických. Zejména ve scénářích, které počítají s náhradou uhlí a ropy, budou významní spotřebitelé těchto paliv ze zemí třetího světa usilovat o alternativu. Vzhledem k současné úrovni spotřeby lze očekávat, že by se jednalo o země Blízkého východu, severní Afriky a jihovýchodní Asie.

Poměrně solidní kontrola nad technologiemi a především materiálem velké většiny z jaderných reaktorů, se kterou lze počítat nyní, by se v takovém případě ztratila. Nukleární technologie by se staly běžnou samozřejmostí v silně rizikových zemích, kde nelze garantovat potřebný dohled a nebezpečí úniku do nepovolaných rukou nebo kde je vysoké riziko zneužití. V současné době představují největší riziko země jako Rusko, Ukrajina, Mexiko, Indie, Pákistán nebo Arménie. Takto by se k nim přidal daleko větší počet reaktorů v podstatně větším množství států. Vůbec přitom nejde jen o výrobu jaderných zbraní. Daleko vážnější problém představují možné úniky štěpitelného materiálu teroristickým organizacím.

Bezpečnostní rizika s sebou nese i rozšiřování jaderných programů v zemích, které již jaderné elektrárny provozují. V současné době se jedná zejména o Indii a Pákistán. Nebezpečí jaderných programů těchto zemí ještě podrobněji diskutujeme níže.

## **6.2. Zneužitelné části palivového cyklu**

Výroba energie v jaderných elektrárnách sama o sobě nemůže zemi, která je provozuje, získat materiál potřebný k sestrojení nukleární nálože. Rizikové jsou ovšem technologie, které s atomovou energetikou bezprostředně souvisejí – obohacování uranu a přepracování vyhořelého paliva. S jejich použitím lze získávat štěpitelný materiál k vojenským či teroristickým účelům.

Komerční přepracovací závody provozují v současnosti Francie, Velká Británie, Rusko, Indie a Japonsko [62]. První tři země patří k oficiálním jaderným mocnostem – své jaderné zbraně vyvinuly ještě před uzavřením dohody o nešíření. Indický přepracovací závod je součástí nukleárního programu, který vedl k atomovému vyzbrojení země.

Technologie přepracování není pro provoz jaderných elektráren nezbytná. Jedná se pouze o jednu z variant nakládání s vyhořelým palivem. Její výhodou je prodloužení životnosti zásob přírodního uranu (viz kapitola 4.1). Riziko zneužití štěpitelných materiálů patří, spolu s negativními ekologickými dopady (vysoká kontaminace okolního prostředí radioaktivními materiály), k zásadním nevýhodám. Například Spojené státy svoje přepracovací závody odstavily v sedmdesátých letech v rámci politiky zamezení šíření jaderných zbraní [62]. Tuto politiku nezměnila ani současná Bushova administrativa, která v ostatních ohledech rozvoj jaderné energetiky podporuje [63].

Obohacování uranu je na rozdíl od přepracování nezbytnou součástí technologického postupu při výrobě paliva pro lehkovodní reaktory. Velké komerční závody na obohacování

uranu provozují Francie, Německo, Nizozemsko, Velká Británie, Spojené státy a Rusko. Menší zařízení se ovšem nacházejí v různých zemích [64]. Obohacování uranu sehrálo klíčovou roli v pákistánském jaderném programu, který byl završen pokusným výbuchem.

Zejména z hlediska pokusu o krádež je riskantní rovněž přeprava a skladování štěpitelných materiálů. Nedostatečná evidence a zabezpečení těchto materiálů v některých zemích, zejména v bývalém Sovětském svazu, vedly ke vzniku černého trhu. [65]

### **6.3. Mezinárodní mechanismy proti šíření jaderných zbraní**

OSN zřídila v roce 1957 Mezinárodní agenturu pro atomovou energii (MAAE) s hlavním cílem zabránit šíření jaderných zbraní. Jako nástroj k tomuto cíli slouží Dohoda o nešíření jaderných zbraní (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, zkráceně NPT), která vstoupila v platnost v roce 1970. V této smlouvě se státy, které vlastní jaderné zbraně (USA, Sovětský svaz, Velká Británie, Francie a Čína), zavazují k tomu, že nebudou zbraně ani technologie potřebné k jejich získání předávat dalším zemím. Signatářské země, které nukleární zbraně nevlastní, se ve smlouvě zavazují, že nebudou usilovat o jejich získání ani vývoj. Smlouva rovněž obsahuje závazek všech účastníků spolupracovat s MAAE a přijmout její bezpečnostní standardy. Všechny signatářské země se rovněž zavazují vyjednávat o úplném jaderném odzbrojení. Smlouva nijak neomezuje civilní využívání jaderné energie. [66]

NPT bohužel plní svůj účel pouze částečně. Významným problémem je skutečnost, že některé důležité státy ke smlouvě nepřistoupily. Jedná se zejména o Indii, Pákistán a Izrael. Jaderné programy těchto zemí v této kapitole diskutujeme podrobněji.

Další slabina spočívá v tom, že smlouva neomezuje využívání přepracování vyhořelého paliva ani obohacování uranu. Nelze zaručit, že země, která tyto technologie vyvine v rámci civilního jaderného programu, poté od uzavřené Dohody o nešíření neodstoupí a jadernou zbraň nevyrobí – mechanismus Dohody takové obejítí pravidel umožňuje [67].

Na druhé straně je evidentní, že setrvale silná motivace některých států k získání jaderné zbraně má vážnou příčinu v neochotě jaderných mocností podniknout konkrétní kroky k odzbrojení [68].

#### **Jednání s Íránem – příklad fungování mezinárodních mechanismů**

Írán patří mezi státy, které přistoupily k Dohodě o nešíření jaderných zbraní. Podezření ze záměru NPT porušit vzniklo poté, co v roce 2002 země se zpožděním uvědomila Mezinárodní agenturu pro atomovou energii o výstavbě závodu na obohacování uranu. Oficiální íránské struktury o výstavbě zařízení infomovaly až poté, co na jeho existenci upozornily nezávislé iniciativy [69]. Následné vyjednávání mezi Íránem, Evropskou unií a MAAE vedlo v roce 2004 k dohodě, podle které Írán projekt obohacování uranu pozastavil a zařízení zpřístupnil doзору MAAE [70]. Přestože různí íránští představitelé od té doby deklarovali, že obohacování uranu, které žádná mezinárodní smlouva nezakazuje, bude v zemi obnoveno, spolupráci s inspektory MAAE země nepřerušila [71].

#### **Neúspěchy mezinárodních mechanismů**

Přes částečné úspěchy se mezinárodnímu společenství nepodařilo šíření jaderných zbraní zastavit. Ve srovnání s rokem 1970, kdy vstoupila v platnost Dohoda o nešíření jaderných zbraní, se skupina států, které mají jadernou zbraň ve svém vojenském arzenálu, rozrostla o Indii, Pákistán a s vysokou pravděpodobností také Izrael.

Indie nepřistoupila v roce 1970 k NPT především proto, že pro ni byla nepřijatelná vojenská převaha Číny, která v době uzavření dohody jaderné zbraně vlastnila. Přes deklarovanou

mezinárodní izolaci Indie svoje nukleární zbraně úspěšně vyvinula. K prvnímu pokusnému výbuchu přistoupila v roce 1974, vývoj byl ukončen sérií výbuchů v roce 1998. Indický jaderný průmysl disponuje většinou technologií, včetně přepracování vyhořelého paliva [72]. K získání štěpitelného materiálu, konkrétně plutonia, pro jaderné zbraně přitom byly využity reaktory a přepracovací technologie, o nichž Indie tvrdila, že budou sloužit k mírovým účelům [73].

Podobně ani Pákistán k dohodě nepřistoupil. Hlavním důvodem je trvalé vojenské napětí mezi oběma zeměmi způsobené hlavně sporem o Kašmír.

Rozhodující podíl na vývoji pákistánské jaderné zbraně měl vědec Abdul Kádir Chán, který v první polovině sedmdesátých let pracoval v Holandsku. Jeho zaměstnavatelem byla firma Physics Dynamic Research Laboratory, jeden z dodavatelů koncernu URENCO, který se zabývá výrobou zařízení pro obohacování uranu. Začátkem roku 1976 (krátce po prvním indické jaderném testu) se A. K. Chánovi na pokyn pákistánské vlády podařilo získat tajnou dokumentaci firmy URENCO a odjet s ní do Pákistánu, kde stanul v čele jaderného výzkumu [74], [75].

Obohacování uranu bylo klíčovou součástí pákistánského jaderného programu, který završily úspěšné pokusné výbuchy v roce 1998, bezprostředně po indických. Vedle problému nedostatečného zajištění zneužitelných informací v jaderném průmyslu ukazuje pákistánský program i na nedostatečnost mezinárodních mechanismů. Během vývoje atomové zbraně pákistánští experti spolupracovali s Čínou, jadernou velmocí, která přitom podepsala Dohodu o nešíření jaderných zbraní [72].

Vedoucí pákistánského jaderného programu Abdul Kádir Chán vedle práce pro vládu zorganizoval rovněž mezinárodní síť, která obchodovala se zařízeními pro obohacování uranu. Prostřednictvím této sítě si technologii obohacování uranu koupily silně rizikové státy jako Irák (zařízení bylo zničeno během války v Perském zálivu v roce 1991, Severní Korea nebo Libye. Dobrovolné rozhodnutí libyjské vlády vzdát se jaderného programu výměnou za cestu z mezinárodní izolace napomohlo v roce k odhalení hlavních součástí této ilegální sítě. Abdul Kádir Chán je v současné době v domácím vězení, vyšetřování jeho aktivit probíhá. [76], [77]

Ještě nepřehlednější je černý obchod se štěpitelným materiálem. Zásilky zadržené na celnicích a při policejních akcích demonstrují toto nebezpečí. Mezi lety 1991 a 2000 bylo v Evropě zadrženo 66 kontrabandů obohaceného uranu, dalších 52 zásilek se podařilo zachytit na tzv. „jižních cestách“ - v Turecku, zakavkazských zemích a ve Střední Asii [78]. Lze předpokládat, že většina štěpitelného materiálu na černém trhu pochází ze zemí bývalého Sovětského svazu.

Také v České republice se policii podařilo v roce 1994 zadržet 2,75 kg vysoce obohaceného uranu původem z Ruska [79].

## **Shrnutí**

Současné trendy ukazují, že případné výrazné zvýšení podílu jaderné energetiky na pokrývání energetických potřeb by s vysokou pravděpodobností vedlo k výraznému rozšíření počtu zemí a regionů s rozvinutým nukleárním průmyslem. Zařadila by se mezi ně i řada zemí podstatně rizikovějších než ty, kde nyní drtivá většina atomových reaktorů stojí. Už z dosavadních zkušeností plyne, že obava ze zneužití civilních jaderných programů k vojenským účelům je namístě. Riziko vývoje jaderných zbraní v dalších zemích by s novými civilními programy nutně vzrostlo.

Současné mezinárodní mechanismy ustanovené k zamezení šíření atomových zbraní se ukázaly jako nedostačující, zejména pokud jde o eliminaci obchodu s nebezpečným

materiálem a technologiemi. Návrhy na jejich změnu požadují vedle zefektivnění kontrol také regulaci obohacování a přepracování jaderného paliva. Naplnění těchto požadavků by znamenalo komplikaci pro rozvoj technologií, od nichž si jaderný průmysl slibuje řešení problému omezených zásob uranu, ale které mají vysoké nároky na přepracování.

## 7. Globální energetika bez jaderného rozvoje

Přijmeme-li jako základní předpoklad, že nové energetické zdroje budou v příštích desetiletích muset splňovat podmínku minimálních emisí skleníkových plynů, připadá vedle jaderných elektráren v úvahu rozvoj obnovitelných zdrojů energie – využití energetického potenciálu vodních toků, slunečního záření, větru, biomasy, oceánů a geotermální energie. Teoretický potenciál těchto zdrojů bez obtíží převyšuje celkovou energetickou poptávku. K jeho úplnému technickému využití však nemůže dojít během několika let nebo desetiletí. Ani ambiciózní rozvojové scénáře průmyslu obnovitelných zdrojů neočekávají, že by výroba z obnovitelných zdrojů mohla zastavit stoupající emise skleníkových plynů v případě neregulovaného růstu spotřeby. Významnou roli mohou obnovitelné zdroje hrát pouze tehdy, podaří-li se úspěšně řídit poptávku a regulovat současné růstové trendy.

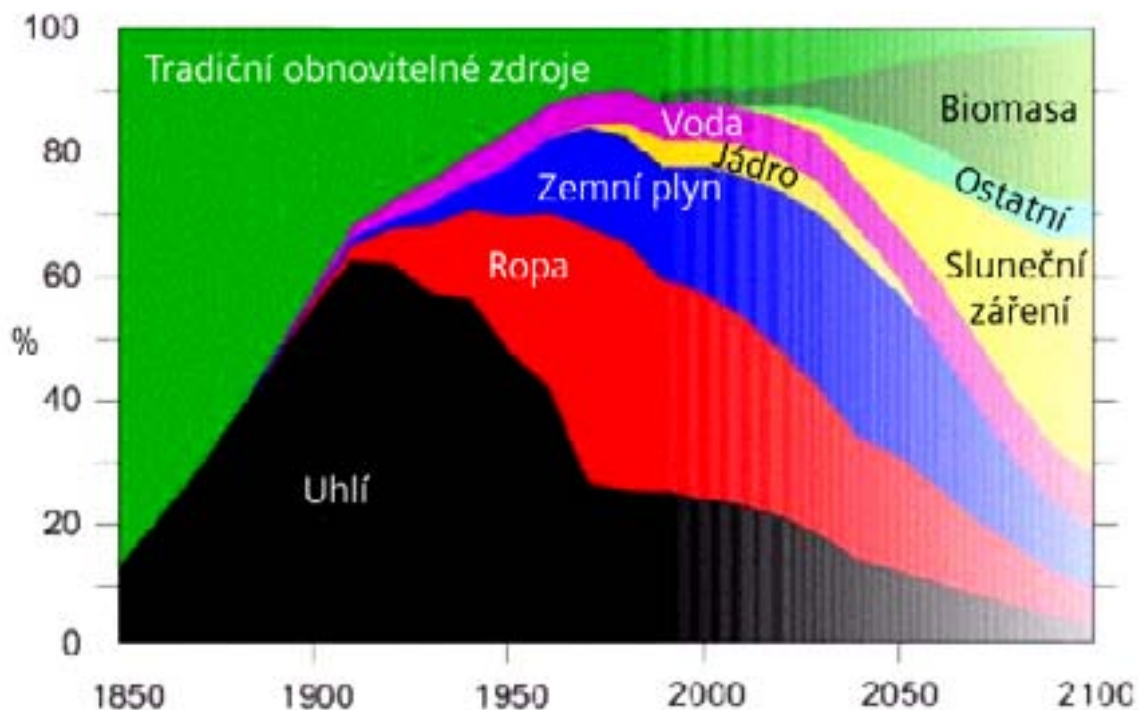
Není účelem ani v možnostech této studie podrobně analyzovat možná řešení, která by zajistila snížení závislosti na fosilních palivech a emisí oxidu uhličitého. V této kapitole proto jen stručně diskutujeme některé trendy, které budou bezesporu hrát klíčovou roli. Podrobnější debatu na toto téma lze nalézt například ve studii Evropské agentury pro životní prostředí z června 2005, která představuje různé cesty ke snížení emisí oxidu uhličitého [80].

### 7.1. Obnovitelné zdroje energie

Teoretický potenciál obnovitelných zdrojů energie je především díky slunečnímu záření dopadajícímu na zemský povrch obrovský. Mnohonásobně převyšuje současnou energetickou poptávku [81]. Využití má ovšem významné technické limity, které získávání energie z obnovitelných zdrojů komplikují – velká rozptýlenost, závislost na počasí, nerovnoměrné geografické rozložení. Přesto jeden ze scénářů World Energy Council počítá v roce 2100 s podílem obnovitelných zdrojů na pokrývání globálních energetických potřeb na úrovni 80 %. Předpokládá přitom zejména razantní nárůst využívání energie slunečního záření a biomasy ve druhé polovině století – viz Graf 11. Zároveň prognózuje postupný útlum jaderné energetiky.

Při analýze obnovitelných zdrojů energie je nutné počítat s technologickými trendy – nikoli se současným stavem, který by podobné ambiciózní plány evidentně nebyl schopen splnit. Například pokud mají obnovitelné zdroje hrát důležitou roli při výrobě elektřiny, bude nutné podstatně rozšířit potenciál fotovoltaické energie. V současné době je bariérou mimořádně vysoká cena. Není však důvod se domnívat, že náklady nebudou v perspektivě příštích desetiletí s rozvíjející se masovou výrobou a inovacemi klesat v tomto odvětví stejně, jako klesaly v dalších oborech obnovitelných zdrojů. Cena kilowatthodiny větrné elektřiny se za posledních dvacet let snížila o 80 procent [82].

Graf 11: Vývoj podílu jednotlivých zdrojů na spotřebě energie podle jednoho ze scénářů WEC



Zdroj: World energy council [23]

Prognóza potvrzuje technický potenciál obnovitelných zdrojů. Zásadní zvýšení jejich podílu na úkor fosilních paliv však podle scénáře přichází z pohledu rizika globálních změn podnebí pozdě.

Podle scénáře připraveného asociací firem pracujících v průmyslu obnovitelných zdrojů energie je technicky proveditelné, aby celková výroba obnovitelné energie do roku 2040 narostla na 6,35 Gtoe – viz Tabulku 13. Ani tento rychlý nárůst ovšem nemůže zastavit nárůst emisí oxidu uhličitého v případě, že spotřeba energie neregulovaně poroste – viz Tabulku 2 na straně 16.

**Tabulka 13: Světový potenciál výroby energie z obnovitelných zdrojů v roce 2040**

Zdroj	Výroba v roce 2001 (Mtoe)	Výroba v roce 2040 (Mtoe)
Biomasa	1080,0	3271
Velké vodní elektrárny	222,7	358
Malé vodní elektrárny	9,5	189
Větrné elektrárny	4,7	688
Fotovoltaika	0,2	784
Teplo ze solárních kolektorů	4,1	480
Solárně koncentrační	0,1	68
Geotermální energie	43,2	493
Energie moří	0,05	20
<b>Celkem</b>	<b>1364,5</b>	<b>6351</b>

*European Renewable Energy Council, 2005 [83]*

Technická a ekonomická náročnost přechodu na energetiku založenou na obnovitelných zdrojích bude nepochybně značná. Zvýšení výroby energie z obnovitelných zdrojů na 6,35 Gtoe do roku 2040 bude možné jen za předpokladu významných investic v zemích třetího světa, což vyžaduje zásadní podporu mezinárodních finančních institucí, tj. změnu jejich priorit. Ve vyspělých zemích se obnovitelné zdroje budou muset prosadit na úkor fosilních paliv, proti kterým jsou dnes v ekonomické nevýhodě. Lze předpokládat, že překážky rozvoje obnovitelných zdrojů budou v příštích desetiletích překonány. Z pohledu snižování emisí oxidu uhličitého význam obnovitelných zdrojů ještě více poroste, pokud se podaří postupně snižovat celkovou spotřebu energetických zdrojů.

## **7.2. Spotřeba energie**

Ze scénářů World Energy Council i z dalších pramenů [44] vyplývá, že rychlý růst výroby z obnovitelných zdrojů ani prudký rozvoj jaderné energetiky nemohou účinně omezit emise oxidu uhličitého, pokud spotřeba energie nadále soustavně poroste. Snížení spotřeby bude v příštích letech klíčovou prioritou světové energetiky, jakkoli je potřeba souběžně řešit otázku zajištění zdrojů.

Potenciál snižování spotřeby energie na straně spotřeby je při dnešních technických možnostech vysoký. Například v současné době stavěné nízkoenergetické domy spotřebují na vytápění jen desetinu energie ve srovnání s klasickým cihlovým či panelovým domem o stejné vytápěné ploše[84]. Přitom vytápění domů v České republice spotřebuje řádově třetinu energie. Odhady potenciálu úspor energie vycházejí vždy z posouzení ekonomické dosažitelnosti navrhovaných opatření. Podle vývoje ekonomických podmínek se potenciál úspor zvyšuje nebo zmenšuje. Příklad současného ekonomického potenciálu energetických úspor pro jednotlivá odvětví ve Velké Británii je uveden v Tabulce 14.



**Tabulka 14: Ekonomický potenciál energetických úspor ve Velké Británii**

Odvětví	Možná úspora energie (Mtoe/rok)	Snížení současné spotřeby (%)	Náklady na realizaci (miliony eur)
Domácnosti	17,4	37,2	7300
Služby	3,8	21,0	1737
Průmysl	8,6	23,8	2014
Doprava	19,3	35,0	6862
<b>Celkem</b>	<b>49,1</b>	<b>31,4</b>	<b>17913</b>

Zdroj: *Performance and innovation unit, 2002 [85]*

Průměrné odhady přínosů zlepšení energeticky efektivních technologií se pro nejvyspělejší průmyslové státy pohybují mezi 25 a 30 % současné spotřeby, pro země s transformující se ekonomikou kolem 40 % [81].

Progresivní země i mezinárodní instituce již staví svoji energetickou politiku na zastavení růstu spotřeby. Evropská komise ve své Zelené knize zdůrazňuje, že problém zajištění dodávek energie v evropském měřítku lze řešit pouze systematickým řízením poptávky – které deklaruje za hlavní prioritu kvůli snížení ekologických dopadů i závislosti na dovozu. Doporučuje soustředit se především na sektory s nejvyšším potenciálem energetických úspor, jehož technické využití je dobře zvládnuto. Jedná se především o snižování spotřeby energie při vytápění budov a v dopravě. Jako hlavní nástroj uvádí daňová opatření, která by penalizovala fosilní paliva a motivovala k úsporným opatřením. Dalším zmiňovaným prostředkem je nová legislativa, která stanoví pravidla pro hospodárné nakládání s energií. [86]

Aktivní opatření jsou nezbytná. Zatím panuje verbální shoda na snižování energetické náročnosti ekonomik. Osvědčené technologie leží na stole, jen do nich investovat. Ale reálné ekonomické podmínky způsobují, že se úsporná opatření vinou nízké ceny fosilních paliv ekonomicky nevyplácí. Například daňový systém podniky motivuje, aby šetřily na silně zdaněné pracovní síle a raději utrácely za lacinou energii.

Prosazování potřebných opatření jde stále velmi pomalu. V Evropské unii se ani po více než deseti letech nepodařilo schválit účinnou koncepci jednotné ekologické daňové reformy. Návrh takzvané Montiho směrnice na zavedení jednotné energetické a uhlíkové daně pro celou EU z roku 1992 se neuskutečnil. Směrnice byla sice v roce 2003 po dlouhých vyjednáváních schválena, ale sazby jsou oproti původnímu návrhu sníženy natolik, že praktický dopad bude zanedbatelný. [87]

Rovněž proces schvalování směrnice o energetické efektivnosti na straně spotřeby a energetických službách, který probíhá od konce roku 2003, ukazuje obtížnost prosazování potřebné legislativy. Cílem směrnice je především využití potenciálu nízkonákladových opatření ke snížení energetické náročnosti. Ministři odpovědní za energetiku, jehož programem byl návrh direktivy v listopadu 2004, zpochybnilo záměr direktivy stanovit závazný cíl snižování spotřeby energie v konkrétních odvětvích o 1 % ročně. Výbor Evropského

parlamentu pro průmysl a energetiku bude o návrhu jednat v březnu 2005, podoba v jaké bude direktiva schválena je zatím nejistá. [88]

## **Shrnutí**

Nejaderná cesta rozvoje globální energetiky je na stole. Obnovitelné zdroje energie mají dostatečný potenciál na to, aby stačily pokrýt většinu spotřeby energie. Využití potenciálu obnovitelných zdrojů je ovšem technicky náročné a bude trvat několik desítek let. Zároveň je ovšem nutné, stejně jako v případě strategie založené na rozvoji jaderné energetiky, omezení celkové spotřeby energetických zdrojů. Přestože řízení poptávky se stává prioritou progresivních energetických koncepcí, praktické kroky se zatím nedaří prosazovat. Změna ekonomických podmínek ve prospěch energetické efektivity je nejdůležitějším úkolem příštích let.

## 8. Globální limity jaderné energetiky a česká energetická politika

Podíl České republiky na světové spotřebě primárních energetických zdrojů činí zhruba 0,4 %.

Globální trendy a limity se ovšem promítají i do české energetické politiky.

### 8.1. Limity jaderného rozvoje v České republice

Rozvoj jaderné energetiky v České republice nesporně omezují globální zásoby uranu – domácí reaktory závisí na stejných zdrojích jako bloky jinde ve světě. Rovněž investiční rizika jsou pro zdejší elektrárenské společnosti a investory podobná jako v jiných zemích. Na druhou stranu u nás není potřeba se příliš zabírat rizikem zneužití jaderných technologií k vojenským či teroristickým účelům. Česká republika s kvalitní kontrolou nad nebezpečnými materiály patří k bezproblémovým zemím a není třeba se ani obávat, že by usilovala o výrobu jaderné zbraně. Vládní energetická politika též nepočítá s využíváním rizikových technologií obohacování uranu ani přepracování vyhořelého paliva.

#### Neobnovitelné zdroje uranu

Na posledním těženém ložisku uranu v České republice, dolu Rožná v lokalitě Dolní Rožínka, bude těžba ukončena během roku 2005. Počínaje lednem 2006 začne likvidace dolu [89]. Jediné domácí dodávky budou poté omezeny na uran získávaný jako vedlejší produkt ze sanací kontaminace způsobené chemickou těžbou ve Stráži pod Ralskem, které mají skončit do roku 2030.

Česká republika bude tedy kompletně závislá na dovozu. Zabezpečení paliva pro jaderné elektrárny se bude odvíjet od situace na světovém trhu. V případě vysoké poptávky způsobené prudkým rozvojem atomové energetiky podle některého z růstových scénářů by problém se zajištěním dodávek uranu mohl nastat již ve druhé polovině 21. století a dotýkal by se již reaktorů spouštěných kolem roku 2030. Analýza dostupnosti paliva, včetně možnosti vytváření zásob, by měla předcházet všem záměrům výstavby jaderných elektráren.

Vládní energetická koncepce neplánuje využití přepracování vyhořelého paliva ani vývoj některé z technologií k řešení problému neobnovitelného uranu.

#### Investiční rizika

Elektrárenská společnost ČEZ je jediným provozovatelem jaderných elektráren v České republice a tím pádem i nejpravděpodobnějším potenciálním investorem. V současné době možnost výstavby nových jaderných bloků zvažuje. Během roku 2005 bude vypracována studie, na jejímž základě se ČEZ rozhodne, zda bude do nových bloků investovat. Případné výběrové řízení na dodavatele by proběhlo po roce 2012. V úvahu připadají reaktory EPR (typ, který bude stavět konsorcium Siemens – Framatome ve finském Olkiluoto), ruské VVER (stejný typ jako v Temelíně nebo Dukovanech) nebo některý z reaktorů dodávaných společnostmi Westinghouse či General Electric. Trvání výstavby ČEZ odhaduje na 15 let. [90]

Vyhodnocení investičních rizik a možnost zajištění dostatečných finančních prostředků bude mít při rozhodování ČEZ o stavbě jaderné elektrárny klíčový význam. Vyhodnocení investičních rizik komplikuje nedostatek srovnatelných projektů – stavba reaktoru EPR ve Finsku (jedná se o první reaktor tohoto typu) začne až během roku 2005, ostatní evropské státy jaderné elektrárny nebudují. Poslední česká zkušenost s výstavbou jaderné elektrárny v Temelíně je z pohledu investičních rizik negativní. Vládní expertní tým pro posouzení

dostavby Temelína provedl ekonomické hodnocení v roce 1999, rok před zavezením paliva do prvního bloku. Zpráva týmu konstatovala, že ani pro optimistický scénář „*ekonomika JETE se zahrnutím utopených nákladů neukazuje na výnosnou investici*“. [91]

## **Možnosti vývoje energetiky v České republice**

Příští vývoj energetické poptávky a způsob jejího pokrývání v České republice bude záležet na legislativních a ekonomických podmínkách, které se budou řídit prioritami energetické koncepce státu. Příkladem těchto podmínek může být struktura daní (respektive přesun daňového zatížení z pracovních míst na znečištění a spotřebu přírodních zdrojů), systém investičních pobídek, případně legislativa posilující pozici některých technologií na trhu nebo omezující emise. Významným faktorem bude také vývoj na světovém i evropském trhu a výsledky mezinárodních jednání o snižování emisí skleníkových plynů.

Stane-li se skutečnou prioritou vládní politiky snižování plýtvání energií a využití potenciálu energetické efektivity, včetně nezbytných opatření, tak dojde k zásadnímu snížení spotřeby. Technologický potenciál úspor je odhadován na 494 PJ (tj. 45 % konečné spotřeby energie). Ekonomický potenciál, který zahrnuje pouze investice s kladnou současnou hodnotou při 10% diskontní sazbě, činí 329 PJ, tedy 30 % konečné spotřeby energie). [92]

Bude-li prioritou zároveň také nárůst využití obnovitelných zdrojů, dojde především k rozvoji pěstování, zpracování biomasy pro energetické účely. Technický potenciál biomasy je odhadován na 385 PJ. [93]

Stane-li se prioritou jaderná energetika či těžba uhlí, dojde k rozvoji těchto odvětví.

Hnutí DUHA soudí, že klíčovým kritériem při stanovování priorit české energetické politiky by vedle spolehlivosti dodávek energie měla být také redukce emisí oxidu uhličitého. Dalším zvažovaným faktorem by měla být pozice České republiky v globální ekonomice. Pro zemi s malým množstvím domácích surovin je důležitý důraz na posilování efektivity a rozvoje obnovitelných zdrojů, která zajistí rozvoj moderních čistých technologií, sníží energetickou náročnost průmyslu a podpoří tím jeho konkurenceschopnost na mezinárodních trzích – spíše než snaha přetahovat se se zeměmi Asie či Latinské Ameriky o zdroje z geopoliticky rizikových oblastí.

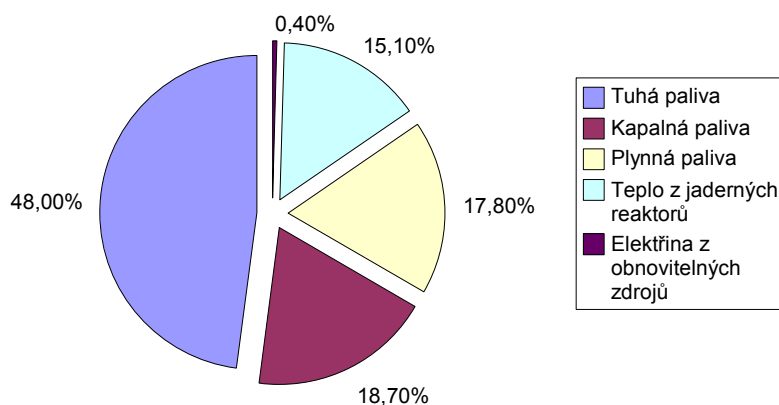
Účinné snižování emisí oxidu uhličitého lze dosáhnout různými cestami. Základní podmínkou je redukce množství spalovaného uhlí. Dosud nebyl podrobně zpracován český scénář snižování emisí oxidu uhličitého pro období po roce 2030. Není tedy propočtena varianta, ve které by jaderné elektrárny po skončení své životnosti nebyly nahrazeny novými reaktory. Vzhledem k výraznému potenciálu úspor je ovšem velmi pravděpodobné, že tato varianta bude proveditelná. Česká republika bude mít v příštích letech možnost sledovat postup Německa, které se rozhodlo uskutečnit svůj ambiciózní plán snižování emisí zároveň s útlumem nadpoloviční části svých jaderných elektráren. [19]

## **8.2. Současná a budoucí česká energetika**

Příští směřování české energetiky bude záviset na vnějších podmínkách i domácí politice. Snižování emisí oxidu uhličitého z energetiky je možné s využitím atomových reaktorů i v případě útlumu výroby z jaderných zdrojů. Nutnou podmínkou jsou v obou případech, podobně jako v globálním měřítku, opatření k omezení plýtvání energií.

Ve skladbě primárních zdrojů energie České republiky stále převládají tuhá paliva, především černé a hnědé uhlí používané k výrobě elektřiny, vytápění a v průmyslu. Skladba primárních zdrojů se stabilizovala poté, co v první polovině devadesátých let došlo k částečné náhradě tuhých paliv zemním plynem ve vytápění. V důsledku spouštění JE Temelín došlo k nárůstu podílu jaderných reaktorů po roce 2001.

Graf 12: Struktura primárních zdrojů energie v ČR v roce 2003



Celkem 1859,8 PJ

Zdroj: Český statistický úřad, 2005 [94]

Česká republika patří k zemím s vysokými emisemi oxidu uhličitého. V roce 2003 – posledním, pro které jsou dostupná srovnávací data – měly emise na jednoho obyvatele vyšší než Česká republika z evropských zemí jen Estonsko, Finsko a Lucembursko [95]. České emise na obyvatele patří do druhé pětky v žebříčku zemí OECD.

Pokles emisí ze začátku devadesátých let se v poslední době zastavil. K významnému snížení emisí nedošlo ani po spuštění JE Temelín. Podle výroční zprávy ČEZ za rok 2003 společnost výrobu v uhelných elektrárnách meziročně ještě zvýšila. Minima spotřeby uhlí i emisí oxidu uhličitého bylo dosaženo v roce 1999, kdy Temelín ještě nebyl v provozu. Příčinou je především skutečnost, že po spuštění Temelína nedošlo k odpovídajícímu omezení výroby v uhelných elektrárnách, ale ke zvýšení exportu elektřiny.

**Tabulka 15: Vývoj emisí oxidu uhličitého v České republice**

Rok	1990	1992	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Emise (MtCO<sub>2</sub>)</b>	164,0	139,8	130,6	132,8	137,4	128,3	121,1	127,9	128,0	123,1

Zdroj: ČHMÚ, 2004 [96]

Příklad minimálního vlivu spuštění Temelína na vývoj českých emisí oxidu uhličitého opět ukazuje na základní problém. Výstavba jaderných elektráren může přispět ke snížení emisí pouze za předpokladu, že nahradí zdroje využívající fosilní paliva. Energetický průmysl se ovšem snaží uplatnit na trhu maximální množství elektřiny a místo odstavení uhelných elektráren hledá nové trhy, případně stimuluje spotřebu.

Česká Státní energetická koncepce uvádí jako dlouhodobý cíl dosažení podílu jaderné energie ve struktuře primárních zdrojů energie na úrovni 20 – 22 % do roku 2030. Společně s rozvojem obnovitelných zdrojů (dosažení podílu na struktuře primárních zdrojů 15 – 16 %) má zvýšení podílu jaderné energetiky přinést snížení emisí oxidu uhličitého na 89 MtCO<sub>2</sub> v roce 2030. Podmínkou je ovšem udržení spotřeby primárních zdrojů na úrovni kolem 1800 PJ ročně. [97]

Takové snížení není ovšem z pohledu potřebného snížení emisí (kapitola 2.1) dostačující. Česká republika by se tak za pětadvacet let dostala na úroveň států EU-15 před Kjótským protokolem. Ostatně vláda ve svém klimatickém programu i ve Strategii udržitelného rozvoje České republiky také počítá s omezením emisí oxidu uhličitého o 30 procent, tedy na 89,5 MtCO<sub>2</sub>, již do roku 2020. V dalších letech má snižování emisí pokračovat stejným tempem.

Scénáře vývoje energetiky předložené Ministerstvem životního prostředí, které byly zpracovány podle stejného ekonomického modelu a stejným dodavatelem jako scénář použitý v energetické koncepci, ukazují možnost rychlejšího snížení emisí. Scénář *Aktivní politika ochrany klimatu a zvýšená jaderná bezpečnost* předpokládá snížení emisí na 76 MtCO<sub>2</sub> v roce 2030 při podílu jaderné energie ve struktuře primárních zdrojů energie na úrovni 8,8 % (138 PJ), což odpovídá provozu jedné jaderné elektrárny velikosti Temelína nebo Dukovan. Spotřeba primárních zdrojů energie by podle tohoto scénáře do roku 2030 klesla na 1566 PJ. Tento scénář vyšel nejlépe z multikriteriální analýzy, která zvažovala energetické, environmentální a sociálně ekonomické aspekty jednotlivých variant [98]. Snižování emisí oxidu uhličitého je tedy účinnější v koncepci, která počítá s nižším nasazením jaderné energetiky. Důvodem jsou účinná opatření k omezení plýtvání, především ekologická daňová reforma.

## **Shrnutí**

Limit zásob uranu pro Českou republiku bude záviset na vývoji světové spotřeby. Po dokončení útlumu uranového průmyslu nebude mít Česká republika žádné domácí zdroje této suroviny. S přepracováním vyhořelého paliva ani využitím jiné technologie než tlakovodních reaktorů se ve vládní energetické politice nepočítá. Situaci na trhu s uranem bude nutné pravidelně vyhodnocovat, zejména v případě významného nárůstu světového počtu reaktorů.

Investiční rizika budou v příštích letech hlavní kritériem, podle kterého bude energetický průmysl rozhodovat o výstavbě nových bloků. Možnost odhadu těchto rizik omezuje nedostatek srovnatelných projektů. Poslední zkušenost s investicí do jaderné elektrárny Temelín podporuje vážné pochybnosti o ekonomické smysluplnosti takových záměrů.

Vývoj poptávky po energii a struktura jejího pokrytí bude v příštích letech záviset na nastavení ekonomických a legislativních podmínek. Jednoznačnou prioritou si zaslouží využít potenciálu energetické efektivity a odpovídající snížení spotřeby.

## Literatura

- [1] Státní energetická koncepce a spolupráce s ekologickými iniciativami, Ekolist po drátě 14. července 2003, [ekolist.cz/nazor.shtml?x=141319](http://ekolist.cz/nazor.shtml?x=141319)
- [2] Key World Energy Statistics, International Energy Agency, 2004
- [3] Summary for policymakers. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva 2001
- [4] Summary for policymakers. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. A report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva 2001
- [5] Světová meteorologická organizace (WMO): WMO statement on the status of global climate in 2004: global temperature in 2004 fourth warmest, tisková zpráva, 15.12.2004
- [6] Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., et Wanner, H. (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500, *Science* 303: 1499-1503
- [7] Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Linger, M.A., et Appenzeller, C.: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves, *Nature* 427: 332-336
- [8] ippc summary wg 2
- [9] Závěry Evropské rady 10.3.2005
- [10] Energy – The Changing Climate, Royal Commission on Environmental Pollution, London 2001
- [11] Kjótský protokol 2005, Hnutí DUHA/Centrum pro dopravu a energetiku, Brno/Praha 2005
- [12] James J. MacKenzie: Oil as a finite resource: When is global production likely to peak?, World Resource Institute, 2000
- [13] World Assessment Summary, United States Geologic Survey, 2000, [pubs.usgs.gov/dds/dds-060/](http://pubs.usgs.gov/dds/dds-060/), 8. 12. 2004
- [14] U.S. Energy Information Administration, [www.eia.doe.gov/emeu/international/petroleu.html#IntlConsumption](http://www.eia.doe.gov/emeu/international/petroleu.html#IntlConsumption), 8. 12. 2004
- [15] International Energy Outlook 2004 - Reference Case Projections, Energy Information Administration. [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/appendixes.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/appendixes.html) 15. 11. 2004
- [16] Exploring the Future – Energy Needs, Choices and Possibilities, Scenarios to 2050, Shell International 2001
- [17] Kim: Texas Oil and Gas, Bureau of Economic Geology, Austin 2003 [www.beg.utexas.edu/mainweb/services/pdfs/giddings.pdf](http://www.beg.utexas.edu/mainweb/services/pdfs/giddings.pdf), 8. 1. 2005
- [18] U.S. Energy Information Administration, [www.eia.doe.gov/emeu/international/gas.html#IntlConsumption](http://www.eia.doe.gov/emeu/international/gas.html#IntlConsumption), 8. 12. 2004

- [19] Sustainable Energy Policy to Meet the Needs of the Future Energy Report, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2002
- [20] Energy White Paper Our Energy Future – Creating a Low Carbon Economy, London 2003
- [21] Survey of Energy Resources, Coal (Including Lignite), World Energy Council, [www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/coal/coal.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/coal/coal.asp), 8. 12. 2004
- [22] U.S. Energy Information Administration, [www.eia.doe.gov/emeu/international/coal.html#IntlConsumption](http://www.eia.doe.gov/emeu/international/coal.html#IntlConsumption), 8. 12. 2004
- [23] Global energy scenarios to 2050 and beyond, [www.worldenergy.org/wec-geis/edc/scenario.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/edc/scenario.asp), 8. 12. 2004
- [24] The World Nuclear Industry Status Report 2004, Brusel, prosinec 2004, Greens – Efa Group in the European Parliament
- [25] Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003
- [26] Nuclear Power and Climate Change, Nuclear Energy Agency, Paris 1998
- [27] Thermochemical water-splitting cycles, [www.ne.doe.gov/hydrogen/hydrogenBG.html](http://www.ne.doe.gov/hydrogen/hydrogenBG.html), 18. 12. 2004
- [28] R. Price, J.R. Blaise: Nuclear fuel resources: Enough to last?, Nuclear Energy Agency, 2002, [www.nea.fr/html/pub/newsletter/2002/20-2-Nuclear\\_fuel\\_resources.pdf](http://www.nea.fr/html/pub/newsletter/2002/20-2-Nuclear_fuel_resources.pdf), 15. 11. 2004.
- [29] Uranium Markets, Uranium Information Centre [www.uic.com.au/nip36.htm](http://www.uic.com.au/nip36.htm), 15. 11. 2004
- [30] Mixed Oxide Fuel (MOX), Uranium Information Centre, [www.uic.com.au/nip42.htm](http://www.uic.com.au/nip42.htm), 15. 11. 2004
- [31] Waste Management in the Nuclear Fuel Cycle, [www.world-nuclear.org/info/inf04.htm](http://www.world-nuclear.org/info/inf04.htm), 15. 11. 2004
- [32] Assessing the risk of terrorist attack on nuclear facilities, Parliamentary Office of Science and Technology, červenec 2004
- [33] M. Bunn, S. Fetter, J. Holdren, B. van der Zwaan: The Economics of Reprocessing vs. Direct Disposal of Spent Nuclear Fuel, Harvard University, prosinec 2003
- [34] Supply of Uranium, Uranium Information Centre, [www.uic.com.au/nip75.htm](http://www.uic.com.au/nip75.htm), 15. 11. 2004
- [35] Advanced Nuclear Power Reactor, Uranium Information Centre, [www.uic.com.au/nip16.htm](http://www.uic.com.au/nip16.htm), 20. 11. 2004
- [36] The French Fast-Breeder Programme, Plutonium Investigation, WISE – Paris, [www.wise-paris.org/index.html?/english/ournewsletter/1/page6.html&/english/frame/menu.html&/english/frame/band.html](http://www.wise-paris.org/index.html?/english/ournewsletter/1/page6.html&/english/frame/menu.html&/english/frame/band.html), 20. 11. 2004
- [37] The Role of Monju for FBR Development, Japan Nuclear Cycle Institute, 2004



- [38] Operating experience from BN-600, eng.rosatom.ru/?razdel=160&id=1, 8. 12. 2004
- [39] Nuclear Power in Russia, World Nuclear Association, www.world-nuclear.org/info/inf45.htm, 8. 12. 2004
- [40] India confirms Kalpakkam construction start, World Nuclear Association Weekly Digest, 26 March 2004, www.world-nuclear.org/news/2004/wd\_mar26.htm, 8. 12. 2004
- [41] Thorium, Uranium Information Centre, www.uic.com.au/nip67.htm, 8. 12. 2004
- [42] Nuclear Fusion Power, World Nuclear Association, world-nuclear.org/info/inf66.htm, 8. 12. 2004
- [43] www.iter.org, 8. 12. 2004
- [44] World Energy Outlook, International Energy Agency, 2004
- [45] J. Beránek: Proč je třeba zastavit JE Temelín, Hnutí DUHA, Brno 2000
- [46] tisková zpráva konsorcia AREVA-Siemens z 18. prosince 2003, www.framatome-anp.com, 15. 11. 2004
- [47] World Nuclear Association, www.world-nuclear.org/nb/nb03/nb0337.htm, 15. 11. 2004
- [48] World Nuclear Power Reactors 2003-05, Uranium Information Centre, www.uic.com.au/reactors.htm, 11. 2. 2005
- [49] IAEA, Annual Report 2003, www.iaea.org/Publications/Reports/index.html, 15. 11. 2004
- [50] The Times 10. 12. 2004, www.timesonline.co.uk/article/0,,5-1397955,00.html
- [51] tisková zpráva Evropské komise Commission approves restructuring of British Energy, Brusel, 22. září 2004, europa.eu.int/comm/dgs/energy\_transport/state\_aid/whatsnew\_en.htm, 8. 12. 2004
- [52] A. Taylor, T. Buck: Brussels set to probe new nuclear decommissioning authority, Financial Times, 18. 11. 2004
- [53] tisková zpráva BNFL z 10. června 2004, www.bnfl.co.uk/index.aspx?page=857, 8.12. 2004
- [54] Paul Brown, Rob Evans: Sellafield factory has failed to produce any reprocessed fuel since opening in 2001, The Guardian, 26.6. 2004
- [55] David Gow : BNFL in Mox deal with E.ON; Contract upsets protesters, The Guardian, 25. 5. 2002
- [56] Nicola Clark: France seeks 11 billion from power utility sale, International Herald Tribune, 25.11. 2004
- [57] ČTK, 5. května 2004
- [58] Elektrárne dostanú miliardy, Pravda 17. 6. 2004

- [59] Európska komisia prešetrí podnet mimovládnych organizácií o dotáciách do slovenskej jadrovej energetiky, [www.priateliazeme.sk/cepa/index.php?id=&level=&x=99394](http://www.priateliazeme.sk/cepa/index.php?id=&level=&x=99394), 2. 3. 2005
- [60] Tisková zpráva EREF z 13. prosince 2004: EU investigation requested into illegal aid to Finnish nuclear plant, [www.eref-europe.org/docs/pressreleases.htm](http://www.eref-europe.org/docs/pressreleases.htm), 19. 12. 2004
- [61] Renewables group blasts Finnish nuclear "aid", Environment Daily 1790, 15. 12. 2004
- [62 ] Processing of Nuclear Wastes, World Nuclear Association, [www.world-nuclear.org/info/inf69.htm](http://www.world-nuclear.org/info/inf69.htm), 8. 1. 2004
- [63] [www.whitehouse.gov/infocus/energy/](http://www.whitehouse.gov/infocus/energy/), 8. 1. 2005
- [64] Uranium Enrichment, Uranium Information Centre, [www.uic.com.au/nip33.htm](http://www.uic.com.au/nip33.htm), 8. 1. 2005
- [65] Sam Roe: Trafficking in stolen nuclear material on the rise, Chicago Tribune, 31. ledna 2002
- [66] [www.iaea.org/Publications/Documents/Treaties/npt.html](http://www.iaea.org/Publications/Documents/Treaties/npt.html)
- [67] Mohamed ElBaradei: Towards a Safer World, The Economist 16. 10. 2003, [www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2003/ebTE20031016.shtml](http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2003/ebTE20031016.shtml), 15. 1. 2005
- [68] B. Andemicael, M. Opelz, J. Priest: Measure for measure: The NPT and the road ahead, [www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull373/priest.html](http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull373/priest.html), 15. 1. 2005
- [69] Iraq, North Korea & Iran - Implications for Safeguards, Uranium Information Centre, [www.uic.com.au/nip15.htm](http://www.uic.com.au/nip15.htm)
- [70] Statements of the Director General, 29 November 2004, Vienna, IAEA Board of Governors, [www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2004/ebsp2004n017.html](http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2004/ebsp2004n017.html), 15. 1. 2005
- [71] Statements of the Director General, 14 June 2005, Vienna, IAEA Board of Governors, [www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2005/ebsp2005n007.html](http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2005/ebsp2005n007.html), 15. 7. 2005
- [72] Nuclear Power in India and Pakistan, Uranium Information Centre, [www.uic.com.au/nip45.htm](http://www.uic.com.au/nip45.htm), 15. 1. 2005
- [73] Nuclear Control Institute, Washington D.C., [www.nci.org/i/ip-faq.htm#ans6](http://www.nci.org/i/ip-faq.htm#ans6), 15. 1. 2005
- [74] Global Security, [www.globalsecurity.org/wmd/world/pakistan/khan.htm](http://www.globalsecurity.org/wmd/world/pakistan/khan.htm), 15. 1. 2005
- [75] David Albright, Mark Hibbs: Pakistan's bomb: Out of the closet, Bulletin of the Atomic Scientists, vol. 48, no. 06, 1992
- [76] Jaderné programy z černého trhu, BBC, Jan Bumba, 30. září 2004, [www.bbc.co.uk/czech/programmes/story/2004/09/040925\\_omnibus\\_dirty-wars.shtml](http://www.bbc.co.uk/czech/programmes/story/2004/09/040925_omnibus_dirty-wars.shtml), 15. 1. 2005
- [77] President Announces New Measures to Counter the Threat of WMD, projev prezidenta George W. Bushe z 11. února 2004, [www.whitehouse.gov/news/releases/2004/02/20040211-4.html](http://www.whitehouse.gov/news/releases/2004/02/20040211-4.html), 15. 1. 2005
- [78] Amelia Gentleman, Ewen MacAskill: Weapons-Grade Uranium Seized, The Guardian, 25. července 2001

- [79] [www.dolphin.cz/policie/brezen98/v2\\_zasahuje.html](http://www.dolphin.cz/policie/brezen98/v2_zasahuje.html) 15. 1. 2005
- [80] Climate change and a European low-carbon energy system, European Environment Agency, Kodaň, 2005
- [81] World Energy Assessment, United Nations Development Programme, New York, 2000, [www.undp.org/seed/eap/activities/wea/drafts-frame.html](http://www.undp.org/seed/eap/activities/wea/drafts-frame.html), 9. 2. 2005
- [82] D. Austin, C. Hanson: Introducing green power for corporate markets: business case, challenges and steps forward, World Resource Institute, Washington D.C. 2002
- [83] Renewable Energy Scenario to 2040, European Renewable Energy Council, [www.eubusiness.com/topics/Energy/EUNews.2004-05-28.4857](http://www.eubusiness.com/topics/Energy/EUNews.2004-05-28.4857), 5. 2. 2005
- [84] D. Skácel: Nízkoenergetické domy, Alternativní energie 3/2002
- [85] The Energy Review, Performance and innovation unit, 2002
- [86] Green Paper: Toward an European strategy for the security of energy supply, European Commission, 2001
- [87] Christian Ege Jorgensen: Environmental Fiscal Reform: Perspectives for Progress in the European Union, European Environmental Bureau, 2003
- [88] Energy efficiency and energy services [www.euractiv.com/Article?tcmuri=tcm:29-133534-16&type=LinksDossier](http://www.euractiv.com/Article?tcmuri=tcm:29-133534-16&type=LinksDossier), 5. 2. 2005
- [89] Usnesení vlády ČR č. 689 z 26. června 2002
- [90] Reuters 19. 10. 2004
- [91] Z. Hrubý a kol.: Závěrečná zpráva expertního týmu pro nezávislé posouzení projektu dostavby Jaderné elektrárny Temelín, Praha 1999
- [92] SRC International, SEVEN, Ekowatt, March Consulting: Analýza k návrhu struktury Národního programu hospodárného nakládání s energií a využívání obnovitelných a druhotných zdrojů, Praha 2001
- [93] Informace o potenciálu obnovitelných zdrojů energie v České republice, Asociace pro využívání obnovitelných zdrojů energie, Praha 2004, [www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/\\$pid/MZPMRF45OSUY](http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/$pid/MZPMRF45OSUY), 5. 2. 2005
- [94] Předběžná energetická bilance v roce 2003, Český statistický úřad, [www.czso.cz/csu/edicniplan.nsf/p/8103-04](http://www.czso.cz/csu/edicniplan.nsf/p/8103-04), 5. 2. 2005
- [95] Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2003 and inventory report 2005, European Environment Agency, Kodaň 2005
- [96] P. Fott, J. Pretel, D. Vácha, V. Neužil, J. Bláha, M. Havránek: National Greenhouse Gas Emission Inventory Report of the Czech Republic, ČHMÚ, Praha, květen 2004
- [97] Státní energetická koncepce České republiky, MPO, Praha 2004
- [98] Scénář MŽP pro aktualizaci Státní energetické koncepce České republiky, MŽP, Praha 2003