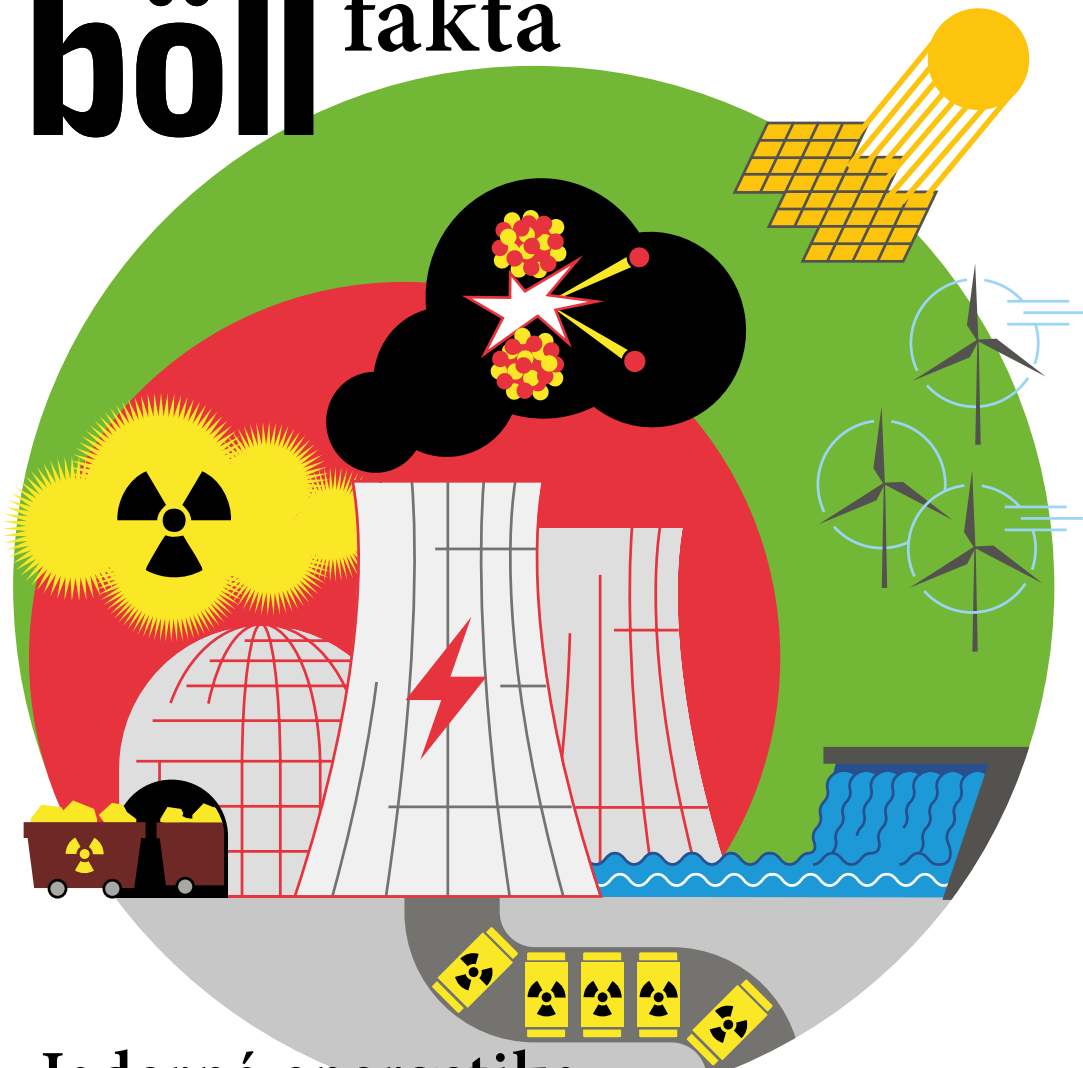


böll fakta



Jaderná energetika
Fungování a rizika kontroverzní
technologie

Autoři a autorky

Dr. Matthias Englert

Anke Herold

Dr. Anna Kopp

Julia Mareike Neles

Dr. Christoph Pistner

Öko-Institut e.V.

České vydání:

Redakce: Žaneta Jansa Gregorová

Překlad: Zuzana Ďásek Schwarzová

Sazba: Petra Komárková

ISBN: 978-80-88289-57-9

Böll Fakta: Jaderná energetika.

Fungování a rizika kontroverzní
technologie. 2025

Kontakt

info@oeko.de

www.oeko.de

Obchodní oddělení Freiburg

Postfach 17 71

79017 Freiburg

Adresa

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg

Telefon +49 761 45295-0

Kancelář Berlín

Borkumstraße 2

13189 Berlin

Telefon +49 30 405085-0

Kancelář Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt

Telefon +49 6151 8191-0

Sledujte i vydávání našich dalších publikací
na stránce <https://cz.boell.org/cs>

Přihlaste se i k odběru newsletteru.

O tištěnou verzi napište na info@cz.boell.org



@cz.boell.org

14 faktů o jaderné energii

- 1 Jak funguje jaderná elektrárna?
- 2 Jak jaderná energetika přispívá k výrobě elektrické energie?
- 3 Je jaderná energie spolehlivá a důležitá pro zabezpečení dodávek elektřiny?
- 4 Jaká závislost vzniká využíváním jaderné energie?
- 5 Jak vysoké jsou stavební náklady jaderných elektráren?
- 6 Je energie z jádra výhodná?
- 7 Jsou jaderné elektrárny bezpečné?
- 8 Přispívá jaderná energetika k šíření jaderných zbraní?
- 9 Kolik jaderného odpadu vzniká využíváním jaderné energie?
- 10 Jaké výzvy se pojí s konečným uložením vysoce radioaktivního jaderného odpadu?
- 11 Mohou alternativní reaktory otevřít nové perspektivy pro atomovou energetiku?
- 12 Je jaderná energetika udržitelná?
- 13 Lze dosáhnout klimatických cílů bez rozšíření jaderné energetiky?
- 14 Podporuje atomová energetika přechod na klimaticky neutrální energetickou soustavu?

Předmluva

Jaderná energie polarizuje společnost od počátku svého využívání. Co nejprve působí slibně – velké množství energie uvolněné jaderným štěpením –, v sobě skrývá velké riziko a masivně ničí životní prostředí. Téma zůstává v Německu aktuální i po ukončení výroby energie z jádra. Energetická krize a hledání efektivních strategií na ochranu klimatu opět oživily politickou debatu o jaderné energetice.

Náš přehled faktů ukazuje, že ochrana klimatu je možná i bez jaderné energie. Obnovitelné zdroje nejsou jen bezpečnější a udržitelnější, ale také hospodárnější.

Přání dodávat energii bez využívání jádra určovalo podobu ekologických hnutí a je nerozlučně spjata s historií strany Zelených. Boj proti jaderné energetice však nikdy nebyl pouze kritikou jejích rizik a dopadů na životní prostředí – jedná se také o zásadní otázky moci lobbistů, demokratické participace a spravedlivějšího zásobování elektrickou energií. Přechod od velkých fosilních a jaderných elektráren k decentrální výrobě energie z obnovitelných zdrojů dělá z výroby elektrické energie společenský projekt. Vyřazení jaderné energie představuje velký úspěch hnutí protestujících proti jádru, dějiny jaderné energie tím však nekončí. Na Německo teď čeká úkol bezpečně uložit téměř 650 000 metrů krychlových radioaktivního odpadu a odpovědně rozebrat uzavřené jaderné elektrárny. I proto zůstává jaderná energetika aktuálním tématem, které se dotýká nás všech.

Zapojování občanské společnosti, jež má zajistit spravedlivé, finančně dostupné a udržitelné zásobování elektrickou energií, si žádá odborné vědomosti. Touto brožurou z řady Böll.Fakten chceme přispět k lepšímu porozumění fungování a rizikům jaderné energetiky a ukázat, jaký pozitivní dopad má opuštění jaderné energie pro ekonomiku a ekologii.

Anna Brehm
referentka pro ekologii, Heinrich-Böll-Stiftung

V České republice je situace jiná. Aktuálně ČEZ podepsal smlouvu k výstavbě nových bloků jaderné elektrárny Dukovany. Tím ale naše jaderné plány nekončí, v místech dosluhujících uhelných elektráren má být dokonce budována komerčně ještě neexistující technologie malých modulárních reaktorů. V době klimatické krize Česko zůstalo pozadu při budování obnovitelných zdrojů a vsadilo na technologii, která při odstupu od uhlí pomoci nestihne.

Konečně se však daří dostávat k veřejnosti informace o skutečných finančních nákladech i realistických termínech dokončení nových reaktorů. Úplná dovozní závislost (v případě Dukovan z Ruska) nebo nevyřešení úložiště odpadu, které ve svém katastru obce nechtějí, to jsou debaty, které naši společnost ještě čekají. Ze strany politické reprezentace i pověřených institucí se obavy a rizika spojená s jádrem často bagatelizují. Skutečná fakta o jaderné energetice by v takové debatě chybět neměla.

Žaneta Jansa Gregorová

manažerka pro klima a energetiku, Heinrich-Böll-Stiftung Praha, listopad 2025

Jaderné elektrárny vyrábějí energii kontrolovaným jaderným štěpením, ale vzniká také velké množství nebezpečných radioaktivních látek.

Náš svět se skládá z chemických prvků. Nejmenší stavební jednotky těchto prvků jsou atomy. Jádra atomů sestávají z elektricky pozitivně nabitých protonů a neutrálních neutronů. Pokud jádro atomu s mnoha protony a neutrony, jako je tomu u uranu, zachytí další neutron, může se rozpadnout. Vzniknou dvě či více lehčích jader, takzvané štěpné produkty. Při tom se navíc uvolní dva až tři neutrony a velké množství energie. Uvolněné neutrony mohou vyvolat další štěpení. Dochází k řetězové reakci.

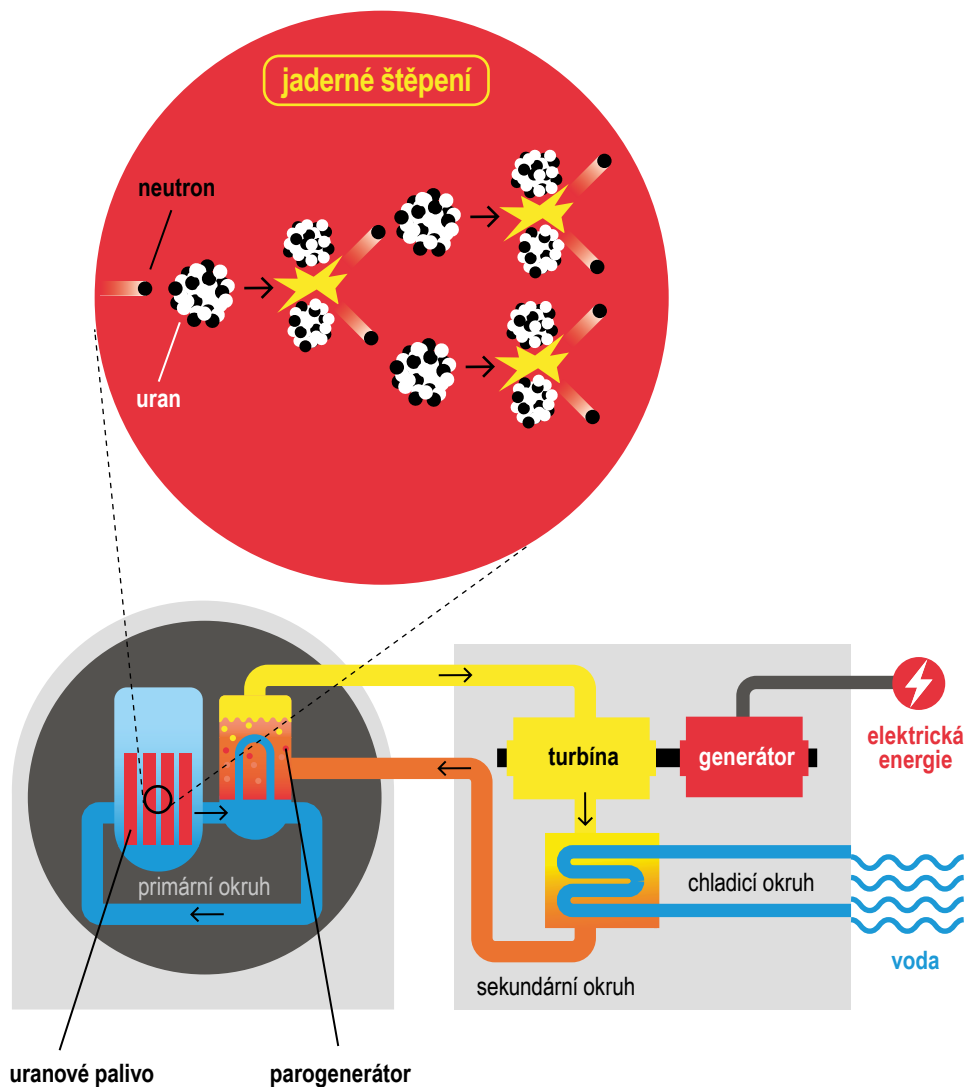
V jaderných zbraních dochází k tomuto řetězovému štěpení nekontrolovaně, takže se za krátkou dobu explozivně uvolní extrémní množství energie. V jaderných elektrárnách je naproti tomu řetězová reakce běžně kontrolovaná, aby se uvolňovalo rovnoměrné množství energie.

Při jaderném štěpení se většina energie uvolňuje v podobě tepla. Teplo v jaderné elektrárně silně rozechřívá palivo z uranu. Palivo je proto nutné chladit, k čemuž se

typicky používá voda z řek nebo moře. Část vody se buď odpaří přímo při chlazení (ve varném reaktoru), nebo předá teplo parogenerátorem do sekundárního chladicího okruhu (v tlakovodním reaktoru). Vznikající pára se odvádí do turbíny, která pohání generátor pro výrobu elektrické energie. Jaderné elektrárny se dnes celosvětově používají téměř výhradně na výrobu elektrické energie. Zřídka se vznikající teplo využívá také přímo na dodávky tepla pro průmysl či domácnosti.

Kromě jaderné elektrárny jsou pro výrobu elektřiny z jaderné energie zapotřebí doly na těžbu uranu, zařízení pro přípravu a obohacování uranu a na výrobu paliva a v neposlední řadě bezpečné úložiště vznikajícího radioaktivního odpadu.

Tlakovodní reaktor a řetězová jaderná reakce



Fakt 2 Jak jaderná energetika přispívá k výrobě elektrické energie?

Jaderná energetika celosvětově vyrábí pouze 9 % elektrické energie a její význam bude v následujících letech ještě více klesat.

Celosvětově se v roce 2023 vyrobilo z jádra pouze 9 % elektrické energie. Od roku 1996, kdy byl podíl nejvyšší a činil 17 %, procento stále klesá.¹ Pro srovnání, obnovitelné zdroje energie v roce 2023 dodávaly už třetinu globální elektrické energie a jejich podíl neustále roste.² Pouze 34 států provozuje jaderné elektrárny.³ A zatímco do jaderné energetiky se v roce 2023 investovalo 23 miliard dolarů, do obnovitelných zdrojů bylo vloženo 27krát více – 625 miliard dolarů.⁴

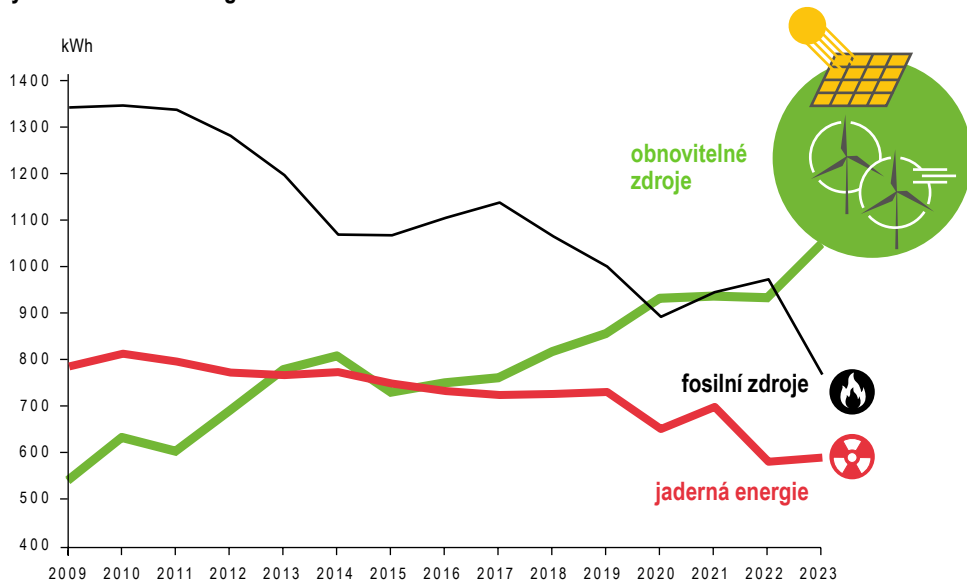
V EU provozuje jaderné elektrárny pouze 12 z 27 členských států. Vrcholem výroby energie z jádra byl v EU rok 2004. Od té doby podíl poklesl na 24 % z celkové vyrobené elektrické energie.⁵ Obnovitelné zdroje energie už jadernou energii dávno předehrnaly a v současnosti poskytují 44 % elektřiny v Evropě – a stále rostou.

Německo vypnulo v roce 2023 poslední tři jaderné elektrárny a muselo nahradit přibližně 30 terawatthodin (TWh) elektrické

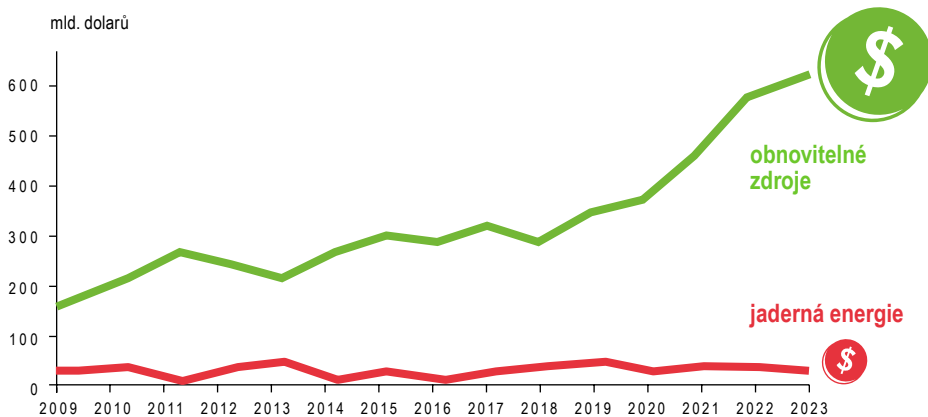
energie.⁶ Avšak obnovitelné zdroje dodaly již následující rok dalších 32 TWh elektřiny – což je víc než manko způsobené výpadkem jaderných elektráren. V roce po odklonu Německa od jaderné energie se o 36 % snížila také energie z uhlí.⁷ Obávaná závislost na zahraničním dovozu elektrické energie však nenastala: Německo dovezlo asi jen 2 % elektřiny netto,⁸ především z Dánska, Norska a Švédska, kde byla elektřina z obnovitelných zdrojů výhodnější než domácí elektřina vyrobená z uhlí a zemního plynu.⁹

Itálie a Litva ukončily výrobu z jádra podobně jako Německo; Belgie a Španělsko odklon od jádra plánovaly. Ve Švédsku a Nizozemsku pravicové vlády plánovaný odklon od jádra zastavily a chtějí postavit nové jaderné elektrárny. Polsko chce s jadernou energetikou začít. Přesto se trend posouvá jednoznačně ve prospěch obnovitelných zdrojů, role jaderné energetiky klesá.

Výroba elektrické energie v EU



Globální investice do obnovitelných zdrojů a jaderné energie



Fakt 3

Je jaderná energie spolehlivá a důležitá pro zabezpečení dodávek elektřiny?

Jaderné elektrárny ohrožují energetickou bezpečnost, protože jak stárnou, často jsou mimo provoz a kvůli klimatické změně hrozí další výpadky.

Jaderné elektrárny stárnou: v celosvětovém průměru jim je 32 let, některým dokonce přes 50.¹⁰ S přibývajícím věkem se snižuje jejich spolehlivost – a tím i zabezpečení dodávek elektřiny. Projevilo se to zejména ve Francii. V roce 2022 byla každá z 56 francouzských jaderných elektráren v přepočtu 152 dní mimo provoz – to znamená, že každá jaderná elektrárna vypadla na víc než 40 % roku.¹¹ Dokonce i 12 nejnovějších a největších jaderných elektráren muselo být nečekaně vypnuto kvůli nalezeným trhlinám. Dvacet reaktorů bylo odstaveno kvůli údržbě. V létě se musel snížit výkon dalších jaderných elektráren kvůli nedostatku chladicí vody.

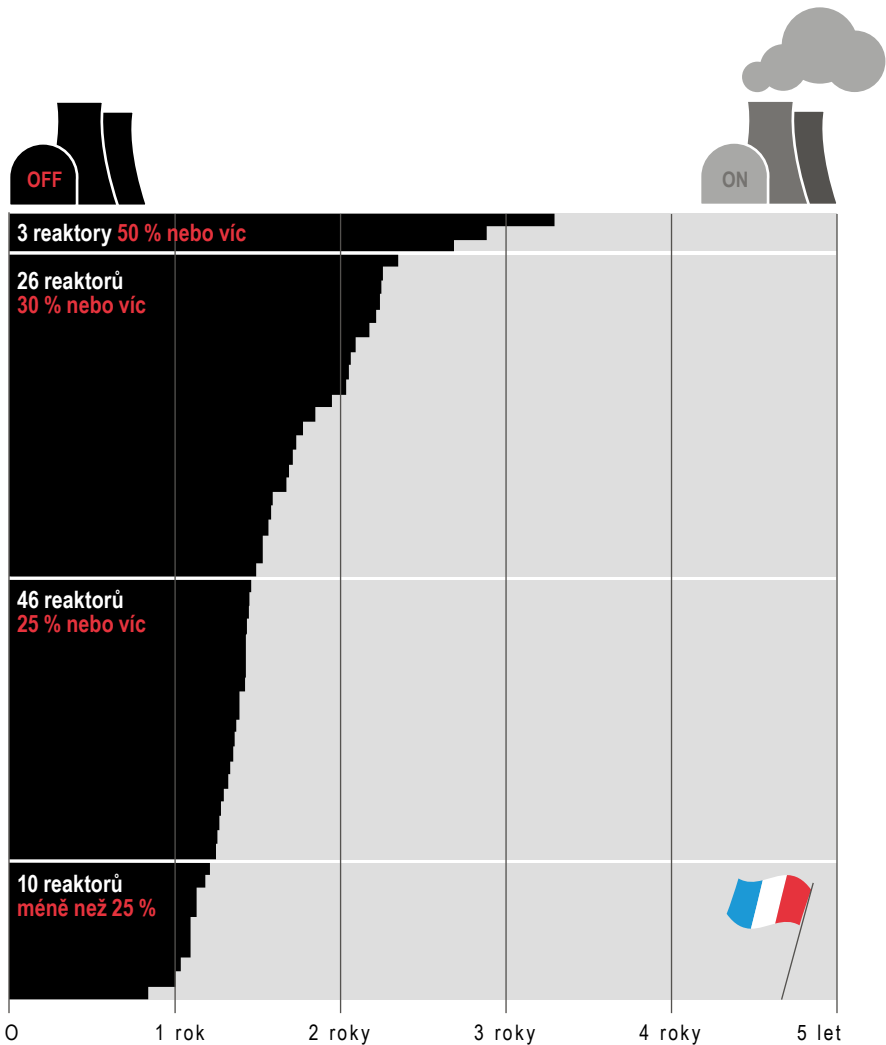
Kvůli výpadkům reaktorů bylo vyrobeno přibližně o čtvrtinu méně elektřiny z jádra než v předešlém roce.^{12,13} Výpadky bylo nutné nahradit dovozem elektrické energie, což výrazně přispělo k nárůstu cen energií v Evropě. Německo proto v roce 2022 vyvezlo do Francie 15 terawatthodin. Podíl uhlí na výrobě elektrické energie v Německu tím vzrostl o 10 %. Nejistota fran-

couzské výroby ale není nic nového. V roce 2020 byly reaktory v nečinnosti v průměru 115 dní, v roce 2023 127 dní.¹⁴

Ve Francii se také ukázalo, jak spolehlivost jaderných elektráren ovlivňuje klimatická změna. Při suchu a horku je produkce nižší nebo dochází k výpadkům, protože je k dispozici méně nebo vůbec žádná chladicí voda. Jaderné elektrárny u řek jsou stále častěji ohrožovány povodněmi historických rozměrů. Při tom mohou reaktory poškodit sutiny a trosky. Jaderné elektrárny na pobřeží jsou vystavovány silnějším bouřím s extrémním stavem vody a ohrožuje je také stoupající hladina moří.

Rizika pro energetickou bezpečnost ukazují také nehody jako v japonské Fukušimě. Před nehodou japonské jaderné elektrárny vyráběly 30 % elektrické energie, do roku 2015 klesl jejich podíl téměř na nulu. Více než deset let po nehodě zůstává v Japonsku výroba energie z jádra i nadále na velmi nízké úrovni.¹⁵

Nedostupnost francouzských jaderných elektráren
ročně v procentech doby, 2019–2023



Využíváním jaderné energie vzniká silná závislost evropských států na Rusku.

Rusko cíleně vytvořilo strategickou závislost evropských států v oblasti jaderné energie. Ta je tak silná, že atomová energetika zůstává vyňata ze sankcí, i po mnoha evropských balíčcích sankcí namířených proti Rusku.

Závislost začíná už těžbou uranu. V roce 2023 dovezla EU 23 % uranu z Ruska. Podobné množství přišlo z Kazachstánu,¹⁶ kde však 22 % produkce uranu patří ruským firmám.¹⁷ Než je možné uran použít, je nutné ho obohatit. Ruský státní koncern Rosatom dodal v roce 2023 evropským zásobitelům 38 % objemu obohacování. Také do USA dodalo Rusko čtvrtinu obohaceného uranu.

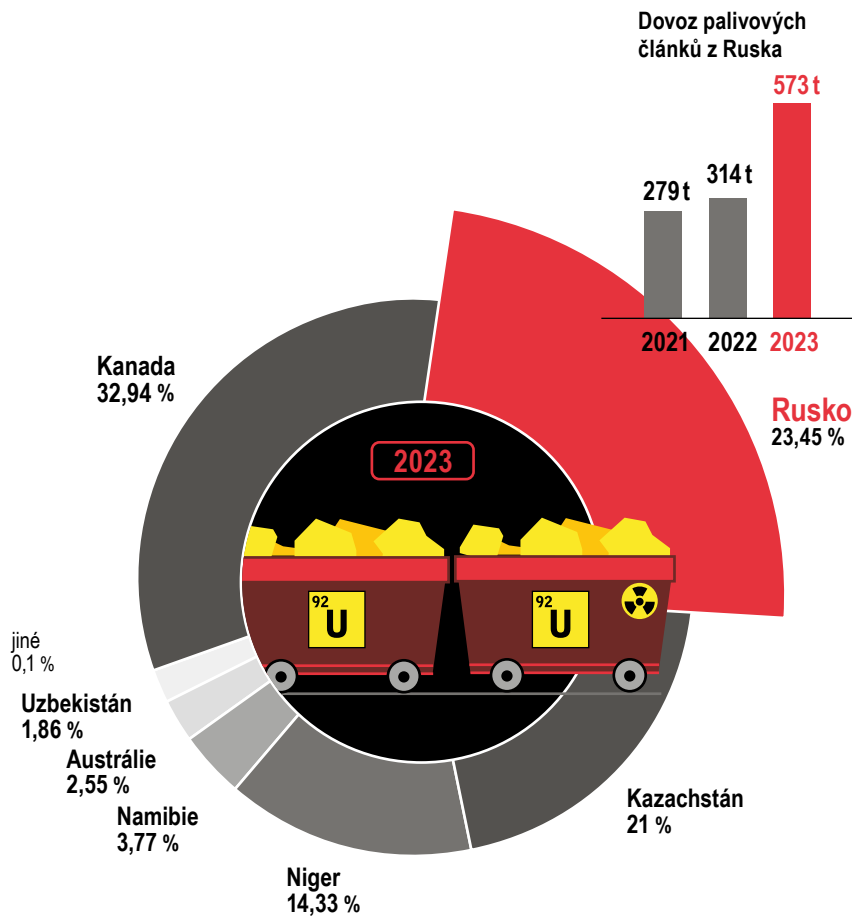
Evropská závislost je však nejvýraznější u výroby palivových článků. Rusko dodává palivové články pro 19 jaderných elektráren postavených podle ruského vzoru v Bulharsku, Finsku, Rumunsku, na Slovensku, v České republice a v Maďarsku. Velká část těchto jaderných elektráren je plně závislá

na ruských palivových článcích.¹⁸ Vytvoření patřičných výrobních kapacit v západních zemích bude trvat alespoň šest let.¹⁹ Rosatom v některých středoevropských a východoevropských zemích poskytuje také údržbu a zásobování náhradními díly.

Ani západoevropské jaderné elektrárny však nejsou nezávislé. Francouzský jaderný koncern Areva spolupracuje s ruskou firmou TVEL na dodávkách palivových článků pro jaderné elektrárny v západní Evropě.²⁰ Ještě v prosinci 2021 francouzský koncern Framatome podepsal dohodu o strategické spolupráci s Rosatomem.²¹

Rosatom je jediná společnost, která staví nové jaderné elektrárny v jiných zemích (např. v Egyptě, Bangladéši, Číně, Iránu, Indii, Turecku nebo na Slovensku),²² což nadále zvyšuje vliv a potenciální ohrožení ze strany Ruska.

Původ dodávaného uranu



Fakt 5 Jak vysoké jsou stavební náklady jaderných elektráren?

Nová výstavba jaderných elektráren je tak drahá a riskantní, že soukromé energetické firmy v Evropě nemohou poskytnout tak vysoké investice.

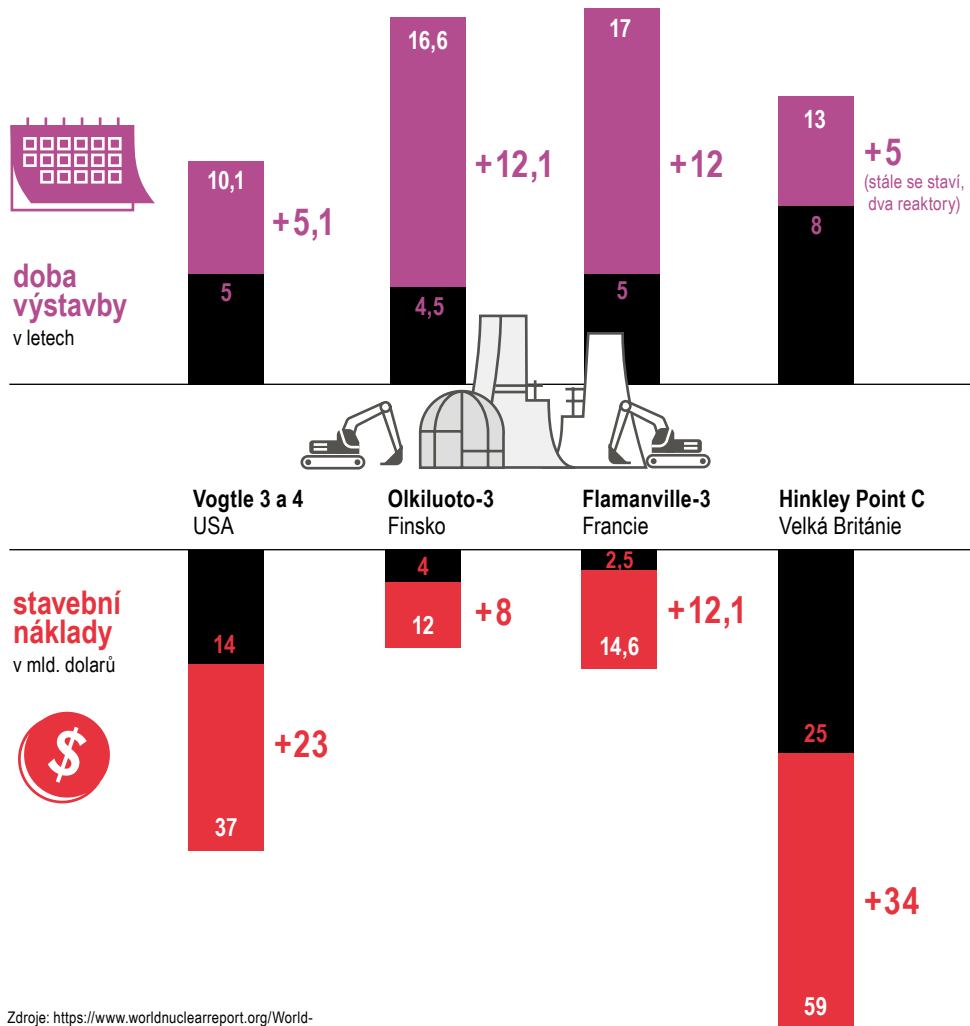
V mnoha zemích světa patří nové jaderné elektrárny k vůbec nejdražším stavebním projektům. Náklady na výstavbu nového reaktoru se v posledních letech pohybovaly mezi 12 a 30 miliardami dolarů. Všechny stavební projekty nových jaderných elektráren v západních zemích v tomto století masivně překročily plánovanou dobu výstavby i plánované stavební náklady.

V USA byly v letech 2023 a 2024 nově připojeny k síti dvě jaderné elektrárny, jejich výstavba začala v roce 2013. Stavební náklady vystoupaly z původně plánovaných 14 miliard dolarů na téměř 37 miliard, tedy o 260 %. U evropského největšího reaktoru ve Finsku vzrostly náklady z plánovaných necelých 4 miliard dolarů na více než 12 miliard a jaderná elektrárna byla k síti připojena teprve v roce 2023, po 17 letech stavby.^{23,24} Ve Francii se stavební náklady na novou jadernou elektrárnu ve Flamanville z roku 2001 zmnohonásobily z původně odhadovaných 2,5 miliard dolarů na současných minimálně 14,6 miliard.²⁵ Teprve po 17 letech, na rozdíl od původně pláno-

vaných pěti let, byl v roce 2023 zahájen zkušební provoz.²⁶ Také náklady na novou jadernou elektrárnu Hinkley Point C ve Velké Británii se dvěma reaktory vystoupaly z původních 25 miliard dolarů na 59 miliard (odhad z roku 2024).²⁷ Zahájení provozu se plánovalo na období 2025–2027, v současnosti se posunulo na roky 2029–2031.²⁸

Pokud srovnáme nesmírné stavební náklady s investičními možnostmi německých dodavatelů energií, ukáže se, jak je zde nová výstavba jaderných elektráren nerealistická. Například EnBW, jeden z největších německých dodavatelů energie, plánuje na období 2024–2030 investice ve výši 40 miliard eur do mnoha energetických projektů.²⁹ Financování jedné nebo dvou jaderných elektráren by pohltilo veškeré investiční prostředky. Pro firmu i její věřitele by to bylo příliš riskantní. Bez státního poskytovatele elektrické energie, monopolních struktur a masivních státních dotací je výstavba nových jaderných elektráren prakticky nemožná.

Trvání a náklady výstavby nedávných projektů jaderných elektráren plánované (černě) a reálné hodnoty



Elektrická energie z jádra představuje jednu z nejdražších výrob elektrické energie a postupně se zdražuje.

Elektřina z jádra byla a je jednou z nejdražších druhů výroby elektrické energie a v průběhu doby zdražuje, místo aby zlevňovala.³⁰ U nákladů na elektrickou energii se zohledňují veškeré náklady elektrárny, tedy stavební náklady včetně finančních nákladů, provozních nákladů a nákladů na palivo ve vztahu k vyprodukované elektrické energii. V roce 2024 stála jedna megawathodina (MWh) elektřiny z nové jaderné elektrárny přibližně 182 dolarů, z větrné energie 50 dolarů a ze solární energie 61 dolarů.³¹ Tím je energie z jádra asi třikrát dražší než elektřina z obnovitelných zdrojů. Také zohledníme-li dodatečné náklady na potřebné baterie, je například elektřina z fotovoltaiky stále ještě výrazně levnější než energie z jádra.³² Náklady na elektřinu z větrné a solární energie klesly za posledních 15 let o 62, resp. 83 %, zatímco elektřina z nových jaderných elektráren téměř o polovinu zdražila.³³

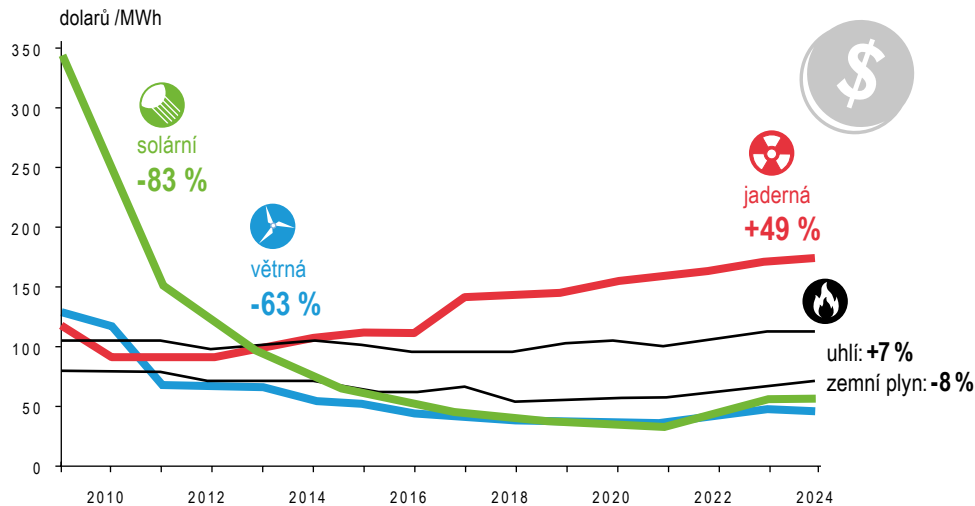
Drahá není jen nová výstavba, ale také prodlužování životnosti stávajících jader-

ných elektráren, protože přicházejí další investice do bezpečnosti. V Belgii byla v roce 2022 v reakci na energetickou krizi v Evropě prodloužena životnost dvou reaktorů o deset let. Belgický stát se musel stát 50% vlastníkem a do budoucna ponese polovinu ztrát. Byla sjednána garantovaná cena energie 81 eur za MWh – průměrná cena na burze v Belgii byla v roce 2024 68 eur za MWh. Rozdíl nyní musí zaplatit belgický stát, resp. daňoví poplatníci.^{34,35}

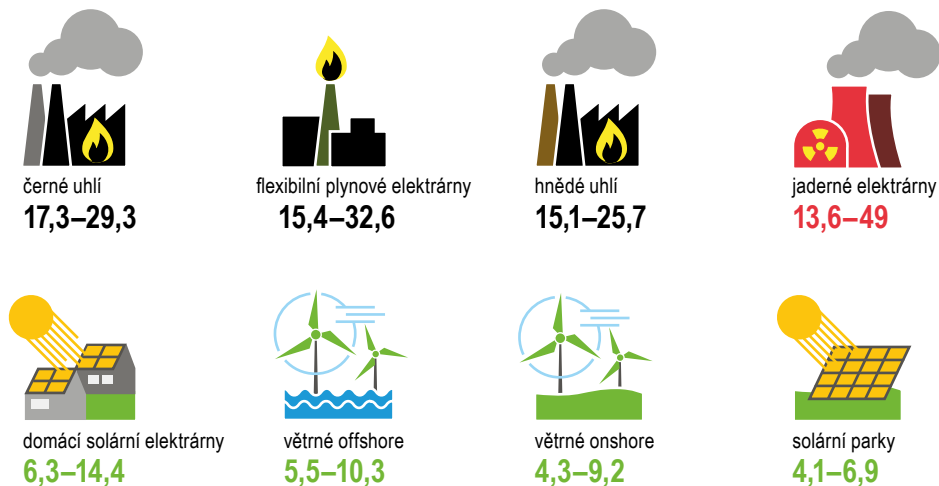
Často se navíc přehlíží náklady na demontáž jaderných elektráren a konečné uložení jaderného odpadu, protože připadají až na pozdější dobu. V roce 2014 se náklady na odklizení německého jaderného odpadu odhadovaly na celkových téměř 49 miliard eur.³⁶

U jaderných elektráren v neposlední řadě hrozí také závažná nehoda. Potenciální náklady by byly tak vysoké, že jsou téměř nepojistitelné.

Vývoj průměrných nákladů na elektrickou energii podle technologií



Náklady na pořízení elektrické energie v roce 2023 (eurocentů/kWh)



Fakt 7 Jsou jaderné elektrárny bezpečné?

Jaderná energie skrývá značná bezpečnostní rizika. Při nehodách se může uvolnit velké množství radioaktivních látek, které ohrožují člověka i životní prostředí.

Při jaderném štěpení vzniká velké množství štěpných produktů. Navíc se část uranu přeměňuje na těžší prvky jako plutonium, které jsou rovněž radioaktivní. V jaderné elektrárně se proto vyskytuje velké množství radioaktivních látek. Jakmile se uvolní, ohrožují člověka i životní prostředí.

V reaktoru současně vzniká velké teplo. Dokonce i pokud je reaktor vypnutý, radioaktivní rozpad vytváří nadále teplo. Reaktor je proto nutné trvale ochlazovat. K tomu jsou zde bezpečnostní systémy. Aby fungovaly, je nutné je neustále zásobovat elektřinou a vodou.³⁷

V jaderných elektrárnách může dojít ke katastrofálním nehodám.³⁸ Pokud se řetězová reakce vymkne kontrole, rychle vznikne velké množství tepla. To se stalo v roce 1986 v jaderné elektrárně Černobyl.³⁹ Bezpečnostní systémy mohou mít výpadek působením vnějších vlivů, jako je zemětřesení nebo záplavy. To se stalo v roce 2011 v jaderné elektrárně Fukušima.⁴⁰ Spouštěčem

nehod může být mnoho dalších důvodů: vnitřní příčiny jako požár nebo lidská chyba, ale také teroristické nebo vojenské útoky. Obzvláště nebezpečná je proto situace v ukrajinské Záporožské jaderné elektrárně, jež se nachází uprostřed válečné oblasti.⁴¹ Žádná jaderná elektrárna na světě nedokáže odolat cílenému vojenskému útoku.

V důsledku katastrofálních nehod jsou rozsáhlé oblasti neobyvatelné nebo neobdělávatelné. Po katastrofě v Černobylu a Fukušimě musely statisíce lidí opustit svůj domov. Ekonomické náklady se mohou vyšplhat na několik set až tisíc miliard eur.⁴² Takové náklady nelze pokrýt pojištěním, a musí je tudíž nést stát a společnost.

Nehody na jaderných zařízeních (výběr)

(pouze nehody závažnosti INES 5, 6 a 7)

29. 9. 1957 Majak, SSSR

exploze v nádrži na přepracování jaderného paliva, kontaminace velké plochy půdy

7.–12. 10. 1957 Windscale, VB

požár v grafitovém reaktoru na výrobu plutonia pro jaderné zbraně

26. 7. 1959 Simi Valley, USA

částečné roztavení jádra reaktoru v sodíkem chlazeném rychlém množivém reaktoru

1969 Lucens, Švýcarsko

reaktor není kvůli korozi dostatečně chlazený, částečné roztavení jádra reaktoru

1977 Bělojarsk, SSSR

nehoda, při níž se roztavila polovina palivových kanálů reaktoru

28. 3. 1979 Three Mile Island, USA

částečné roztavení jádra reaktoru

26. 4. 1986 Černobyl, SSSR

explozivní jaderná zkáza s následným požárem grafitu

11. 3. 2011 Fukušima, Japonsko

několik explozí po přehřátí palivových článků, když byly následkem tsunami přerušeny chladicí systémy

1950



Majak Windscale Simi Valley

1960



Lucens

1970



Bělojarsk Three Mile Island

1980



Černobyl

1990

2000

2010



Fukušima

2020

Fakt 8

Přispívá jaderná energetika k šíření jaderných zbraní?

Jaderná energetika skrývá značná rizika, protože materiál a technologie lze využít jak k mírovým účelům, tak pro výrobu jaderných zbraní.

Už od svého objevení se jaderná energie využívá jak pro mírové, tak pro vojenské účely. Štěpení atomového jádra uvolňuje milionkrát víc energie než jakákoli chemická reakce. V jaderné elektrárně se tato energie využívá kontrolovaně pro výrobu elektrické energie. Naproti tomu u jaderné bomby je stejná energie použita explozivně, k šíření zkázy.

Při výrobě jaderných bomb a civilní jaderné techniky se často používají stejné technologie a materiály. Hovoří se pak o „dual-use“, což znamená, že technologii lze využít pro mírové i vojenské účely. Týká se to především uranu a plutonia a technologií k obohacování a přepracování.

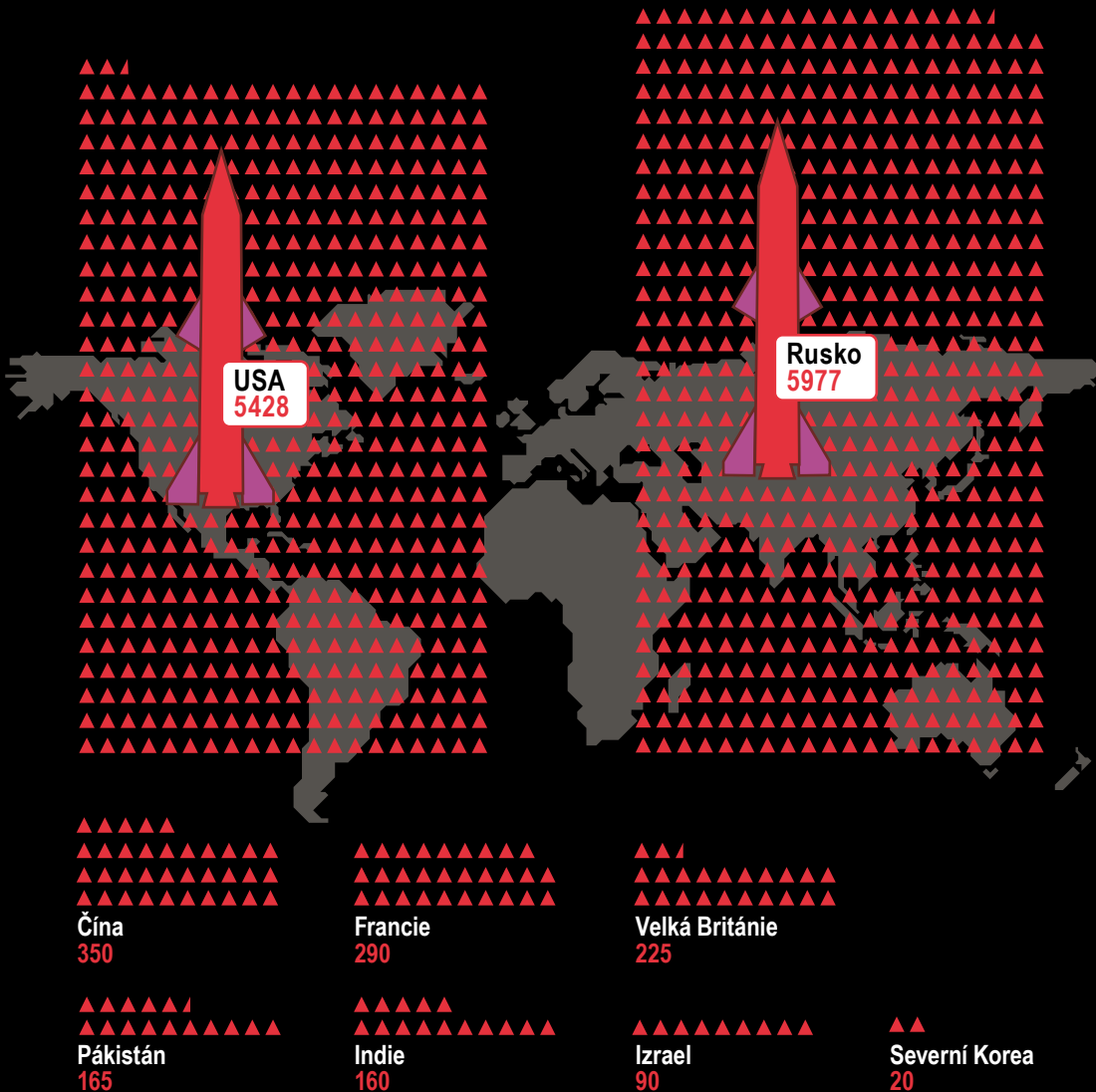
V zařízení na obohacování uranu se vyrábí nízko obohacený uran pro jaderné elektrárny. Stejně zařízení ale umí vyrobit i vysoce obohacený uran pro jaderné zbraně. Plutonium vzniká v palivu pro jaderné elektrárny. Plutonium z jaderných elektráren lze využít pro jaderné zbraně.⁴³ Je nutné ho

chemicky oddělit z vysoce radioaktivního paliva. To se děje při přepracování.

Mezinárodní smlouva o nešíření jaderných zbraní slouží k omezení jejich dalšího šíření. Smlouva stanovuje pět oficiálních jaderných velmocí, jež se zavázaly k nukleárnímu odzbrojení. Všechny ostatní státy se jaderných zbraní zříkají a za to získávají právo na mírové využívání energie z jádra. Kromě oficiálních jaderných mocností dnes vlastní jaderné zbraně pravděpodobně čtyři další státy. Na světě však existuje přibližně 25–30 zemí, které o výrobu jaderných zbraní usilují. Všechny tyto země měly také civilní jaderný program a využívaly „dual-use“ jaderné energetiky.

Odhadované zásoby nukleárních hlavic

2022



Využívání jaderné energie produkuje velké množství radioaktivního odpadu, které je nutné na extrémně dlouho uložit pod zem.

Radioaktivní látky, jež jsou v části v jaderného odpadu ve vysoké koncentraci, vyzařují při rozpadu vysoké dávky energie. Podle druhu a množství může být záření pro člověka škodlivé až smrtelné. Radioaktivní odpad proto ohrožuje člověka i životní prostředí.

Všude na světě se jaderný odpad ukládá dočasně, dokud nebudou k dispozici konečná úložiště. V Česku každoročně vznikne přibližně 80 až 100 tun vysokoaktivních odpadů. V průběhu svého plánovaného provozu vytvoří obě české jaderné elektrárny (Dukovany a Temelín) více než 5 tisíc tun vyhořelého jaderného paliva. S prodloužením fungování Dukovan nebo stavbou nových reaktorů (i se započítáním SMR) může být množství problematického odpadu ještě výrazně vyšší – až 15 tisíc tun.⁴⁴

Do roku 1989 jsme problém vyhořelého jaderného paliva v České republice nemuseli řešit – bylo odváženo do SSSR a tam plutonium z něj končilo v hlavicích jaderných zbraní. Poté vyplynula nutnost najít tuzem-

ské řešení – v roce 1995 byl zprovozněn první suchý sklad na 600 tun těžkého kovu u jaderné elektrárny v Dukovanech. Jeho kapacita byla po protestech obcí omezena usnesením vlády. Ale už v roce 1997 vláda zrušila svůj slib lidem a rozhodla, že u Dukovan vyroste nový sklad na 1340 tun vyhořelého paliva (je v provozu od roku 2006). Druhý je v provozu od roku 2011 vedle reaktorů v Temelíně, aktuálně bylo schválené rozšíření na celkových 2740 tun.⁴⁵

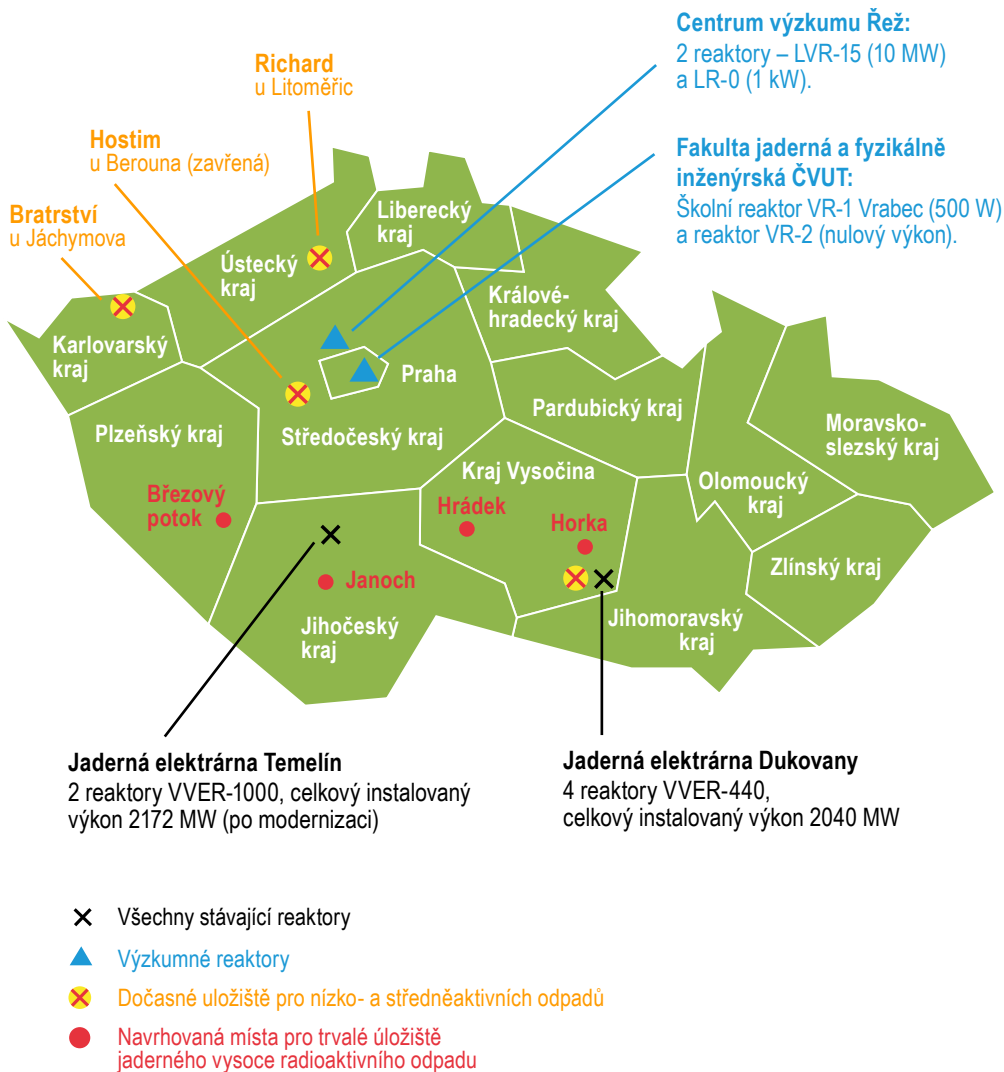
Do skladů vyhořelé palivo neputuje rovnou z reaktoru. Nejprve musí být alespoň na 5 let umístěno v bazénu vyhořelého paliva, neboť v něm ještě probíhá velké množství štěpných reakcí. Dočasné sklady musejí být zajištěny, aby nádoby byly nepropustné a odpadní produkty zůstávaly stabilní, aby je bylo možné později převézt. Pro tyto meziklady je nutné zabezpečit také stabilní společenské poměry, trvalé převzetí odpovědnosti za odpad a jejich financování.

Dnes jsou v Česku v provozu tři úložiště nízko a středněaktivních odpadů. Úložiště

Richard se nachází v bývalém vápencovém dole Richard II u Litoměřic, Bratrství ve stejnojmenném uranovém dole u Jáchymova a Dukovany v areálu jaderné elektrárny. V Česku je i jedno již uzavřené úložiště ne- daleko Berouna s názvem Hostim.⁴⁶

Především odpad s vysokou radioaktivitou je nutné uložit na milion let.⁴⁷ To přesahuje lidskou představu o čase. Na základě současného stavu vědění připadá v úvahu pouze geologické konečné uložení, to znamená, že odpady mají být uloženy několik set metrů pod zemí. První z mnoha technických překážek představují nádoby konečných skladů, v nichž má být odpad uložen. Vrstvy horniny obklopující konečné úložiště mají představovat geologickou bariéru, která zabráni dlouhodobému uvolňování radioaktivních látek do obydleného okolí.

Úložiště jaderného odpadu v Česku



Fakt 10 Jaké výzvy se pojí s konečným uložením vysoce radioaktivního jaderného odpadu?

Trvalé uložení jaderného odpadu je velká výzva a hledání vhodného místa je kromě technických otázek také společenskou záležitostí.

Přestože jaderná energie se využívá už od poloviny minulého století, nikde po světě není v provozu ještě ani jediný trvalý sklad vysoce radioaktivního jaderného odpadu. Neustále se podceňoval a podceňuje fakt, že hledání místa pro trvalé úložiště není pouze technologická a geologická výzva, ale i společenská a politická otázka.

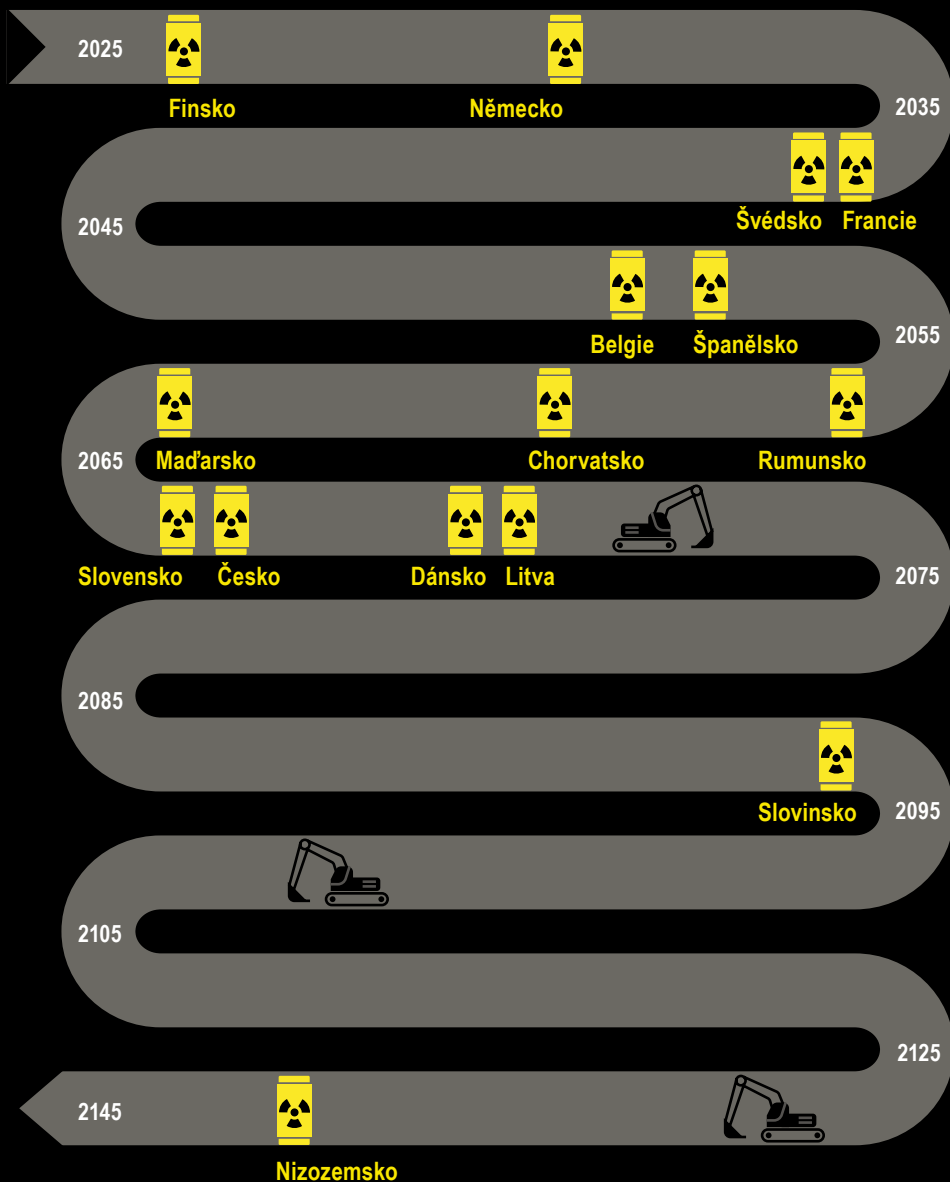
V mnoha zemích ještě hledání definitivního úložiště ani nezačalo, bylo prozatím zastaveno nebo začalo znovu. Ve Finsku by se měl v roce 2025 po několikerém od-souzení zprovoznit celosvětově první definitivní sklad vysoce radioaktivního odpadu. Švýcarsko, Švédsko a Francie alespoň stanovily místo pro konečné úložiště. Rozhodnutí o jeho umístění bylo v USA v roce 2010 zrušeno. Mnoho dalších států ještě s hledáním místa pro konečné úložiště ani nezačalo.

V Česku zahájila Správa úložišť radioaktivních odpadů hledání vhodné lokality pro hlubinné úložiště už začátkem tisíciletí. Po letech odkladů zásadní krok v procesu hledání udělala vláda v roce 2020 schválením čtyř vhodných lokalit. Jde o lokality Březo-

vý potok, Horka, Hrádek a Janoch.⁴⁸ Hlubinné úložiště má vzniknout do roku 2050, přičemž lokalita měla být vybraná do roku 2030. Náklady na jeho stavbu a provoz mají dosáhnout zhruba 273 miliard korun.⁴⁹

Po celou dobu hledání lokality pro hlubinné úložiště se však stát potýká s masivním odporem dotčených obcí. Jde o vesměs malá sídla s rekreačními oblastmi. Konkrétně jim vadí, že k výběru lokalit došlo vzhledem k neexistujícímu zákonu bez účasti obcí. Příprava, stavba i provoz hlubinného úložiště přitom zásadně ovlivní životy lidí ve vybraných obcích nejen v této generaci.⁵⁰ V létě 2025 obce ze všech čtyř lokalit ohrožených možným umístěním hlubinného úložiště vysoce radioaktivních odpadů žalují povolení Ministerstva životního prostředí. Nechtějí, aby na jejich území státní Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) prováděla vrty a další geologické práce. Důvodem je nedostatečné informování o přesných lokalitách a technologii vrtů, které státní orgán nezveřejnil.⁵¹

Plánované zprovoznění konečných úložišť v Evropě



Vývojáři alternativních reaktorů slibují některé výhody, dosud ale tyto systémy nejsou komerčně dostupné.

Již několik desetiletí se diskutuje o alternativních reaktorech. Na rozdíl od dnešních jaderných elektráren se v nich využívají především chladicí prostředky místo vody, například kapalně kovy jako sodík nebo olovo. Žádný z konceptů není technicky zralý a neprosadil se komerčně, navzdory desetiletí trvajícímu vývoji.

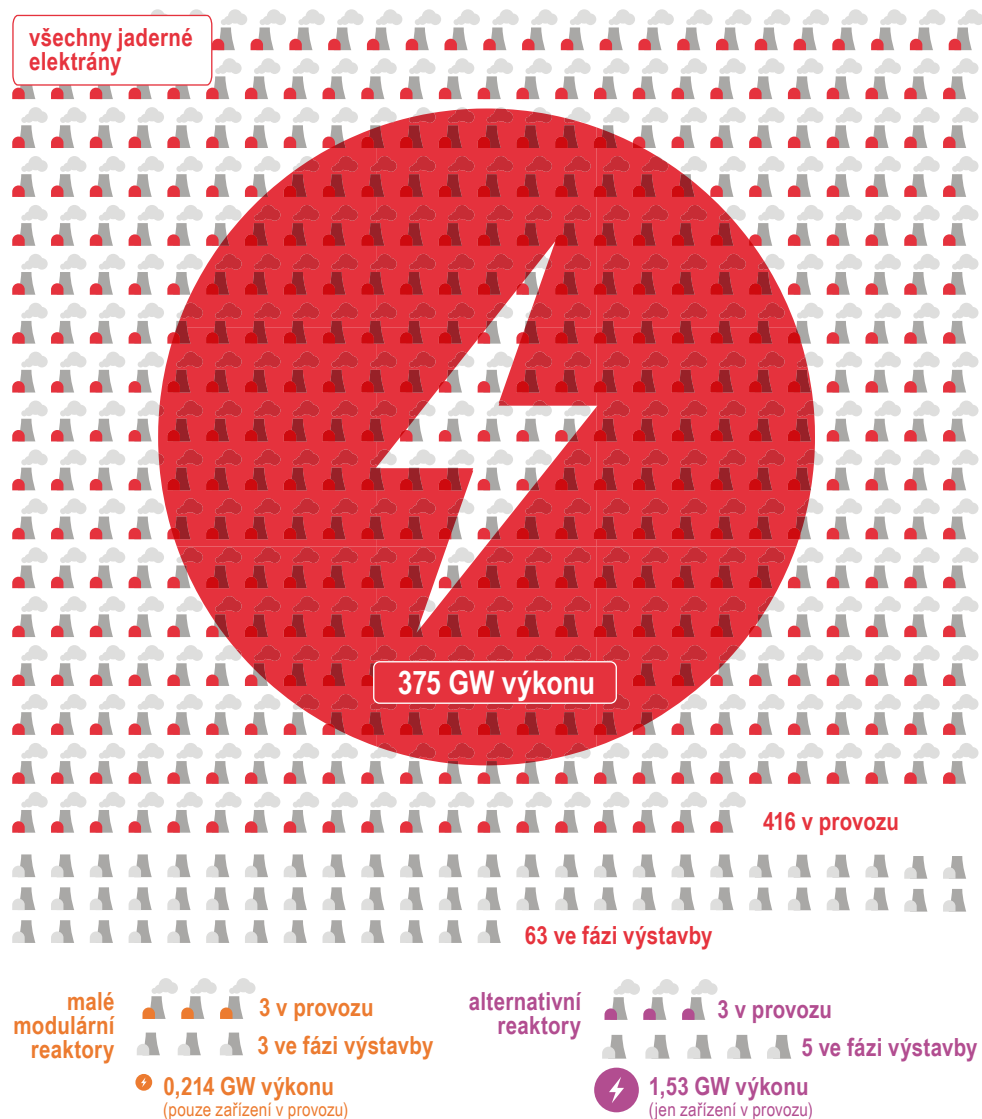
Jednotlivé koncepty mohou přinést výhody v bezpečnosti, dodávkách paliva, likvidaci odpadů, zamezení šíření jaderných zbraní nebo v souvislosti s náklady. Současně žádný koncept nespojuje všechny výhody, často zahrnuje i nevýhody. Další vývoj končící uvedením na trh bude trvat ještě další desetiletí a vyžádá si značné investice. Naděje vývojářů, že koncepty dodají důležitý přínos k vyřešení dnešních problémů jaderné energetiky a v dohledné době relevantně přispějí k výrobě elektrické energie, jsou nerealistické.⁵²

už z padesátých let 20. století.⁵³ To jsou reaktory, jejichž výkon je výrazně nižší než u dnešních jaderných elektráren.⁵⁴ Jejich zastánci si od nich slibují zejména rychlejší a levnější výrobu, protože jednotlivé části nebo dokonce i celé reaktory by bylo možné vyrábět „modulárně“ v centrálních továrnách. Dosud však na světě existuje jen několik jaderných elektráren fungujících tímto způsobem, ale chybí průmyslová výrobní kapacita. Dosavadní prototypy nebyly vyráběny modulárně a v přepočtu na velikost vyšly ještě draž než dnešní jaderné elektrárny a jejich stavba nebyla rychlejší. Podle aktuální analýzy by malé modulární reaktory vyráběly výhodnější elektřinu než dnešní jaderné elektrárny pouze při počtu několika set či tisíc kusů.⁵⁵

Kromě toho se diskutuje o použití malých modulárních reaktorů. Myšlenka pochází

Počet a výkon jaderných elektráren v provozu a ve fázi výstavby

stav: prosinec 2024



Zdroje: Œko-Institut a <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>,
[https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=SWD\(2024\)123&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=SWD(2024)123&lang=en)

Fakt 12 Je jaderná energetika udržitelná?

Jaderná energetika není udržitelná, protože způsobuje nepřímé emise skleníkových plynů, zanechává po sobě masivní škody na životním prostředí kvůli těžbě uranu a při nehodách přináší ničivé důsledky pro lidi i přírodu.

Jako argument pro stavbu jaderných elektráren často zaznívá ochrana klimatu. Jaderné elektrárny neprodukují žádné přímé skleníkové plyny jako při spalování fosilních zdrojů energie. Tím se výrazně snižují emise oproti uhelným nebo plynovým elektrárnám. Po celou dobu existence jaderné elektrárny však vznikají nepřímé emise skleníkových plynů, například při těžbě uranu, výrobě palivových článků nebo při stavbě elektrárny. Podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu IPCC se tyto emise pohybují mezi 4 a 110 g ekvivalentu CO_2 na kilowatthodinu, se střední hodnotou 25 g ekvivalentu CO_2 na kilowatthodinu.⁵⁶ U větrné energie se emise podle aktuální studie Spolkového úřadu pro životní prostředí pohybují průměrně kolem 9 g ekvivalentu CO_2 na kilowatthodinu a u fotovoltaiky mezi 17 a 63 g ekvivalentu CO_2 na kilowatthodinu (v závislosti na tom, kde se solární panely vyrábějí).⁵⁷

Kromě emisí jaderná energetika způsobuje velké škody na životním prostředí kvůli

těžbě uranu. Haldy rudy a bývalé doly mohou zamořit radioaktivitou velké oblasti, protože vítr roznáší radioaktivní prach. Při technice podzemního kyselinového loužení se do podzemních ložisek přivádějí kyseliny a louhy, které mají oddělit uranovou rudu od horniny a odčerpat ji na povrch. Při tom může dojít k zamoření podzemní vody. Nezávisle na postupu vždy zůstane radioaktivní odpad. Po těžbě uranu firmy často zmizí a místní společenství zůstanou na radioaktivní dědictví samy. Například francouzské firmy těžily od roku 1960 uran v Nigeru. Důl Cominak byl uzavřen v roce 2021 a zbylo po něm 20 milionů tun radioaktivního odpadu.^{58,59} Půda i voda v oblasti jsou kontaminované.

Výroba elektrické energie z jádra se pojí s vysoce radioaktivním odpadem a těžké nehody mohou vést k masivním škodám na životním prostředí, kvůli nimž je nutné evakuovat rozsáhlé oblasti.⁶⁰

Klimatická zátěž elektrické energie

emise skleníkových plynů z různých zdrojů energie
(průměrné ekvivalenty CO₂ na kWh)

1038



hnědé uhlí

874



černé uhlí

459



zemní plyn

335



bioplyn

31



fotovoltaika

25



jaderná elektrárna
(tlakovodní reaktor)

9



větrná elektrárna

3



vodní elektrárna
(průtočná vodní
elektrárna)

Fakt 13 Lze dosáhnout klimatických cílů bez rozšíření jaderné energetiky?

Pro dosažení klimatických cílů není rozšíření jaderné energetiky nutné, ani realistické. Jaderná energie je totiž příliš drahá a přichází pozdě. Existují lepší alternativy.

Globální klimatické scénáře ukazují možnosti, jak omezit oteplování planety o 1,5 nebo 2 °C. Tyto scénáře ukazují, že k dosažení globálních klimatických cílů a úplnému nahrazení fosilních energií do roku 2050 je nevyhnutelné silně rozšířit obnovitelné zdroje energie. Rozšíření jaderné energie, která se v současnosti podílí na výrobě elektrické energie z 9 %, není nutné.⁶¹ Některé klimatické scénáře sice zahrnují nízký podíl jaderné energie. Scénáře sahají od celosvětového opuštění jaderné energetiky po mírný nárůst podílu jaderné energie na 12 % výroby elektrické energie.⁶² Ještě vyšší podíl je nerealistický vzhledem k dlouho trvající výstavbě a vysokým stavebním nákladům.

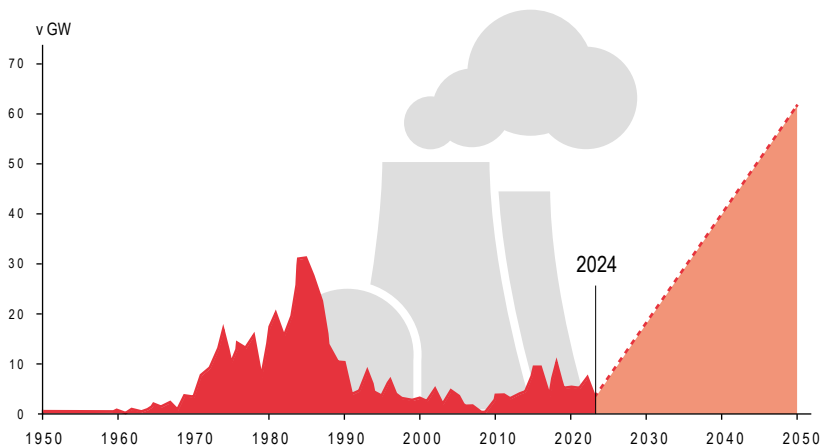
Ve většině klimatických scénářů podíl jaderných elektráren na výrobě elektrické energie do roku 2050 výrazně klesá.⁶³ Podíl obnovitelných zdrojů energie naopak silně roste na 70–100 %. K dosažení klimatických cílů by rozšíření jaderné energetiky při přibližně desetiletém trvání výstavby

jaderných elektráren a značné době potřebné na plánování a schvalování trvalo příliš dlouho a bylo by výrazně dražší než přechod na obnovitelné zdroje energie.

Přesto si 20 států z důvodů ochrany klimatu stanovilo cíl ztrojnásobit celosvětové kapacity jaderné energetiky do roku 2050.⁶⁴ Ročně by tedy musel výkon nově připojených elektráren do roku 2050 narůst natolik, aby v roce 2050 bylo k síti připojeno 60 GW.⁶⁵ Ani v polovině osmdesátých let – dosavadním vrcholu jaderné výstavby – byly spuštěny jaderné elektrárny s celkovým výkonem cca 30 GW za rok. To ukazuje, že zamýšlené ztrojnásobení je velmi nerealistické. Především, když je velká část stávajících jaderných elektráren tak zastaralá, že je bude nutné do roku 2050 uzavřít nebo nahradit. V zemích s velmi starými reaktory jako USA však prakticky neexistují plány nových jaderných elektráren. Bez jejich nahrazení stárnutí nutně povede k poklesu jaderné energetiky do roku 2050.

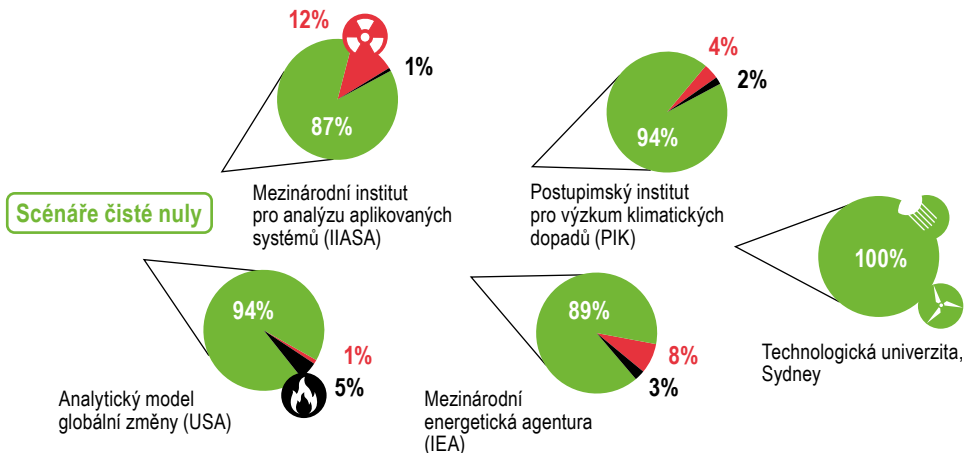
Připojení nových jaderných elektráren k síti za rok (v gigawattech)

které by ve srovnání s nově připojenými jadernými elektrárnami ročně od roku 1950 bylo zapotřebí ke ztrojnásobení jaderných kapacit



Scénáře čisté nuly

podíl zdrojů energie na celosvětové výrobě elektřiny v roce 2050 v různých klimatických scénářích



Fakt 14 Podporuje jaderná energetika přechod na klimaticky neutrální energetickou soustavu?

Jaderná energetika nemůže podpořit přechod na klimaticky neutrální energetický systém, protože je neflexibilní a její vysoké náklady nemohou držet krok s obnovitelnými zdroji.

Budoucí energetický systém bude sestávat převážně z větrné a solární energie. Výroba elektrické energie bude závislejší na počasí a bude se silně lišit v průběhu dne (především u solární energie), v průběhu týdne (u větrné energie) a mezi ročními obdobími. Energetická soustava proto potřebuje možnosti, jak vyrovnávat výkyvy, například úložiště energie nebo flexibilní elektrárny, které naskočí ve chvíli, kdy nefouká vítr nebo nesvítí slunce. Jaderné elektrárny však vyrábějí pokud možno neustále a na plný výkon. Jsou spíš neflexibilní a nemohou libovolně měnit produkci. H2 ready plynové elektrárny se naproti tomu mohou v řádu minut přizpůsobit situaci v energetickém systému, a proto se technicky mnohem lépe hodí pro kombinaci s větrnou a solární energií.

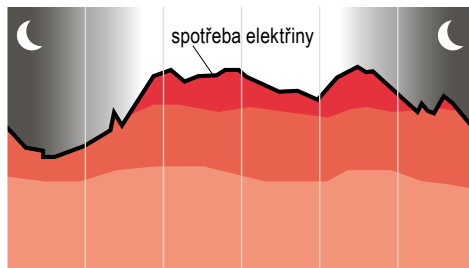
Flexibilní provoz jaderné elektrárny, při němž by se produkovalo méně elektrické energie, když budou obnovitelné zdroje vyrábět dostatek levné energie, značně snižuje hospodárnost jaderných elektrár-

ren. Francouzský energetický gigant EDF si už dnes stěžuje, že snížení cen elektřiny kvůli obnovitelným zdrojům způsobilo EDF jen za první pololetí roku 2024 ztrátu ve výši 8,1 miliard eur.⁶⁶ Kvůli vysokým investicím do jaderných elektráren je jejich vypnutí či utlumení extrémně drahé. Výhodnější možnosti, jak překlenout dobu bez dostatku elektřiny z obnovitelných zdrojů, jsou baterie, výroba vodíku nebo plynové elektrárny jako backup.

Nízké emise jako argument nestačí. K dosažení klimatických cílů je rozhodující také efektivnost, tzn. že se musí dosáhnout nejvyššího poklesu emisí na euro a rok. Pro budoucí vyrovnávání variabilních obnovitelných zdrojů v energetickém mixu existují výrazně výhodnější, flexibilnější a méně nebezpečné možnosti než jaderné elektrárny.

Výroba elektrické energie ve fosilní a obnovitelné energetické soustavě, doba rozběhu regulovatelných elektráren

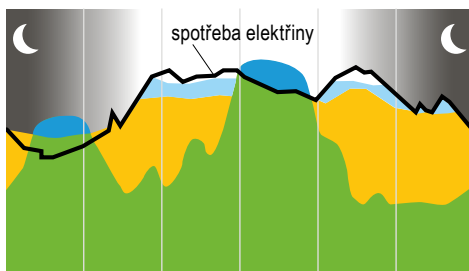
0:00 4:00 8:00 12:00 16:00 20:00 24:00



Technologie základního zatížení

Fosilní a jaderné elektrárny dodávají elektřinu kontinuálně, po celý den, s konstantním výkonem, aby pokryly základní zatížení potřeby elektrické energie.

- špičkové zatížení
- střední zatížení (výroba podle potřeby)
- základní zatížení



Variabilní výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů

Elektrická energie se stále více vyrábí z obnovitelných zdrojů, které nejsou tak konstantní a předvídatelné, ale lze je vyrovnat flexibilními elektrárnami a bateriemi.

- nadprodukce (do baterií nebo na export)
- z baterií nebo importu
- regulovatelné elektrárny, zapínané při potřebě
- variabilní obnovitelné zdroje



10–20 min

otevřený cyklus
plynové turbíny (OCGT)



30–60 min

paroplynová elektrárna
(CCGT)



1–10 hod

černouhelná elektrárna



2–48 hod

jaderná elektrárna



Literatura

Neles, Pistner: Kernenergie,
[https://link.springer.com/
book/10.1007/978-3-642-24329-5](https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-24329-5)

Schneider, M. et al 2024:
The World Nuclear Industry Status
Report 2024,
[https://www.worldnuclearreport.org/
IMG/pdf/wnsr2024-v2.pdf](https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnsr2024-v2.pdf)

M.V. Ramana:
Nuclear is not the solution,
[https://www.versobooks.com/
products/3013-nuclear-is-not-the-
solution](https://www.versobooks.com/products/3013-nuclear-is-not-the-solution)

Lochbau et. al: Fukushima.
The story of a nuclear disaster,
[https://www.ucsusa.org/resources/
fukushima-story-nuclear-disaster](https://www.ucsusa.org/resources/fukushima-story-nuclear-disaster)

Radkau, Hahn: Aufstieg und
Fall der deutschen Atomwirtschaft,
[https://www.oekom.de/buch/
aufstieg-und-fall-der-deutschen-
atomwirtschaft-9783865813152](https://www.oekom.de/buch/aufstieg-und-fall-der-deutschen-atomwirtschaft-9783865813152)

- 1 Energy Institute 2024: Statistical Review of World Energy, dostupné na: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home>, stav k 14. 10. 2024
- 2 Energy Institute 2024, op. cit.
- 3 International Atomic Energy Agency (IAEA) 2024: Power Reactor Information System. <https://pris.iaea.org/pris/>, stav k 14. 10. 2024
- 4 Schneider, M. et al 2024: The World Nuclear Industry Status Report 2024, dostupné na: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2024-v2.pdf>, stav k 14. 10. 2024
- 5 Energy Institute 2024, op. cit.
- 6 Burger, B. 2024: Ein Jahr ohne Kernkraftwerke in Deutschland. Fraunhofer ISE, dostupné na: https://www.energy-charts.info/downloads/Ein_Jahr_ohne_Kernkraftwerke.pdf, stav k 27. 10. 2024
- 7 Burger, B 2024, op. cit.
- 8 Burger, B. 2024: www.energy-charts.info. Mapy, import a export. Dovož v roce 2023 činil 11,7 TWh. https://www.energy-charts.info/charts/import_export_map/chart.html?l=de&c=DE&year=2023&interval=year, celkem výroba elektrické energie v roce 2023 činila 486,3 TWh netto, viz https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.html?l=de&c=DE&source=total&interval=year&year=2023
- 9 Burger, B. 2024: Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2023, s. 58, 59, dostupné na: https://www.energy-charts.info/downloads/Stromerzeugung_2023.pdf, stav k 4. 12. 2024
- 10 Schneider, M. et al 2024, op. cit.
- 11 Schneider, M. et al 2024, op. cit.
- 12 Schneider, M. et al 2024, op. cit.
- 13 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2024: Energy-Charts – stránka s interaktivními grafy k výrobě elektřiny a cenám elektřiny na burze, dostupné na: https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.html?l=de&c=FR&interval=year&year=2022, stav k: 14. 10. 2024
- 14 Schneider, M. et al 2024, op. cit.
- 15 Schneider, M. et al 2024, op. cit.
- 16 European Supply Agency: Annual Report 2023, finální verze 13. 8. 2024, dostupné na: https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202023%20-%20Final%20draft.pdf, stav k 14. 10. 2024
- 17 World Nuclear Association (WNA) 2022: Uranium Production Figures, 2012-2021, aktualizace 2022, dostupné na: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/uranium-production-figures.aspx>, Uranium One Group 2023: Our operations, dostupné na: <https://uranium1.com/our-operations/>, stav k 14. 10. 2024
- 18 Schneider M. et al 2024, op. cit.
- 19 Gufler, K., Meister, F. 2022: Analyse der Rosatom-Aktivitäten bzw. Rosatom-Verflechtungen mit der EU. Hintergrundpapier, Umweltbundesamt Report REP-0814, Wien, dostupné na: <https://www.umweltbundesamt.at/energie/kernenergie/hintergrundpapier-rosatom>, stav k 14. 10. 2024
- 20 Schneider M. et al 2024, op. cit.
- 21 Schneider M. et al 2024, op. cit.
- 22 Schneider M. et al 2024, op. cit.
- 23 <https://www.worldnuclearreport.org/Der-Welt-Statusreport>
- 24 Schneider M. et al: World Nuclear Industry Status Report 2022, dostupné na: <https://www.worldnuclearreport.org/Europe-s-First-EPR-13-Years-Behind-Schedule-Olkiluoto-3-in-Finland-Starts-Up.html>, stav k 31. 10. 2024
- 25 Schneider M. et al: The World Nuclear Industry Status Report 2020, dostupné na: <https://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2020-HTML.html>, stav k 4. 12. 2024
- 26 World Nuclear Association 2024, dostupné na: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/edf-begins-start-up-process-for-flamanville-epr>, stav k 31. 10. 2024
- 27 Schneider et al. 2024, op. cit., s. 221n.
- 28 EDF, dostupné na: <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/hinkley-point-c-update-1>, stav k 31. 10. 2024
- 29 EnBW 2024: Unternehmensstrategie, dostupné na: <https://www.enbw.com/investoren/finanzstrategie/#unternehmensstrategie>, stav k 31. 10. 2024

- 30 Wimmers, A., Böse, F., Kemfert, C., Steigerwald, B., von Hirschhausen, C. und Weibezahn, J.: Ausbau von Kernkraftwerken entbehrt technischer und ökonomischer Grundlagen. DIW Wochenbericht 10/2023, dostupné na: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.867893.de/23-10-1.pdf, stav k 14. 10. 2024
- 31 Schneider M. et al 2024, op. cit.
- 32 Lazard: Levelized Cost of Electricity, červen 2024, dostupné na: https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoepus-june-2024-_vf.pdf, stav k 14. 10. 2024
- 33 Lazard 2024, op. cit.
- 34 Polfiet A. 2024: LTO of Tihange 3 and Doel 4. Prezentace na konferenci "Why nuclear won't save the climate", dostupné na: <https://www.bondbeterleefmilieu.be/kalender/why-nuclear-wont-save-climate>, stav k 14. 10. 2024
- 35 Fraunhofer-ISE 2024: Energy Charts, Jährliche Börsenstrompreise in Belgien. Dostupné na: https://www.energy-charts.info/charts/price_average/chart.html?l=de&c=BE&interval=year&year=2024, stav k 4. 12. 2024.
- 36 Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs: Verantwortung und Sicherheit – Ein neuer Entsorgungskonsens, 25. 5. 2016, dostupné na: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichter-der-expertenkommission-kernenergie.pdf?__blob=publicationFile&v=11, stav k 14. 10. 2024
- 37 C. Pistner, C. Küppers, S. Kurth: Reaktorsicherheit – Sicherheitskonzepte und Unfallrisiko. In: J. M. Neles, C. Pistner: Kernenergie. Eine Technik für die Zukunft? Springer Vieweg, 2012
- 38 Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung: Systematik der internationale Bewertungsskala (INES), dostupné na: https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/stoerfallmeldestelle/ines/ines_node.html, stav k 25. 10. 2024
- 39 Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung: Die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl, dostupné na: https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/unfaelle/tschernobyl/tschernobyl_node.html;jsessionid=188FF37A66AB-2CB449359B2F605FC72B.internet941, stav k 1. 10. 2024
- 40 Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung: Fukushima am 11. März 2011: Der katastrophale Unfall und seine Folgen, dostupné na: https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/unfaelle/fukushima/fukushima_node.html, stav k 1. 10. 2024
- 41 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH: Kerntechnische Sicherheit im Ukraine-Krieg, dostupné na: <https://www.grs.de/de/aktuelles/Infobereich-Ukraine>, stav k 1. 10. 2024. V. Ustohalova, M. Englert: Nukleare Sicherheit in Krisengebieten. Öko-Institut e.V. 2017, dostupné na: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Nukleare-Sicherheit-in-Krisengebieten.pdf>, stav k 1. 10. 2024
- 42 Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire: Méthodologie appliquée par l'IRSN pour l'estimation des coûts d'accidents nucléaires en France, dostupné na: http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN-PRP-CRI-SE-SUC-2013-00261_methodologie-cout-accident.pdf, stav k 1. 10. 2024
- 43 Gregory S. Jones: Reactor-grade plutonium and nuclear weapons. Exploring the myths. Nonproliferation policy education center (NPEC). 2018. Egbert Kankeleit, Christian Küppers, Ulrich Imkeller: Bericht zur Waffentauglichkeit von Reaktorplutonium. Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit, Technische Universität Darmstadt. Arbeitsbericht 1/1989
- 44 Koncepce nakládání s radioaktivním palivem a vyhořelým jaderným palivem, dostupné na: Jaderná energie (aktualizace pro období 2025 až 2035 s výhledem po roce 2050, str. 44) https://mpo.gov.cz/assets/cz/rozcenistik/pro-media/tiskove-zpravy/2025/4/Koncepce-_250409_jednani-vlady_Koncepce-aktualizace.pdf
- 45 <https://www.nechcemeuloziste.cz/cs/caste-dotazy/#Prvni>
- 46 <https://surao.gov.cz/stavajici-uloziste/>
- 47 Zákon o hledání a výběru místa pro konečné úložiště radioaktivního odpadu (StandAG), dostupné na: https://www.gesetze-im-internet.de/standag_2017/BJNR107410017.html, stav k 14. 10. 2024
- 48 <https://www.nku.cz/cz/pro-media/tiskove-zpravy/do-pripravy-uloziste-radioaktivniho-odpadu-investoval-stat-uz-temer-dve-miliardy-zatim-nema-jasno-ani-v-tom-kde-by-melo-vzniknout-id11536/>
- 49 Koncepce nakládání s radioaktivním palivem a vyhořelým jaderným palivem, dostupné na: Jaderná energie (aktualizace pro období 2025 až 2035 s výhledem po roce 2050, str. 69) https://mpo.gov.cz/assets/cz/rozcenistik/pro-media/tiskove-zpravy/2025/4/Koncepce-_250409_jednani-vlady_Koncepce-aktualizace.pdf

- 50 <https://www.nechcemeuloziste.cz/cs/aktuality/kam-s-jadernym-odpadem-hleda-se-uloziste-a-uz-dlouho.html>
- 51 <https://www.platformaprotiulozisti.cz/cs/press/povoleni-geologickych-pruzkumu-celi-zalobam-obci-na-vsech-lokalitach.html>
- 52 C. Pistner, M. Englert, C.v. Hirschhausen, F. Böse, B. Steigerwald, L. Gast, R. Donderer: Sogenannte „neuartige“ Reaktorkonzepte. Öko-Institut e.V., 27. 2. 2024, dostupné na: <https://www.oeko.de/publikation/analyse-und-bewertung-des-entwicklungsstands-der-sicherheit-und-des-regulatorischen-rahmens-fuer-sogenannte-neuartige-reaktorkonzepte/>, stav k 14. 10. 2024
- 53 M.V. Ramana, „The Forgotten History of Small Nuclear Reactors“, IEEE Spectrum, 27. duben 2015, <https://spectrum.ieee.org/the-forgotten-history-of-small-nuclear-reactors>
- 54 M.V. Ramana, „The Forgotten History of Small Nuclear Reactors“, IEEE Spectrum, 27. duben 2015, dostupné na: <https://spectrum.ieee.org/the-forgotten-history-of-small-nuclear-reactors>, stav k 8. 10. 2024
- 55 Björn Steigerwald, Jens Weibezahn, Martin Slowik, Christian von Hirschhausen, Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors, Energy, Volume 281, 2023, 128204, ISSN 0360-5442, dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128204>, stav k 8. 10. 2024
- 56 IPCC 2014: Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change – Working Group III Contribution to the 5th Assessment Report of the IPCC.
- 57 Hengstler, J., Russ, M., Soffregen, A., Hendrich, A., Weidner, S.; Held, M., Briem, A.-K. 2021: Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Umweltbundesamt, Abschlussbericht, dostupné na: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltatik.pdf, stav k 4. 12. 2024.
- 58 Nuclear Free Foundation et al. 2022: Uranatlas _ Daten und Fakten über den Rohstoff des Atomzeitalters, dostupné na: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/atomkraft/Uranatlas_2022_2.pdf, stav k 14. 10. 2024
- 59 CRIIRAD, dostupné na: <https://www.criirad.org/orano-au-niger-des-millions-de-tonnes-de-dechets-radioactifs-non-confines-une-epree-de-damocles-pour-l'alimentation-en-eau-potable-de-plus-de-100-000-personnes/>, stav k 14. 10. 2024
- 60 C. Pistner, M. Englert: Nuclear Power and the „do no significant harm“ criteria of the EU Taxonomy. Oeko-Institut Working Paper 4/2021, dostupné na: <https://www.oeko.de/publikation/nuclear-power-and-the-do-no-significant-harm-criteria-of-the-eu-taxonomy/>, stav k 14. 10. 2024; C. Pistner, M. Englert, B. Wealer: Sustainability at risk. A critical analysis of the EU Joint Research Centre technical assessment of nuclear energy with respect to the “do no significant harm” criteria of the EU Taxonomy Regulation. Heinrich-Böll-Stiftung, September 2021, dostupné na: https://eu.boell.org/sites/default/files/2021-09/Sustainability_at_risk_2021_final_0.pdf?dimension1=ecology, stav k 31. 10. 2024
- 61 Energy Institute 2024: Statistical Review of World Energy, sostupné na: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home>, stav k 7. 10. 2024.
- 62 Umweltbundesamt 2023: What is the role of nuclear energy in achieving climate targets in global scenarios? Fact sheet Autoren: Loreck, C., Pistner, C., Herold, A., Rausch, L., dostupné na: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/factsheet_nuclear_in_international_energy_scenarios.pdf, stav k 11. 8. 2024. Data scénářů vycházejí z: NGFS (2022): NGFS Scenarios for central banks and supervisors. Ed. Network For Greening the Financial Systems (NGFS), dostupné na: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_climate_scenarios_for_central_banks_and_supervisors_.pdf, stav k 11. 8. 2024
- 63 Umweltbundesamt 2023, op. cit.
- 64 Nuclear Energy Agency 2023: Countries launch joint declaration to triple nuclear energy capacity by 2050 at COP28, dostupné na: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_88702/countries-launch-joint-declaration-to-triple-nuclear-energy-capacity-by-2050-at-cop28, stav k 7. 10. 2024.
- 65 Umweltbundesamt 2023, op. cit.
- 66 Schneider, M. et al 2024, op. cit., obr. 58

