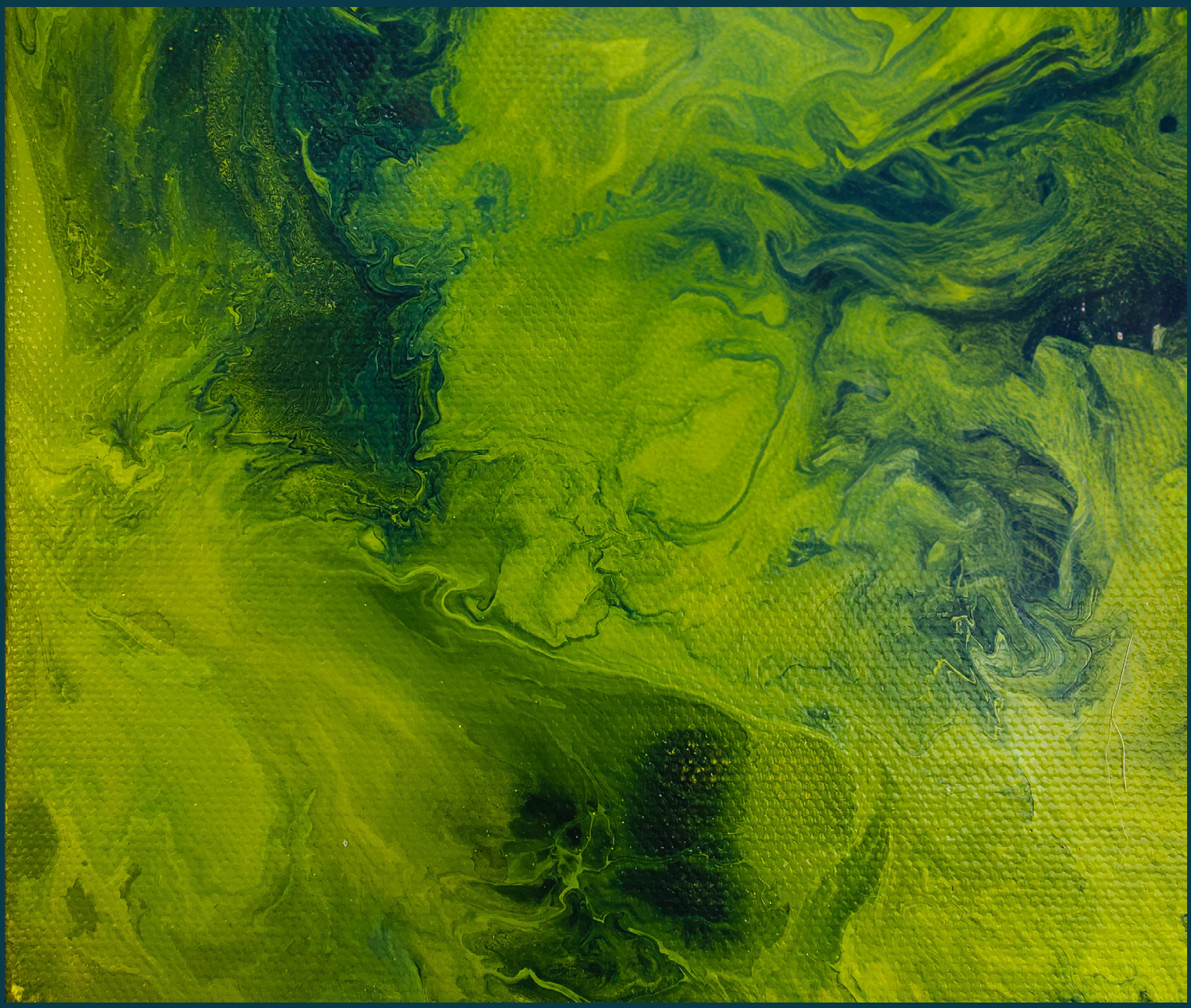
Perspektivy malých modulárních reaktorů v České republice

Stephen Thomas

Emeritní profesor
University of Greenwich

Edvard Sequens

Energetický konzultant
Calla – Sdružení pro záchranu prostředí



HEINRICH BÖLL STIFTUNG
PRAGUE
Czech Republic | Slovakia | Hungary

CALLA®

Hnutí DUHA

Obsah

I. Malé modulární reaktory pro český trh 4

1. Úvod 5
2. Argumenty zastánců SMR 7
3. Cesta vyvíjeného reaktoru na trh 8
   3.1 Schválení regulátorem 8
   3.2 Referenční elektrárna 11
   3.3 Důvěryhodný dodavatelský řetězec 11
   3.4 Demonstrace nákladů 11
4. Zkušenosti ze Spojeného království 12
5. Zvažované návrhy reaktorů 13
   5.1 GE-Hitachi BWRX-300 13
   5.2 NuScale SMR 15
   5.3 Holtec SMR-160 17
   5.4 Rolls Royce SMR 18
   5.5 Nuward 20
   5.6 KAERI SMART 20
   5.7 Westinghouse AP300 21
6. Jsou argumenty ve prospěch SMR věrohodné? 22
   6.1 Sériová výroba komponent 23
   6.2 Úspory z rozsahu 24
   6.3 Modulární komponenty 24
   6.4 Rychlejší výstavba a nižší riziko prodlev 25
   6.5 Jednodušší financování 25
   6.6 Postupné navyšování výkonu 25
7. Očekávané překážky 26
   7.1 Umístění 26
   7.2 Bezpečnostní požadavky 26
8. Závěr 27

II. SMR v České republice 30

Milé čtenářky, milí čtenáři,

jaderná energetika se v České republice dlouhodobě těší zdánlivě neotřesitelné politické i veřejné podpoře, navzdory bezpečnostním, ekonomickým a ekologickým argumentům, které v řadě jiných zemí hrají v debatě o jádru významnou roli. Ruská invaze na Ukrajinu tuto tendenci spíše posílila – jádro má pomoci snížit naši závislost na fosilních palivech a být jedním ze základních pilířů českého energetického mixu.

Zároveň je ale výstavba nových bloků jaderných elektráren nejen nepředstavitelná bez miliardových investic ze státního rozpočtu, ale také se neustále prodlužuje. I díky tomu je elektřina, kterou jaderné elektrárny vyrobí, oproti ekonomicky stále výhodnějším obnovitelným zdrojům výrazně dražší. Podle údajů Zprávy o stavu jaderného průmyslu ve světě za rok 2022 její cena za poslední roky vzrostla o více než třetinu, zatímco například velké fotovoltaické systémy za stejnou dobu zlevnily o 90 %.

Odpovědí některých zastánců jaderné energie na tyto problematické aspekty jsou malé modulární reaktory - ty mají být bezpečnější, flexibilnější, levnější a rychlejší na výstavbu. O jejich uvedení na trh v Česku uvažuje energetická společnost ČEZ. Veřejná debata na toto téma ale zatím neprobíhá, zdrojů informací je velmi málo. Je proto načase se důkladněji podívat na parametry reaktorů, které přicházejí v úvahu pro český trh a také na to, jak ve skutečnosti jejich vývoj pokročil. Jaké jsou argumenty v jejich prospěch a nakolik jsou reálné? Jaká je šance, že v Česku dojde k jejich hromadné výstavbě? Tato publikace přináší odborný pohled a soubor nejdůležitějších poznatků v tématu. Jejím autorem je profesor Stephen Thomas z Greenwichské univerzity s více než pětadvacetiletou zkušeností s výzkumem v oblasti energetických politik. Thomas také spolupracuje s významnými periodiky, je členem redakční rady časopisu Utilities Policy a vedoucí editor Energy Policy. Aktuální situaci v České republice popisuje kapitola od Edvarda Sequense, energetického konzultanta organizace Calla.

Budeme rády, pokud tato analýza přinese potřebné informace a podnítí k přemýšlení a debatě o smysluplnosti projektů výstavby malých modulárních reaktorů v porovnání s alternativami, jakými jsou obnovitelné zdroje energie. Přejeme Vám podnětné čtení!

Adéla Jurečková, ředitelka, Heinrich Böll Stiftung Praha
Klára Pleskačová, koordinátorka programu ekologie, Heinrich Böll Stiftung Praha

Malé modulární reaktory pro český trh

Stephen Thomas

1. Úvod

Malé modulární reaktory (*small modular reactors*, dále jen „SMR“) jsou v současnosti hojně prosazovány jako ekonomicky výhodný zdroj elektřiny, který má snížit emise skleníkových plynů v energetice a zároveň oživit jaderný sektor. Pod zkratku SMR se dnes ovšem řadí takové množství reaktorů různých technologií a velikostí, že z technického hlediska nejde o jednolitou kategorii. Standardně jsou SMR definovány jako reaktory o výkonu 20–300 MW, které jsou vhodné pro zapojení do distribuční sítě [1], nicméně dodavatelé dnes vyvíjejí také několik reaktorů, které sice označují jako SMR, ale jejichž výkon výrazně přesahuje 300 MW. Například SMR společnosti Rolls Royce má podle očekávání vyrábět 470 MW. Byl by tak zhruba stejně velký jako každý ze čtyř reaktorů v Dukovanech a větší než Fukušima Daiči 1 (439 MW), jeden z reaktorů, které se roztavily při havárii roku 2011 v Japonsku. V této zprávě se věnujeme reaktorům o výkonu 20–500 MW. Reaktory menšími než 20 MW, někdy označovanými jako mikroreaktory [2], které mají dodávat teplo a elektřinu v průmyslových závodech či izolovaných osídlených lokalitách nebo vyrábět vodík, se zde zabývat nebudeme.

Co se používaných technologií týče, některé typy SMR jsou v podstatě menší verze nejčastěji používaných reaktorů. Patří mezi ně dva typy lehkovodního reaktoru (*light-water reactor,* dále jen „LWR“), a sice tlakovodní reaktor (*pressurized water reactor*, dále jen „PWR“), instalovaný například v Temelíně a Dukovanech, a jeho příbuzný reaktor varný (*boiling water reactor*, dále jen „BWR“) [3]. Tyto typy používají jako chladivo (médium, které přenáší teplo z reaktoru do elektrárny) i moderátor (látku, která usměrňuje jadernou reakci) obyčejnou vodu [4,5]. Voda není nejlepší chladivo ani moderátor, ale vyplácí se pro nízkou cenu. Více než 60 let provozu lehkovodních reaktorů dává určitou, ne-li úplnou jistotu, že lehkovodní SMR mohou být dostatečně spolehlivým zdrojem energie. Některé typy malých PWR se od velkých reaktorů liší „integrovanou“ konstrukcí, kdy se aktivní zóna reaktoru, primární chladicí okruh, parogenerátor i veškeré nutné nouzové chlazení nacházejí v jedné tlakové nádobě. Tím má být sníženo riziko nehod způsobených ztrátou chladiva. Tlaková nádoba však musí být dost objemná

1. LIOU, Joanne. What Are Small Modular Reactors (SMRs)? Online. In: International Atomic Energy Agency. 4. 11. 2021. *https://tinyurl.com/236j72sc*

2. Microreactors. Online. In: Idaho National Laboratory. *https://tinyurl.com/zaru254v*

3. Ze 437 provozovaných reaktorů na konci roku 2021 bylo 303 tlakovodních (PWR) a 67 varných (BWR).

4. Některé typy reaktorů využívají jako chladivo a moderátor „těžkou“ vodu. Ta obsahuje místo atomů vodíku jeho těžší a vzácnější izotop deuterium. Z dokončených reaktorů takto těžkou vodu využívá celkem 47 tlakovodních reaktorů.

5. Voda není nejlepší chladivo ani moderátor, ale je mnohem levnější než alternativní chladiva jako helium a moderátory jako grafit. Vzhledem k její nižší efektivitě musí být podíl „štěpného“ izotopu v obohaceném uranu zvýšen z přirozených 0,7 % na zhruba 4–5 %. Dalším omezením vyplývajícím z používání vody je provozní teplota PWR a BWR nižší než 400 °C, která je příliš nízká pro některé průmyslové procesy, jako je syntéza vodíku efektivní katalýzou.

a větší SMR, například reaktor společnosti Rolls Royce, proto s integrovanou konstrukcí nepočítají. U některých navrhovaných modelů se uplatňuje tzv. pasivní zabezpečení, kdy v případě nehody reaktor nemá spoléhat na spuštění bezpečnostních systémů, které ho uvedou zpět do bezpečného stavu. Místo nouzového chladicího systému aktivní zóny takový reaktor využívá přirozené šíření tepla prouděním. Z velkých reaktorů na pasivní bezpečnostní prvky výrazně spoléhá pouze Westinghouse AP1000. Ostatní typy využívají některé pasivní prvky, ale hlavní bezpečnostní systémy mají zpravidla aktivní.

SMR jiného typu než PWR a BWR bývají někdy označovány jako „pokročilé" reaktory. To je ovšem zavádějící název, protože tyto konstrukce nejsou nové, ale minimálně půl století staré koncepty. V případě sodíkem chlazeného rychlého reaktoru (*sodium-cooled fast reactor*, dále jen „SFR") a vysokoteplotního plynem chlazeného reaktoru (*high-temperature gas-cooled reactor,* dále jen „HTGR") existují prototypy a demonstrační elektrárny, které se prezentovaly vesměs chabými výsledky. Například francouzský pokusný SFR Superphénix o výkonu 1200 MW během pěti let provozu vyrobil jen minimum energie, než byl roku 1998 odstaven. Německý HTGR THTR-300 o výkonu 300 MW vygeneroval během dvou let od dokončení také jen malé množství energie, než byl roku 1989 odstaven. O dalších typech, jako je například reaktor chlazený roztavenými solemi nebo olovem chlazený rychlý reaktor, se desítky let hovoří, ale neexistuje dosud ani jeden hotový prototyp. Všechny „pokročilé" reaktory budou vyžadovat drahé – a v některých případech dosud nevyvinuté – materiály, které vydrží náročné podmínky (např. vysoké teploty, tlak a riziko koroze). Také vyvíjené mikroreaktory zpravidla počítají s některou z „pokročilých" technologií. Na rozdíl od LWR nelze odhadovat, zda se pokročilé reaktory stanou spolehlivým zdrojem energie, o jejich konkurenceschopnosti ani nemluvě. Zdá se nepravděpodobné, že by se pokročilé reaktory staly komerčně dostupnými v časovém horizontu relevantním pro ČR a mikroreaktory zase nepokryjí potřeby českého státu. Proto se zaměřujeme na lehkovodní SMR o výkonu 20–500 MW, které ve zvažovaném období mohou být dostupné. Nejmenší SMR, kterému zde věnujeme pozornost, je NuScale PWR o výkonu 77 MW a největší Rolls Royce SMR s výkonem 470 MW.

2. Argumenty zastánců SMR

Proponenti malých modulárních reaktorů tvrdí, že SMR budou v přepočtu na jednotku elektrického výkonu levnější a jejich výstavba bude oproti konvenčním velkým reaktorům rychlejší a méně náchylná k prodlevám a prodražení. Tato tvrzení vycházejí z následujících úvah:

1. **Komponenty by se vyráběly sériově na výrobních linkách, nikoli jednorázově, jak je obvyklé u hlavních komponent velkých reaktorů.**
2. **Komponenty by byly dodávány v modulech, které by na místě vyžadovaly pouze montáž, nikoliv rozsáhlé inženýrské práce jako většina velkých reaktorů.**
3. **Díky menší velikosti by výstavba byla rychlejší a s menším rizikem prodlevy.**
4. **Díky menší velikosti a nižším celkovým nákladům by bylo jednodušší tyto projekty financovat.**
5. **Některé typy umožňují v rámci jedné elektrárny postupně přidávat další reaktory podle poptávky.**

Tyto argumenty podrobněji prozkoumáme v části 6.

3. Cesta vyvíjeného reaktoru na trh

Dodavatelé reaktorů se rádi tváří, jako by jejich navrhované modely měly být co nevidět komerčně dostupné. Komerčně dostupný ovšem v současnosti není žádný typ SMR. Ze zkušenosti můžeme odhadovat, že cesta reaktoru od prvních návrhů po komerční dostupnost bude stát přes miliardu dolarů a potrvá více než deset let. Taková částka přesahuje možnosti většiny potenciálních dodavatelů SMR a zajištění komerční dostupnosti většiny reaktorů se neobejde bez velkých státních subvencí a záruk. Řada těchto reaktorů existuje pouze ve fázi základního návrhu. Dále musí být před zadáním výroby vypracován podrobný návrh, což představuje nejdražší fázi projektu. Vzhledem k chabým výsledkům mnoha v minulosti navrhovaných reaktorů lze očekávat, že potenciální zákazníci budou chtít obvykle vidět ukázkový reaktor provozovaný v komerčním měřítku, což se pravděpodobně opět neobejde bez subvencí a finančních záruk z veřejných zdrojů. Aby se stal vyvíjený návrh komerčně dostupným reaktorem, musí navíc splnit několik praktických požadavků.

3.1 Schválení regulátorem

Zaprvé by vyvíjený reaktor měl projít zevrubným posouzením u zkušeného a důvěryhodného bezpečnostního regulačního orgánu. Ze všech zemí světa SMR nejsilněji prosazuje Kanada. Její vláda uvedla, že se Kanada má stát „průkopníkem této převratné technologie“, přestože všechny navrhované koncepty již byly prezentovány v jiných zemích [6]. Kanadský úřad pro jadernou bezpečnost (Canadian Nuclear Safety Commission, dále jen „CNSC“) podpořil tuto vizi vypracováním předlicenčního kontrolního procesu, který určí, zda by návrh v zásadě měl vyhovět následnému zevrubnému posouzení, které je nutné před vydáním stavebního povolení pro konkrétní projekt.

CNSC nabízí třífázové „předlicenční posouzení návrhu reaktoru“ [7]. První fáze zahrnuje „celkové posouzení projektu jaderné elektrárny z hlediska nejnovějších požadavků CNSC na nové jaderné elektrárny v Kanadě“, jakož i posouzení dle „všech dalších souvisejících regulačních dokumentů CNSC a kanadských předpisů a norem“. Vzhledem k tomu, že poslední objednávka reaktoru v Kanadě (Darlingtonská jaderná elektrárna) proběhla před více než 40 lety, není jasné, jak kvalitně připravené jsou zmiňované „nejnovější požadavky CNSC“. Ve druhé fázi mají být identifikovány „veškeré zásadní překážky pro udělení licence na posuzovaný projekt jaderné elektrárny v Kanadě“. Ve třetí fázi „může dodavatel navázat na některá zjištění z druhé fáze a získat od CNSC více informací nebo požádat CNSC o přezkoumání dalších kroků v přípravě návrhu, které učinil od skončení druhé fáze“. CNSC upřesňuje, že předlicenční posouzení návrhu „neslouží k certifikaci ani udělení licence podle zákona o jaderné bezpečnosti a kontrole. Nejde o povinnou součást licenčního řízení pro nové jaderné reaktory. Závěry nejsou závazné a nemají vliv na rozhodovací proces.“

6. About the Action Plan. Online. In: Canada's Small Modular Reactor. SMR Action Plan. *https://smractionplan.ca/*

7. Pre-Licensing Vendor Design Review. Online. In: Canadian Nuclear Safety Commission. *https://tinyurl.com/22rmw5nn*

V tabulce 1 je znázorněn stav posuzování na úřadu CNSC. Jediné posuzované lehkovodní reaktory jsou GE-Hitachi BWRX-300 a Holtec SMR-160. Společnost NuScale uvedla, že v roce 2020 předložila úřadu k předlicenčnímu posouzení kombinované první a druhé fáze svůj návrh 60MW tlakovodního reaktoru, ten ovšem v seznamu posuzovaných reaktorů z roku 2023 chybí a vzhledem k tomu, že od 60MW návrhu bylo od té doby upuštěno, není jasné, zda NuScale o posouzení v Kanadě nadále usiluje [8]. Společnost Holtec uvedla, že její projekt tlakovodního reaktoru SMR-160 dokončil první fázi posouzení CNSC v roce 2020 [9] a „v blízké budoucnosti" má vstoupit do druhé fáze.

Také v jiných zemích provádí regulátor podobné posuzování s cílem vyhodnotit, zda by realizovaný návrh v zásadě měl splnit požadované normy, ale Kanada v této oblasti vyniká vysokou aktivitou. Ani v ostatních zemích posouzení neslouží k udělení licence, ale pouze ke zjištění, zda by detailní návrh mohl licenci získat.

Teprve po přezkoumání podrobného návrhu lze určit kompletní specifikace elektrárny, a tudíž i věrohodně odhadnout výši nákladů. Americký regulační úřad pro jadernou bezpečnost (Nuclear Regulatory Commission, dále jen „NRC") takové posuzování provádí v rámci svého certifikačního programu, který byl zaveden před více než 30 lety [10] a ve Spojeném království podobný proces realizuje tamní Úřad pro jadernou regulaci (Office for Nuclear Regulation, dále jen „ONR") v rámci programu Obecné posouzení návrhu (*generic design assessment*, dále jen „GDA") z roku 2009 [11]. Britský program GDA začal přijímat návrhy SMR v květnu 2021, ale dosud byl přihlášen pouze jeden reaktor, a sice tlakovodní SMR společnosti Rolls Royce [12]. Návrhy reaktorů, které úspěšně projdou tímto typem posouzení, získají na stanovenou dobu (v USA na 15 let, ve Spojeném království na 10 let) povolení k výstavbě za předpokladu, že splní příslušné místní požadavky. V USA i Spojeném království platí náklady na posouzení návrhu zpravidla dodavatel.

8. NuScale Submits Phase 1 and 2 Combined Pre-Licensing Vendor Design Review to Canadian Nuclear Safety Commission. Online. In: NuScale. 7. 1. 2022. *https://tinyurl.com/wcfwdxpm*

9. Holtec Successfully Completes Canadian Nuclear Safety Commission Phase 1 Vendor Design Review. Online. In: Holtec International. 20. 8. 2020. *https://tinyurl.com/nhhx7dm3*

10. Design Certification Applications for New Reactors. Online. In: United States Regulatory Commission. *https://tinyurl.com/3rwnxmyk*

11. Generic Design Assessment (GDA) of new nuclear power stations. Online. In: Office for Nuclear Regulation. *https://www.onr.org.uk/new-reactors/*

12. Policy Paper. Advanced Nuclear Technologies. Updated 15 August 2023. Online. In: GOV.UK. Aktualizováno 15. 8. 2023. *https://tinyurl.com/4nhcxd9w*

Tabulka 1: Předlicenční posuzování vyvíjených reaktorů v Kanadě

REAKTOR	TYP	VÝKON (MWE)	DODAVATEL	ZAHÁJENÍ POSOUZENÍ	STAV
IMSR-400	Roztavené soli	200	Terrestrial Energy	1. fáze 4/2016 2. fáze 12/2018	Hotovo Hotovo
ARC-100	SFR	100	ARC Nuclear Canada	1. fáze 9/2017 2. fáze 2/2022	Hotovo Probíhá
Moltex Energy Stable Salt	Roztavené soli	300	Moltex Energy	1. fáze 12/2017 2. fáze	Probíhá
SMR-160	PWR	160	Holtec	1. fáze 7/2018 2. fáze	Hotovo
BWRX-300	BWR	300	GE-Hitachi	2. fáze 1/2020	Hotovo
Xe-100	HTGR	80	X Energy	2. fáze 7/2020	Probíhá

Zdroj: https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/index.cfm
Poznámky:
1. V případě BWRX-300 a Xe-100 jde o kombinaci první a druhé fáze posouzení.
2. Nejsou uvedeny tři reaktory o výkonu nižším než 20 MWe.
3. SFR je sodíkem chlazený rychlý reaktor a IMSR (Integral Molten Salt Reactor) je integrovaný reaktor chlazený roztavenými solemi.

3.2 Referenční elektrárna

Vzhledem k tomu, že výstavba nově navržených reaktorů trpí zejména v posledních desetiletích na prodlevy a prodražení, investoři nechtějí pořizovat elektrárnu daného návrhu jako první. Chtějí nejprve na vlastní oči vidět realizovanou elektrárnu, která je dokladem výše nákladů, výkonu a dodržení bezpečnostních požadavků regulátora. Taková demonstrační elektrárna se často buduje v domovské zemi dodavatele a její výstavba se obvykle neobejde bez veřejných subvencí a dalších podob státní podpory.

3.3 Důvěryhodný dodavatelský řetězec

Mnoho navrhovaných SMR nenabízejí zavedení dodavatelé, ale společnosti bez zkušenosti s dodáváním jakýchkoli elektráren. Někdy jde o startupy nebo firmy, které dosud nikdy nestavěly žádnou elektrárnu. Aby tyto společnosti působily důvěryhodněji, potřebují partnera s dobrými referencemi ve výstavbě elektráren, nejlépe jaderných. Například většinovým vlastníkem společnosti NuScale je stavební firma Fluor Corporation. Dodavatelé budou muset dojednat dodávky komponent od výrobců, kteří splňují normy požadované pro komponenty jaderných elektráren (například dle akreditace Americké společnosti strojních inženýrů, ASME [13]). V posledních dvaceti letech stavěli velkou většinu reaktorů dodavatelé z Ruska a Číny, takže dodavatelský řetězec pro vybudování jakéhokoli reaktoru bude muset být vytvořen nanovo, pokud má přijít větší počet objednávek.

3.4 Demonstrace nákladů

Vzhledem k tomu, že ekonomické argumenty se odvíjejí od snížení nákladů vyplývajícího ze sériové výroby komponent, mohou být náklady přesněji určeny, až když bude s využitím výrobních linek dokončeno několik reaktorů. Jde však o začarovaný kruh. Výrobní linky jsou samy o sobě drahé a potřebují setrvalý přísun objednávek. Ty však nejspíš mohou začít přicházet až po zprovoznění referenční elektrárny, která přesvědčí potenciální investory, že návrh nepředstavuje velké ekonomické riziko. Pokud se tedy nenajde investor ochotný riskovat tím, že zadá značný počet objednávek ještě před dokončením pilotního projektu, bude se muset výrobní linka odstavit ihned po dokončení komponent pro první elektrárnu. Případně by se komponenty mohly pro první reaktory vyrobit jednorázově jako u velkých reaktorů. Jednorázová výroba by ovšem neukázala skutečné náklady na sériovou výrobu.

13. Nuclear Component Certification.Online. In: The American Society of Mechanical Engineers. *https://tinyurl.com/3byy5wzu*

4. Zkušenosti ze Spojeného království

V prohlášení o státním rozpočtu z listopadu 2015 britská vláda oznámila, že do roku 2020 hodlá vynaložit minimálně 250 mil. liber na „inovativní jaderné technologie". Zdá se, že se to týkalo téměř výhradně malých modulárních reaktorů, mimo jiné i veřejné soutěže, z níž měl vzejít „nejlepší SMR pro Spojené království" [14]. Podrobnosti o jiných jaderných technologiích nebyly uvedeny, proto je nutné předpokládat, že většina prostředků měla padnout na SMR.

V březnu 2016 vláda vyzvala k vyjádření zájmu o dodávání SMR. Očekávalo se, že první fáze této soutěže bude uzavřena koncem roku 2016, kdy měl být také zveřejněn „Plán dodávek SMR" [15]. Soutěž nicméně nikdy dokončena nebyla, a pokud plán vznikl, tak nikdy nebyl publikován a neexistují žádné důkazy o tom, že by prostředky z rozpočtu byly nějakým způsobem využity.

Přesto v červenci 2023 britská vláda vyhlásila další soutěž, ze které má vzejít nejlepší návrh SMR pro Spojené království. Konečné rozhodnutí o investici do úspěšného návrhu či návrhů má ovšem přijít až v roce 2029 [16]. O návrhu společnosti Rolls Royce se v plánu nehovoří, a tak – pokud nebude odtajněn nějaký jiný plán vývoje – jsou úvahy firmy o tom, že její SMR by v roce 2029 mohl být v provozu, zjevně passé [17]. Teprve čas ukáže, zda bude nová veřejná soutěž úspěšnější než ta předchozí.

14. CARRINGTON, Damian. George Osborne puts UK at the heart of global race for mini-nuclear reactors. Online. In: The Guardian. 24. 11. 2015. *https://tinyurl.com/yxep7b5n*

15. UK government launches SMR competition. Online. In: World Nuclear News. 18. 3. 2016. *https://tinyurl.com/2p8pc9rj*
Small Reactors Competition: phase one. Online. In: GOV.UK. 17. 3. 2016. *https://tinyurl.com/2s4cbh7u*

16. Small Modular Reactors: competitive technology selection process. Online. In: GOV.UK. 18. 7. 2023. *https://tinyurl.com/3swz48c9*

17. Rolls-Royce hopes for UK SMR online by 2029. Online. In: World Nuclear News. 19. 4. 2022. *https://tinyurl.com/yvnbk94k*

5. Zvažované návrhy reaktorů

Za relevantní pro Českou republiku je považováno celkem sedm vyvíjených reaktorů (viz Tabulka 2).

5.1 GE–Hitachi BWRX–300

Návrh 300MW reaktoru BWRX-300 byl představen v roce 2018. Jde o zmenšenou verzi úsporného zjednodušeného varného reaktoru 1500MW GE-Hitachi ESBWR [18], který byl po devítileté proceduře v roce 2014 principiálně schválen americkým NRC. Návrh v roce 2008 vstoupil rovněž do schvalovacího procesu britského GDA, ale o rok později byl stažen pro nezájem o objednávky na britském území [19]. Vývoj malého BWRX-300 finančně podporují americké energetické společnosti Dominion a Exelon a podporuje ho také americké ministerstvo energetiky, ale vzhledem ke zjevně rané fázi projektu může ještě nějakou dobu trvat, než bude připraven pro komerční využití. Předběžné posouzení BWRX-300 zahájil NRC v prosinci 2019, ale k červenci 2023 zatím nebylo dokončeno [20].

V březnu 2023 společnost GE-Hitachi oznámila, že se její reaktor BWRX-300 stal prvním návrhem SMR, který dokončil první dvě fáze předlicenčního posouzení v Kanadě. Tamní regulátor CNSC však uvedl, že „při posuzování byly odhaleny některé technické oblasti, kde je zapotřebí další vývoj, aby [společnost GE-Hitachi] lépe prokázala soulad s požadavky CNSC [21]". V lednu 2023 GE-Hitachi vydala tiskovou zprávu, ve které naznačuje, že si od ní společnost Ontario Power Generation (OPG) reaktor BWRX-300 závazně objednala („GE Hitachi podepsala smlouvu na první malý modulární reaktor v Severní Americe"), který má být spuštěn do roku 2029 [22]. OPG následně oznámila, že očekává objednávku dalších tří BWRX-300, které mají být dokončeny mezi lety 2034 a 2036 [23]. Všechny čtyři SMR mají být umístěny do elektrárny Darlington, která dnes provozuje čtyři velké reaktory. Při bližším čtení však zjišťujeme, že objednávky nejsou závazné a ani nebudou, dokud návrh kompletně neschválí kanadský regulátor CNSC [24]. O schválení výstavby prvního reaktoru v Darlingtonu požádala OPG v říjnu 2022 a očekává, že o investici se rozhodne do konce roku 2024.

18. New Plants. Online. In: Hitachi. *https://tinyurl.com/bdk6kr27*

19. EPR reactor design meets UK approval. Online. In: World Nucelar News. 13. 12. 2012. *https://tinyurl.com/bdhuxt4j*

20. GEH BWRX-300. Online. In: United States Nuclear Regulatory Commission. Aktualizováno 6. 10. 2022. *https://tinyurl.com/52dbrrnv*

21. BWRX-300 completes Phases 1 & 2 of Canadian pre-licensing review. Online. In: World Nucelar News. 15. 3. 2023. *https://tinyurl.com/493tjdfc*

22. GE Hitachi Signs Contract for the First North American Small Modular Reactor. Online. In: General Electric. 27. 1. 2023. *https://tinyurl.com/29hzdmcb*

23. Additional SMRs in the pipeline for Darlington. Online. In: World Nuclear News. 7. 7. 2023. *https://tinyurl.com/bf6bruv7*

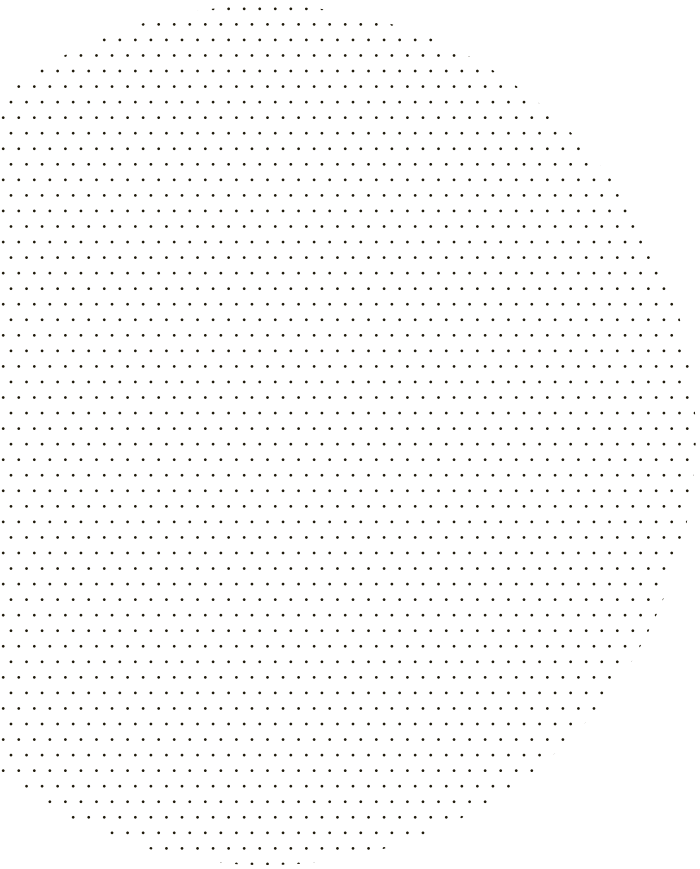
24. Nuclear facility – Darlington New Nuclear Project. Online. In: Canadian Nuclear Safety Commission. Aktualizováno 19. 9. 2023. *https://tinyurl.com/3a95745v*

O BWRX-300 se zajímají rovněž v Polsku [25], ale závazná objednávka je zjevně ještě daleko. O reaktoru uvažuje také malá estonská soukromá společnost Fermi Energy, založená v roce 2006 s cílem rozvinout jadernou energetiku v Estonsku [26]. V únoru 2023 se kanadský a polský regulátor dohodli na vzájemné spolupráci při posuzování reaktoru [27]. Polský úřad Państwowa Agencja Atomistyki (PAA) v květnu 2023 oznámil, že návrh splňuje jeho bezpečnostní požadavky [28]. Avšak vzhledem k tomu, že šlo pouze o schválení v obecné rovině a vzhledem k nedostatku zkušeností PAA s posuzováním reaktorů, není stanovisko úřadu natolik významné.

V prosinci 2022 GE-Hitachi požádala britskou vládu, aby tamnímu regulátorovi ONR zadala posoudit bezpečnost návrhu v rámci programu GDA [29]. K červenci 2023 britský kabinet o této žádosti dosud nerozhodl. V květnu 2023 úřad ONR potvrdil, že posuzování BWRX-300 dosud nezahájil [30].

Americká federálně vlastněná energetická společnost Tennessee Valley Authority získala povolení záměru k výstavbě malých modulárních reaktorů v areálu Clinch River o celkovém výkonu až 800 MW, přičemž BWRX-300 patří mezi hlavní kandidáty [31].

V roce 2020 se společnosti GE-Hitachi a ČEZ v rámci memoranda o porozumění dohodly na zkoumání proveditelnosti výstavby BWRX-300 v České republice [32].



25. Poland's Orlen Synthos Green Energy seeks formal approval for SMR sites. Online. In: Nuclear Engineering International. 2. 5. 2023. *https://tinyurl.com/nhhetj2t*

26. Fermi Energia chooses GE Hitachi's BWRX-300 as the technology for planned SMR nuclear power plant in Estonia. Online. In: Fermi Energia. 8. 2. 2023. *https://tinyurl.com/9jjhtf8n*

27. Canadian and Polish regulators announce SMR collaboration. Online. In: World Nuclear News. 14. 2. 2023. *https://tinyurl.com/yf97snbp*

28. BWRX-300 meets Polish safety requirements, says regulator. Online. In: World Nuclear News. 24. 5. 2023. *https://tinyurl.com/bdetbdtn*

29. GE Hitachi Submits Generic Design Assessment Application in the UK for the BWRX-300 Small Modular Reactor. Online. In: General Electric. 20. 12. 2022. *https://tinyurl.com/musfnvtt*
Policy Paper. Advanced Nuclear Technologies. Online. In: GOV.UK. 15. 8. 2023. *https://tinyurl.com/4nhcxd9w*

30. BEIS-funded Mature Technology evaluation of GE Hitachi's BWRX-300 Small Modular Reactor. Online. In: Office for Nuclear Regulation. 17. 11. 2020. *https://tinyurl.com/5xkwpze3*

31. TVA, GEH cooperate on BWRX-300 deployment at Clinch River. Online. In: World Nuclear News. 3. 8. 2022. *https://tinyurl.com/4jc5f6dn*

32. GE Hitachi Nuclear Energy and ČEZ Announce Small Modular Reactor Technology Collaboration in the Czech Republic. Online. In: ČEZ Group. *https://tinyurl.com/32247bd2*

5.2 NuScale SMR

Historie tlakovodního SMR společnosti NuScale [33] sahá podle výzkumu Oregonské státní univerzity provedeného pro americké ministerstvo energetiky až k počátku tisíciletí. Samotná společnost NuScale byla založena roku 2007 [34]. Původní návrh počítal s výkonem 35 MW, ale toto číslo se postupně zvyšovalo přes 40, 50 a 60 MW až na hodnotu 77 MW v roce 2020 [35]. Firma navrhuje budovat zařízení o 12 reaktorech, ale vzhledem k navýšení výkonu na 77 MW začala nabízet také řešení o čtyřech nebo šesti blocích. V roce 2008 společnost požádala americký regulační úřad NRC o předběžné posouzení a jejím primárním investorem se roku 2011 stala Fluor Corporation (velká strojírenská a stavební firma se sídlem v USA). NuScale tvrdí, že jeho reaktor je vhodný pro řadu různých využití, včetně odsolování mořské vody a výroby tepelné i elektrické energie, a vyzdvihuje jeho schopnost měnit výkon podle aktuálního zatížení.

V roce 2013 společnost NuScale dostala od amerického ministerstva energetiky 217 mil. dolarů na vývoj svého SMR a zajištění jeho obecného schválení u NRC. Ve stejném roce se do vývojového programu NuScale zapojil Rolls Royce. V roce 2016 byl NRC předložen k revizi návrh 50MW reaktoru v 12blokové variantě – jediném uspořádání 50MW reaktoru, které NRC ke květnu 2023 obdržel [36] – a roku 2020 byl schválen. Po 50% navýšení výkonu NuScale v lednu 2023 požádal o přezkoumání 77MW návrhu v šestiblokové variantě [37]. V reakci na tuto žádost NRC poukázal na závažné problémy, které mají být před zahájením přezkumu vyřešeny [38]. Posuzování poté začalo v březnu 2023 [39].

Návrh reaktoru byl údajně předložen k předběžnému přezkoumání také u kanadského CNSC [40]. Nicméně v květnu 2023 společnost NuScale na seznamu posuzovaných reaktorů nefigurovala.

Fluor do konce roku 2021 podle svého vyjádření utratil za vývoj 600 mil. dolarů z vlastních zdrojů [41]. Přestože je tento reaktor vyvíjen už dlouho, zdaleka není připraven ke komerčnímu nasazení. Pilotní projekt, oznámený v roce 2015, představuje vícereaktorové zařízení v Utahu, které má patřit veřejnému provozovateli Utah Associated Municipal Power Systems (dále jen „UAMPS" [42]). Původně mělo jít o dvanáct 50MW reaktorů (celkem 600 MW), ale kvůli navýšení navrženého výkonu na 77 MW a obtížím s hledáním investorů byl projekt zmenšen na šest reaktorů (celkem 462 MW) s očekávaným dokončením v roce 2030, o čtyři roky později oproti původnímu plánu.

Členskou základnu UAMPS tvoří zhruba 50 municipalit, které by z nové elektrárny měly podle očekávání odebírat přibližně po 2–4 MW [43]. V lednu 2023 UAMPS oznámil, že odhadovaná cena šesti reaktorů vzrostla z 5,3 mld. dolarů v roce 2021 na 9,3 mld. dolarů (včetně 2,5 mld. dolarů v úrocích vzniklých v průběhu výstavby). Náklady bez započítání těchto úroků tak činí téměř 15 000 dolarů na kW výkonu. Americké ministerstvo energetiky nabízí dotaci na výstavbu ve výši 1,2 mld. dolarů [44]. Očekávaná cena energie vzrostla z 58 na 89 dolarů za MWh, avšak až po odečtení další dotace ministerstva ve výši 30 dolarů za MWh, takže celková očekávaná cena se pohybuje okolo 120 dolarů za MWh [45]. Navzdory dotacím se získání závazných objednávek energie od členů UAMPS ukázalo jako obtížný úkol a k lednu 2023 bylo závazně alokováno jen 120 ze 462 MW [46]. Budoucnost projektu je tudíž nejistá.

33, 34. Company History. Online. In: NuScale. *https://www.nuscalepower.com/en/about/history*

35. NuScale Power Releases Updated Evaluation for 77 MWe Module Clean Hydrogen Production. Online. In: Nuscale. 12. 9. 2020. *https://tinyurl.com/35xz68n6*

36. Design Certification Applications for New Reactors. Online. In: United States Regulatory Commission. *https://tinyurl.com/27k2t5bn*

37. NuScale US460 Standard Design Approval Application Review. Online. In: United States Nuclear Regulatory Commission. Aktualizováno 1. 8. 2023. *https://tinyurl.com/2p9nra5w*

38. TESFAYE, Getachew. ACCEPTANCE REVIEW OF THE NUSCALE US460 STANDARD DESIGN APPROVAL APPLICATION. In: United States Nuclear Regulatory Commission. 17. 3. 2023. *https://tinyurl.com/3jksmjsu*
SMITH, Grant, LACEY, Anthony. Small size, big problems: NuScale's troublesome small modular nuclear reactor plan. Online. In: EWG. 11. 7. 2023. *https://tinyurl.com/m3kjyk9e*

39. NRC to Begin Reviewing Portions of NuScale's Small Modular Reactor Standard Design Approval Application. Online. In: United States Nuclear Regulatory Commission. *https://tinyurl.com/yets6cw6*

40. Pre-Licensing Vendor Design Review. Online. In: Canadian Nuclear Safety Commission. Aktualizováno 20. 4. 2023. *https://tinyurl.com/mw3fr9bx*

41. MERSHON, Brian, LANDKAMER, Jason. Fluor-Backed NuScale Power Signs Agreement to Accelerate Small Modular Reactor Commercialization. Online. In: Fluor. *https://tinyurl.com/ycx4ywv4*

42. Growing the SMR Market. Online. In: NuScale. *https://www.nuscalepower.com/en/projects*

43. UAMPS Members. Online. In: UAMPS. *https://www.uamps.com/Members*

44, 45. SCHLISSEL, David. Eye-popping new cost estimates released for NuScale small modular reactor. Online. In: Institute for Energy Economics and Financial Analysis. 11. 1. 2023. *https://tinyurl.com/yudax6kk*

46. Nucleonics Week „UAMPS says members boost capacity commitments, agree to advance Idaho SMR plant", 1. března 2023, s. 1.

Je zřejmé, že komponenty pro projekt UAMPS nebudou vyráběny sériově; společnost NuScale uzavřela dohody o jejich případném dodání s několika různými dodavateli [47]. Díly by se tak vyráběly na více místech, odkud by všechny putovaly na jedno společné místo, kde by byly před samotnou instalací smontovány [48]. I v případě, že projekt UAMPS bude realizován, úspory ze sériové výroby zde demonstrovány nebudou.

Americká federálně vlastněná energetická společnost Tennessee Valley Authority získala povolení záměru k výstavbě malých modulárních reaktorů v lokalitě Clinch River o celkovém výkonu až 800 MW [49]. Ačkoli byl původně předním kandidátem NuScale [50], v současnosti se zdá být favoritem BWRX-300 [51].

V roce 2016 NuScale potvrdil zájem o účast ve veřejné soutěži, ze které měl vzejít nejlepší návrh SMR pro Spojené království. Do vývojového týmu NuScale se po Rolls Royce přidala roku 2016 i britská společnost Sheffield Forgemasters. Od té doby však NuScale ve Spojeném království příliš nepokročil a Rolls Royce se nyní soustředí na vlastní návrh.

O reaktor NuScale SMR se zajímají také v následujících státech:

- **Jordánsko – smlouva z roku 2019 s Komisí pro atomovou energii Jordánska, která zřejmě nahradila dřívější smlouvu Jordánska s Rolls Royce [52].**
- **Rumunsko – smlouva s rumunskou jadernou elektrárenskou společností Nuclearelectrica [53].**
- **Kanada – smlouva z roku 2018 s kanadskými provozovateli jaderných elektráren Ontario Power Generation a Bruce Power [54].**

K pokroku dochází zřejmě jen v Rumunsku. Na summitu G7 v květnu 2023 byl oznámen balíček ve výši 275 mil. dolarů na výstavbu šesti bloků NuScale SMR. Podepsána je však zatím jen dohoda o společném záměru, nebyla vybrána lokalita a oznámený balíček zdaleka nepředstavoval závaznou objednávku [55].

NuScale tvrdí, že ustálené náklady na výstavbu by činily 4 200 dolarů za kW [56], což odpovídá zhruba polovině ve srovnání s velkými reaktory v USA, Spojeném království, Francii a Finsku a třetině odhadovaných nákladů u projektu UAMPS. Návrh reaktoru NuScale však zdaleka není hotový, takže současné odhady je třeba považovat za propagační. Reaktor je mnohem menší než jeho hlavní konkurenti, takže ztracené úspory z rozsahu bude ve srovnání s velkými reaktory obtížnější vyrovnat případnou pozdější sériovou výrobou. Pokud projekt UAMPS nedostane zelenou a nevznikne tak referenční elektrárna, která zákazníkům prokáže kvality tohoto reaktoru, bude to pro jeho komerční vyhlídky velká rána. V roce 2019 NuScale podepsal dohodu s ČEZ o prozkoumání možného nasazení reaktoru v České republice [57].

47. NuScale Power Signs Agreement with Doosan Enerbility and Export-Import Bank of Korea, Highlighting Global Supply Chain Development Opportunities. Online. In: NuScale. 25. 4. 2023. *https://tinyurl.com/46hxeh93*

48. REYES, Jose. NuScale Nonproprietary Copyright © 2021 NuScale Power, LLC. NuScale Response to NASEM Questionnaire. Online. In: NuScale. 14. 7. 2021. *https://tinyurl.com/5ynfrnnc*

49. Issued Early Site Permit - Clinch River Nuclear Site. Online. In: United States Nuclear Regulatory Commission. Aktualizováno 21. 9. 2022. *https://tinyurl.com/4w4vzyaw*

50. Inside NRC „NRC board recommends TVA be given early permit for work on SMR project". 21. 1. 2019.

51. TVA, GEH cooperate on BWRX-300 deployment at Clinch River. Online. In: World Nuclear News. 3. 8. 2022. *https://tinyurl.com/4jc5f6dn*

52. NuScale SMR to be considered for use in Jordan. Online. In: World Nuclear News. 15. 1. 2019. *https://tinyurl.com/nhh4f6xk*

53. Romania to explore NuScale SMR deployment. Online. In: World Nuclear News. 19. 3. 2019. *https://tinyurl.com/4z4tzhpc*

54. Nuclear News „OPG to support NuScale Power's SMR efforts", prosinec 2018.

55. Romania's NuScale SMR plan gets USD275 million boost. Online. In: World Nuclear News. 22. 5. 2023. *https://tinyurl.com/38a5yjv8*

56. Breakthrough for NuScale Power: Increase in Its SMR Output Delivers Customers 20 Percent More Power. Online. In: NuScale. 8. 6. 2018. *https://tinyurl.com/2fzhp63k*

57. NuScale Partners with ČEZ to Explore SMR Deployment in the Czech Republic. Online. In: NuScale. 26. 9. 2019. *https://tinyurl.com/x67zktrw*

5.3 Holtec SMR–160

SMR-160 je integrovaný tlakovodní reaktor vyvíjený v USA od roku 2010 [58]. Má mít podobné vlastnosti jako většina ostatních lehkovodních SMR, tedy modularitu, pasivní bezpečnost a sériovou výrobu hlavních komponent. Vývojáři hovoří o zařízeních s až deseti reaktory. Holtec na vývoji návrhu spolupracuje s Mitsubishi Electric (Japonsko), SNC Lavalin (Kanada) a Exelonem (USA). V roce 2019 podepsal Holtec memorandum o porozumění s Ukrajinou, kde chce SMR-160 nasadit. Návrh je v současnosti posuzován kanadským regulátorem CNSC ve spolupráci se Státním jaderným inspektorátem Ukrajiny [59].

Holtec od roku 2019 spolupracuje s ČEZ na komerčním a technickém zhodnocení návrhu SMR-160 [60]. V říjnu 2022 Holtec oznámil podepsání memoranda o porozumění se společnostmi Škoda Praha, která je součástí skupiny ČEZ, a Hyundai za účelem dalšího plánování výstavby reaktorů SMR-160 v České republice [61]. V prosinci 2022 požádal britskou vládu, aby nechala jeho návrh posoudit v rámci programu GDA u britského regulátora [62]. K červenci 2023 se britská vláda k této žádosti dosud nevyjádřila. Holtec mezitím vstoupil do přípravného procesu před podáním žádosti o certifikaci u amerického úřadu NRC [63].

58. About Us. Online. In: Holtec International. *https://tinyurl.com/32jre7y7*

59. Pre-Licensing Vendor Design Review. Online. In: Canadian Nuclear Safety Commission. Aktualizováno 20. 4. 2023. *https://tinyurl.com/mw3fr9bx*

60, 61. Holtec Advances Project Delivery Plan for SMR-160 in Czech Republic. Online. In: Holtec International. 25. 10. 2022. *https://tinyurl.com/3uc5rpud*

62. Holtec Britain Applies to Join UK Government Process for Generic Design Assessment of US-Origin SMR-160 Nuclear Reactor in the United Kingdom. Online. In: Holtec International. 19. 12. 2022. *https://tinyurl.com/y5pfrk7c*

63. SMR Pre-Application Activities. Online. In: United States Nuclear Regulatory Commission. Aktualizováno 30. 8. 2023. *https://tinyurl.com/2tfsxdxc*

5.4 Rolls Royce SMR

Společnost Rolls Royce svůj návrh malého modulárního reaktoru prezentovala v roce 2017. Neuvedla přitom mnoho podrobností, ale mezi přednostmi vyzdvihla fakt, že půjde o běžný tlakovodní reaktor. Šéf dceřiné společnosti Rolls Royce SMR Tom Samson sdělil britskému parlamentnímu výboru, že „prototyp není potřeba. Jde o standardní tlakovodní reaktor. (...) Z hlediska jaderné technologie nepřináší nic nového [64].“ Původně měl reaktor vyrábět mezi 220 až 440 MWe, poté byla vybrána horní hranice tohoto rozsahu a od května 2021 se počítá dokonce se 470 MW, což je o 50 % víc než horní mez běžně stanovená pro kategorii SMR [65].

Z vyjádření pro britský parlamentní výbor jsou zřejmé náklady a nejistoty spojené s cestou od předběžného konceptu k finálnímu návrhu vhodnému k uvedení na trh. Firma vládu požádala, aby nejprve vyhověla následujícím požadavkům [66]:

- **financování (nejméně) až do konce povolovací fáze**
- **posouzení v rámci GDA**
- **vhodné místo pro pilotní výstavbu**
- **závazná objednávka 7 GW (16 reaktorů) na britském trhu**

Dále požádala, aby Spojené království usilovalo pouze o jedinou technologii SMR, a pokud bude místo návrhu Rolls Royce vybrán některý ze zahraničních konkurentů, aby se společnost Rolls Royce stala jeho britským partnerem. Viděno realisticky, garantovat výstavbu 7 GW by britská vláda mohla jedině za předpokladu, že by reaktory sama vlastnila. Přistoupením na takové podmínky by si však nebývale zahrávala s veřejnými penězi sázkou na reaktor, který je stále ještě v plenkách. V listopadu 2020 vláda vyčlenila na vývoj koncepčního návrhu 18 mil. liber, stejnou částku jako dalo samotné konsorcium Rolls Royce. Po roce projekt pokročil do další fáze, v níž byl návrh reaktoru rozpracován do takové podoby, aby mohl být posouzen v rámci GDA. Na to vláda přispěla 210 mil. liber, zatímco soukromí investoři dodali 250 mil. liber. V dubnu 2022 vláda nechala jaderného regulátora ONR zahájit posouzení GDA. První ze tří částí byla dokončena v dubnu 2023 [67]. Omezené financování ze strany vlády sice zatím projekt udrželo v chodu, ale dosavadní obnos představuje jen zlomek částky potřebné k dotažení projektu do komerční podoby. Vláda bude čím dál méně ochotna investovat další peníze do technologie, jejíž ekonomická životaschopnost a technická proveditelnost nebyla dosud prokázána, a soukromí investoři v čele s Rolls Royce se zase budou zdráhat, dokud neuvidí závazné objednávky reaktorů [68].

Zdá se, že si Rolls Royce uvědomuje nevěrohodnost svých požadavků. Nechal se slyšet, že by od vlády mohl požadovat jen čtyři objednávky, přičemž další reaktory by prodal do zahraničí [69]. Jen těžko lze předpokládat, že by si zahraniční klienti objednali reaktor dříve, než technologii uvidí v plném provozu ve Spojeném království. Společnost uvedla, že by komponenty k prvním reaktorům vyrobila sériově, přičemž její továrny by vyráběly dva až čtyři bloky ročně [70]. Z toho by vyplývalo, že v období od spuštění výrobních linek do 1–2 let po uvedení prvního bloku do provozu (počítejme

64. Corrected oral evidence: UK energy supply and investment. Online. In: House of Lords, Economic Affairs Committee. 5. 4. 2022. *https://committees.parliament.uk/oralevidence/10083/html/*

65. UK SMR unveils new design and power. Online. In: Nuclear AMRC. 17. 5. 2021. *https://namrc.co.uk/industry/uk-smr-new-design/*

66. THOMAS, Steve, DORFMAN, Paul, MORRIS, Sean, RAMANA, M. V. Prospects for Small Modular Reactors in the UK & Worldwide. Online. In: Nuclear Consulting Group. 2019. *https://tinyurl.com/583r2tpa*

67. Step 1 GDA statement for the Rolls-Royce SMR. Online. In: Office for Nuclear Regulation. 3. 4. 2023. *https://www.onr.org.uk/new-reactors/rolls-royce/step-1-statement-of-findings.htm*

68. LORIMER, Kerry. Treasury red tape blamed for delay in SMR rollout. Online. In: Construction News. 9. 9. 2022. *https://tinyurl.com/mn2bmkkk*

69, 70. Corrected oral evidence: UK energy supply and investment. Online. In: House of Lords, Economic Affairs Committee. 5. 4. 2022. *https://tinyurl.com/5485rx4s*

pět let na výstavbu elektrárny) za předpokladu, že linky nebudou uzavřeny ani odstaveny, vyrobí firma komponenty pro 12 nebo více reaktorů. Tvrzení Rolls Royce, že demonstrační elektrárna ani prototyp nejsou potřeba [71], nezní příliš přesvědčivě. Navrhovaný reaktor je nový model a přestože jeho komponenty možná byly použity v jiných reaktorech, jde především o to, jak fungují dohromady. Pokud by skutečnost, že jde o běžný PWR, byla dostatečnou zárukou správného fungování, nebylo by potřeba posouzení GDA.

Udělit společnosti Rolls Royce výhradní práva k britskému trhu očividně nebylo politicky průchozí. Rolls Royce přesto zesiluje kampaň, jejímž cílem je přesvědčit veřejnost, že má reaktor připravený k provozu. Pokud by se Spojené království vydalo tímto směrem, podle firmy by naráz vzniklo mnoho pracovních míst na stavbách [72] a u výrobních linek, které by po spuštění vytvořily velkou příležitost pro vývoz [73].

Ačkoli je Rolls Royce obecně považován za společnost v jaderné oblasti zkušenou, protože dodává reaktory do ponorek, jedná se o velice odlišnou technologii, a navíc firma dodává reaktory americké konstrukce, jelikož její vlastní byla zamítnuta. Rolls Royce tak má s vlastními reaktory do ponorek jen omezenou zkušenost.

V červenci 2023 britská vláda zveřejnila novou velkou investici do malých modulárních reaktorů ve výši 157 mil. liber [74], ale tato částka směřovala jen na tzv. pokročilé modulární reaktory. Ve stejném prohlášení také oznámila vznik státní firmy Great British Nuclear, která bude mít za úkol uspořádat soutěž o nejlepší návrh(y) SMR pro Spojené království a pomoci vítěznému návrhu/návrhům dosáhnout konečného investičního rozhodnutí v roce 2029 [75]. V prohlášení ani v tiskových zprávách o tomto rozhodnutí se neobjevila žádná zmínka o Rolls Royce. Zdá se tedy, že tato společnost už ve Spojeném království není favoritem. Rovněž se zdá nerealistické tvrzení firmy, že bude mít ve Spojeném království do konce roku 2029 zprovozněný reaktor [76].

V lednu 2023 stanul v čele společnosti Tufan Erginbilgic. Slíbil, že dramaticky přehodnotí její strukturu a prohlásil: „Ztrácíme krok se všemi hlavními konkurenty [77]. " Vzhledem k tomu, že se britská vláda stále nezavázala k objednávkám, které jsou nezbytné, aby projekt SMR mohl pokračovat, celá věc je zralá na ukončení [78].

V listopadu 2020 podepsal Rolls Royce s ČEZ memorandum o porozumění, jehož cílem je prozkoumat možnosti výstavby jeho SMR v České republice [79].

71. Corrected oral evidence: UK energy supply and investment. Online. In: House of Lords, Economic Affairs Committee. 5. 4. 2022. *https://committees.parliament.uk/oralevidence/10083/html/*

72. GOULD, Dan. Rolls-Royce SMR prioritises four NDA sites for 15 GW of new nuclear power. Online. In: Rolls-Royce Small Modular Reactors. 9. 11. 2022. *https://tinyurl.com/5n7enyxe*

73. GOULD, Dan. Final shortlist announced for first Rolls-Royce SMR factory. Online. In: Rolls-Royce Small Modular Reactors. 19. 12. 2022. *https://tinyurl.com/tcyffwuv*

74. British nuclear revival to move towards energy independence. Online. In: GOV.UK. 18. 7. 2023. *https://tinyurl.com/mr275emz*

75. Small Modular Reactors: competitive technology selection process. Online. In: GOV.UK. 18. 7. 2023. *https://tinyurl.com/3swz48c9*

76. FARMER, Matt. Rolls Royce plans first UK modular nuclear reactor for 2029. Online. In: Power Technology. 19. 4. 2022. *https://tinyurl.com/56zffzyu*

77. SWENEY, Mark. Rolls-Royce is a 'burning platform' that must transform, says new CEO. Online. In: The Guardian. 27. 1. 2023. *https://tinyurl.com/3tu5utvr*

78. MUSTOE, Howard. The 'ruthless' axeman carving out a new future for Rolls-Royce. In: The Telegraph. 28. 5. 2023. *https://tinyurl.com/5bhh96w4*

79. TODD, Ben. ROLLS-ROYCE SIGNS MOU WITH CEZ FOR COMPACT NUCLEAR POWER STATIONS. Online. In: ČEZ Group. 9. 11. 2020. *https://tinyurl.com/5xppnu8k*

5.5 Nuward

Jaderná elektrárna Nuward má sestávat ze dvou reaktorů o 170 MW. Návrh byl představen v roce 2019 s tím, že by ho zajistila Framatome, dceřiná společnost Electricité de France (EDF) [80]. Oba reaktory mají být ponořeny ve vodě a nacházet se ve společné budově s částečně společným vybavením. Podle Framatome má být cílem „dodávat elektřinu do odlehlých oblastí a malých sítí". Koncem roku 2022 byl však návrh stále jen konceptem, který má být v základních rysech rozpracován v letech 2023–2025. Detailní plánování a získání licence by se mělo odehrát v letech 2025–2030 a výstavba referenční elektrárny má začít v roce 2030. Zatím není stanoveno žádné datum očekávaného dokončení stavby. V propagačních materiálech jsou uvedeny obvyklé charakteristiky SMR, jako je modulární konstrukce, standardizace, pasivní bezpečnost a sériová výroba komponent. Při plánované výstavbě demonstrační elektrárny ve Francii před uvedením reaktoru na trh by však komponenty zřejmě nebyly vyráběny na linkách, tudíž by úspora ze sériové výroby nebyla známa.

V červnu 2022 EDF oznámila, že se na posouzení bezpečnosti bude podílet francouzský (ASN), český (SÚJB) a finský (STUK) [81] regulátor. EDF také uzavřela memorandum o spolupráci s ČEZ a je připravena spolupracovat na vývoji s jeho dceřinou společností ÚJV Řež [82].

5.6 KAERI SMART

100MW tlakovodní reaktor SMART (System-integrated Modular Advanced ReacTor) vyvíjí Korejský výzkumný institut jaderné energie (KAERI) od roku 1997 [83]. V roce 2014 byl projekt přesunut pod hlavičku nové společnosti Smart Power Co., Ltd., která roku 2015 podepsala memorandum o porozumění s Centrem krále Abdalláha pro jadernou a obnovitelnou energii (KA-CARE) s vizí postavit první dva reaktory SMART v Saúdské Arábii. Tyto reaktory by zároveň sloužily k odsolování vody.

Od roku 2015 se projekt příliš neposunul. Základní návrh je údajně hotový, ale vývoj se zbrzdil proto, že si zatím nikdo neobjednal první referenční reaktor. Návrh byl schválen korejským regulátorem v polovině roku 2012, ale vzhledem k rané fázi projektu jde jistě jen o principiální souhlas, nikoli povolení ke stavbě elektrárny [84]. V dubnu 2023 KAERI podepsala memorandum s vládou kanadské Alberty o spolupráci na vývoji technologie SMART v Albertě, konkrétně za účelem zpracování dehtových písků [85]. Zdá se, že plány na výstavbu v Jižní Koreji žádné nejsou. Kromě Saúdské Arábie není o SMART velký zájem a vývoj postupuje velmi pomalu, takže SMART ani nevypadá na jednu z hlavních variant. Pro Saúdskou Arábii by bylo velice riskantní objednat si jako svůj první reaktor model, který dosud nikde není v provozu. Pokud se neobjeví jiný zákazník, těžko si lze představit komerční provoz tohoto reaktoru.

ČEZ podepsal se společností Korea Hydro & Nuclear Power memorandum o spolupráci v oblasti SMR [86].

80. NUWARD™ SMR, leading the way to a low carbon world. Online. In: EDF.fr. *https://tinyurl.com/yc85cfrt*

81. European regulators to cooperate on Nuward SMR licensing. Online. In: World Nuclear News. 6. 6. 2022. *https://tinyurl.com/yc7c32kw*

82. KŘÍŽ, Ladislav. ČEZ po předběžném posouzení vytipoval další dvě preferované lokality pro malé modulární reaktory, vedle pilotního Temelína by mohly vzniknout v Dětmarovicích a Tušimicích. Online. In: SKUPINA ČEZ. 27. 2. 2023. *https://tinyurl.com/44cew2am*

83. Development History. Online. In: Smart Power Co., Ltd. *http://www.smart-nuclear.com/tech/d_history.php*

84. Korea, Saudi Arabia progress with SMART collaboration. Online. In: World Nuclear News. 7. 1. 2020. *https://tinyurl.com/2wn82k7f*

85. MoU sees KAERI, Alberta cooperation on SMRs. Online. In: World Nuclear News. 20. 4. 2020. *https://tinyurl.com/mpcwwrbh*

86. South Bohemia Nuclear Park founded. Online. In: World Nuclear News. 1. 6. 2022. *https://tinyurl.com/yc6htycd*

5.7 Westinghouse AP300

Jako potenciální dodavatel pro Českou republiku byl uváděn Westinghouse. Firma zahájila vývoj 225MW tlakovodního reaktoru, ale v roce 2014 se zdálo, že projekt SMR opustila. Šlo o reaktor vyvíjený zhruba od roku 2010, který měl konstrukčně vycházet z většího AP1000, což je typ certifikovaný americkým NRC od roku 2011. Od roku 2014 však projekt Westinghouse SMR příliš nepokročil. V únoru 2014 šéf firmy prohlásil: „Můj problém se SMR nespočívá v technologii jako takové ani v jejím nasazení – jde o to, že nejsou zákazníci. Není nic horšího, než když předběhnete trh. [87]“

V květnu 2023 ovšem Westinghouse oznámil, že nyní vyvíjí tlakovodní reaktor AP300 o výkonu 300 MW, opět jako zmenšenou verzi svého AP1000. Konstrukce není integrovaná, ale údajně si zcela vystačí s pasivními bezpečnostními systémy namísto takových, které by v případě vážné havárie bylo nutné aktivovat. Není jasné, zda jsou pasivní systémy bezpečnější než aktivní. AP1000 [88] je údajně též modulární v tom smyslu, že jsou jeho hlavní komponenty vyráběny v továrnách a na místě se pouze smontují.

V květnovém prohlášení zaznívají o AP1000 poněkud vágní tvrzení, například prý stanovuje výkonnostní rekordy, ale už není uvedeno, jaké přesně. Potíže s osmi objednávkami AP1000 zmíněny nejsou. Čtyři reaktory v Číně byly dokončeny zhruba s šestiletým zpožděním a náklady o 60 % přesáhly stanovený rozpočet [89] , dvě americké objednávky (projekt Summer) byly po čtyřech letech výstavby zrušeny, protože se náklady i harmonogram vymkly kontrole [90] a dvě další zakázky pro USA (Vogtle) jsou opožděné asi o šest let a rozpočet překročily už zhruba trojnásobně [91]. Westinghouse pak tvrdí, že se staví dalších šest AP1000 (databáze IAEA PRIS přitom uvádí jen čtyři), ale zřejmě jde o čínskou verzi CAP1000 a není jasné, jak se na výstavbě těchto elektráren (pokud vůbec) podílí přímo Westinghouse [92].

Devátého května Westinghouse oznámil, že americkému NRC předložil plán součinnosti s regulátorem před podáním žádosti o certifikaci, kterou by podle svých slov mohl získat do roku 2027 [93]. Není zřejmé, za jak dlouho od předložení plánu začne samotné posouzení. U šesti reaktorů, které získaly americkou certifikaci, pak jeho dokončení trvalo pět až devět let. Konstrukce AP1000 vycházela z reaktoru AP600, který byl schválen v roce 1998 po šesti letech. Když Westinghouse v roce 2002 předložil ke schválení typ AP1000, tvrdil, že proces potrvá jen něco málo přes rok, protože AP1000 je pouze větší verze AP600. Jenže AP1000 získal konečnou certifikaci od NRC až v roce 2011. Úvahy o získání certifikátu do roku 2027 se tudíž zdají krajně optimistické.

Za předpokladu, že Česká republika nebude chtít objednávat tento reaktor před dokončením komplexního bezpečnostního posouzení, je dost nejasné, kdy vlastně bude tento model k dispozici. Přesto ČEZ se společností Westinghouse podepsal memorandum o spolupráci týkající se AP300 [94].

87. Pittsburgh Post Gazette „Westinghouse backs off small nuclear plants“. 2. 1. 2014

88. AP 300™ SMR. Only SMR Based on Deployed, Operating & Advanced Reactor Technology. Online. In: Westinghouse Nucluear. *https://www.westinghousenuclear.com/energy-systems/ap300-smr*

89. DALTON, David. China's Sanmen-1 Becomes World's First AP1000 Reactor To Begin Commercial Operation. Online. In: The Independent Nuclear News Agency. 21. 9. 2018. *https://tinyurl.com/22j94244* Nuclear Power in China. Online. In: World Nuclear Association. *https://tinyurl.com/2xdw2bax*

90. REUTERS. Factbox: U.S. nuclear reactors that were canceled after construction began. Online. In: Reuters.com. 31. 7. 2017. *https://tinyurl.com/jzpsb63v*

91. COOKE, Stephanie. Newbuild: How Much of Vogtle's Capital Costs Can Southern Recover? Online. 28. 4. 2023. *https://tinyurl.com/bddp5v5x*

92. Nuclear Power in China. Online. In: World Nuclear Association. *https://tinyurl.com/2xdw2bax*

93. Westinghouse Submits AP300™ SMR Regulatory Engagement Plan to Nuclear Regulatory Commission. Online. In: Westinghouse. 9. 5. 2023. *https://tinyurl.com/ybctz3un*

94. Czechia's ČEZ plans SMRs at two coal-fired power plants sites. Online. In: Enerdata. 28. 2. 2023. *https://tinyurl.com/5n6mp9ze*

6. Jsou argumenty ve prospěch SMR věrohodné?

Malé modulární reaktory jsou přinejlepším nevyzkoušené a vzhledem k tomu, že dosud žádný SMR nebyl komerčně objednán, vybudován a uveden do provozu, potrvá ještě minimálně deset let, než budou argumenty v jejich prospěch podrobeny zkoušce. Historie jaderné energetiky je plná tvrzení, která intuitivně dávala smysl, ale nepodařilo se je přenést do praxe. Patří k nim mimo jiné argument, že standardizace, učení praxí a změna technologie snižují náklady a zlepšují výkonnost. Skutečné náklady v oblasti jaderné energetiky se však za šest desetiletí její komerční historie postupně a nadále zvyšují. Ještě důležitější je fakt, že kvůli přesvědčivým tvrzením o úsporách z rozsahu se reaktory zvětšují.

Jedna z analýz potenciální ceny energie vyráběné pomocí SMR naznačuje, že ani jeden ze zkoumaných návrhů by nebyl schopen konkurovat technologiím obnovitelných zdrojů [95]. Analýza zahrnovala všechny návrhy SMR, které Česká republika zvažuje, s výjimkou reaktoru Westinghouse AP300, jehož návrh v té době ještě nebyl znám. Také bývalá komisařka amerického úřadu NRC Alison MacFarlaneová je skeptická ohledně argumentů zaznívajících ve prospěch SMR [96]. Profesorka MacFarlaneová je mimo jiné spoluautorkou studie, ze které vyplývá, že SMR nevyhnutelně vyprodukují víc radioaktivního odpadu než velké reaktory [97].

95. STEIGERWALD Björn et al. „Uncertainties in Estimating Production Costs, of Future Nuclear Technologies: A Model-based Analysis of Small Modular Reactors". Energy. 2023, č. 281.

96. MacFARLANE, Allison. The end of Oppenheimer's energy dream. In: IAI News. 21. 7. 2023. *https://tinyurl.com/422kke2b*

97. KRALL, Lindsay M. „Nuclear waste from small modular reactors". PNAS. 2022, roč. 119, č. 23, s. 1–12.

6.1 Sériová výroba komponent

Předpokládá se, že sériová výroba přinese kvalitnější komponenty za nižší cenu. Pod pojmem sériová výroba si představíme pohyblivou výrobní linku jako například v automobilce, která produkuje vysoké počty dílů. To je ovšem zavádějící. Zakázek bude relativně málo a například Rolls Royce očekává, že takto vyrobí díly do pouhých dvou reaktorů ročně. Ani za časů největšího rozkvětu jaderných elektráren ve Francii se nevyrábělo víc než zhruba šest reaktorů za rok. Zdá se, že není důvod, proč by kvalita komponent ze sériové výroby měla být nezbytně vyšší, zejména při tak malém počtu zakázek. Záležet bude na důkladné kontrole kvality. Ve srovnání s běžnou výrobou se možná při vyšším počtu objednávek ušetří část nákladů, ale ty na druhou stranu nahradí náklady spojené s přípravou a instalací výrobních linek. Rovněž se zdá nepravděpodobné, že by se reaktory vyráběly na jedné lince. Komponenty budou spíše z různých továren putovat na jedno místo, kde budou montovány do větších modulů, a kompletní reaktor se nakonec sestaví až na místě budované elektrárny.

Sériová výroba by navíc přinesla pokles flexibility a riziko vzniku standardizované chyby. Po spuštění totiž výrobní linka vyžaduje přísun zakázek, aby mohla zůstat v provozu. Pokud se tak neděje, musí být odstavena nebo uzavřena. Při výrobě identických komponent pak hrozí, že když se v návrhu objeví chyba, vyskytne se časem ve všech elektrárnách, jejíž komponenty prošly danou výrobní linkou. Toto riziko je jasně vidět na případu Francie, kde byl v zimě 2022/23 z bezpečnostních důvodů odstaven vysoký počet reaktorů kvůli obavám z koroze a popraskání namáhaných komponent [98].

98. Stress corrosion phenomenon detected on Civaux 1 and 2, Chooz B2 and Penly 1 reactors. Online. In: ASN. 31. 1. 2022. *https://tinyurl.com/mrx3hpzs*

6.2 Úspory z rozsahu

Důvodem, proč se reaktory zvětšily z původních 150–300 MW, je snaha uspořit z rozsahu a intuitivní představa, že kupříkladu 1000 MW reaktor bude levnější než dva 500MW reaktory. Tyto úspory z rozsahu jsou v praxi obtížně pozorovatelné. Důvodem může být skutečnost, že byly více než vyváženy jinými faktory, jako jsou zvýšené požadavky na bezpečnost nebo ztráty způsobené například náročnějším řízením větších projektů.

Lze však očekávat, že zmenšený reaktor bude oproti velkému při jinak stejných podmínkách pravděpodobně dražší v přepočtu na kW výkonu. Například dvě tlakové nádoby 500MW reaktorů budou dražší než jedna tlaková nádoba reaktoru o výkonu 1000 MW. Stojí za povšimnutí, že NuScale od prvního návrhu více než zdvojnásobil výkon (z 35 na 77 MW) a Rolls Royce už také přidal ze 440 na 470 MW a zřejmě kvůli úsporám z rozsahu nyní hovoří o 500 MW [99]. Westinghouse AP600 byl schválen regulátorem, ale upustilo se od něj, protože se nevyplatil a byl zvětšen do podoby AP1000. V Číně, která staví svou vlastní verzi CAP1000, dokonce vypracovali návrh o výkonu 1500 MW (CAP1500, který má být podle názoru Číny v jejím duševním vlastnictví), zřejmě opět kvůli snaze uspořit z rozsahu. Jak se zdá, zmenšování reaktorů tedy může cenu za jednotku výkonu nejspíš jedině zvýšit.

6.3 Modulární komponenty

Další argument spočívá v tvrzení, že prodlevy a prodražení jaderných projektů jsou částečně způsobeny velkým množstvím montážních prací přímo na místě, kde je údajně náročnější efektivně zorganizovat práci než v továrně. Tato rétorika naznačuje, že malé reaktory dorazí na staveniště zabalené v „krabici" a stačí je sešroubovat, což je opět zavádějící představa. Reaktory se stále neobejdou bez velkých základů a elektrického a vodovodního vedení. Reaktor AP1000 je v tomto směru nazýván modulárním, a přesto se stavba čtyř bloků AP1000 v Číně zdržela o šest let a o 60 % překročila rozpočet. Ze dvou amerických projektů s využitím AP1000 musel jeden být zrušen, protože se náklady i harmonogram vymkly kontrole, zatímco ten druhý je zhruba o šest let zpožděný a rozpočet překročil už trojnásobně. Modulární konstrukce zjevně nezaručuje dodržení rozpočtu a harmonogramu.

99. Corrected oral evidence: UK energy supply and investment. Online. In: House of Lords, Economic Affairs Committee. 5. 4. 2022. *https://committees.parliament.uk/oralevidence/10083/html/*

6.4 Rychlejší výstavba a nižší riziko prodlev

Intuitivně se tento argument zdá logický, ale je přinejlepším neprověřený. Pokud by problém spočíval čistě ve velikosti reaktorů, pak by menší reaktory mohlo být jednodušší postavit. Jenže pokud je potíž ve složitosti zařízení, pak není jasné, proč by SMR měly být méně komplikované než větší reaktory, a tudíž méně náchylné ke zpoždění a zvýšení nákladů.

6.5 Jednodušší financování

Zastánci SMR tvrdí, že financování malých modulárních reaktorů bude jednodušší než v případě těch velkých, a to ze dvou důvodů. Zaprvé bude cena jednoho bloku levnější a celkovou částku na výstavbu tak bude snadnější získat. Zadruhé, pokud se výstavba SMR ukáže z hlediska dodržování termínů a rozpočtu spolehlivější než u velkých reaktorů, vnímané investiční riziko bude nižší a ochota financovatelů zapůjčit na jaderné projekty peníze vzroste. Argument snazšího financování proto do značné míry závisí na tom, zda výstavba SMR bude mít lepší výsledky než velké reaktory. To se však ukáže až tehdy, když (a pokud vůbec) bude v provozu značný počet SMR, tedy možná až za takových 20 let.

6.6 Postupné navyšování výkonu

Tato charakteristika hrála dříve v propagaci SMR velkou roli. Jde o předpoklad, že v malých sítích bude možné přidávat reaktory postupně, podle poptávky po elektřině. Nezdá se ovšem, že by na tomto argumentu stál některý z projektů zvažovaných v České republice.

7. Očekávané překážky

7.1 Umístění

Zdá se, že výkon navrhovaných SMR roste, jelikož nejpravděpodobnější kandidáti pro Českou republiku jsou nyní 300MW a ještě větší reaktory. Jde tedy o zhruba stejně výkonné bloky jako v Dukovanech. Vzhledem k tomu, jak obtížné je získat souhlas veřejnosti s výstavbou nových jaderných elektráren, jsou nové reaktory stále častěji navrhovány do zařízení, kde už nějaké reaktory byly nebo jsou v provozu. Pokud to možné není, mohou být umístěny do areálů stávajících velkých elektráren jiného typu, především do těch uhelných. Aby se pomocí SMR dosáhlo kapacity, kterou poskytuje jeden velký reaktor, bude buď zapotřebí značný počet nových lokalit, nebo se na jednom místě postaví více reaktorů. Při druhé variantě by výkon jedné takové elektrárny dosáhl zhruba výše jednoho velkého reaktoru.

7.2 Bezpečnostní požadavky

Vývojáři SMR opomíjejí otázku, zda očekávají, že požadavky na bezpečnostní systémy budou srovnatelné s požadavky na velké reaktory. Velké reaktory dnes musí být vybaveny systémem (např. „lapačem aktivní zóny“), který v případě roztavení reaktoru zabrání tomu, aby se tavenina dostala ven. Budou takové systémy potřeba u malých modulárních reaktorů? Bude zóna havarijního plánování elektrárny menší? Vzhledem k tomu, jak výkon navrhovaných SMR postupně roste, rozdíl mezi nimi a velkými reaktory se zmenšuje. Kupříkladu výkon reaktorů v Dukovanech zhruba odpovídá většině navrhovaných SMR. Podobný výkon měl také reaktor Fukušima 1, který se roztavil v roce 2011. Vzhledem k rozsahu této havárie se zdá logické, aby bezpečnostní požadavky na SMR nebyly o nic menší, než je tomu u velkých reaktorů.

8. Závěr

V souvislosti s malými modulárními reaktory se strhla mediální lavina, která budí dojem, že tato technologie zažívá ostrý start s velkým počtem zadaných objednávek. ČEZ spolu se svými dceřinými společnostmi, jako je Škoda Praha, podepsal smlouvy o spolupráci se všemi dodavateli, o jejichž vyvíjených SMR se v České republice uvažuje. Pokud tyto dohody budou vyžadovat značné úsilí ze strany ČEZ, jedná se o velké nasazení prostředků na množství projektů, které může vyjít naprázdno, jestliže se v České republice nakonec SMR budovat nebudou. Pravděpodobnější však je, že se jedná zejména o symbolické dohody, které ČEZ do daných projektů nijak významně nezapojují.

Po celém světě najdeme jen málo SMR ve výstavbě, přičemž ani jeden z těchto reaktorů není komerčně dostupný model (viz Tabulka 3). V tiskových zprávách často zaznívají na konto SMR nadějná prohlášení, jako by šlo o prokázané skutečnosti, a nikoli neprověřená tvrzení; například bývá uváděno, že SMR jsou levnější a bezpečnější než velké reaktory. Nicméně mediální zájem o SMR spolu s chabými vyhlídkami na další objednávky velkých reaktorů vedly i velké tradiční dodavatele z USA a Evropy (GE-Hitachi, Westinghouse a Framatome) k tomu, aby vstoupili do konkurenčního boje. Firmy jsou to důvěryhodnější než jejich soupeři, mezi nimiž často nacházíme malé společnosti bez předchozích zkušeností s projektováním a dodáváním jaderných elektráren. Avšak malé modulární reaktory navrhované společnostmi GE-Hitachi a Westinghouse vycházejí ze zmenšených verzí velkých reaktorů, které se ukázaly být ekonomicky beznadějně nevýhodné. Návrh Framatome je nový, firma ho oznámila v roce 2019, roku 2022 se projekt stále ještě nacházel ve fázi konceptu a nemá být komerčně dostupný dříve než v roce 2030.

Nejenže dosud nebyla zadána ani jedna komerční zakázka na výrobu SMR, ale žádný z nabízených reaktorů dosud neprošel komplexním posouzením bezpečnosti u zkušeného a nezávislého regulačního orgánu. Argumenty zastánců SMR jsou tudíž jen neověřené spekulace. Podle všech zkušeností s jadernou technologií lze usuzovat, že se tato tvrzení s vysokou pravděpodobností nepotvrdí a zadáno bude jen pár zakázek, než jaderný sektor tyto technologie opustí a přesune svou pozornost zase k jiným, novějším. V rámci programu Nuclear 2010 amerického prezidenta George W. Bushe bylo oznámeno 33 projektů jaderných reaktorů, ale jen čtyři se začaly skutečně realizovat a dva z nich byly v průběhu stavby zrušeny. Spojené království mělo podle programu Tonyho Blaira z roku 2008 připojit do sítě 16 GW nového jaderného výkonu do roku 2030. Rozběhl se jen jeden projekt (3 GW) a ani ten zřejmě kvůli nabranému zpoždění nebude do roku 2030 dokončen.

Tabulka 2: Vyvíjené SMR zvažované v České republice

REAKTOR	TYP	VÝKON (MWE)	ZVEŘEJNĚNÍ NÁVRHU	DALŠÍ ZVAŽUJÍCÍ ZEMĚ	OBECNÉ POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI	DETAILNÍ POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI
GE-Hitachi BWRX-300	BWR	300	2018	USA, Kanada, Estonsko, Polsko	Kanada	Žádost o britskou GDA podána 12/22
NuScale	PWR	77	2007	USA	Kanada 60MW	V USA pro 50MW verzi dokončena v r. 2021
Holtec SMR-160	PWR	160	2010	—	Kanada	Žádost o britskou GDA podána 12/22
Rolls Royce SMR	PWR	470	2017	Spojené království	—	Britský proces zahájen v r. 2022
Nuward	PWR	2×170	2019	Francie	—	—
KAERI SMART	PWR	100	1997	Jižní Korea, Saúdská Arábie	Jižní Korea	—
Westinghouse SMR	PWR	300	2023	—	—	—

Zdroj: Rešerše autora

Tabulka 3: SMR ve výstavbě nebo v provozu

ZEMĚ	MÍSTO	MODEL	TYP	VELIKOST (MWE)	ZAČÁTEK VÝSTAVBY	ZAHÁJENÍ KOMERČNÍHO PROVOZU
Argentina	Zárate	CAREM25	PWR	25	8/2015	—
Čína	Linglong 1	ACP100	PWR	100	7/2021	—
Čína	Shidao Bay	HTR-PM	HTGR	200	12/2012	—
Rusko	Lomonosov 1 a 2	KLT40S	PWR	2×32	4/2007	5/2020
Rusko	Brest	OD300	SFR	300	6/2021	—

Zdroj: https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx
Poznámka: Reaktor v Shidao Bay dosáhl kritičnosti v září 2021, ale k červenci 2023 nebyl v databázi IAEA PRIS uveden jako komerčně provozovaný a v roce 2022 nevyráběl žádnou elektřinu [100].

100. China Nuclear Energy Association. *https://tinyurl.com/y97k5xmd*

SMR v České republice

Edvard Sequens

Zpráva profesora Thomase představila všech sedm typů malých a středních modulárních reaktorů, o kterých uvažuje energetická firma ČEZ pro jejich využití v České republice. Skupina ČEZ v minulých letech podepsala memoranda o spolupráci v oblasti SMR s firmami NuScale, GE Hitachi, Rolls Royce, EdF, Westinghouse, KHNP a Holtec [101]. Ministři vlády České republiky a Spojeného království také podepsali společné prohlášení o spolupráci v oblasti vývoje a uplatnění malých a středních jaderných reaktorů (SMR) [102]. Rozhodnout, na kterou technologii se zaměří, plánuje ČEZ již v roce 2024 bez ohledu na fakt, zda výrobce získá licenci v zemi původu či nikoliv [103].

Firma také pracuje na přípravě první lokality v těsném sousedství s jadernou elektrárnou Temelín, s ohlášeným cílem zprovoznit zde do roku 2032 první SMR vybrané technologie v České republice [104]. Z energetického hlediska nový malý zdroj na tomto místě nedává smysl, protože oba velké temelínské reaktory pokrývají více než pětinásobně spotřebu v celém Jihočeském kraji. Ale je tu potřebná infrastruktura a firma zde nevidí žádné komplikace na pilotní ověření nové technologie. Nový reaktor by se podle plánů ČEZ měl stát školícím reaktorem pro výcvik operátorů dalších stavěných SMR stejného typu, a to nejen z tuzemska. V roce 2022 byl prezentován projekt Jihočeský jaderný park a následně i založena společnost South Bohemian Nuclear Park, s.r.o., ve které má ČEZ podíl ve výši 40 %, Jihočeský kraj rovněž 40 % a zbývajících 20 % pak ÚJV Řež [105]. Firma zastřešuje dle prezentovaných informací výzkum, vývoj a zároveň i přípravu zmíněného pilotního projektu.

Pro možnou výstavbu dalších SMR již firma ČEZ předběžně vytipovala lokality v Tušimicích a Dětmarovicích, kde mají nahradit uhelné elektrárny, a bude zde provádět podrobné průzkumy. Dále analyzuje další místa, kde dnes provozuje své další uhelné zdroje, ale také lokalitu Jaderné elektrárny Dukovany [106].

V České republice je ohlášen vývoj hned několika vlastních designů malých jaderných reaktorů, a to nejen 3. generace, ale rovněž pokročilých technologií (viz Tabulka 4). Public relations kolem některých projektů vytváří dojem o jejich technologické připravenosti, který naprosto neodpovídá realitě a má přispět zejména k získání nemalých veřejných prostředků na výzkum a vývoj. Ve skutečnosti investoři, především ČEZ, s reálným využitím českých typů v tuzemské energetice nyní vůbec nepočítají.

101. SVITÁK, Marek. Kraj, ČEZ a ÚJV Řež zakládají Jihočeský jaderný park. Projekt má urychlit přípravu a zavádění malých modulárních reaktorů v České republice. Online. In: SKUPINA ČEZ. 30. 5. 2022. *https://tinyurl.com/5b7tykdh*

102. Česká republika bude spolupracovat s Velkou Británií na vývoji malých a středních jaderných reaktorů. Online. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu. 11. 9. 2023. *https://tinyurl.com/yt36dnbs*

103. Potvrdil zástupce ČEZ na Valné hromadě firmy konané 26. června 2023

104. ČEZ chce stavět malé modulární reaktory v Temelíně, Dukovanech nebo Mělníku. První bude v roce 2032. Online. In: iRozhlas. 15. 2. 2023. *https://tinyurl.com/je4chsmn*

105. Jihočeský jaderný park. Online. In: SKUPINA ČEZ. *https://tinyurl.com/yuetj2hr*

106. KŘÍŽ, Ladislav. ČEZ po předběžném posouzení vytipoval další dvě preferované lokality pro malé modulární reaktory, vedle pilotního Temelína by mohly vzniknout v Dětmarovicích a Tušimicích. Online. In: Skupina ČEZ. 27. 2. 2023. *https://tinyurl.com/44cew2am*

CR–100

Jde o koncept tlakovodního lehkovodního reaktoru představený v roce 2021 Centrem výzkumu Řež, které patří do skupiny elektrárenské firmy ČEZ. Design vychází z provozovaných reaktorů sovětského typu VVER včetně plánu na využití zkráceného paliva pro temelínské reaktory. V kogeneračním režimu by reaktor měl dodávat 9 MWe a 72 MWt a je tak prezentován jako vhodná náhrada zdrojů centrálního vytápění měst a obcí, případně k využití na výrobu vodíku. Konstruktéři odvozují bezpečnost od nízkého výkonu, a tedy schopnosti odvést zbytkové teplo bez využití dalších pasivních bezpečnostních prvků [107].

DAVID

Podobný koncepční přístup s využitím technologických řešení reaktorů VVER, a to rovněž s použitím zkráceného paliva, které pro VVER-1000 dodává Westinghouse, zastávají vývojové týmy SMR nazvaného DAVID. Má mít instalovaný výkon 50 MWe či 175 MWt a měl by umožňovat modulární sestavy až do osmi reaktorů v místě podle potřeby. V roce 2021 jej představila strojírenská skupina Witkowitz, nyní je zařazen pod Witkowitz Atomica, a. s. [108], a na designu se podílí uskupení Czechatom, a. s. [109]. Zapojení jsou vývojáři z Ukrajiny a prezentována je rovněž spolupráce s ukrajinskou stranou na možném budoucím využití v této zemi.

TEPLATOR

Velké reklamy se dostalo konceptu malého reaktoru TEPLATOR určeného speciálně pro teplárenství, který poprvé v roce 2020 představili vědci z ČVUT a Západočeské univerzity. Má jít o těžkovodní reaktor o výkonu 50 až 150 MWt inspirující se v designu reaktorů CANDU. Na rozdíl od nich by ale měl využívat zbytkovou energii z vyhořelého jaderného paliva z lehkovodních reaktorů VVER-440. Protože to vzbudilo velké obavy z jaderné bezpečnosti a problematické licencovatelnosti, začali vývojáři zvažovat i využití čerstvého paliva. Vzhledem k negativnímu přijetí mezi českými odborníky na jadernou energetiku, obrací se jeho prosazovatelé ze založené Teplátor, a. s., s nadějí na Ukrajinu a oznamují zde přípravu prvního funkčního prototypu. Do roku 2024 pak chtějí získat licenci v Kanadě nebo ve Francii [110].

Energy Well

Centrum výzkumu Řež vyvíjí vlastní koncept pokročilého malého modulárního reaktoru (SMR) pod názvem Energy Well. Má jít o solí (směsí fluoridů lithia a beryllia) chlazený reaktor s využitím kulového TRISO paliva o tepelném výkonu 20 MWt a až 8 MWe. Byl prezentován v roce 2018, projektový tým údajně pracuje na výstavbě experimentální jednotky, která má sloužit k ověření základních fyzikálních vlastností zařízení. Reaktor by měl být plně funkční do deseti let, pokud se podaří zajistit dostatečnou (několikamiliardovou) finanční podporu [111].

107. Malý modulární reaktor CR-100. Online. In: CR-100.cz. *https://cr100.cz/*

108. David SMR. Online. In: Witkowitz Atomica. *https://witkowitz-atomica.com/david-smr-presentation*

109. About Us. Online. In: CZECHATOM. *https://czechatom.com*

110. Inovační technologie Teplator. Online. In: Teplator. *https://www.teplator.cz/*

111. Energy Well. Online. In: Energywell.cz. *https://www.energywell.cz/*

HeFASTo

Další český prototyp malého reaktoru pod názvem HeFASTo vzniká od roku 2021 v ÚJV Řež. Technologicky jde o pokročilý heliem chlazený rychlý reaktor, který je konstruován jako vysokoteplotní — výstupní teplota z aktivní zóny má dosáhnout 900 °C a bude se tedy hledat jeho využití při výrobě vodíku nebo v chemickém průmyslu. Celkový tepelný výkon zařízení má být 200 MWt. Nyní se hledá strategický partner pro vývoj tohoto reaktoru s vizí uvedení do komerčního provozu do roku 2040 [112].

V České republice nachází představy o malých modulárních reaktorech jako budoucnosti jaderné energetiky živnou půdu u politiků, novinářů a následně i veřejnosti. První výzkum veřejného mínění CVVM na téma malých modulárních reaktorů z června 2020 [113] ale ukázal, že veřejná podpora v této chvíli není nijak velká. Pouze o málo více než čtvrtina (28 %) dotázaných by za přijatelnou pokládala výstavbu malého jaderného reaktoru ve vzdálenosti do 10 km od svého bydliště, nadpoloviční většina (55 %) by to naopak pokládala za nepřijatelné, 29 % dokonce za „rozhodně nepřijatelné".

Aktuálně je finalizována strategie „Plán pro malé a střední reaktory v České republice – využití a hospodářský přínos" [114], která se má po schválení vládou stát vstupem do probíhající přípravy nové státní energetické koncepce České republiky, na základě níž má být vytvořen mechanismus veřejné finanční podpory SMR a zjednodušovány povolovací a licenční procesy pro tyto technologie. Ukazuje se, že licencování podle českého atomového zákona, který historicky vznikal na základě zkušeností s velkými lehkovodními reaktory, nebude pro SMR vůbec jednodušší a nijak rychlé. Otázkou je, zda by mělo být, pokud mezi uvažovanými typy jsou reaktory o velikosti obdobné jako stávající VVER-440 v Dukovanech, přičemž se uvažuje o jejich umístění v těsné blízkosti měst.

112. HeFASTo – projekt rychlého plynem chlazeného modulárního reaktoru. Online. In: ÚJV Řež, a. s. *https://www.ujv.cz/cs/produkty-a-sluzby/veda-a-vyzkum/hefasto*

113. ČERVENKA, Jan, ĎURĎOVIČ, Martin. Veřejnost o malých modulárních reaktorech – červen 2020. Online. In: Centrum pro výzkum veřejného mínění. 3. 12. 2020. *https://tinyurl.com/yzywxv6h*

114. 108/23 Plán pro malé a střední reaktory v ČR;T:4.7.2023. Online. In: Hospodářská komora České republiky. 23. 6. 2023. *https://tinyurl.com/3kkxma6b*

Tabulka 4 – SMR reaktory vyvíjené v České republice, všechny ve fázi konceptů

TYP	VÝVOJOVÁ FIRMA / DODAVATEL	TECHNOLOGIE	VÝKON ELEKTRICKÝ (MWE)	VÝKON TEPELNÝ (MWT)	ROK PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU
CR-100	CV Řež / ČEZ	PWR	9	72	2021
DAVID	Witkowitz Atomica	PWR	50	175	2021
TEPLATOR	Teplátor, a. s.	PHWR	—	50–150	2020
Energy Well	CV Řež / ČEZ	FHR	8	20	2017
HeFASTo	ÚJV Řež / ČEZ	GFR	—	200	2021

Perspektivy malých modulárních reaktorů v České republice

Tuto publikaci společně vydávají pražská kancelář
Heinrich-Böll-Stiftung, Calla – Sdružení pro záchranu prostředí
a Hnutí DUHA – Friends of the Earth Czech republic.

Autoři:
Prof. Stephen Thomas (Malé modulární reaktory pro český trh)
Edvard Sequens (SMR v České republice)
Překlad: Kryštof Herold
Editace: Karel Polanecký, Edvard Sequens
Redakce: Klára Pleskačová
Jazykové korektury: Antonín Handl
Grafická úprava: Martin Rašek
Tisk: XCOPY s.r.o.

První vydání, říjen 2023

Kontakty na vydavatele:

Heinrich-Böll-Stiftung Praha,
Jugoslávská 567/16, 120 00 Praha 2
cz.boell.org

Calla – Sdružení pro záchranu prostředí,
Fráni Šrámka 35, 370 01 České Budějovice
calla@calla.cz
www.calla.cz

Hnutí DUHA,
Údolní 33, 602 00 Brno
pratele@hnutiduha.cz
www.hnutiduha.cz

ISBN (tištěná verze) 978-80-88289-49-4
ISBN (digitální verze) 978-80-88289-50-0

Objednávky a stažení zdarma: Heinrich-Böll-Stiftung, kancelář v Praze,
Jugoslávská 16, 120 00 Praha 2 | *cz.boell.org/male-modularni-reaktory*

Dílo je zveřejněno pod licencí Creative Commons CC BY-NC-SA.
Je povoleno jej šířit, pokud bude uveden jeho autor, a to pouze
k nekomerčním účelům a při zachování stávající licence.

Publikace odráží názory autorů, nikoli nutně Heinrich-Böll-Stiftung, Calla –
Sdružení pro záchranu prostředí a Hnutí DUHA.