

# Malé a střední modulární reaktory v České republice

Autor: Jan Vavřík

Česká republika se zavázala k ukončení spalování uhlí do roku 2033, přičemž ještě v roce 2025 se uhelné elektrárny podílely na výrobě téměř třetiny tuzemské elektřiny. Současně provozovatel přenosové soustavy ČEPS i Skupina ČEZ upozorňují, že do roku 2050 bude v síti chybět až 3 GWe stabilního výkonu. Tento deficit není možné pokrýt pouze z obnovitelných zdrojů energie, ani z plánovaných čtyř nových velkých jaderných bloků v Dukovanech a Temelíně. Odpovědí na otázku, jak efektivně vybudovat nové nízkoemisní zdroje, mohou být malé a střední modulární reaktory (SMR). Ačkoliv je jejich tovární výroba a následná montáž rychlejší než u klasických reaktorů, do termínu uhelného útlumu v roce 2033 se jejich spuštění pravděpodobně nestihne. Při včasné strategické přípravě by však první SMR na českém území mohly zahájit provoz již ve druhé polovině třicátých let. Většina článku je čerpána z Plánu pro malé a střední reaktory zpracované Ministerstvem průmyslu a obchodu.

## 1. Technologie a komparace SMR

Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) definuje SMR jako zdroje s elektrickým výkonem do 700 MWe, které využívají modulární konstrukci umožňující sériovou tovární výrobu.

Parametr	Malé a střední reaktory (SMR)	Velké reaktory
Výkon	Malé (do 300 MWe), Střední (300–700 MWe)	nad 700 MWe
Délka výstavby	Cca 3–5 let	Cca 7–8 let
Velikost areálu	26 000 m <sup>2</sup> – 141 000 m <sup>2</sup>	1 230 000 m <sup>2</sup> (např. Temelín)

### 1.1. Výhody SMR

- a) **Modularita a standardizace:** Tovární výroba a montáž hotových dílů na místě zrychlují a zpřesňují výstavbu.
- b) **Dostupnější investice:** Celková cena je nižší než u obřích bloků, což otevírá dveře i soukromým investorům.
- c) **Kompaktní rozměry:** Díly lze snadno přepravovat a samotná elektrárna se velikostí hodí jako přímá náhrada dnešních tepláren.

d) **Šetrnost k přírodě:** Mají nižší spotřebu vody a umožňují i suché chlazení.

e) **Vysoká bezpečnost:** Díky pasivním systémům je riziko havárie minimální a evakuační zóna končí na plotě areálu elektrárny.

f) **Rychlá výstavba:** Zvládne se postavit za 3–5 let a u sériové výroby hrozí mnohem menší riziko zpoždění.

g) **Nízkoemisní provoz:** Jejich nízká uhlíková stopa je srovnatelná s větrnými elektrárnami, ale s mnohem vyšším výkonem.

h) **Stabilita a flexibilita:** Umí rychle reagovat na potřeby sítě a vyrovnávat její výkyvy.

i) **Efektivní stavba:** Většina práce se udělá v továrně, takže přímo na staveništi je potřeba mnohem méně lidí.

j) **Nízké nároky na personál:** Díky automatizaci a pasivním systémům stačí na běžný provoz mnohem méně zaměstnanců.

k) **Všestranné využití:** Neumí vyrábět jen elektřinu, ale i teplo, vodík nebo poskytnou podpůrné služby síti.

## 1.2. Příležitosti pro ČR

a) **Rozvoj nového hospodářského zaměření:** Příležitost využít regulatorní a technologické zkušenosti ČR a nabízet je v Evropské unii i třetích zemích.

b) **Zapojení do dodavatelských řetězců:** Vytvoření podmínek pro zapojení českých firem do ekosystému globálních výrobců SMR pro dodávky doma i v zahraničí, což přinese vysoký pozitivní dopad na ekonomiku.

c) **Udržení jaderného know-how:** Možnost stát se regionálním centrem kompetencí, atraktivit vzdělávání v technických oborech a lokalizovat nové projekty vědy a výzkumu.

d) **Upevnění pozice ČR a dekarbonizace:** Navázání dlouhodobých strategických partnerství se zeměmi původu výrobců a urychlení přechodu na nízkouhlíkovou ekonomiku v souladu s klimatickými cíli.

## 1.3. Omezení a rizika SMR

a) **Neznámá legislativa:** Úřady se teprve učí, jak úplně nové a inovativní reaktory vůbec schvalovat.

b) **Dodávky paliva:** Hrozí závislost na nespolehlivých dodavatelích a chybějící alternativy na trhu.

c) **Radioaktivní odpad:** SMR mohou vyprodukovat více odpadu na vyrobenou jednotku energie než velké bloky.

d) **Výřazení českých firem:** Pokud se budou moduly jen dovážet a nebudou se vyrábět u nás, český průmysl na tom nevydělá.

e) **Vyprodané kapacity:** Zbytek světa má o SMR obrovský zájem; hrozí, že se na nás vytvoří fronta a stavba se zdrží.

f) **Chybějící praxe:** Nепrověřené novinky v designu mohou nečekaně zkomplikovat výrobu, stavbu i samotný provoz.

g) **Boj o experty:** Nové technologie budou vyžadovat úzce specializované odborníky, kterých je málo a přetahovat se o ně bude celá Evropa.

## 1.4. Mikroreaktory

Zcela specifickou podkategorii v oblasti modulárních technologií tvoří mikroreaktory (někdy označované jako vSMR – very small modular reactors). Jde o zdroje s velmi nízkým výkonem v řádech jednotek až desítek megawattů. Tyto projekty jsou koncipovány pro využití v lokálních sítích (micro-grids) nebo pro napájení odlehklých průmyslových oblastí v rámci budoucí decentralizované energetiky. Uvažuje se o jejich umístění na plovoucí platformy, železniční vagony či speciální tahače, což by umožnilo dopravit spolehlivý jaderný zdroj do míst, kde byla stavba klasické elektrárny dosud nemyslitelná.

## 1.5. Konstrukce a fungování SMR na příkladu Rolls-Royce

Britská společnost Rolls-Royce u svého SMR sází na osvědčenou technologii tlakovodních reaktorů (PWR), kterou inovuje modulárním konstrukčním přístupem. Zásadní rozdíl spočívá v tom, že se elektrárna nestaví konvenčním způsobem na místě, ale sestavuje se z předvyrobených částí.

**Struktura elektrárny** Celé zařízení je postaveno zhruba z 1 500 standardizovaných a přepravitelných modulů. Ty jsou kompletně vyrobeny a otestovány ve specializovaných továrnách, čímž se minimalizují zdoluhavé stavební práce přímo v lokalitě. Moduly se dělí do tří hlavních kategorií: těžké tlakové nádoby, mechanicko-elektrické a instalatérské systémy, a moduly stavebního inženýrství. Samotná elektrárna je velmi kompaktní – primární část s reaktorem se vejde pod speciální zastřešenou konstrukci o rozloze pouhých 21 500 m<sup>2</sup>.

**Proces výroby energie** Technologie je založena na tlakovodním reaktoru pracujícím na principu tří oddělených okruhů:

1) **Palivo a reaktor:** Využívá se standardní uranové palivo (obohacené do 4,95 %) v masivní ocelové nádobě. Výkon se jednoduše řídí jen regulačními tyčemi bez použití bóru.

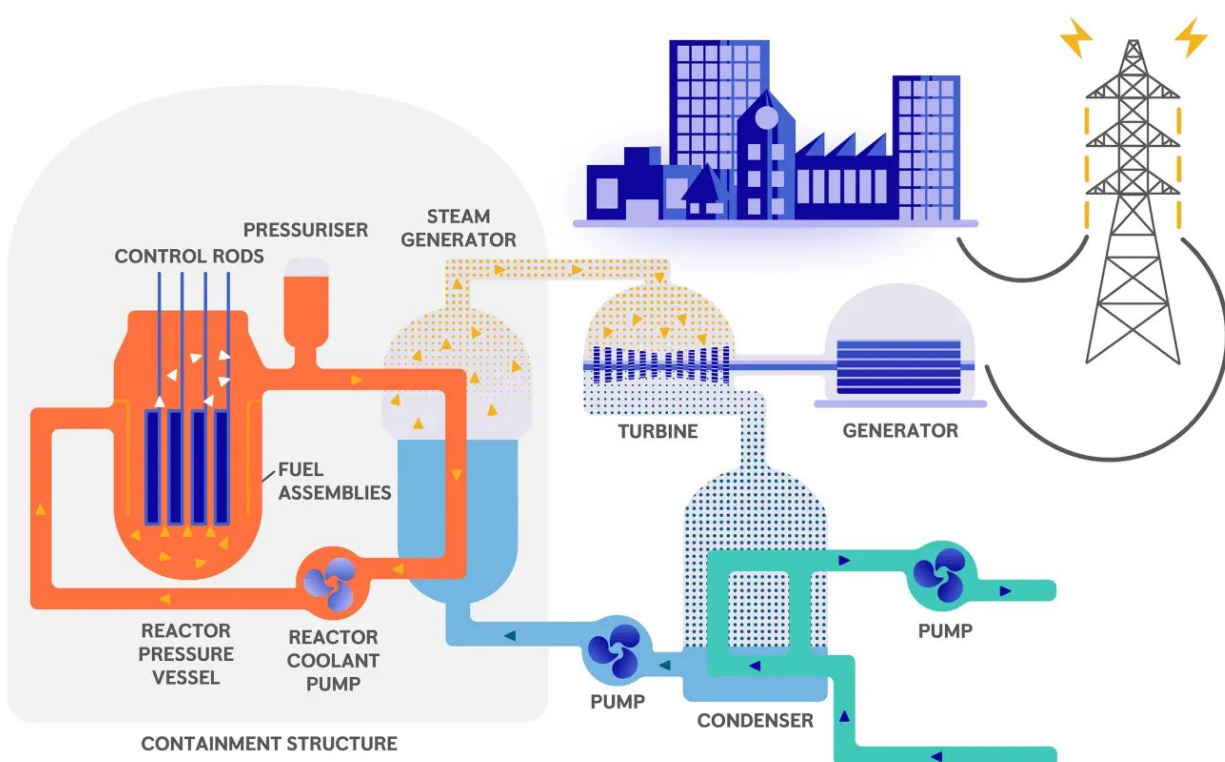
2) **Primární okruh:** Štěpná reakce ohřeje vodu na 300 °C. Díky obrovskému tlaku (15,5 MPa) voda nevaří a čerpadla ji posílají do parogenerátoru.

3) **Sekundární okruh:** Horká primární voda předá teplo vodě v sekundárním okruhu. Ta má

nižší tlak, takže začne vřít, změní se v páru a mří na turbínu.

4) **Turbína a generátor:** Pára roztáčí turbínu (až 3 000 otáček za minutu). Ta pohání generátor, který vyrábí elektřinu přímo pro přenosovou síť.

5) **Kondenzace a chlazení:** Pára za turbínou se pomocí třetího (chladicího) okruhu srazí zpět na vodu a vrací se do procesu. Zbytkové teplo odchází z chladicích věží v podobě čisté vodní páry.



## 2. Globální kontext a konkrétní technologické designy

Sektor malých modulárních reaktorů se celosvětově dynamicky rozvíjí, avšak úroveň připravenosti jednotlivých technologií se napříč kontinenty liší.

Zatímco Ruská federace a Čína již provozují první funkční komerční jednotky (příkladem je ruská plovoucí jaderná elektrárna Akademik Lomonosov), západní trhy jsou ve fázi přípravy a licencování prvních prototypů. Na americkém kontinentu patří k nejpokročilejším projekt varného reaktoru BWRX-300 od společnosti GE Hitachi, jehož výstavba se připravuje v kanadské provincii Ontario s ambiciózním plánem spuštění v roce 2030.

V Evropě hraje pro Českou republiku klíčovou roli britský projekt společnosti Rolls-Royce SMR. Tento tlakovodní reaktor dosahuje výkonu 470 MWe a první tři bloky se již připravují pro lokalitu Wylfa ve Walesu. Dále se na západních trzích etabloují projekty společností jako NuScale či Holtec. S těmito projekty je úzce spjata snaha o silné zapojení evropského a specificky českého dodavatelského průmyslu.

Současně existují i ryze české projekty, které se nacházejí ve fázi raného vývoje a u nichž se uvažuje o komerčním uplatnění ve 30. až 40. letech 21. století. Zaměřují se primárně na segment teplárenství a kogenerace:

- **CR-100:** Tlakovodní reaktor vyvíjený společností Centrum výzkumu Řež, koncipovaný pro kogeneraci s tepelným výkonem 100 MWt.
- **DAVID:** Projekt iniciovaný skupinou Witkowitz o elektrickém výkonu 50 MWe (175 MWt), který koncepčně využívá některé technologické komponenty vycházející z osvědčených reaktorů VVER.
- **TEPLATOR:** Koncept těžkovodního reaktoru s tepelným výkonem 50–200 MWt vyvíjený Západočeskou univerzitou a CIIRC, zaměřený výhradně na produkci tepla, s teoretickou možností využití čerstvého i vyhořelého jaderného paliva.

## 3. SMR a Česká republika

Nasazení SMR v České republice není jen energetickým, ale i průmyslovým strategickým cílem. Státní instituce i energetické společnosti v čele se Skupinou ČEZ systematicky pracují na přípravě legislativy, lokalit i dodavatelského řetězce pro integraci těchto technologií.

### 3.1. Strategická spolupráce a zapojení českého průmyslu

Do britské společnosti Rolls-Royce SMR investoval ČEZ 6 miliard korun, čímž v podniku získal 20% majetkový podíl. Vzhledem k výkonu 470 MWe představuje tento reaktor spíše středně velký zdroj, kapacitně téměř srovnatelný s jedním současným výrobním blokem v Dukovanech. Tuto strategickou kooperaci stvrdily i vládní dohody, které byly podepsány smlouvy určující parametry státní podpory a financování, a zároveň memorandum stanovující cíl postavit v České republice výhledově až šest takových bloků.

Do globálního dodavatelského řetězce prudce rostoucího oboru se aktivně zapojuje i český průmysl. Pízeňská ŠKODA JS a.s. se stala jedním z klíčových dodavatelů jaderných komponent pro Rolls-Royce SMR. Tato obchodní dohoda se týká dodávek takzvaného jaderného ostrova, konkrétně tlakových nádob reaktorů, jejich vnitřních částí, víka reaktoru a kompenzátorů objemu. Výroba, ke které již byly zahájeny inženýrské a konstrukční přípravy, má probíhat jak ve stávající Reaktorové hale ŠKODA JS, tak v revitalizovaném brownfieldu bývalé kalírny.

## 3.2. Identifikace vhodných lokalit v ČR

Z hlediska minimalizace nákladů a využití stávající infrastruktury vyvedení výkonu (400 kV a 110 kV) se jako nejperspektivnější jeví lokality stávajících energetických provozů. Plánované rozmístění zahrnuje tři hlavní kategorie:

- **Stávající jaderné elektrárny:** Tradiční lokality Temelín (kde by měl v příštím desetiletí vyrůst úplně první český SMR) a Dukovany.
- **Odcházející uhelné zdroje a teplárny:** Elektrárny s potenciálem přestavby na jadernou kogeneraci, jako jsou Tušimice, Prunéřov, Dětmárovice, Tisová, Počerady a Ledvice.
- **Průmyslové komplexy:** Místa s obrovskou spotřebou procesního tepla, kam patří závody ORLEN Unipetrol v Litvínově, Spolana v Neratovicích, Lovochemie nebo rafinérie v Kralupech nad Vltavou.

## 3.3. Ekonomické a investiční modely

Náklady na realizaci SMR budou jedním z rozhodujících faktorů pro jejich nasazení. Expertní modely odhadují měrné investice (overnight costs) pro SMR v pásmu 125 až 165 milionů korun na jeden megawatt výkonu. Dlouhodobé sdružené náklady na výrobu elektřiny (LCOE) jsou odhadovány na 60 až 90 EUR/MWh (cca 1 400 až 2 100 Kč/MWh) při zohlednění WACC na úrovni 5 % a vysokého kapacitního faktoru.

Vzhledem k obrovské kapitálové náročnosti není realizace reaktorů čistě na tržní bázi reálná. Zvažují se proto následující investiční varianty:

1. **Soukromý sektor na ryze tržní bázi:** Realizace bez státních záruk má kvůli vysokým finančním a regulačním rizikům velmi nízkou pravděpodobnost úspěchu.
2. **Soukromá společnost/konsorcium s podporou státu:** Preferovaný kompromisní model. Využívá státní záruky, rozdílové kontrakty (CfD) či jiné garance návratnosti (PPA, RAB), které stabilizují investiční prostředí.
3. **Státem vlastněná společnost:** Model poskytující nejvyšší energetickou bezpečnost státu s jednodušším mechanismem notifikace státní podpory z úrovně EU.
4. **Alternativní sdružené investice:** Sdílení rizik a kapitálu skupinou investorů z řad energeticky náročného průmyslu (např. po vzoru finského modelu Mankala).

## Závěr a doporučení pro další rozvoj

Malé a střední modulární reaktory představují pro Českou republiku strategickou příležitost. Pro maximalizaci hospodářského přínosu a zajištění včasné implementace je nezbytné zaměřit se na následující body:

- **Zefektivnění legislativy:** Státní úřad pro jadernou bezpečnost musí novelizovat vyhlášky a atomový zákon, aby umožnil flexibilnější a rychlejší posuzování nových technologických designů vzešlých ze sériové výroby.
- **Rozvoj dodavatelského řetězce:** Je nutné maximálně využít zájmu zahraničních dodavatelů o lokalizaci výroby v ČR a začlenit podniky do mezinárodních dodavatelských struktur, čímž dojde k zachování průmyslového know-how a podpoře růstu HDP.
- **Jasná definice financování a veřejné podpory:** Ze strany státu je nutné urychleně zvolit optimální mechanismy podpory (jako je návratná finanční výpomoc či garance výkupních cen) pro mitigaci tržních rizik spojených s budováním prvních jednotek.

Pokud stát a instituce neprodleně zahájí přípravu lokalit, aktualizaci legislativního rámce a výběr finančního modelu, má Česká republika šanci nasadit první jednotky SMR do komerčního provozu již v průběhu příští dekády. Tento krok by zemi zařadil mezi technologické lídry v dekarbonizaci těžkého průmyslu a teplárenství ve střední Evropě.

## Zdroje

*Podle relevance*

**Oficiální grafické zpracování plánu SMR od Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO)**

[https://mpo.gov.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2023/11/PlanSMR\\_graficke-zpracovani\\_CZ.pdf](https://mpo.gov.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2023/11/PlanSMR_graficke-zpracovani_CZ.pdf)

**Informace o technologii a parametrech Rolls-Royce SMR**

<https://gda.rolls-royce-smr.com/our-technology>

**Definice a základní parametry malých modulárních reaktorů (Skupina ČEZ)**

<https://www.cez.cz/nextcez/cs/nove-jaderne-zdroje/male-modularni-reaktory/co-jsou-male-modularni-reaktory>

**Mikroreaktory a jejich využití v distribuované energetice**

<https://www.svetenergie.cz/energetika-ctive/jaderne-elektrarny/male-a-mikro-reaktory>

**Zapojení tuzemského průmyslu (Plzeňská Škoda JS jako klíčový dodavatel Rolls-Royce)**

<https://ekonomickydenik.cz/plzenska-skoda-js-reaktory-rolls-royce/>

**Výzvy a nevýhody při výstavbě malých jaderných reaktorů v Česku**

[https://www.irozhlas.cz/ekonomika/male-jaderne-reaktory-v-cesku-budou-nestavi-se-ale-o-moc-rychleji-nez-velke-rika\\_2604212236\\_kvr](https://www.irozhlas.cz/ekonomika/male-jaderne-reaktory-v-cesku-budou-nestavi-se-ale-o-moc-rychleji-nez-velke-rika_2604212236_kvr)