

JADERNÁ ENERGETIKA V ČÍSLECH



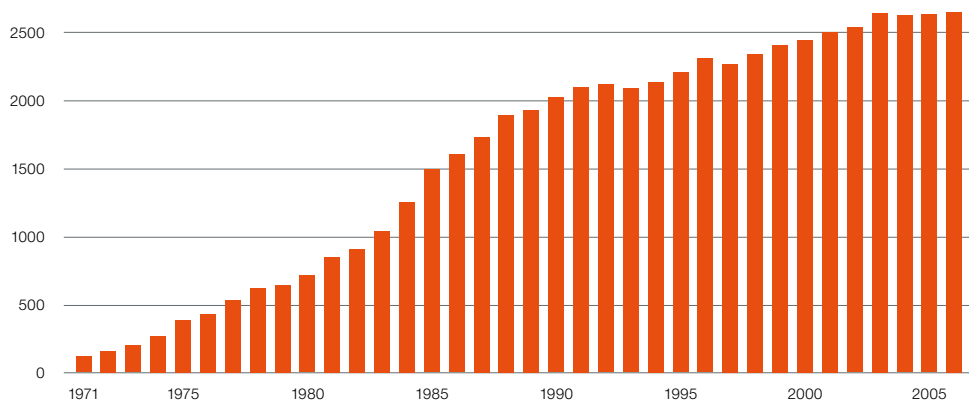
SKUPINA ČEZ

Jaderná energetika je a bude důležitou součástí vyváženého mixu energetických zdrojů dnes i v budoucnosti. Ve snaze omezit emise oxidu uhličitého, čelit výpadkům v dodávkách fosilních paliv a obnovitelných zdrojů a snížit závislost na dovozech energie se stále více zemí na světě rozhoduje stavět nové jaderné elektrárny.

Provoz každého bloku zaměstná řádově stovky špičkových odborníků po dobu desítek let přímo na místě a další tisíce v dodavatelských službách.

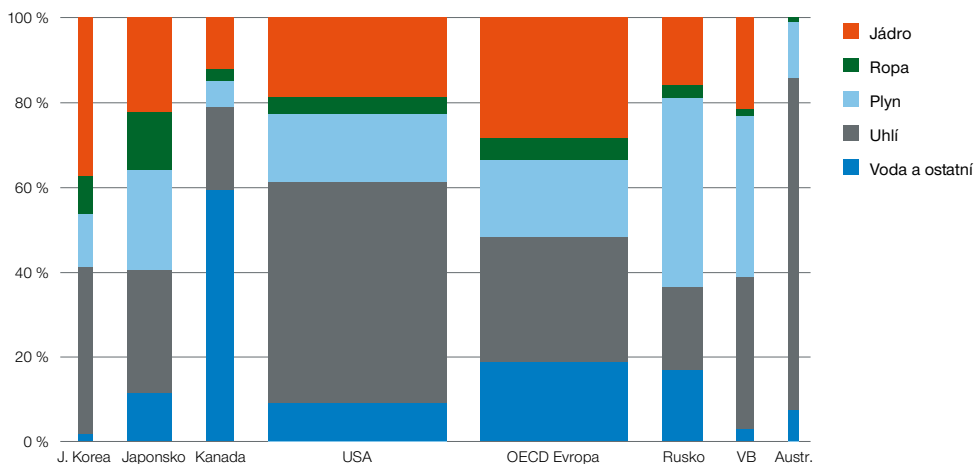
- První jaderný reaktor se rozběhl v prosinci 1942 v Chicagu.
- První jaderná elektrárna dodala elektrický proud do sítě v červnu 1954 v Obninsku v Rusku.
- Ve 31 zemích světa dnes pracuje 436 komerčních jaderných reaktorů s celkovou instalovanou kapacitou více než 370,000 MWe.
- Jaderná energie vyrábí 16 % světové spotřeby elektřiny, nejvíce v základním zatížení a se stále rostoucí účinností.
- V rámci Evropské unie zajišťuje jaderná energetika třetinu elektřiny.
- V české republice pochází z jaderných zdrojů 31 % elektřiny.
- Jaderná energetika má za sebou již přes 13 200 reaktor-roků provozních zkušeností.
- 43 nových jaderných reaktorů se ve světě staví (tj. asi 7 % současné kapacity), 106 je plánováno (asi 30 % současné kapacity) a 266 dalších je navrženo (dalších více než 50 % současné kapacity).
- 16 zemí na světě je závislých na elektřině z jaderných zdrojů více než čtvrtinou své spotřeby.
- V 56 zemích světa pracuje 284 výzkumných a experimentálních reaktorů, které vedle vědeckého výzkumu produkují i radioizotopy pro medicínské použití.
- Světová moře brázdí na 220 jaderných reaktorů jako pohonů ponorek a ledoborců. Jen US Navy již má přes 5400 reaktor-roků provozních zkušeností.
- Malé jaderné zdroje zásobují elektřinou a teplem vesmírné lodě a sondy.

Produkce elektřiny z jaderných zdrojů (TWh) (V roce 2007 to bylo 2608 TWh)



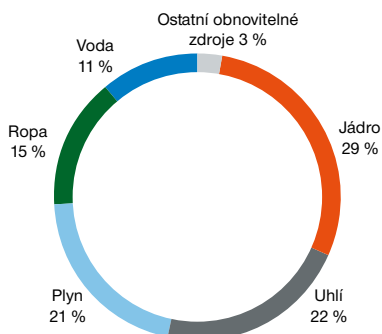


Paliva používaná pro výrobu elektřiny (v %)

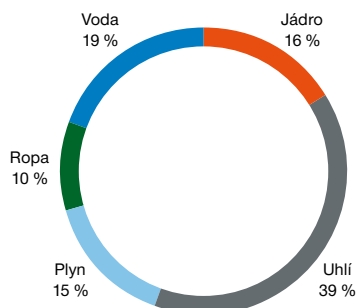


Zdroj: OECD/NEA Energy Information 2005. Šíře sloupce udává hrubou výrobu.

Podíl zdrojů na výrobě elektřiny v EU



Podíl zdrojů na výrobě elektřiny ve světě



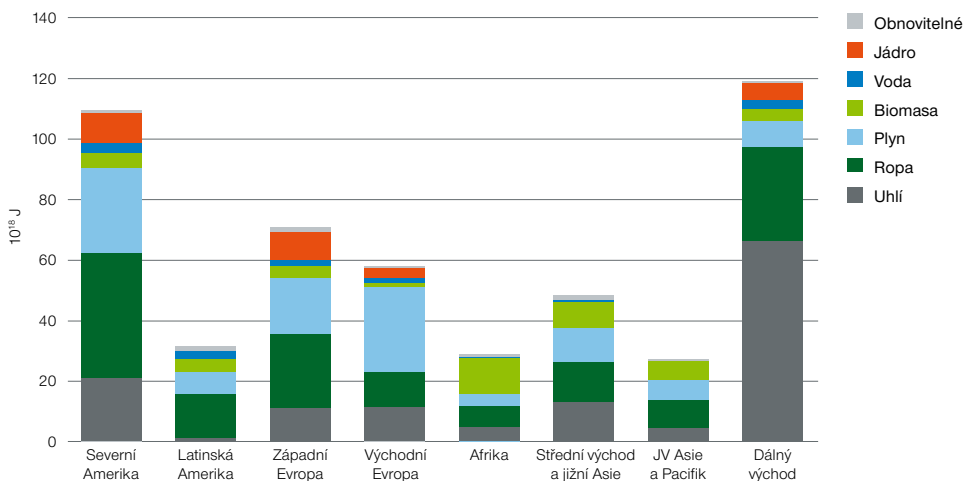


- Od roku 1980 stoupla spotřeba energie na světě o 54 %,
 - Největší vzrůst spotřeby zaznamenaly rozvojové země.
 - Podle předpovědi OSN vzroste světová populace v roce 2020 na 7,5 miliard lidí.
 Růst populace i požadavků na životní

úroveň způsobí odhadovaný růst potřeby energie více než o 2 % ročně, tj. do r. 2020 o dalších cca 50 %.

- Potřeba elektřiny roste rychleji než potřeba energie obecně, do r. 2020 se odhaduje růst o 85 % oproti dnešku.
- Téměř 2 miliardy lidí dnes stále nemají k dispozici elektřinu.

Spotřeba různých typů paliv v r. 2007



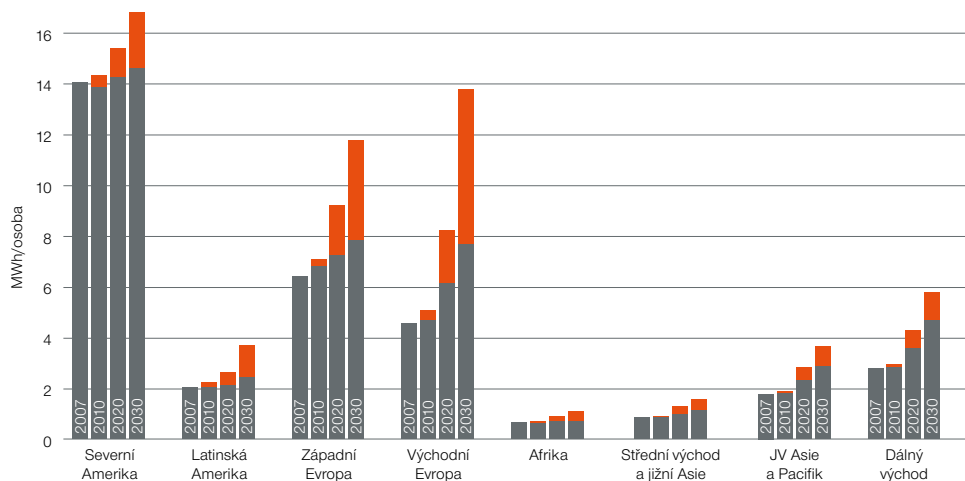
Zdroj: IAEA, 2008



■ Státy světa provozující jaderné elektrárny

Výhled spotřeby elektřiny ve světě na osobu

■ Vysoký odhad
■ Nízký odhad



Zdroj: IAEA, 2008

Jaderná energetika v datech

1939 objev jaderného štěpení.
1942 spuštění první řízené řetězové štěpné reakce (Enriko Fermi, první reaktor v Chicagu).
1951 první elektřina vyrobená v Idahu v USA v EBR-I (Experimental Breeder)
1954 První jaderná elektrárna Obninsk u Moskvy o výkonu 5 MW zásobila elektřinou 2000 domácností. (Dnes typická jaderná elektrárna zásobí 400 000 domácností.)

1970–80 rychlý růst jaderné energetiky, průměrně 30 % ročně.
1987 jaderná energetika dosáhla 16% podíl na výrobě elektřiny ve světě.
1987–90 zpomalení rozvoje jaderné energetiky
2008 celosvětová renesance jaderné energetiky, podíl jádra na výrobě elektřiny ve světě je stále 16 %.

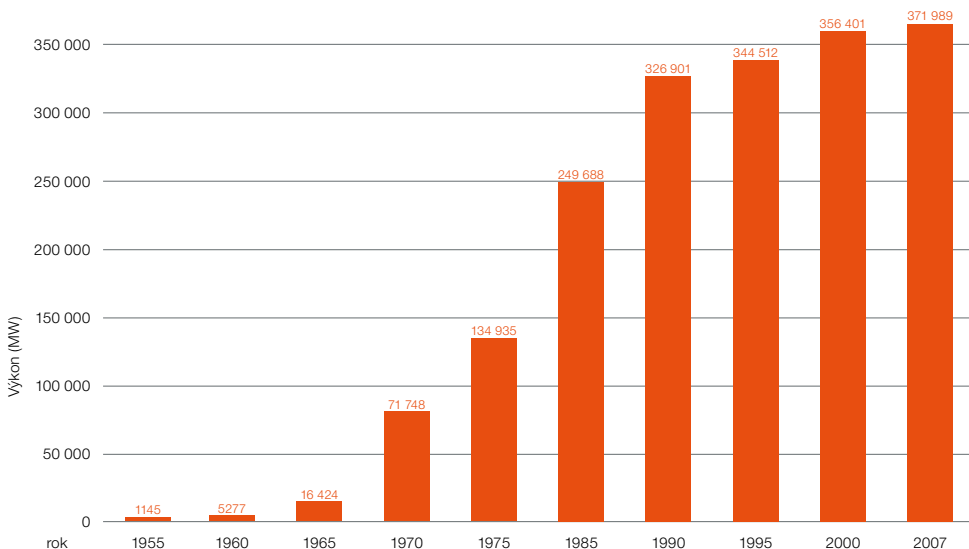


Zvyšují se výkony existujících reaktorů a prodlužuje jejich životnost

Produkce elektřiny z jaderných zdrojů stále stoupá. Vzrůst výroby za posledních 5 let je ekvivalentní postavení 40 nových velkých jaderných elektráren. 2 % z toho pocházejí od nových reaktorů, zbytek je dosažen zvyšováním účinnosti a výkonu stávajících. Dvě třetiny světových reaktorů mají lepší

využitelnost v průběhu roku než 80 %, 13 nejlepších reaktorů USA dosahuje více než 98 %. (Pro srovnání: nejlepší světové větrné elektrárny dosahují něco přes 20 % využitelnosti.) Jaderné reaktory přitom musejí být pravidelně odstavovány pro výměnu paliva a předepsanou kontrolu a údržbu.

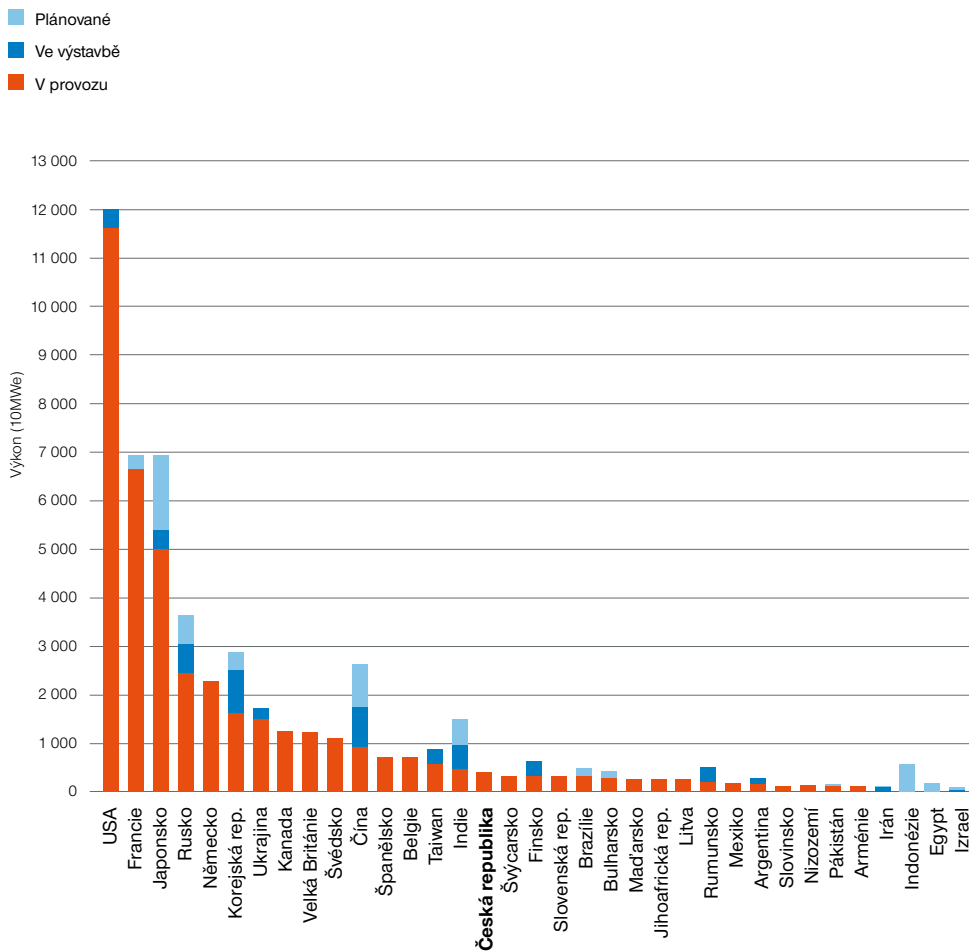
Růst instalovaného výkonu jaderných elektráren ve světě



Zdroj: SVA, Bern, Švýcarsko

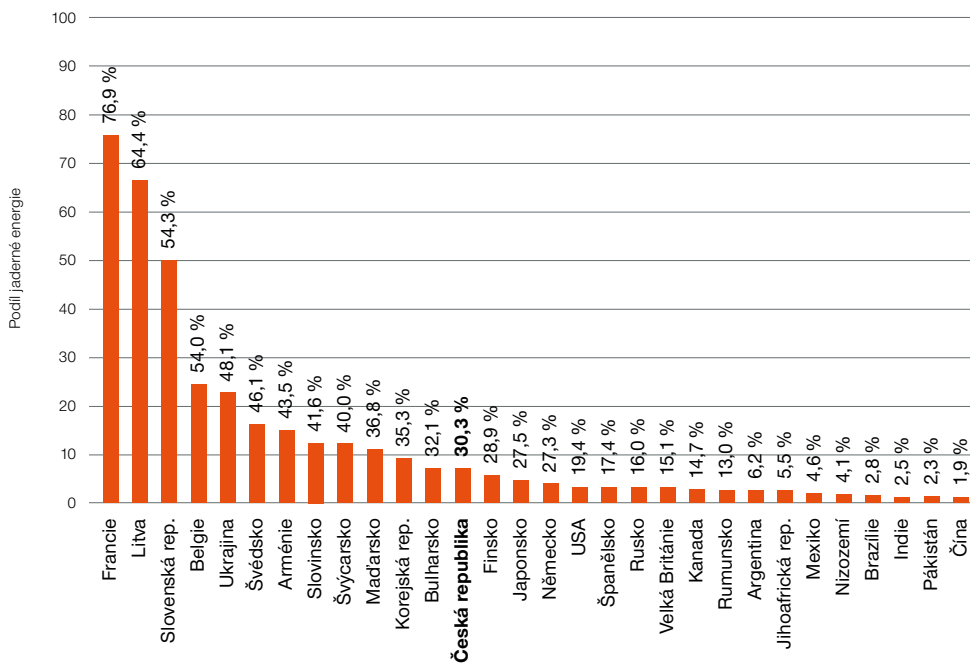


Instalovaný výkon jaderných elektráren ve světě k 1. 1. 2008





Podíl jaderné energie na výrobě elektřiny v roce 2007



Zdroj: WNA, IAEA, Nuclear Engineering International, 2008

Jaderné reaktory ve světě v lednu 2009

	Výroba elektřiny v JE v roce 2007		Reaktory v provozu		Reaktory ve výstavbě		Reaktory plánované		Reaktory uvažované		Potřeba uranu 2008 tuny U
			Leden 2009	Leden 2009	Leden 2009	Leden 2009	Leden 2009	Leden 2009	Leden 2009	Leden 2009	
	TWh	% e	Počet	MWe	Počet	MWe	Počet	MWe	Počet	MWe	
Argentina	6,7	6,2	2	935	1	692	1	740	1	740	123
Arménie	2,35	43,5	1	376	0	0	0	0	1	1000	51
Bangladeš	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000	0
Bělorusko	0	0	0	0	0	0	2	2000	2	2000	0
Belgie	46	54	7	5728	0	0	0	0	0	0	1011
Brazílie	11,7	2,8	2	1901	0	0	1	1245	4	4000	303
Bulharsko	13,7	32	2	1906	0	0	2	1900	0	0	261
Kanada*	88,2	14,7	18	12652	2	1500	3	3300	6	6600	1665
Čína	59,3	1,9	11	8587	11	11000	26	27560	72	58400	1396
ČR	24,6	30,3	6	3472	0	0	0	0	2	3400	619
Egypt	0	0	0	0	0	0	1	1000	1	1000	0
Finsko	22,5	29	4	2696	1	1600	0	0	1	1000	1051
Francie	420,1	77	59	63473	1	1630	0	0	1	1600	10527
Německo	133,2	26	17	20339	0	0	0	0	0	0	3332
Maďarsko	13,9	37	4	1826	0	0	0	0	2	2000	271
Indie	15,8	2,5	17	3779	6	2976	10	9760	15	11200	978
Indonésie	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000	0
Írán	0	0	0	0	1	915	2	1900	1	300	143
Izrael	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
Itálie	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17000	0
Japonsko	267	27,5	53	46236	2	2285	11	14945	1	1100	7569
Kazachstán	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600	0
Korejská LDR	0	0	0	0	0	0	1	950	0	0	0
Jižní Korea	136,6	35,3	20	17716	5	5350	3	4050	2	2700	3109
Litva	9,1	64,4	1	1185	0	0	0	0	2	3400	225
Mexiko	9,95	4,6	2	1310	0	0	0	0	2	2000	246
Nizozemí	4,0	4,1	1	485	0	0	0	0	0	0	98
Pákistán	2,3	2,34	2	400	1	300	2	600	2	2000	65
Polsko	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10000	0
Rumunsko	7,1	13	2	1310	0	0	2	1310	1	655	174
Rusko	148	16	31	21743	8	5980	11	12870	25	22280	3365
Slovensko	14,2	54	4	1686	2	840	0	0	1	1200	313
Slovinsko	5,4	42	1	696	0	0	0	0	1	1000	141
Jižní Afrika	12,6	5,5	2	1842	0	0	3	3565	24	4000	303
Španělsko	52,7	17,4	8	7448	0	0	0	0	0	0	1398
Švédsko	64,3	46	10	9016	0	0	0	0	0	0	1418
Švýcarsko	26,5	43	5	3220	0	0	0	0	3	4000	537
Thajsko	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000	0
Turecko	0	0	0	0	0	0	2	2400	1	1200	0
Ukrajina	87,2	48	15	13168	0	0	2	1900	20	27000	1974
Spojené král.	57,5	15	19	11035	0	0	0	0	6	9600	2199
USA	806,6	19,4	104	100845	0	0	12	15000	20	26000	18918
Vietnam	0	0	0	0	0	0	2	2000	8	8000	0
Svět	2608	15	436	371,927	43	37,668	106	118,095	266	262,075	64,615

% e = podíl na výrobě v dané zemi (Zdroj: WNA, IAEA)



Výroba palivových proutků

Jaderné reaktory v komerčním provozu podle typů

Typ reaktoru	Nejvíce užíván v zemích	Počet	GWe	Palivo	Chladiivo	Moderátor
Tlakovodní lehkovodní reaktory (PWR)	USA, Francie, Japonsko, Rusko	264	250,5	obohacený UO_2	voda	voda
Varné reaktory (BWR)	USA, Japonsko, Švédsko	94	86,4	obohacený UO_2	voda	voda
Tlakovodní těžkovodní reaktory CANDU (PHWR)	Kanada	43	23,6	přírodní UO_2	těžká voda	těžká voda
Plynem chlazené reaktory (AGR & Magnox)	Spojené království	18	10,8	přírodní U (kov) obohacený UO_2	CO_2	grafit
Lehkovodní reaktory moderované grafitem (RBMK)	Rusko	12	12,3	obohacený UO_2	voda	grafit
Rychlé reaktory (FBR)	Japonsko, Francie, Rusko	4	1,0	PuO_2 a UO_2	kapalný sodík	žádný
Jiné	Rusko	4	0,05	obohacený UO_2	voda	grafit
Celkem		439	384,6			

Zdroj: Nuclear Engineering International Handbook 2007



Sklad čerstvých palivových článků

Známé a těžitelné zásoby uranu (2007)

	tuny U	% světových zásob
Australie	1,243,000	23 %
Kazachstán	817,000	15 %
Rusko	546,000	10 %
Jižní Afrika	435,000	8 %
Kanada	423,000	8 %
USA	342,000	6 %
Brazílie	278,000	5 %
Namibie	275,000	5 %
Niger	274,000	5 %
Ukrajina	200,000	4 %
Jordánsko	112,000	2 %
Uzbekistán	111,000	2 %
Indie	73,000	1 %
Čína	68,000	1 %
Mongolsko	62,000	1 %
další státy	210,000	4 %
World total	5,469,000	



Cena elektřiny z jádra je stabilní a předpověditelná

Podrobná studie publikovaná ve Finsku v r. 2000 prokázala, že jaderná elektrárna bude nejlevnějším řešením energetické situace Finska. Z uvažovaných možností (uhlí, plyn, kombinovaný cyklus, rašelina, jádro) má jaderná elektrárna nejvyšší náklady na výstavbu (až 3x

v porovnání s plynem), ale palivové náklady jsou velmi nízké a využitelnost v průběhu roku naopak velmi vysoká.

Zdvojnásobení ceny paliva se odrazí v ceně jaderné elektřiny jen 9 %, zatímco u uhlí 31 % a u plynu dokonce 66 %.

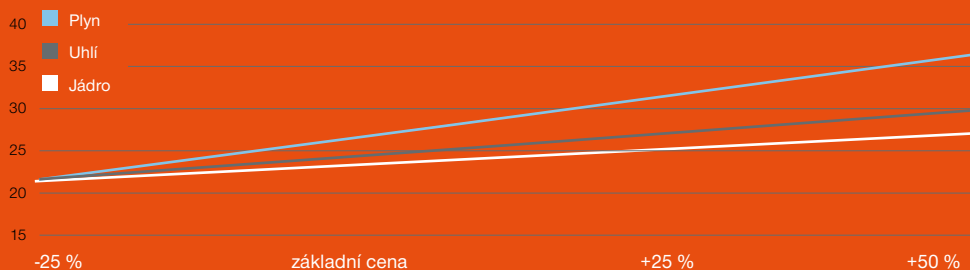
Předpověď výrobních nákladů na produkci elektřiny v r. 2010 při 5% diskontní sazbě (US centy/kWh)

	jádro	uhlí	plyn
Finsko	2,76	3,64	–
Francie	2,54	3,33	3,92
Německo	2,86	3,52	4,90
Švýcarsko	2,88	–	4,36
Nizozemí	3,58	–	6,04
Česká republika	2,30	2,94	4,97
Slovensko	3,13	4,78	5,59
Rumunsko	3,06	4,55	–
Japonsko	4,80	4,95	5,21
Korea	2,34	2,16	4,65
USA	3,01	2,71	4,67
Kanada	2,60	3,11	4,00

Uvažuje se 40letá životnost zařízení při 85% ročním využití.

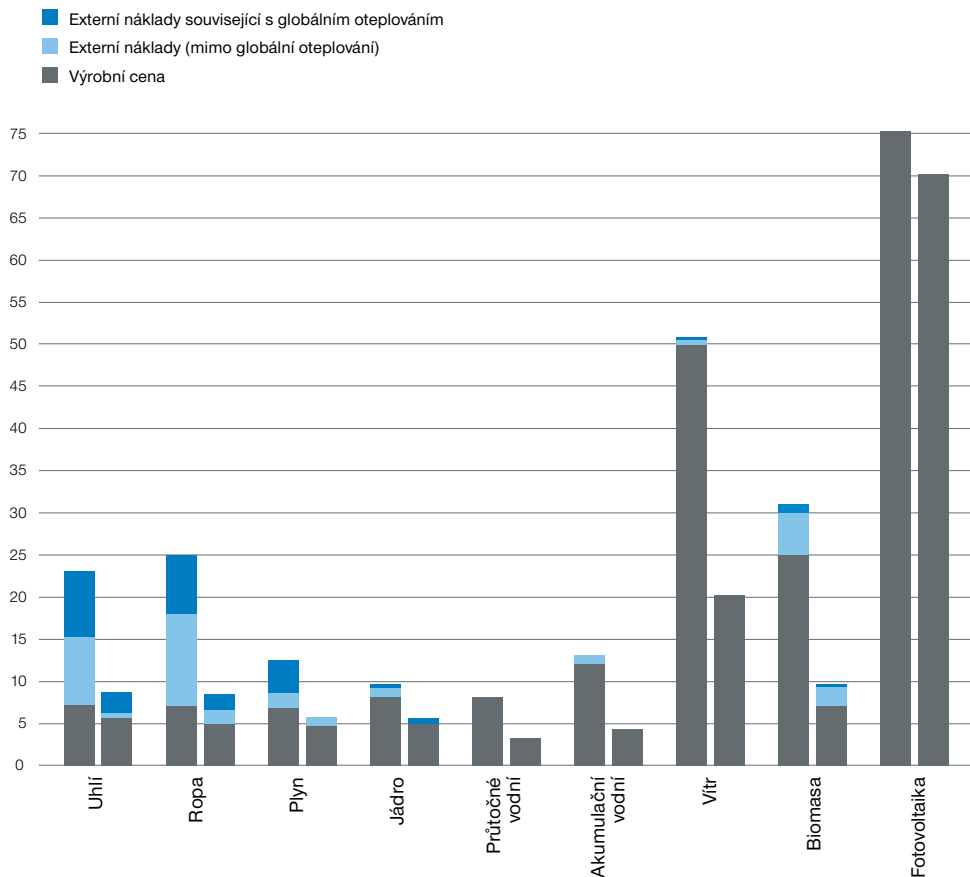
Zdroj: OECD/IEA NEA, 2005.

Vliv zvýšení ceny paliva na celkové náklady na výrobu elektřiny v r. 2002 (eur/MWh)



Zdroj: Studie TVO, Finsko, WNA, 2006

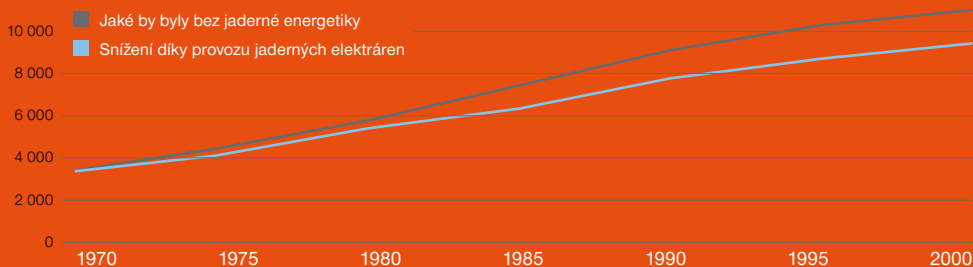
Výrobní a externí náklady na produkci elektřiny



Levý sloupec znázorňuje maximální odhadované náklady, pravý minimální

Zdroj: Studie Paul Scherrer Institut, Švýcarsko, 2002

Roční emise CO₂ v EU (miliony tun)



Zdroj: British Energy plc

Jaderná energetika a životní prostředí

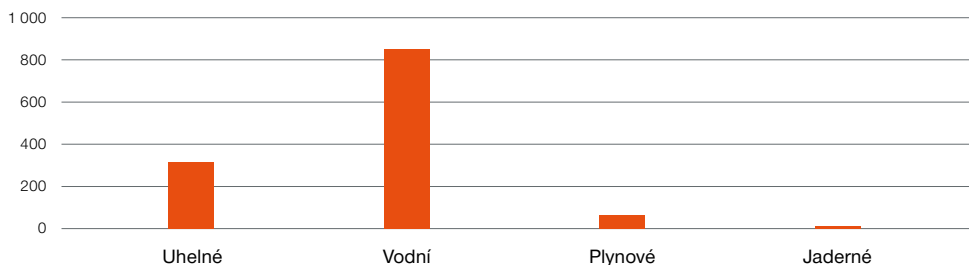
- Jaderná energetika je ekologicky čistým zdrojem – neprodukuje v podstatě žádné emise SO₂, NO_x ani CO₂ a jiných skleníkových plynů, nezpůsobuje kyselé deště, ani nepřispívá k tvorbě smogu.
- James Lowelock, světově známý ekolog a otec myšlenky Gaia – Země jako živého organismu, vyzval k masivnějšímu využití jaderné energetiky jako zdroje, který nepřispívá ke globálním klimatickým změnám. Stejně tak podpořil jadernou energetiku Patrik Moore, spoluzakladatel Greenpeace,

Hugh Montefiore, bývalý představitel Friends of Earth a ekolog Bruno Comby založil na podporu jaderné energetiky celosvětové sdružení Environmentalists for Nuclear.

- Jaderná energetika neprodukuje v podstatě žádné emise skleníkových plynů, Jaderné elektrárny v Evropské unii svým provozem ušetří ročně 500 milionů tun CO₂, v ČR 17 milionů tun CO₂.
- Bez jaderné energetiky by v Evropské unii stouply emise oxidu siřičitého o 100 % a oxidů dusíku o 95 %.

Nehody při výrobě energie

(počet úmrtí na TW výkonu za rok)



Zdroj: Paul Scherrer Institut, 1998. Severe Accidents in the Energy Sector.

Tento 400-stránkový report vydaný Swiss Federal Office of Energy, analyzoval data z 4290 havárií, které se udály ve světové energetice v letech 1969–1996.

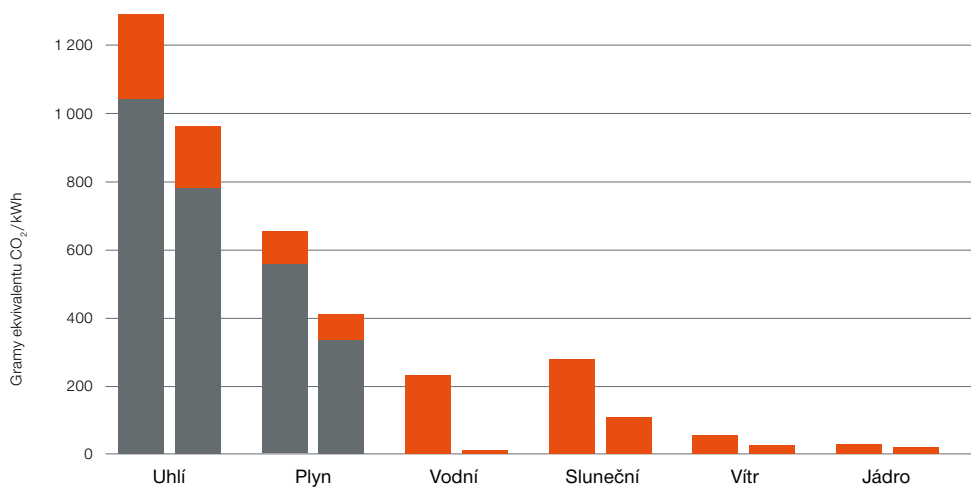
V uvedeném období bylo zaznamenáno přes 15 000 úmrtí vztahujících se k ropě a plynu, přes 8 000 vztahujících se k uhlí, 5 000 k vodní energetice. Údaje jsou přepočítány k množství vyrobené energie za rok z příslušného zdroje. Průměrně se vyskytne každý rok kolem 30 havárií s nejméně 100 úmrtími.



Emise skleníkových plynů z provozu různých energetických zdrojů

■ Přímé emise ze spalování

■ Nepřímé emise z ostatních částí životního cyklu elektrárny



Dvojitě sloupce znázorňují rozsah

Zdroj: IAEA, 2000



Sklad použitého paliva v Jaderné elektrárně Dukovany

Likvidace jaderných elektráren po ukončení provozu

Při vyřazování elektráren z provozu se používají dvě strategie – okamžité rozebrání, nebo dlouhodobé uzavření s následným rozmontováním. Tzv. entombment, tj. zakrytí, zalití betonem se užívá jen u malých experimentálních zařízení.

Výběr strategie závisí na tom, je-li k dispozici úložiště pro radioaktivní materiál, na ekonomických faktorech a na ohledu na zaměstnanost v regionu a event. ztrátu znalostí při dlouhodobém uzavření. Ve světě lehce převažuje koncepce okamžitého rozebrání.

Jaderné odpady

- Jaderná energetika je jediným energetickým odvětvím, které se plně a zodpovědně stará o své odpady a náklady na jejich likvidaci má předem započítány do ceny svého produktu.
- Množství radioaktivních odpadů je velmi malé ve srovnání s jinými odpady. Např. množství použitého paliva, které vyprodukovala Jaderná elektrárna Dukovany za 20 let svého provozu, by se vešlo do krychle o hraně 4 m.
- Použité jaderné palivo může být přepracováno a dále energeticky využito.
- Radioaktivita odpadů se s časem snižuje.
- Bezpečné metody hospodaření s odpady a jeho likvidace jsou technicky zvládnuté a odzkoušené. Většina zemí volí skladování a následné hlubinné uložení s možností dalšího budoucího využití.
- Přepracování použitého paliva na nové ušetří až 30 % čerstvého paliva. Přepracovací závody jsou ve Francii, Spojeném království, Rusku, Japonsku a Indii, jejich roční kapacita umožňuje zpracovat 4 000 t běžného použitého paliva. Dosud bylo přepracováno 90 000 t (z celkově vyprodukovaných 290 000 t) použitého paliva z komerčních reaktorů.

Rámcová materiálová rozvaha pro typický 1000 MW reaktor

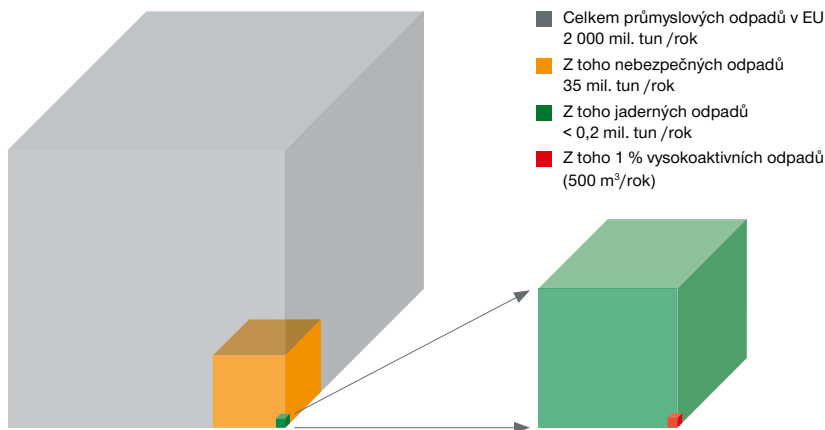
Dolování uranu	20 000 tun rudy s obsahem 1 % uranu
Zpracování uranu	230 tun koncentráту oxidu uraničitého UO_2 (195 t U)
Konverze uranu	288 tun hexafluoridu uranu UF_6 (195 t U)
Obohacování	35 tun UF_6 (s 24 t obohaceného U)
Výroba paliva	27 tun UO_2 (s 24 t obohaceného U)
Provoz reaktoru	8 640 millionů kWh (8,64 TWh) elektřiny při plném výkonu
Použité palivo	27 tun obsahujících 240 kg plutonia, 23 t uranu (0,8 % U-235), 720 kg štěpných produktů.

Poznámka: uvažuje se uranový koncentrát s 85 % U, obohacení na 4 % U-235, závážka aktivní zóny 72 t U, při výměně paliva nahrazení 24 t U/rok. Provoz: 45 000 MWd/tunu, 33% tepelná účinnost. Uranový koncentrát se někdy uvádí v U_3O_8 (směs oxidů uranu jak se přibližně vyskytují v přírodě. Čistý U_3O_8 obsahuje kolem 85 % kovového uranu).

Zdroj: World Nuclear Association, 2008

Odpady a Evropská unie

- Každoročně produkuje EU dvě miliardy tun odpadu všeho druhu, z čehož 35 milionů tun je klasifikováno jako „nebezpečný odpad“ (80 kg na osobu). Jedná se o pesticidy, asbest, těžké kovy, atd. Těžké kovy a jedy nikdy neztratí svou toxicitu, zatímco radioaktivita s časem klesá.
- EU produkuje 40 000 m³ radioaktivních odpadů ročně (= 0,00013 m³ na osobu, tj. 0,13 litru na osobu nebo 9,75 litrů za celý (75letý) život).
- Méně než 1% z toho jsou vysokoaktivní odpady ve formě zbytků po přepracování použitého jaderného paliva. Objemy odpadů se průběžně snižují tím, jak se uvádějí do provozu stále dokonalejší technologie.
- Většina radioaktivních odpadů (90 %) jsou nízkoaktivní (papír, nářadí, látky, filtry apod.). Ty se ukládají ve speciálních úložištích na povrchu nebo pod povrchem země.



W watt, jednotka výkonu
 Wh watthodina, jednotka práce
 J joule, jednotka práce
 k kilo, 10³
 M mega, 10⁶
 G giga, 10⁹
 T tera, 10¹²

E exa, 10¹⁸
 LWR lehkododní reaktor
 PWR, VVER tlakovodní reaktor
 BWR varný reaktor
 GCR, AGR reaktor chlazený plynem
 RBMK grafitový reaktor užívaný v Rusku
 FBR rychlý reaktor

Státy provozující jaderné elektrárny v Evropě a rozmístění jaderných reaktorů

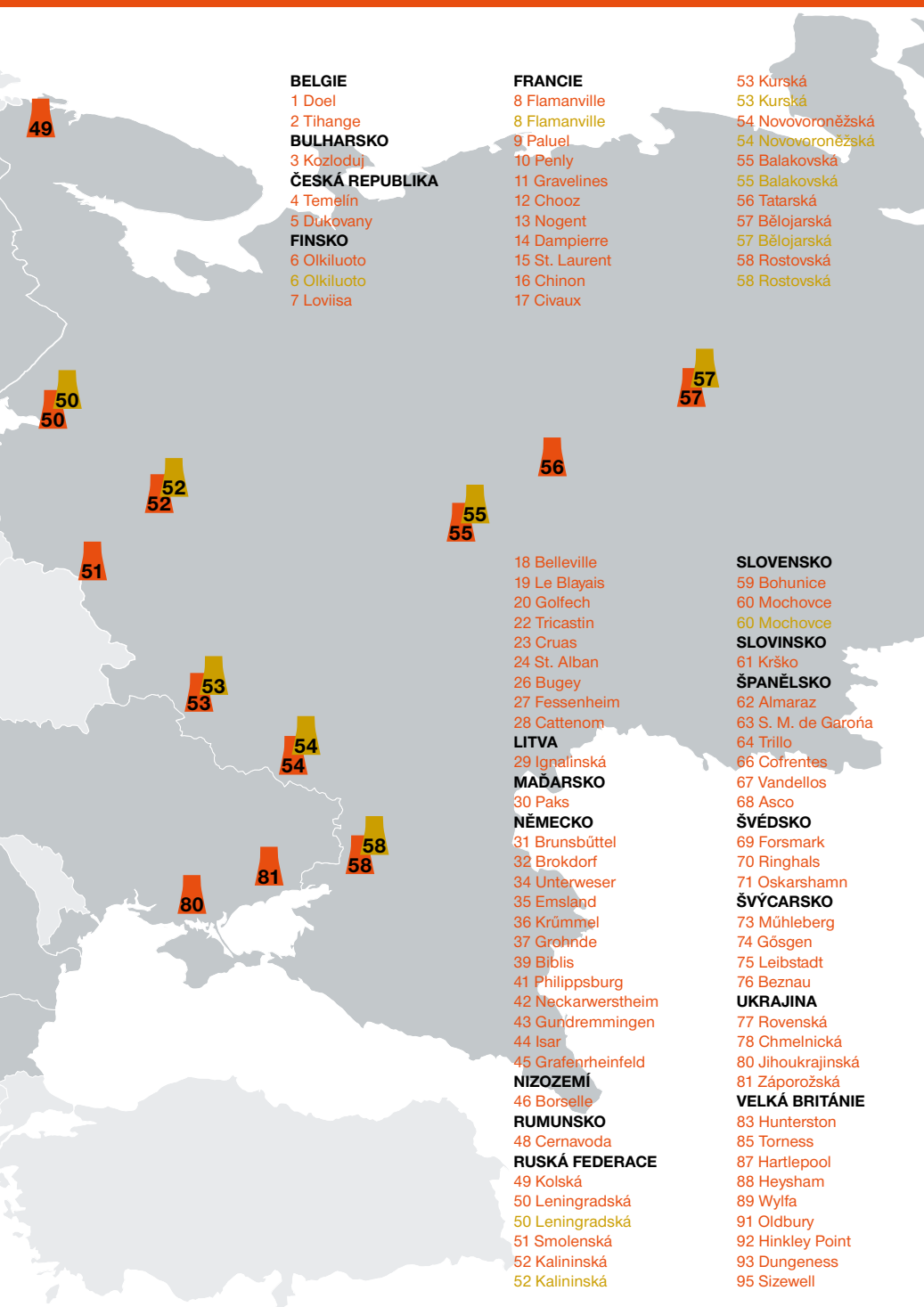


Reaktory v provozu



Reaktory ve výstavbě





BELGIE

- 1 Doel
- 2 Tihange

BULHARSKO

- 3 Kozloduj

ČESKÁ REPUBLIKA

- 4 Temelín
- 5 Dukovany

FINSKO

- 6 Olkiluoto
- 6 Olkiluoto
- 7 Loviisa

FRANCIE

- 8 Flamanville
- 8 Flamanville
- 9 Paluel
- 10 Penly
- 11 Gravelines
- 12 Chooz
- 13 Nogent
- 14 Dampierre
- 15 St. Laurent
- 16 Chinon
- 17 Civaux

53 Kurská

- 53 Kurská
- 54 Novovoronežská
- 54 Novovoronežská
- 55 Balakovská
- 55 Balakovská
- 56 Tatarská
- 57 Bělojarská
- 57 Bělojarská
- 58 Rostovská
- 58 Rostovská

18 Belleville

- 19 Le Blayais
- 20 Golfech
- 22 Tricastin
- 23 Cruas
- 24 St. Alban
- 26 Bugey
- 27 Fessenheim
- 28 Cattenom

LITVA

- 29 Ignalinská

MAĎARSKO

- 30 Paks

NĚMECKO

- 31 Brunsbüttel
- 32 Brokdorf
- 34 Unterweser
- 35 Emsland
- 36 Krümmel
- 37 Grohnde
- 39 Biblis
- 41 Philippsburg
- 42 Neckarwerstheim
- 43 Gundremmingen
- 44 Isar
- 45 Grafenrheinfeld

NIZOZEMÍ

- 46 Borselle

RUMUNSKO

- 48 Cernavoda

RUSKÁ FEDERACE

- 49 Kolská
- 50 Leningradská
- 50 Leningradská
- 51 Smolenská
- 52 Kalininská
- 52 Kalininská

SLOVENSKO

- 59 Bohunice
- 60 Mochovce
- 60 Mochovce

SLOVINSKO

- 61 Krško

ŠPANĚLSKO

- 62 Almaraz
- 63 S. M. de Garoña
- 64 Trillo

ŠVÉDSKO

- 66 Coferentes
- 67 Vandellós
- 68 Asco
- 69 Forsmark
- 70 Ringhals
- 71 Oskarshamn

ŠVÝCARSKO

- 73 Mühleberg
- 74 Gösgen
- 75 Leibstadt
- 76 Beznau

UKRAJINA

- 77 Rovenská
- 78 Chmelnická
- 80 Jihoúkraininská
- 81 Záporožská

VELKÁ BRITÁNIE

- 83 Hunterston
- 85 Torness
- 87 Hartlepool
- 88 Heysham
- 89 Wylfa
- 91 Oldbury
- 92 Hinkley Point
- 93 Dungeness
- 95 Sizewell

ČEZ, a. s.
Duhová 2/1444
140 53 Praha 4
tel.: 211 041 111
cez@cez.cz
www.cez.cz