

Alternatívy k ruskému jadrovému palivu

Komentár

Autor:

Juraj Hajko

Inštitút pre stratégie a analýzy

Úrad podpredsedu vlády pre plán obnovy
a znalostnú ekonomiku Slovenskej republiky

Február 2024



Zhrnutie

Slovensko vyrába vyše 60 % elektriny z jadra a pri dodávkach paliva je plne závislé od Ruska. Po zapojení štvrtého bloku Elektrárne Mochovce, ktoré je plánované na rok 2025, stúpne podiel jadra na výrobe elektriny na približne 70 %. Z hľadiska energetickej bezpečnosti bude ešte dôležitejšie zabezpečenie spoľahlivého a cenovo výhodného dodávateľa jadrového paliva.

Doterajším a zatiaľ jediným dodávateľom je ruská firma TVEL, s ktorou majú Slovenské elektrárne, a.s. kontrakt do roku 2026 s možnosťou predĺženia do roku 2030. Podľa odborníkov dodáva kvalitné palivo a napriek vojne na Ukrajine bez prerušenia a v požadovanom harmonograme. Závislosť na nedemokratickom režime, ktorý navyše vedie vojnu v susednom štáte, vytvára riziko nestability dodávok a tiež viaceré morálne a bezpečnostné otázky.

Slovensko preto aj po vzore iných štátov strednej a východnej Európy hľadá alternatívneho dodávateľa a deklaruje záujem súbežne využívať viacerých na zaistenie energetickej bezpečnosti. Okrem toho sa zapája do vývoja paliva európskej výroby.

Na Slovensku sú len reaktory typu VVER-440. Zo 17 funkčných reaktorov VVER-440 v EÚ a na Ukrajine (z toho 5 na Slovensku) väčšina prejde na palivo od kanadsko-amerického firmy Westinghouse, ktorá vyvinula jeho novšiu generáciu. Prvýkrát sa nové palivo použilo v reaktore typu VVER-440 v septembri 2023 na Ukrajine. Česko očakáva prvé dodávky v roku 2024. Jedinou výnimkou je Maďarsko s jadrovou elektrárnou Paks, ktoré zostáva pri ruskom palive, a na výstavbe ďalšieho bloku sa dohodlo s ruským Rosatomom. Pri inom type reaktorov sovietskej výroby (VVER-1000) sa už alternatívne palivo k ruskému úspešne používa roky.

Skúsenosti potvrdzujú, že ruského dodávateľa jadrového paliva TVEL je možné nahradiť pomerne rýchlo, už v jednotkách rokov, kanadsko-americkou firmou Westinghouse, prípadne jej licencovanými zmluvnými partnermi v Európe. Iní západní alternatívni dodávatelia na rozdiel od Westinghouse palivo do reaktorov typu VVER-440 a VVER-1000 ešte nevyvinuli alebo ho vôbec nevyrábajú. Slovensko v jadrovej energetike rozvíja spoluprácu s francúzskou firmou Framatome, ktorý sa pokúša vyvinúť európske jadrové palivo.

Podľa oslovených odborníkov nie je zmena paliva, ak splní vysoké nároky na kvalitu, technologický problém. Ide skôr o politické a ekonomické rozhodnutie. Skomplikovať ho môže administratíva súvisiaca s licenčným procesom od slovenských dozorných orgánov.

Cena jadrového paliva nie je významnou položkou z hľadiska celkových nákladov na výstavbu, prevádzku a dodávanie elektriny do siete. Rovnako by podľa dostupných informácií nemal byť výrazný cenový rozdiel medzi dodávkami paliva od ruského a amerického výrobcu. Potenciálnou hrozbou je nižšia kvalita paliva alebo technické problémy, ktoré boli v minulosti pri americkom palive do reaktorov typu VVER zaznamenané.

Výmenou ruského za amerického dodávateľa (alebo ich kombináciou) Slovensko výrazne zníži svoju závislosť od ruských spracovateľov uránu a výrobcov obohateného uránu, úplne sa jej však nezbaví. Napriek geopolitickým udalostiam USA najmenej ostatných päť rokov dovážajú stabilne zhruba štvrtinu obohateného uránu z Ruska a technicky nie sú krátkodobo schopné ruské dodávky nahradiť.

V nadchádzajúcich dekádach štát plánuje výstavbu takzvaného Nového jadrového zdroja, ktorý neskôr nahradí dosluhujúce reaktory v Jaslovských Bohuniciach. Westinghouse patrí medzi potenciálnych kandidátov na výstavbu nového reaktora. Spolupráca s USA v jadrovej energetike dáva pre Slovensko zmysel aj z hľadiska rozvoja technológie malých modulárnych reaktorov (SMR). Na štúdiu realizovateľnosti získalo Slovensko grant z amerického projektu Phoenix a je vytypovaných 5 lokalít, kde by reaktory mohli stáť.

Menej diskutovanou alternatívou pri dodávkach jadrového paliva sú ázijskí výrobcovia, konkrétne Čína. Aj tu však vstupujú do hry geopolitické súvislosti a potenciálne riziková závislosť od komunistickej Číny.

Z hľadiska ceny spotrebovaného paliva na 1 MWh vyrobenej elektriny je v porovnaní s fosílnymi zdrojmi najvýhodnejšie jadro. Kým pri jadrovom palive je to menej ako 9 €/MWh, pri uhlí je to dvojnásobok a pri plyne takmer štvornásobok. Jadrové palivo je síce náročnejšie na ťažbu a spracovanie ako fosílny zdroj, ale má vyššiu energetickú hustotu. Toto porovnanie nezohľadňuje celkové náklady na výrobu elektriny, ktoré sú v prípade jadrovej energie vysoké.

Odporúčania

- Vzhľadom na negatívne skúsenosti s politizáciou dodávok plynu z Ruska, ktoré sa vyhráža alebo ich reálne zastavuje na vyvíjanie nátlaku na odberateľské štáty, a možných ďalších sankčných opatrení na Rusko v dôsledku vojny na Ukrajine, ako aj vzhľadom na súvisiace riziká bezpečnosti a stability dodávok, je opodstatnené hľadať alternatívne zdroje jadrového paliva. Slovenské elektrárne, a.s. (SEAS), experti aj iné štáty s reaktormi typu VVER-440 sa prikláňajú k americkému dodávateľovi Westinghouse.
- Z hľadiska bezpečnosti dodávok a ceny je opodstatnené nespoliehať sa na jediného dodávateľa. Odporúčame pokračovať v trende diverzifikácie dodávok, ako už začal SEAS.
- Európska únia by mala rozvíjať obchodné vzťahy so štátmi ťažiacimi uránovú rudu a budovať kapacity na výrobu vlastného paliva, aby nebola pri dodávkach sekundárne závislá na neobohatennom uráne. Logickým európskym lídrom je Francúzsko, ktoré má kapacity na výrobu obohateného uránu, je hlavným podporovateľom jadra v EÚ a vyvíja jadrové palivo európskej výroby (*European Sovereign Design*).
- Európske štáty by sa mali pripraviť na to, že alternatívne palivo (či už od firmy Westinghouse, Framatome lebo jadrové palivo európskej výroby (*European Sovereign Design*)) nemusí spočiatku dosahovať kvalitu ruského paliva, ako sa to stalo pri prvej generácii paliva od Westinghouse pre reaktory VVER. To môže ohroziť alebo obmedziť prevádzku a diverzifikáciu paliva jadrových zariadení.

Zoznam skratiek

EBO – jadrová elektrárň Bohunice
EMO – jadrová elektrárň Mochovce
IEA – Medzinárodná energetická agentúra
INECP – Integrovaný národný energetický a klimatický plán
ISA – Inštitút pre stratégie a analýzy
JE – jadrová elektrárň
JESS – Jadrová energetická spoločnosť Slovenska
LCOE – levelized cost of electricity
MH – Ministerstvo hospodárstvo SR
NEA – Agentúra pre jadrovú energiu (pri Organizácii pre hospodársku spoluprácu a rozvoj)
NJF – Národný jadrový fond
NJZ – Nový jadrový zdroj
OECD – Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj
OKTE – Organizátor krátkodobého trhu s elektrinou
OZE – obnoviteľné zdroje energie
SEAS – Slovenské elektrárne, a. s.
SEPS – Slovenská elektrizačná a prenosová sústava
VVER – vodo-vodný energetický reaktor

Obsah

Zhrnutie	1
Odporúčania	3
Zoznam skratiek.....	4
Úvod	6
Jadrová energetika na Slovensku	7
Aktuálny stav jadrovej energetiky v Európe.....	10
Možnosti diverzifikácie a míľniky jadrovej energetiky	14
Jadrové palivo.....	16
Slovensko a časový horizont	17
Cena paliva a jej podiel na cene jadrovej elektriny.....	18
Ďalšie faktory	21
Hlbinné úložisko	24
Slovensko a malé modulárne reaktory.....	24
Nový jadrový zdroj.....	25
Záver	27
Zoznam literatúry	28
Príloha 1: Plné znenie odpovedí respondentov	33

Úvod

Slovensko vyrába vyše 60 percent elektriny z jadra. V Integrovanom národnom energetickom a klimatickom pláne (INECP) je jadrová energetika a jej ďalší rozvoj za považovaná za „základný bezpečnostný záujem“ a nízkoemisný zdroj elektriny (MH 2023:10).

Pri dodávkach paliva je Slovensko momentálne plne závislé od Ruska. V súvislosti s vojnou na Ukrajine a po vzore iných štátov strednej a východnej Európy hľadalo a hľadá alternatívneho dodávateľa jadrového paliva na zaistenie energetickej bezpečnosti (SEPS 2023:11).

Jadro je polarizujúcim zdrojom elektriny a má v EÚ zarytých zástancov aj odporcov. Kým Slovensko, V4 a ďalšie štáty na čele s Francúzskom patria k prvej skupine, susedné Rakúsko a Nemecko budujú energetický mix bez neho. Je to stabilný a navyše bezemisný zdroj elektriny, ktorý vedno s obnoviteľnými zdrojmi energie umožňuje nahrádzať fosílné palivá. Vzhľadom na aktuálnu bezpečnostnú a politickú situáciu, ale aj v súvislosti s energetickou prestavbou EÚ preto jadro nabralo na dôležitosť. Nevýhodou plynu je kolísajúca cena a nepredvídateľnosť dodávok plynu z Ruska, nezabúdajúc na osud projektu plynovodu Nord Stream 2, ktorý tesne pred spustením Nemecko pozastavilo v reakcii na ruskú inváziu na Ukrajinu a v septembri 2022 ho poškodili výbuchy. Nespornou výhodou jadra je menej objemné a cenovo stabilnejšie palivo. Odvrátenou stranou je zložitejšie nahradenie dodávateľa kvalitného paliva, ako aj nedoriešená otázka trvalého uskladnenia vyhojeného paliva, vysoké náklady na výstavbu a tiež riziko katastrofických dôsledkov prípadnej havárie.

V tomto komentári sa pokúsime zodpovedať nasledovné otázky:

- Ako je možné zbaviť sa závislosti na dodávkach jadrového paliva z Ruska?
- Koľko by zhruba alternatívne riešenia stáli a nakoľko sú reálne?
- Na čo by sme sa v jadrovej energetike mali pripraviť?

V prvej časti sa pozrieme na aktuálny stav slovenskej jadrovej energetiky a špecifiká späť s reaktormi typu VVER-440. Nasledovať bude pohľad na jadro v Európe, diverzifikačné úsilie jednotlivých členských štátov a výhľad na najbližšie roky.

V ďalšej časti predstavíme názory odborníkov na jadrovú energetiku a Slovenských elektrární a.s. (SEAS), ktorých sme oslovili formou štruktúrovaných rozhovorov. Napokon sme sa pokúsili vyhodnotiť cenu jadrového paliva a mieru závislosti z hľadiska dodávateľov spracovaného a obohateného uránu. V závere v krátkosti poukážeme na budúce míľniky jadrovej energetiky, konkrétne na malé modulárne reaktory a problematiku jadrového úložiska.

Jadrová energetika na Slovensku

Prvý jadrový reaktor postavený na Slovensku (a zároveň v Československu) bol v areáli jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach (EBO). S výstavbou sa začalo v roku 1958. Prvý blok mal názov A-1 a experimentálny reaktor typu KS-150 bol spustený v roku 1972. V rovnakom čase sa začala výstavba elektrárne Bohunice V-1 (bloky 1 a 2), každý s výkonom 440 MW, ktoré vyrábali elektrinu od začiatku 80. rokov do roku 2006, respektíve 2008. Časť Bohunice V2 (blok 3 a 4) sú v prevádzke od polovice 80. rokov s tlakovodnými reaktormi typu VVER-440/V-213. Každý z nich má výkon 505 MW (SEAS).

V jadrovej elektrárni v Mochovciach (EMO) sú od konca 90. rokov v plnej prevádzke dva tlakovodné reaktory typu VVER-440/V-213 s pôvodným výkonom 440 MW zvýšeným postupne až na 500 MW. Prvý a druhý blok AE Mochovce ročne spolu dodajú do siete viac ako 7 miliónov MWh elektrickej energie, čo je zhruba štvrtina spotreby elektriny na Slovensku (SEAS). Tretí blok s výkonom 471 MW bol spustený v januári 2023, dosiahol výkon 100 % a spúšťanie bolo dokončené v októbri (SEAS 2023a). Štvrtý blok by mal byť spustený v roku 2025, čo sme zohľadnili v grafike.¹

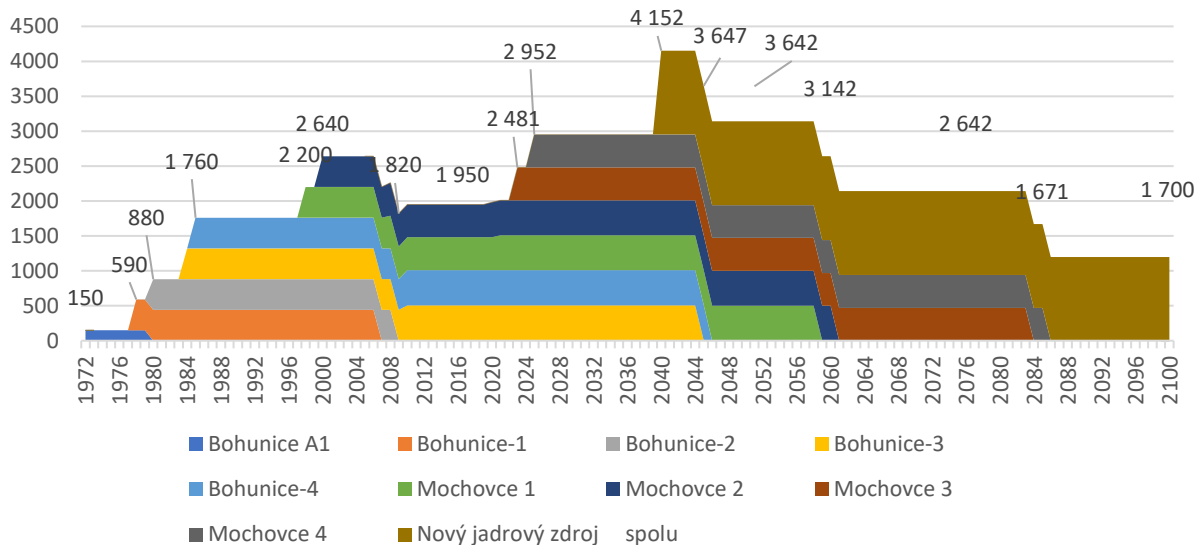
Slovensko má teda v súčasnosti v prevádzke dve jadrové elektrárne a päť funkčných reaktorov, v blízkej budúcnosti ich bude šesť (EMO4 bude spustený v roku 2024 alebo 2025). Každý zo šiestich reaktorov má inštalovaný výkon približne 500 MW, spolu 3000 MW s ročnou výrobou 23150 GWh (pri maximálnom reálnom využití kapacity reaktorov na úrovni 92 %). Pôvodne štát počítal s naplnením týchto parametrov v roku 2020 (Energetická politika SR 2014). Po dokončení 4. bloku v Mochovciach bude podiel jadra na výrobe elektriny zhruba 70 %.

Okrem toho štát prostredníctvom Jadrovej energetickej spoločnosti Slovenska (JESS)² pripravuje výstavbu ďalšej jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach. Takzvaný Nový jadrový zdroj má nahradiť reaktory v EBO V2, ktorý majú byť odstavené okolo roku 2040. V rovnakom čase by mal byť už postavený nový jadrový zdroj. Pôvodne bol plánovaný výkon 1700 MW, ale ministerstvo hospodárstva vydalo povolenie na nižší výkon 1200 MW (JESS). Viac sa téme venujeme v osobitnej kapitole.

¹ Spustenie oboch blokov sa výrazne omeškalo, podľa pôvodných plánov mal byť tretí blok spustený v roku 2012 a štvrtý v roku 2016.

² Vo firme JESS vlastní 51 % Jadrová a vyradovacia spoločnosť, a. s. (JAVYS) a 49 % česká firma ČEZ, a. s. (České energetické závody). JAVYS je akciovou spoločnosťou v 100 % vlastníctve štátu, ktorý vykonáva práva akcionára prostredníctvom Ministerstva hospodárstva SR.

Graf 1: Inštalovaný výkon jadrových elektrární v SR pri 60-ročnej životnosti (MW)



Zdroj: SEAS, JESS; spracovanie ISA

V roku 2022 podiel jadra na výrobe elektriny (ešte pred spustením EMO 3) prekonal 60 %. Zhruba štvrtina elektriny pochádza z vodných a plynových elektrární. Slovenská energetika vďaka tomu napriek nižšiemu podielu obnoviteľných zdrojov energie produkuje nízky objem emisií.

Tabuľka 1: Energetický mix výroby elektriny v SR (%)

Zdroje výroby elektriny na Slovensku	2022
Jadrové zdroje	60,11%
Obnoviteľné zdroje	21,89 %
Vodné	14,79 %
Biomasa	4,14%
Solárne	2,57%
Veterné	0,01%
Geotermálne	0,00%
Ostatné obnoviteľné	0,38%
Fosílné zdroje	18,00 %
Plynné palivo	8,56%
Hnedé uhlie	3,28%
Čierne uhlie	2,55%
Ropné produkty	1,66%
Ostatné fosílné	1,95%

Zdroj: OKTE

Slovensko sa spustením 3. bloku AE Mochovce technicky blíži v absolútnych číslach k energetickej sebestačnosti vo výrobe elektriny³ a k pozícii čistého vývozcu elektriny. Výroba elektriny v Mochovciach v roku 2022 prvý raz v histórii prekročila 8 TWh (SEAS), čo je zhruba štvrtina ročnej spotreby na Slovensku.

Slovensko by podľa analýzy Inštitútu environmentálnej politiky (IEP) mohlo v roku 2025 (po spustení 4. bloku JE Mochovce) vyvážať zhruba 12 % vyrobenej elektriny. Do roku 2030 IEP očakáva, že z bezemisných zdrojov (jadro a OZE) bude 90 % výroby a takmer 100 % spotreby elektriny (IEP 2022).

Pre Slovensko je jadro stabilným zdrojom z hľadiska dodávok elektriny a nástrojom dekarbonizácie energetiky: *„Zámerom SR je čo najdlhšie s ohľadom na jadrovú bezpečnosť využívať existujúce zdroje, pripraviť nové zdroje a naďalej využívať takúto technológiu.“* (MH 2023:348)

Pri chode šiestich reaktorov stúpne množstvo jadrového paliva, a tak bude z hľadiska energetickej bezpečnosti ešte dôležitejšie zabezpečenie spoľahlivého a cenovo výhodného dodávateľa jadrového paliva. Doterajším a zatiaľ jediným dodávateľom jadrového paliva do slovenských elektrární je do roku 2026 ruská firma TVEL. Podľa oslovených odborníkov (Andrej Žiarovský, Tomáš Vlček) dodáva kvalitné palivo a napriek vojne na Ukrajine bez prerušenia a v požadovanom harmonograme.

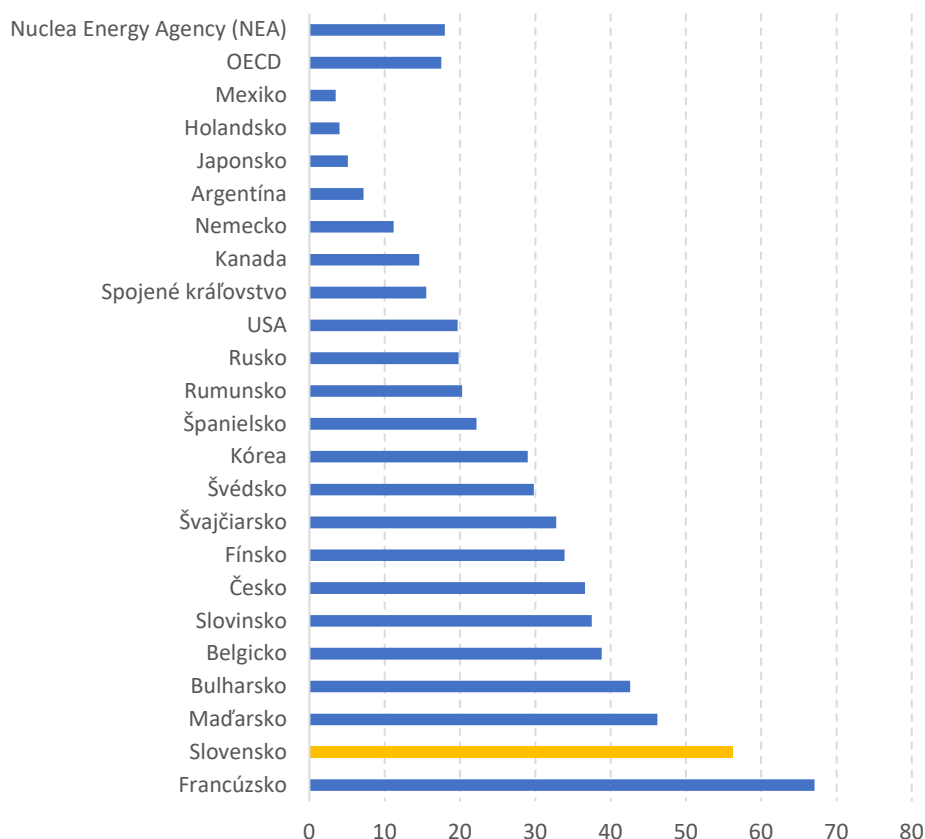
³ Čisto numericky, energetickej sebestačnosti nezávisí len od objemu vyrobenej elektriny, ale aj od ďalších faktorov.

Aktuálny stav jadrovej energetiky v Európe

V rámci EÚ je energetická politika a zloženie elektroenergetického mixu v kompetencii členských štátov. Výnimkou sú emisné ciele a podiel obnoviteľných zdrojov, ktoré musia štáty dodržiavať v súlade s európskou legislatívou. Od začiatku roka 2023 bola jadrová energia zaradená medzi „prechodné“ zdroje v rámci európskej zelenej taxonómie. V októbri 2023 sa členské štáty dohodli na kompromise a medzi klimaticky neutrálne elektrárne zaradili aj tie jadrové. Čo znamená napríklad to, že štáty ich budú môcť dotovať prostredníctvom garantovaných cien pre odberateľov, čo je dôležitá správa aj pre Slovensko. Výzvou je výstavba hlbinného úložiska jadrového odpadu do roku 2050.

Jadrové elektrárne generovali v roku 2021 zhruba štvrtinu elektriny v EÚ. Reaktory nájdeme v 13 členských štátoch (Eurostat 2022). Slovensko je v percentuálnom pomere jadra na celkovom elektroenergetickom mixe na druhej priečke za Francúzskom. Oba štáty spája dôraz na efektívnosť a ekologickosť jadrovej energetiky, čo deklarujú na národnej aj európskej úrovni.

Graf 2: Podiel jadra na výrobe elektriny (%)



Zdroj: OECD, Nuclear Energy Data 2021

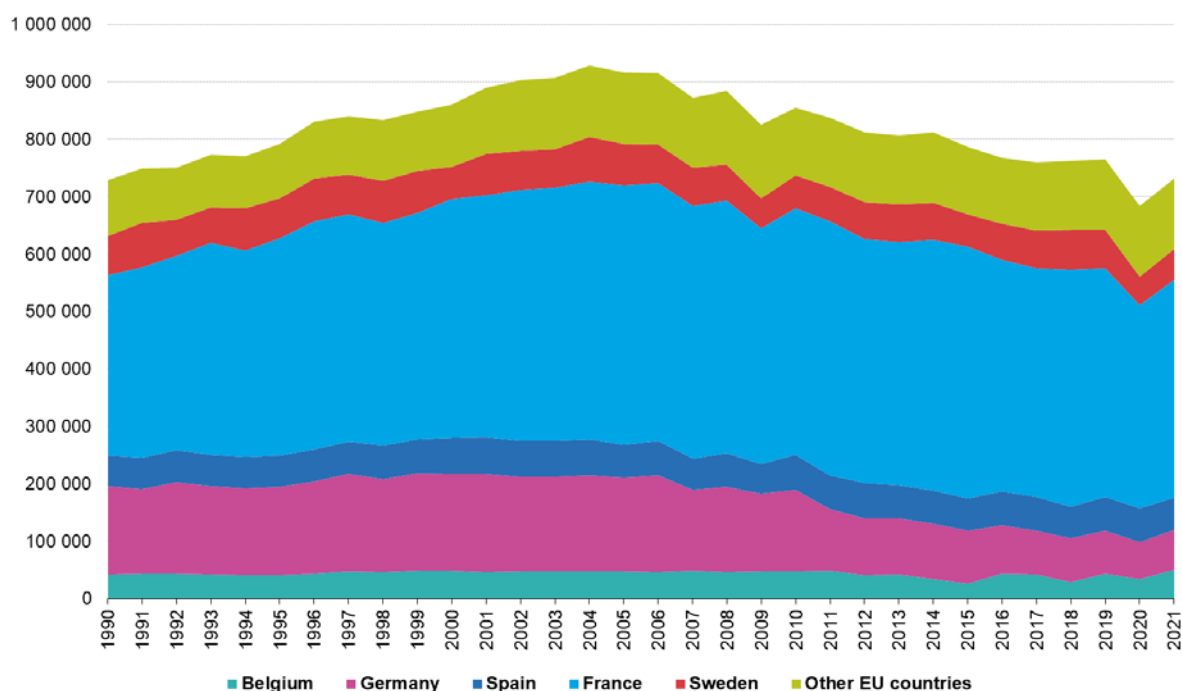
Počas energetickej krízy v roku 2022 sa jadro opäť dostalo do centra pozornosti ako cenovo a výkonnostne stabilný zdroj elektriny. Viaceré štáty predĺžili prevádzku jadrových reaktorov, Nemecko do 15. apríla 2023 a Belgicko do 1. septembra 2025. Slovensko, Česko a Maďarsko pokračuje vo výstavbe ďalších, a Poľsko má úmysel postaviť vôbec prvú jadrovú elektrárňu (Deutsche Welle 2022, Gayet 2023).

Hoci produkcia jadrových elektrární v EÚ medzi rokmi 2006 a 2021 klesla zhruba o 20 %, momentálne je na podobnej úrovni ako v 90. rokoch minulého storočia.

Graf 3: Výroba jadrovej energie v EÚ v rokoch 1990-2021

Gross nuclear electricity production from 1990 to 2021

(in gigawatt-hour)



Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)

eurostat

Zdroj: Eurostat

V Európe vrátane Ruska bolo v roku 2022 v prevádzke 172 reaktorov, bez Ruska a Bieloruska 134. Najviac ich nájdeme vo Francúzsku (56), na Ukrajine (15) a v Spojenom kráľovstve (11). Zhruba tucet je vo výstavbe (záleží od definície začiatku výstavby) a výstavba ďalších 32 by sa mala začať v najbližších dekádach (Statista 2023).

Jadrová energetika má priaznivcov aj v celosvetovom meradle a viaceré štáty ju považujú za dôležitý nástroj pri dosahovaní uhlíkovej neutrality. Na klimatickej konferencii OSN COP28 v roku 2023 podpísalo 22 štátov vrátane Slovenska deklaráciu o pláne strojnásobiť svetovú kapacitu výroby energie z jadra do roku 2050 oproti roku 2020 (SEAS 2023d).

Reaktory typu VVER boli vyvinuté v Sovietskom zväze, prvý z nich bol uvedený do prevádzky v roku 1964 (JE Novovoronež). Celkovo ich bolo doteraz postavených 67, z nich 36 typu VVER-440. Vo verzii V-213, ktorá je predmetom tejto analýzy, je ich v EÚ a na Ukrajine v prevádzke

17 (po dokončení 4. bloku JE Mochovce 18). Ďalších 5 reaktorov VVER-440 iných verzií (V-179, V-230 a V-270) nájdeme v Rusku a Arménsku. Prehľad ponúkame v tabuľke nižšie (Rosatom).

Tabuľka 2: Verzie reaktorov typu VVER

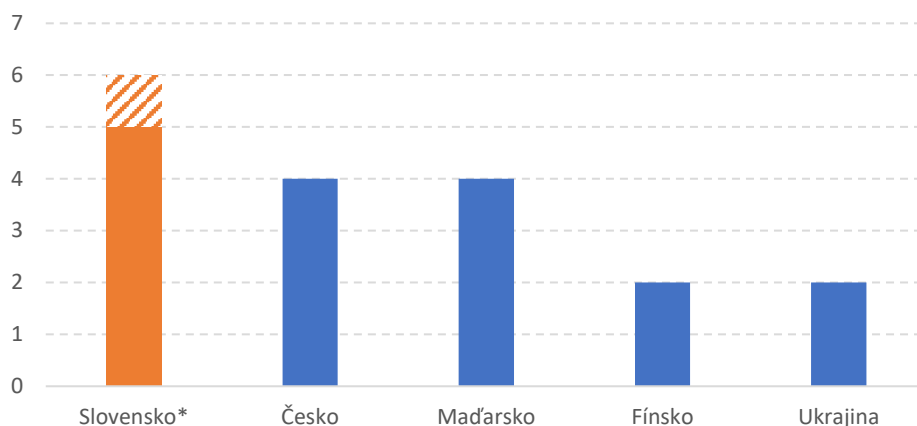
VVER GENERATIONS

GEN I VVER	GEN II VVER-440	GEN II/GEN III VVER-1000	GEN III+ VVER-1200		
V-210 RUSSIA: Novovoronezh 1 <i>(decommissioned)</i> V-365 RUSSIA: Novovoronezh 2 <i>(decommissioned)</i>	V-179 RUSSIA: Novovoronezh 3-4 V-230 RUSSIA: Kola 1-2 <i>Decommissioned:</i> EAST GERMANY: Greifswald 1-4 BULGARIA: Kozloduy 1-4 SLOVAKIA: Bohunice I 1-2 V-213 RUSSIA: Kola 3-4 UKRAINE: Rovno 1-2 HUNGARY: Paks 1-4 CZECH REP.: Dukovany 1-4 FINLAND: Loviisa 1-2 SLOVAKIA: Bohunice II 1-2 Mochovce 1-2 Mochovce 3-4 <i>(under construction)</i> V-270 ARMENIA: Armenia-1 <i>(decommissioned)</i> Armenia-2	V-187 RUSSIA: Novovoronezh 5 V-302 UKRAINE: South Ukraine 1 V-338 UKRAINE: South Ukraine 2 RUSSIA: Kalinin 1-2 V-320 RUSSIA: Balakovo 1-4, Kalinin 3-4, Rostov 1-2, Rostov 3-4 <i>(under construction)</i> UKRAINE: Rovno 3-4, Zaporozhe 1-6, Khmelniński 1-2, South Ukraine 3 BULGARIA: Kozloduy 5-6 CZECH REP.: Temelin 1-2 V-428 CHINA: Tianwan 1-2, Tianwan 3-4 <i>(under construction)</i> V-412 INDIA: Kudankulam 1, Kudankulam 2 <i>(under construction)</i> V-466 IRAN: Bushehr 1	V-392M RUSSIA: Novovoronezh II 1-2 <i>(under construction)</i> V-491 RUSSIA: Baltic 1-2 <i>(under construction)</i> Leningrad II 1-2 <i>(under construction)</i> BELARUS: Belarus 1 <i>(under construction)</i>		
1960	1970	1980	1990	2000	2010

Zdroj: Rosatom

Reaktory VVER-440 tvoria 13 % z celkového počtu európskych reaktorov. Vzhľadom na plánovanú životnosť ide o ekonomicky menej zaujímavý segment pre alternatívnych výrobcov jadrového paliva, čo podrobnejšie rozoberieme v ďalšej kapitole.

Graf 4: Reaktory typu VVER-440 v Európe



Zdroj: ISA

Kontrakty na dodávky jadrového paliva sú dlhodobé a v strednej a východnej Európe badať jasný trend odklonu od ruského paliva k americkému. Trend sa zvýraznil od začiatku vojny na Ukrajine.

Do českej JE Temelín s dvoma reaktormi typu VVER-1000, pri ktorých je už alternatívne palivo k ruskému používané niekoľko rokov, budú od roku 2024 dodávať palivo firmy Westinghouse a Framatome.

Česko sa po ruskej invázii na Ukrajinu rozhodlo nahradiť ruského dodávateľa jadrového paliva aj v JE Dukovany, čo sa stane realitou tiež v roku 2024. Tam sú v prevádzke dva 510 MW reaktory typu VVER-440, kam bude palivo tiež dodávať Westinghouse.

Podobne koná Fínsko a Ukrajina, ktorá po ruskej anexii Krymu a vyhlásení dvoch proruských samozvaných republík na Donbase začala konať a niekoľko tamojších elektrární (Rovenská, Južnoukrajinská, Chmeľnícká a Záporožská) prešlo z ruského na americké palivo od firmy Westinghouse. Poľsko, ktoré doteraz jadrové elektrárne nemalo, uzavrelo priamo s USA medzivládnu dohodu a reaktory tam bude stavať Westinghouse.

Rovenská elektrárňa je prvým reaktorom typu VVER-440, do ktorého Westinghouse zaviezol novú generáciu tohto typu paliva, konkrétne v septembri 2023 (World Nuclear News 2023b).

V skratke, zo 17 funkčných reaktorov VVER-440 v EÚ a na Ukrajine (z toho 5 na Slovensku) väčšina prejde na palivo od Westinghouse, Česko očakáva prvé dodávky v roku 2024. Jedinou výnimkou je Maďarsko s jadrovou elektrárnou Paks, ktoré zostáva pri ruskom palive, a na výstavbe ďalšieho bloku sa dohodlo s ruským Rosatomom. Zároveň sa však na výstavbe podieľa

francúzsky Framatome, s ktorým Maďarsko utužuje spoluprácu.⁴Pre úplnosť dodajme, že detailný dizajn paliva do reaktorov typu VVER-440 sa mierne líši v každom štáte.⁵

Popri palive sa diverzifikuje aj výstavba jadrových zariadení. Reaktory ruskej výroby postupne nahrádzajú iní výrobcovia a medzi najaktívnejších patrí Westinghouse. Kanadsko-americká firma plánuje výstavbu viacerých reaktorov v Európe: v Poľsku (World Nuclear News 2023a), Švédsku, Fínsku (Westinghouse 2023) a Rumunsku (Balkan Insight 2022) a najnovšie 2 reaktory na Ukrajine (Reuters 2024).

Uchádzala sa aj o výstavbu ďalšieho bloku elektrárne v Dukovanoch. Česká vláda zabránila ruskej spoločnosti Rosatom v účasti na tendri z bezpečnostných dôvodov. Zapojila sa doň americká spoločnosť Westinghouse, francúzska EDF a juhokórejská firma KHNP (E15 2023). V januári 2024 však česká vláda Westinghouse vyrazila pre nesplnenie podmienok tendra.

Možnosti diverzifikácie a míľniky jadrovej energetiky

ISA oslovila troch popredných expertov z oblasti energetiky: Andreja Žiarovského, Veroniku Oravcovú a Tomáša Vlčka, a Slovenské elektrárne (SEAS).

- Andrej Žiarovský je riaditeľom pre strategický rozvoj a medzinárodné vzťahy spoločnosti VUJE, ktorá sa zameriava na jadrovú energetiku, prenosové a distribučné sústavy.
- Veronika Oravcová pôsobí ako analytička SFPA v energetike a zároveň vedecko-výskumná pracovníčka na Katedre politológie Univerzity Komenského v Bratislave. Zaoberá sa problematikou energetickej tranzície a energetickej bezpečnosti v strednej a východnej Európe.
- Tomáš Vlček pôsobí na Masarykovej univerzite a odborne sa venuje geopolitickým aspektom energetiky, jadrovej energetike a energetickej bezpečnosti v postkomunistickej Európe.
- Slovenské elektrárne sme oslovili ako dominantného výrobcu elektriny na Slovensku, ktorý zodpovedá za výstavbu a chod JE.

Respondenti dostali nasledovné otázky o jadrovej energetike. Nižšie v tabuľke sú uvedené ich skrátené parafrázované odpovede (plné znenie nájdete v prílohe).

⁴ Podľa [medializovaných informácií](#) francúzska firma, pôvodne v konzorciu s nemeckým Siemensom, posilňuje mieru zapojenia do projektu. Maďarsko zároveň, podobne ako Slovensko, [podpísalo](#) v roku 2023 memorandum s Framatomom, ktoré umožňuje okrem iného dodávky paliva.

⁵ Palivo sa líši v závislosti od typu reaktoru a výrobcu. Kým palivové články ruskej výroby majú šesťhranný prierez, americké majú štvorcový. Líšia aj v ďalších technických parametroch, ako je priemer palivových peletiek, použité materiály na obal a podobne (pozri OECD 1998:12). To môže spôsobiť rozdielne správanie článkov v reaktore. Tiež nie je možné použiť palivové kazety z reaktoru typu VVER-440 do reaktoru typu VVER-1000, sú technologicky rozdielne.

- 1) Dokáže Slovensko v strednodobom horizonte (10-20 rokov) vymeniť dodávateľa jadrového paliva?
- 2) Ktorý z dodávateľov paliva (EDF, KHNP, Westinghouse) by bol pre Slovensko najvýhodnejší?
- 3) Prečo Slovensko užšie nespolupracuje v oblasti jadrovej energetiky s Francúzskom, hoci je to oblasť spolupráce vymedzená aj v rámci bilaterálneho strategického partnerstva?
- 4) Nakoľko je pravdepodobné, že Slovensko do roka 2050 vybuduje novú jadrovú elektrárňu alebo reaktor?
- 5) Je reálne, že namiesto novej veľkej jadrovej elektrárne sa Slovensko vydá cestou malých modulárnych reaktorov?
- 6) Kde a v akom horizonte by Slovensko dokázalo vybudovať hlbinné úložisko jadrového odpadu?

Tabuľka 3: Krátené odpovede respondentov

	Andrej Žiarovský	Veronika Oravcová	Tomáš Vlček	SEAS
Zmena dodávateľa a časový horizont	Áno, jednotky rokov.	Áno, strednodobý horizont.	Áno, jednotky rokov.	Áno, pri Westinghouse aj v jednotkách rokov.
Alternatívny dodávateľ paliva	Westinghouse.	Záleží od ceny, spoľahlivosti aj geopolitiky.	Reálne len Westinghouse.	Westinghouse, ENUSA ⁶ alebo Framatome.
Spolupráca s Francúzskom	Štát by mal byť aktívnejší.	Deje sa vo výskume.	Skôr výskum, na dodávky a výstavbu sú iní, lepší partneri.	Pri dodávkach uránu a vývoji paliva.
Nový jadrový reaktor do 2050	Výstavba sa chystá, je potrebná, termín dokončenia otázný.	Áno, ale termín je zrejme nereálny.	Pravdepodobne sa to nestihne.	Áno, ak to bude v súlade s energetickou politikou EÚ a ak sa upraví regulačný rámec.
Malé modulárne reaktory	Vhodné pre Slovensko, ale je nutná zmena legislatívy.	Skôr áno, krok k modernizácii a decentralizácii.	Skôr nie, zložitá realizácia a možný odpor verejnosti.	Perspektívne áno po roku 2035.
Vybudovanie hlbinného úložiska jadrového odpadu	Potrebné, ale veľmi zložitý.	Reálne do 2065, ak padne v najbližších rokoch rozhodnutie.	Otázne, či sa stihne už do roku 2050. Navrhuje spoločné európske úložisko.	Má na starosti JAVYS, plán je vybudovať ho do roku 2065.

⁶ Španielska firma, ktorá pri výrobe paliva spolupracuje s Westinghouse (Foro Nuclear 2023).

Jadrové palivo

Na Slovensku sú v súčasnosti len reaktory typu VVER-440 vo verzii 213. V jadre reaktora je 349 kaziet, z nich 312 obsahuje štiepny materiál (OECD 1998:12). Každý rok sa v reaktore mení zhruba pätina paliva, teda 60-70 kaziet, ktoré majú životnosť zhruba 5 rokov. Zmena dodávateľa spôsobí, že v jednom reaktore bude palivo od rôznych výrobcov (takzvané zmiešané zóny), ako sa to už stalo napríklad v ukrajinských jadrových elektrárnach.

V minulosti aj súčasnosti bola dodávateľom paliva do slovenských reaktorov ruská firma TVEL, dcérska spoločnosť ruskej štátnej firmy Rosatom. V roku 2019 podpísali SEAS zmluvu s TVELom, ktorý vyhral medzinárodný tender pod dohľadom Zásobovacej agentúry Euratom (Euratom Supply Agency). Zmluva platí na obdobie rokov 2022-2026 s možnosťou jej predĺženia do roku 2030. Palivo bude používané v prevádzkovaných blokoch v Bohuniciach a v starých aj nových reaktoroch v Mochovciach (SEAS 2019).

V auguste 2023 Slovenské elektrárne (SEAS) a spoločnosť Westinghouse podpísali zmluvu o dodávke jadrového paliva pre jadrové elektrárne na Slovensku. Cieľom dohody, ktorá je rovnako výsledkom medzinárodného tendra, je diverzifikácia dodávok jadrového paliva a nové palivo od spoločnosti Westinghouse Electric Sweden AB by mohli použiť už rok po schválení a licencovaní.⁷

Americká firma síce už roky dodáva palivo do reaktorov typu VVER-1000, na Slovensku sú však len reaktory typu VVER-440, do ktorých štiepny materiál vedela doteraz dodať len ruská firma TVEL.

Tomáš Vlček považuje z ekonomických dôvodov za nepravdepodobné, že by nejaký dodávateľ okrem TVELu alebo Westinghouse (bez spolupráce s nimi) vyvinul vlastné palivo do reaktorov typu VVER-440, pretože by za cenu veľkých nákladov súperil o dodávky do 18 reaktorov a viaceré z nich sa blížia ku koncu životnosti.

Andrej Žiarovský a Tomáš Vlček poukázali na to, že Rusko, respektíve TVEL, je spoľahlivým dodávateľom kvalitného a cenovo výhodného paliva.

Naproti tomu je v odbornej literatúre aj médiách zdokumentované, že Westinghouse mal pri prvých pokusoch o výrobu paliva do reaktorov VVER-440 problémy. V rokoch 2001-2007 ho dodával do fínskej JE Loviisa, ale ruskému palivu nedokázal konkurovať. Fínsko sa následne vrátilo k ruskému palivu a Westinghouse v rokoch 2008-2015 prestal s výrobou tohto typu paliva, čím v jeho zdokonaľovaní výrazne zaostal za Ruskom. Poruchovosť a deformáciu paliva zaznamenal aj pri dodávkach paliva do reaktorov VVER-1000 do Česka v roku 2009 a na Ukrajinu v roku 2012. Navyše, akékoľvek poruchy či nedostatky paliva znamenajú pri prevádzke jadrovej elektrárne odstávku a veľké finančné škody (Pan 2023:3, Vlček 2016:81). S novou generáciou paliva do reaktorov VVER-440 sú zároveň malé prevádzkové skúsenosti (Hudec 2022).

Na rozdiel od dodávok plynu sa zatiaľ ruská invázia na Ukrajinu nijako neprejavila na dovoze jadrového paliva na Slovensko, ktoré vlni TVEL dodal celkovo päťkrát (Potočár 2023).

Pre úplnosť dodajme, že letecký dovoz jadrového paliva nebol predmetom sankčných opatrení

⁷ Slovenské elektrárne s firmou podpísali dohodu o mlčanlivosti, na základe ktorej si vymieňajú údaje a informácie o dizajne paliva pre reaktory VVER-440. Westinghouse by zabezpečoval výrobu a časť dokumentácie potrebnej na licencovanie a prepravu paliva (MH 2023:212).

a nevzťahoval sa naň zákaz vstupu ruských lietadiel do vzdušného priestoru EÚ. Napriek tomu je z hľadiska energetickej bezpečnosti a geopolitickej situácie opodstatnené, že sa Slovensko pokúša diverzifikovať aj dodávky jadrového paliva.

V máji 2023 uzavrela firmy SEAS Memorandum o porozumení a rozvoji strategických vzťahov s francúzskym Framatomom. Je zamerané na viacero oblastí: prevádzku a údržbu reaktorov, modernizáciu a podporné služby, vývoj a dodávky jadrového paliva, ale napríklad aj elektrolyzu vodíka a rádioaktívne technológie v medicíne. Pri diverzifikácii dodávateľa jadrového paliva je plánovaná spolupráca dvojaká: z krátkodobého hľadiska výroba a dodávky paliva v súčasnom dizajne, z dlhodobého hľadiska vývoj nového dizajnu paliva pre reaktory VVER-440 európskej výroby (takzvaný *European sovereign design*). Framatome pri vývoji spolupracuje s ďalšími európskymi prevádzkovateľmi reaktorov VVER 440.⁸

Podľa aktualizovanej verzie INECP bude alternatívnym dodávateľom paliva „na základe výsledkov výberového konania americká spoločnosť Westinghouse Electric Sweden AB“ (MH 2023:213).

Slovenské elektrárne (SEAS 2023c) uviedli, že nejde o nahradenie, ale diverzifikáciu dodávateľov:

„Základným kameňom diverzifikačnej stratégie Slovenských elektrární je podpora akejkoľvek iniciatívy a spolupráce s cieľom mať v portfóliu aspoň dvoch alternatívnych dodávateľov jadrového paliva a viacerých potenciálnych dodávateľov materiálov a služieb v rámci celého dodávateľského reťazca pre výrobu jadrového paliva.“

Potenciálnou ekonomicky výhodnou alternatívou je dovoz paliva z Číny. Má know-how na výrobu paliva do VVER-440 priamo od Rosatomu, ktorý jej však zároveň zakázal vývoz. Ak by sa však toto zmenilo, dokáže dodať produkt v dostatočnom množstve a požadovanej kvalite (Pan 2023:5). Druhou stranou mince je bezpečnostný a politický rozmer. V Číne vládne nedemokratický režim, ktorý politicky a ekonomicky s Ruskom pomerne úzko spolupracuje a je otáznе, či by boli európske štáty ochotné nahradiť ruského dodávateľa čínskym. Do úvahy je potrebné zobrať aj komplexné vzťahy medzi Čínou a EÚ, ktoré majú znaky súperenia, nedôvery aj partnerstva.

Pan tiež upozorňuje na ďalší faktor – súbežná spolupráca v jadrových technológiách s USA a Čínou nie je možná. Ilustruje to prípad JE Cernavodá v Rumunsku, kde nad spoluprácou s Čínou prevládli geopolitické záujmy a tlak USA, ktoré si presadili jej zrušenie (Pan 2023:5).

Slovensko a časový horizont

Hoci Ukrajina a Česko majú prevažne reaktory typu VVR-1000 a Slovensko len typ VVER-440, podľa expertov to v konečnom dôsledku nehrá dôležitú rolu, pretože firma Westinghouse má vyvinuté a dokáže vyrábať palivo pre oba druhy reaktorov. Pri palive pre reaktory VVER-440 bude kľúčová kvalita. Pri prvej generácii vývoja v rokoch 2001-2007 nebola na dostatočnej úrovni, ako sme opísali v predošlej kapitole.

„Výrobu paliva pre reaktory VVER-440 má plne zvládnutú americká spoločnosť Westinghouse, ktorej zástupca na jednej z konferencií dokonca deklaroval, že od roku 2024 zvládnu uspokojiť požiadavky všetkých stredo a východoeurópskych elektrární,“ uviedol Žiarovský. Podľa Vlčeka

⁸ Okrem toho s Westinghouse spolupracuje už v súčasnosti pri dodávkach paliva do reaktorov typu VVER-1000.

môže byť jediným problémom dopyt prevyšujúci ponuku amerického výrobcu: „Chýbajú výrobné kapacity, pretože 6 európskych štátov s týmito reaktormi pred ruskou inváziou na Ukrajinu o alternatívne dodávky paliva neprejavovalo záujem.“

Obaja tvrdia, že nahradiť ruské palivo je možné v jednotkách rokov. Vlček hovorí priamo o roku 2026, Žiarovský upozorňuje, že rozhodujúcim časovým parametrom bude certifikácia nového paliva, ktorú má na starosti Úrad jadrového dozoru.

Firma SEAS v stanovisku pre ISA potvrdila, že 10-ročný horizont výmeny dodávateľa paliva je reálny a pri Westinghouse je to možné aj rýchlejšie:

„Časový horizont by mohol byť kratší, ak alternatívny dodávateľ už má vyvinutý dizajn jadrového paliva pre reaktory VVER-440 (platí pre Westinghouse Electric Sweden AB). Pokiaľ ide o licenčný proces, na Slovensku je v kompetencii Úradu jadrového dozoru SR (ÚJD SR). V prípade nového typu paliva posudzovanie nie je limitované len na samotné palivo, ale aj na validáciu systému vnútroreaktorovej kontroly, softvéru, posúdenie oblasti ohrozenia atď. Rovnako príprava na samotné licencovanie trvá určitý čas, nakoľko najskôr musí žiadateľ o povolenie zhromaždiť potrebnú dokumentáciu a všetky potrebné informácie. Až potom je dokumentácia predložená na ÚJD SR a povolovací proces sa začína jej posúdením. Akýkoľvek nový typ jadrového paliva musí spĺňať všetky technické a bezpečnostné požiadavky stanovené legislatívou, s dôrazom na jadrovú bezpečnosť.“

Cena paliva a jej podiel na cene jadrovej elektriny

Presnú cenu paliva nie je jednoduché zistiť a záleží, čo všetko do nej započítavame. Z ostatnej účtovnej závierky SEAS vidno, že čisto spotrebované palivo v 4 reaktoroch stojí približne 60 miliónov eur ročne, teda zhruba 15 miliónov na reaktor v rokoch 2021 a 2022 (SEAS, EY 2023). To je v súlade so stanoviskom SEAS pre ISA, v ktorom uvádzajú náklady čisto na palivo 75 miliónov eur ročne pri piatich reaktoroch, bez dopravy, skladovania, odvodov do Národného jadrového fondu (NJF) a ďalších nákladov (SEAS 2023c).

Pri hrubom prepočte ročnej výroby slovenských jadrových reaktorov v roku 2022 (15 920 GWh) a cene spotrebovaného paliva (60 miliónov eur) vyjde cena paliva na 1MWh elektriny 3,8€.

K tomu by sme mali pripočítať celkový servis – vrátane dovozu, výmeny a manipulácie s palivom a podobne. Podľa medializovaných informácií mala posledná zákazka na dodávanie paliva na roky 2022-2026 hodnotu okolo 700 miliónov eur, čo znamená sumu 140 miliónov eur ročne (Šnidl 2018). Víťazom bol TVEL a ponuka od Westinghouse bola drahšia, presné ceny však nie sú verejne dostupné. Môžeme sa teda domnievať, že celkové ročné náklady spojené s palivom boli v intervale 60-140 miliónov eur. Pri hornej hranici intervalu by potom cena paliva vychádzala 8,8 €/MWh (tento údaj uvádzame v grafe č. 6).

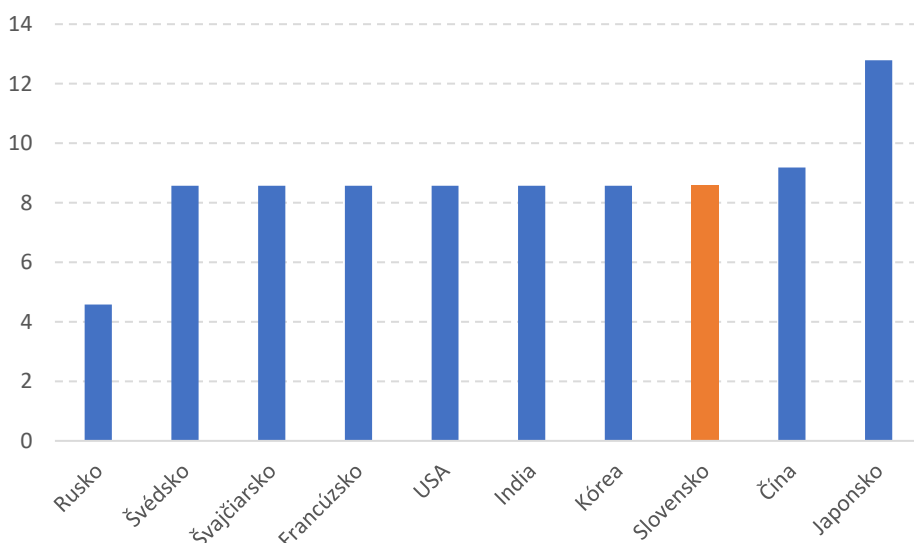
Približný odhad ceny paliva nám ponúka štúdia IEA a NEA patriaca pod OECD (IEA/NEA 2021), avšak má viacero nedostatkov, napríklad uvádza ceny elektriny v podobe vyrovnaných nákladov na elektrinu (levelized cost of electricity - LCOE), čo vzhľadom na spôsob výpočtu a započítavania rôznych diskontných sadzieb spôsobuje veľký rozptyl pri odhadovanej cene elektriny.⁹ Je zameraná na aktuálne budované jadrové reaktory, avšak z rôznych časových

⁹ Pozri Kováč 2021.

období. Pri Slovensku nie je uvedený typ reaktoru (VVER-440) a nie je jasné, či ide o 2 reaktory v Mochovciach alebo v Jaslovských Bohuniciach. Štúdia je navyše z roku 2020, odkedy sa výrazne zmenili ceny materiálov, energií a podobne. Výstavba jadrových elektrární na Slovensku je podľa štúdie najdrahšia z porovnávaných štátov, ale aj v nich sa predražuje. „Nikto na svete nedokáže postaviť jadrovú elektráreň v pôvodnom termíne a za pôvodne stanovenú cenu, výnimkou je Južná Kórea,“ povedal pre ISA Tomáš Vlček.

Štúdia uvádza cenu paliva na úrovni zhruba 8,5 € na 1 MWh vyrobenej elektriny. Je rovnaká takmer na celom svete, výnimkou je lacnejšie Rusko a drahšia Čína a Japonsko. Pri niektorých štátoch je uvedených viacero jadrových elektrární.

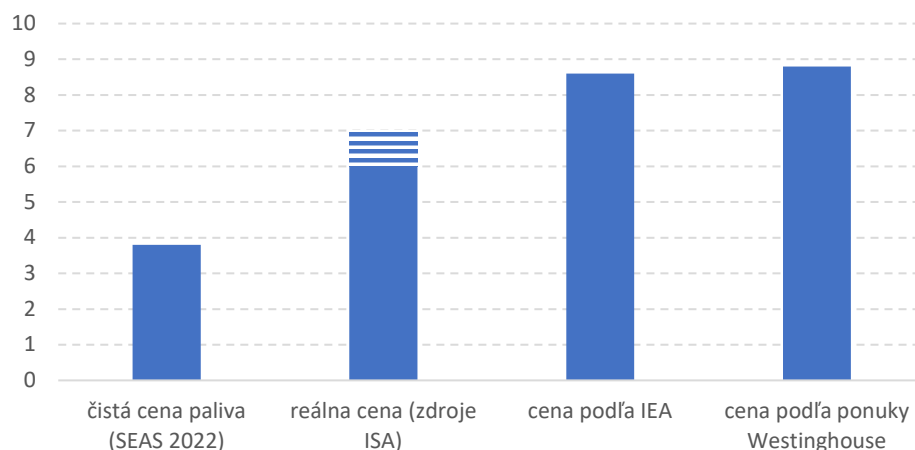
Graf 5: Cena jadrového paliva v prepočte na vyrobenú elektrinu v roku 2020 (€/MWh)



Zdroj: IEA/NEA 2021

Podľa zdrojov ISA sa cena pohybuje na úrovni 6-7 €/MWh. Zdroj si však neprial byť menovaný v tejto analýze a hovoril pod podmienkou anonymity, autor totožnosť zdroja pozná.

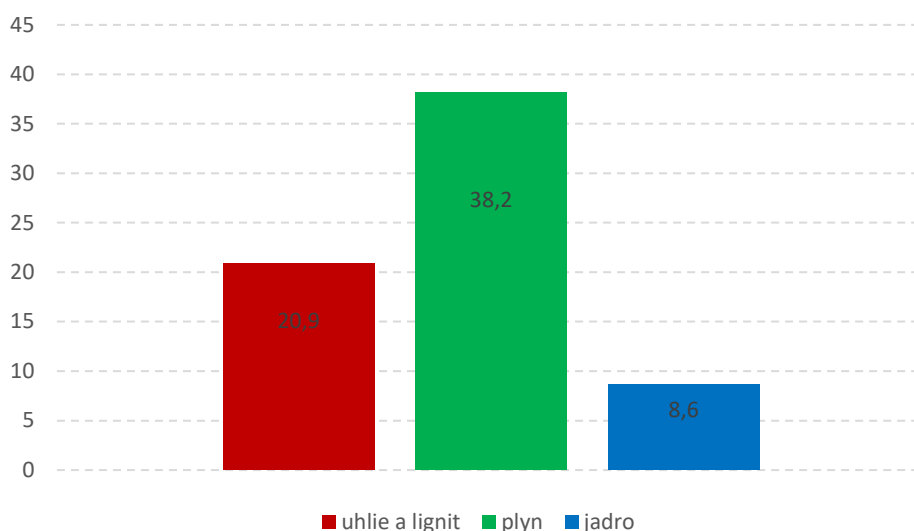
Graf 6: Odhad ceny jadrového paliva v prepočte na vyrobenú elektrinu podľa rôznych zdrojov (€/MWh)



Zdroj: ISA, SEAS, IEA¹⁰

Keď sa pozrieme čisto na pomer ceny spotrebovaného paliva na 1 MWh vyrobenej elektriny (bez zahrnutia obnoviteľných zdrojov energie), tak najvýhodnejšie sa ukazuje jadro. Kým pri jadrovom palive je to menej ako 9 €/MWh, pri uhlí je to dvojnásobok a pri plyne takmer štvornásobok. V skratke, hoci je jadrové palivo náročné na výrobu, je veľmi výdatné (má vyššiu energetickú hustotu) oproti fosílnym zdrojom.

Graf 7: Priemerná cena paliva v elektrárňach podľa typu paliva v prepočte na vyrobenú elektrinu v roku 2020 (€/MWh)



Zdroj: IEA/NEA 2021

¹⁰ Reálna cena je zložená z čistej ceny paliva a ďalších nákladov vrátane dovozu, manipulácie a skladovania paliva.

Slovenské elektrárne sa dohodli s vládou v memorande na cene elektriny ako komodity pre domácnosti na roky 2023-2024 na úrovni 61,2 €/MWh. Postupne by mala do roku 2027 rásť na 79,3 €/MWh. Na rok 2027 sú súčasné forwardové kontrakty (február 2024) na úrovni približne 70 €/MWh.

Jadrové palivo (pri cene 6-8,8 €) teda tvorí pri súčasných cenách len zhruba 10 % z ceny elektriny. Zároveň však musíme dodať, že cena elektriny je určená na základe takzvaných marginálnych nákladov najdrahšieho zdroja dodávajúceho elektrinu na trh. Tým, že jadro nie je marginálnym (najdrahším) zdrojom, rast cien paliva sa v cenách pre spotrebiteľa priamo neprejavuje.

Iné porovnanie uvádza Tomáš Vlček, ktorý uvádza, že jadrové palivo tvorí zhruba 26 % nákladov na údržbu a chod JE (Vlček 2016:80).

Podľa Vladimíra Slugeňa, predsedu Slovenskej nukleárnej spoločnosti, sa neoplatí stavať nová JE, ak nie je garantovaná výkupná cena elektriny 65 €/MWh, ďalší experti hovoria až o 80 €/MWh (Slovenská nukleárna spoločnosť 2018).

Kým pred energetickou krízou to bolo pomerne vysoké číslo, tak pri súčasných cenách je pri hrubých prepočtoch už rozvoj jadrovej energetiky rentabilnejší. Ide len o približné porovnanie, keďže je potrebné zohľadniť spravidla predražujúcu sa výstavbu JE a v dlhodobom horizonte plánovanú výstavbu hlbinného úložiska jadrového odpadu, ktorú nie je možné presne vyčíslieť. Existujú aj prepočty, podľa ktorých je skutočná cena jadrovej elektriny vrátane nákladov na spracovanie odpadu výrazne vyššia. Podľa analýzy banky Lazard z roku 2021 v World Nuclear Industry Status Report 2022 cena elektriny z jadra dlhodobo stúpa a dosahuje v prepočte úroveň okolo 180 €/MWh. Obnoviteľné zdroje oproti tomu vyrábajú elektrinu čoraz lacnejšie (Schneider, Froggatt 2022:280).

Ďalšou pomôckou sú výpočty OECD, ktorá uvádza ceny elektriny v podobe vyrovnaných nákladov na elektrinu (LCOE), ktoré vyjadrujú priemerné čisté náklady na výrobu elektriny pre výrobcu počas životnosti elektrárne. Pri využití kapacity slovenských reaktorov na 85 % vychádza cena v prepočte 53-134 €/MWh.¹¹

Ďalšie faktory

Z hľadiska logistiky je okrem TVELu podľa SEAS certifikovaný európsky výrobca americkej firmy (Westinghouse Electric Sweden AB, ENUSA) alebo európsky výrobca Framatome, ktorý však ešte palivo nemá vyvinuté.

„Dôležité je, aby sa dodávateľ neposudzoval len podľa ceny, ako tomu bolo v minulosti. I keď je jadro považované za domáci zdroj (a tento pohľad sa mení len postupne), v prípade paliva sa musíme spoľahnúť na dôveryhodného partnera a spojenca. Takže je potrebné brať do úvahy všetky aspekty: cenu, technické parametre (bezpečnosť prevádzky), spoľahlivosť dodávateľa, ale aj geopolitický rozmer,“ uviedla Veronika Oravcová.

Tomáš Vlček a Andrej Žiarovský sa zhodli v tom, že Westinghouse by mohol byť z hľadiska energetickej bezpečnosti a čiastočne aj cenovo najvýhodnejší. *„Oproti ruskému palivu by ani*

¹¹ V závislosti od finančnej náročnosti výstavby a použitej výšky diskontnej sadzby v prepočte LCOE (OECD 2021:58-59).

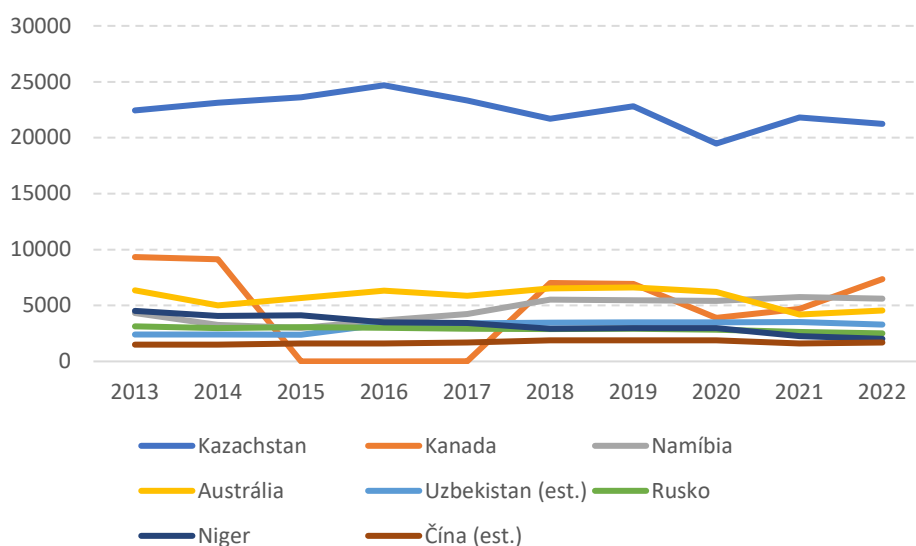
nemusel byť výrazne drahší, nasvedčujú tomu dáta z Ukrajiny, ktoré sa však týkajú sektora VVER-1000,“ uvádza Vlček. Odvrátenou stranou amerického dodávateľa sú minimálne prevádzkové skúsenosti s palivom do reaktorov typu VVER-440. Prvýkrát sa nové palivo použilo v reaktore typu VVER-440 v septembri 2023 na Ukrajine (World Nuclear News 2023b). Budúci rok by mali palivo zaväzovať aj do českej JE Dukovany.

Vzhľadom na vyjadrenia odborníkov, nízky podiel paliva na cene vyrobenej elektriny v JE a pravdepodobne nie veľký cenový rozdiel medzi dodávkami od TVELu a od Westinghouse teda otázka diverzifikácie dodávok nie je primárne ekonomická, ale skôr bezpečnostná (z hľadiska stability dodávok) a geopolitická.

IEA definuje energetickú bezpečnosť ako „*neprerušovanú dostupnosť zdrojov energie za prijateľnú cenu*“ (IEA). Klasická definícia pozostáva zo 4 aspektov: fyzická existencia zdroja (availability), dostupnosť zdroja energie (accessibility), environmentálna prijateľnosť (acceptability) a cena (affordability).¹²

V krátkosti sa ešte pozrime na dostupné zdroje jadrového paliva. Najviac uránovej rudy (s obsahom uránu zhruba 0,5 %) sa vyťažuje a spracuje v Kazachstane. Mechanickou a chemickou úpravou sa získa uránový koncentrát (oxid uránu U_3O_8), takzvaný žltý prášok, ktorý obsahuje zhruba 60-85 % uránu. Koncentrát obsahuje len zhruba 0,7 % potrebného rádioaktívneho izotopu ^{235}U , ďalším krokom je obohacovanie uránu, čím sa zvyšuje podiel izotopu na 3 a viac percent v závislosti od typu reaktora.

Graf 8: Ťažba a produkcia uránu (čistý urán v tonách)

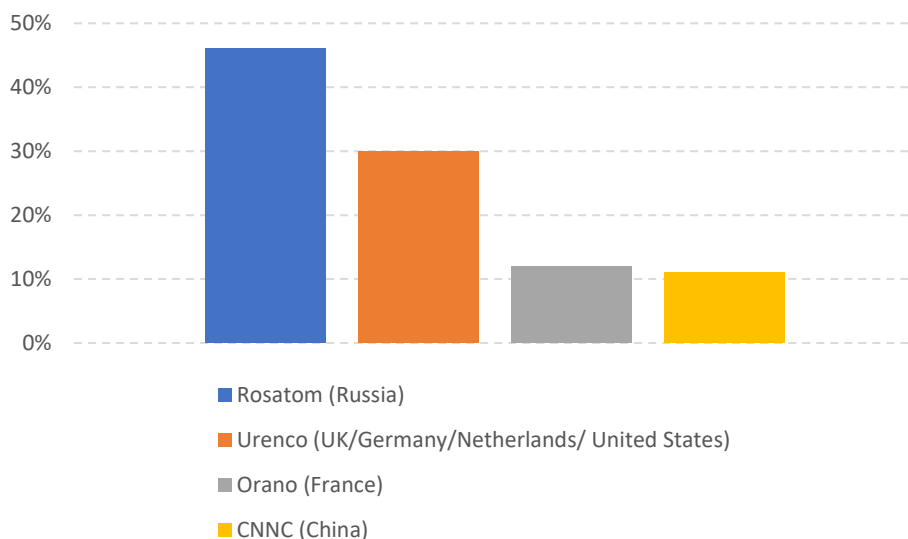


Zdroj: World Nuclear Association 2023, spracovanie ISA

Najväčším a najlacnejším dodávateľom obohateného uránu je Rusko. V roku 2020 mal Rosatom podiel na trhu 46 %.

¹² Tieto 4 aspekty sú najčastejšie, ale existujú aj definície, ktoré obsahujú 3, 6 či 20 indikátorov energetickej bezpečnosti. Viac napríklad v Cherp, Jewell 2014.

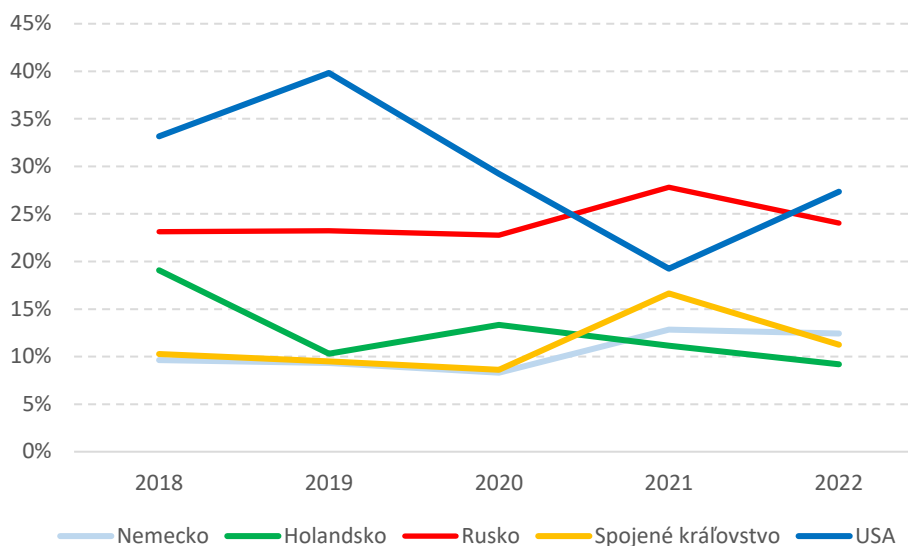
Graf 9: Kapacita komerčných zariadení na obohacovanie uránu, rok 2020



Zdroj: Euratom Supply Agency 2022, spracovanie ISA¹³

USA podľa údajov tamojšej štátnej agentúry U.S. Energy Information Administration (EIA) vyše 90 % primárne spracovaného uránu dovážajú – najviac z Kazachstanu (37 %), Kanady (16 %), Austrálie (15 %) a Ruska (14 %). Ešte výraznejšia je závislosť USA od dovozu z Ruska pri obohatenom uráne, kde je na úrovni štvrtiny z celkového objemu (EIA 2023).

Graf 10: Dodávky obohateného uránu do USA na civilné účely (%)



Zdroj: EIA, vlastné spracovanie ISA

¹³ Poznámka: Existujú komerčné (commercial) zariadenia a vojenské kapacity na výrobu obohacovaného uránu. Komerčné sú obvykle štátne alebo pološtátne (v prípade USA súkromné), ktoré vyrábajú a predávajú obohacovaný urán, a sú zachytené v oficiálnych štatistikách.

Nič na tom nezmenila ani vojna na Ukrajine. Dodávateľov je pre technologicky náročnú výrobu ťažšie nahradiť a cena je stabilná.¹⁴ Vytvorenie kapacít na výrobu množstva obohateného uránu porovnateľného s ruským Rosatomom by USA trvalo najmenej 10 rokov.¹⁵ Z hľadiska závislosti Západu na ruských jadrových technológiách vrátane komponentov, údržby či vybavenia je najťažšie nahradiť kapacity na konverziu a obohacovanie uránu (Pan 2023:2). Nahradením ruského paliva americkým sa závislosť Slovenska na Rusku podstatne zníži, úplne sa jej ale nezbavíme. V najbližších rokoch zostaneme naďalej prinajmenšom sekundárne čiastočne závislí aj na ruských dodávkach obohateného uránu.

Hlbinné úložisko

Všetky štáty EÚ s jadrovými elektrárnami by mali do roku 2050 vybudovať vlastné hlbinné jadrové úložisko, ak chcú využívať výhodnejšie financovanie *vyplývajúce zo zelenej taxonómie*. Slovensko v tejto veci deklaruje záujem spolupracovať s Českom, hoci aktuálna európska legislatíva vytvorenie spoločného úložiska neumožňuje.¹⁶ Členské štáty EÚ sa zaviazali mať do roku 2065 vybudované hlbinné úložisko, tento dátum sa však posunul na rok 2050 po schválení takzvanej [Taxonómie EÚ](#). Ide o potenciálne veľmi nákladný projekt, ale všetko závisí od spôsobu zhotovenia a možného spoločného postupu členských štátov. Národný jadrový fond v roku 2017 odhadol náklady na vybudovanie úložiska pre vyhorené palivo zo slovenských JE na 3,6 miliardy eur v cenovej hladine z roku 2016 (NJF 2022).

Slovensko a malé modulárne reaktory

Okrem geografickej a politickej diverzifikácie v jadrovej energetike je čoraz reálnejšia aj technologická alternatíva. Namiesto tlakovodných reaktorov typu VVER sa rozvíja technológia takzvaných malých modulárnych reaktorov (small modular reactors – SMR), ktoré by umožnili rýchlejšiu, jednoduchšiu a z hľadiska spôsobu výstavby potenciálne aj lacnejšiu alternatívu k aktuálnym reaktorom na Slovensku s menšími negatívnymi dôsledkami (množstvo jadrového odpadu). Celosvetovo je ich vyvíjaných približne 70 a mohli by mať mnohoraké využitie.¹⁷

Slovensko spolu s partnermi z Česka a Poľska uspeli v medzinárodnej súťaži a rozdelia si grant vo výške 8 miliónov USD na financovanie štúdie uskutočniteľnosti malých modulárnych

¹⁴ V rokoch 2020-2022 oscilovala medzi 99 a 101 dolármi v prepočte na priemerný kurz v roku 2022 zhruba 95 eur (IEA 2023).

¹⁵ To je časový horizont potrebný na obnovu výroby vo fabrike v Ohio podľa New York Times ([The U.S. Is Paying Billions to Russia's Nuclear Agency. Here's Why. - The New York Times \(nytimes.com\)](#)).

¹⁶ Výhľadovo podľa Tomáša Vlčeka nie je vylúčená možnosť vybudovania spoločného úložiska viacerými štátmi, čo by šetrilo náklady. Na to by však bola potrebná úprava aktuálnej legislatívy.

¹⁷ Experti hovoria napríklad o použití na odsolovanie vody či výrobu zeleného vodíka.

reaktorov v rámci amerického projektu Phoenix.¹⁸ Bude sa vyhodnocovať 5 lokalít, kde by mohli vyrásť malé reaktory: areály existujúcich jadrových elektrární Jaslovské Bohunice a Mochovce, areály tepelných elektrární Nováky a Vojany, a areál východoslovenskej oceliarne U.S. Steel.

SEAS deklaruje, že štúdia uskutočniteľnosti je technologicky neutrálna, „*preskúmajú sa viaceré dostupné technológie*“ a štát pôvodu SMR nie je rozhodujúci (SEAS 2023c). Ako sme však videli, Westinghouse naberá v regióne dominantné postavenie a prípad JE Cernavodá v Rumunsku, kde USA presadili zrušenie spolupráce s Čínou, ukazuje geopolitické obmedzenia pri výbere alternatívnych dodávateľov jadrových technológií.

Moderné SMR ešte nie sú v prevádzke a trhovo dostupné. OECD uvádza viacero úskalí tejto technológie. Vyvíja ich viacero štátov a ak jeden z prototypov nezíska veľký podiel na trhu, bude menšia harmonizácia, úspora z rozsahu a v dôsledku vyššia cena. Okrem otáznej cenovej výhodnosti (škálovateľnosti a modularite) čakajú SMR nové licenčné procesy a zostáva rovnaký problém ako pri klasických reaktoroch – odpor a protesty časti verejnosti proti jadrovej energetike (OECD 2021:43-45).

Nový jadrový zdroj

V *Stratégii energetickej bezpečnosti SR* z roku 2008 je výstavba ďalšieho jadrového zdroja do roku 2025 označená za jednu zo strategických priorít rozvoja bezpečnosti zásobovania elektrinou do budúcnosti. V dokumente *Energetická politika SR* je už horizont posunutý do roku 2030. Podľa pôvodného plánu mal nahradiť EBO V2, ktorá mala 30-ročnú, respektíve 40-ročnú životnosť do roku 2025. Vďaka priaznivému technickému stavu a modernizácii sa predĺžila o ďalších 20 rokov až do roku 2044 a 2045 (*Stratégia energetickej bezpečnosti SR 2008, Energetická politika SR 2014*).

V roku 2008 vláda prijala uznesenia potrebné na plánovanie výstavby Nového jadrového zdroja s výkonom 1200 MW. S týmto výkonom sa počíta aj v koncepčných dokumentoch (SEPS 2023:11). Rok nato vznikla spoločnosť JESS, kde má 51 % akcií štát a 49 % česká energetická firma ČEZ, ktorá bude „zodpovedná za prípravu, výstavbu a prevádzku nového jadrového zdroja v Jaslovských Bohuniciach“.¹⁹

V kladnom stanovisku ministerstva životného prostredia pri posudzovaní vplyvov na životné prostredie (EIA) z roku 2016 je uvedenie do plnej prevádzky a so 60-ročnou životnosťou naplánované na rok 2029 (Ministerstvo životného prostredia SR 2016). Momentálne je v návrhu aktualizácie INECP plán pripojenia NJZ do prenosovej siete v roku 2039 (MH 2023). Veronika Oravcová to považuje za nereálny termín vzhľadom na meškanie pri výstavbe iných reaktorov na Slovensku. Podľa SEAS má výstavba zmysel, len ak nebude možné predĺžiť životnosť EBO V2 nad rámec roku 2044.

Výstavba Nového jadrového zdroja je podporovaná vládami naprieč politickými cyklami vrátane úradníckej vlády Ľudovíta Ódora. Aktuálny premiér Robert Fico v novembri 2023

¹⁸ Westinghouse plánuje certifikáciu projektu AP300 SMR do roku 2027 a začiatok výstavby do roku 2030. Prvý blok by mal byť k dispozícii v roku 2033. Spoločnosť dala v roku 2023 oficiálne najavo, že má záujem stavať modulárne reaktory na Slovensku. V rozhovore v Denníku N to [vyhlásil](#) viceprezident spoločnosti Elias Gedeon.

¹⁹ Pozri webstránku Jadrovej a vyradovacej spoločnosti.

vyhlásil, že chce v tomto projekte spolu s českým akcionárom ČEZ pokračovať. Hoci v novembri 2023 naznačil, že buď cestou výstavby veľkého reaktora, alebo menších SMR blokov (ČTK 2023) a o tejto alternatíve sa zmiňuje aj SEPS (2023:11), v roku 2024 zmenil názor. Vyjadril sa jasne za výstavbu nového jadrového bloku v Jaslovských Bohuniciach s výkonom viac ako 1000 MW, čo je v súlade s doterajšími plánmi na výstavbu NJZ (TASR 2024).

Záver

Jadro zohráva pri slovenskom energetickom mixe kľúčovú úlohu a pri náraste počtu JE stúpa aj dopyt po palive a bezpečnosti dodávok.

V súlade s trendom v strednej a východnej Európe, berúc do úvahy ruskú agresiu na Ukrajine, sa Slovensko rozhodlo ísť cestou diverzifikácie dodávok jadrového paliva. Ruského dodávateľa TVEL plánuje prinajmenšom čiastočne nahradiť firmou Westinghouse. S francúzskou firmou Framatome mieni spolupracovať na vývoji európskeho paliva, čím by sa prekonala závislosť na Rusku aj USA.

Experti sa zhodujú, že nahradenie paliva neznamená vysoké dodatočné náklady, ide skôr o politické rozhodnutie. Potenciálnou hrozbou je nižšia kvalita paliva do reaktorov typu VVER-440 od Westinghouse, čo v minulosti spôsobilo problémy a ekonomické škody.

Realitou zostáva čiastočná sekundárna závislosť na ruskej (a tiež kazašskej) produkcii spracovaného a obohateného uránu, ktorú USA nedokážu krátkodobo nahradiť.

Slovensko napreduje v plánoch na výstavbu Nového jadrového zdroja v areáli EBO. Jedným z možných riešení jadrovej energetickej budúcnosti je výstavba malých modulárnych reaktorov, pri čom Slovensko primárne spolupracuje s firmou Westinghouse.

Potenciálnym partnerom pri výstavbe jadrových elektrární sú okrem USA a Francúzska aj Kórea a Čína.

Zoznam literatúry

Balkan Insight, Madalin Necsutu. (2022). *Romania To Build Two New Nuclear Reactors with US Technology*. Dostupné online: <https://balkaninsight.com/2022/11/10/romania-to-build-two-new-nuclear-reactors-with-us-technology/>

Cherp, Aleh & Jewell, Jessica. (2014). *The concept of energy security: Beyond the four As*. *Energy Policy*. 75. 10.1016/j.enpol.2014.09.005.

ČTK, Natália Adamkovičová. (2023). *Nový veľký jadrový zdroj na Slovensku. Fico potvrdil spoluprácu s Českom, predstavil aj alternatívu* in *Hospodárske noviny*. Dostupné online: <https://hnonline.sk/finweb/ekonomika/96115751-novy-velky-jadrovyy-zdroj-na-slovensku-fico-potvrdil-spolupracu-s-ceskom-predstavil-aj-alternativu>

Deutsche Welle. (2023). *German parliament approves nuclear plants life extension*. Dostupné online: <https://www.dw.com/en/german-parliament-approves-nuclear-plants-life-extension/a-63721032>

E15. (2023). *Poslední šance. Westinghouse, EDF a korejská KHNP podaly nabídky pro dostavbu Dukovan*. Dostupné online: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/posledni-sance-westinghouse-edf-a-korejska-khnp-podaly-nabidky-pro-dostavbu-dukovan-1411335>

EURATOM. (2022). *Euratom Supply Agency Annual Report 2021*. Dostupné online: <https://euratom-supply.ec.europa.eu/system/files/2022-12/Euratom%20Supply%20Agency%20-%20Annual%20report%202021%20-%20Corrected%20edition.pdf>

Eurostat. *Nuclear energy statistics*. Dostupné online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Nuclear_energy_statistics#Production_of_fresh_fuel_assemblies

Foro Nuclear. (2023). *ENUSA will manufacture VVER-440 fuel in collaboration with Westinghouse*. Dostupné online: https://www.foronuclear.org/en/updates/news/enusa-will-manufacture-vver-440-fuel-in-collaboration-with-westinghouse/?doing_wp_cron=1697534037.9336938858032226562500

Gayet, A.-S. (2023). *Belgian nuclear reactors extended for another 10 years*. Dostupné online: https://www.euractiv.com/section/politics/news/belgian-nuclear-reactors-extended-for-another-10-years/?utm_source=piano&utm_medium=email&utm_campaign=28180&pnespid=6aZ_UyU_davkRgf_R_m3sD5KS5xD_VspsLfrnmfZu.0xma_qvx5ehvNRA7wGazYzRsCN5OjVBXA

Hudec, Michal. (2022). *Expert na jadrové elektrárne: Pri dodávateľovi paliva by sme sa nemali dívať len na cenu* in *Euractiv*. Dostupné online: <https://euractiv.sk/section/energetika/news/expert-na-jadrove-elektrarne-pri-dodavatelovi-paliva-by-sme-sa-nemali-divat-len-na-cenu/>

International Energy Agency, Nuclear Energy Agency. (2021) *Projected Costs of Generating Electricity*. Dostupné online: https://www.oecd-nea.org/icms/pl_51110/projected-costs-of-

[generating-electricity-2020-edition](#)

International Energy Agency. *Energy Security*. Dostupné online: <https://www.iea.org/topics/energy-security>

Inštitút environmentálne politiky. (2022). *Analýza vplyvov balíka Fit for 55*. Dostupné online: https://www.minzp.sk/files/iep/iep_analyza_fit_for_55.pdf

Jadrová a vyradovacia spoločnosť. *Nový jadrový zdroj*. Dostupné online: <https://www.javys.sk/sk/o-spolocnosti/novy-jadrovzy-zdroj/novy-jadrovzy-zdroj>

Jadrová energetická spoločnosť Slovenska. *Projekt Nový jadrový zdroj, Mílniky projektu*. Dostupné online: <https://jess.sk/projekt-novy-jadrovzy-zdroj/milniky-projektu>

Kováč, Ján. (2021). *Podľa OECD stavia Slovensko jadrové elektrárne najdrahšie na svete. Čísla ich štúdie však nesedia* in Denník E. Dostupné online: <https://e.dennikn.sk/2545586/slovensko-stavia-jadrove-elektrarne-podla-oecd-naidrahsie-na-svete-cisla-ich-studie-vsak-nesedia/>

Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky. (2008) *Stratégia energetickej bezpečnosti SR*.

Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky. (2014) *Návrh Energetickej politiky Slovenskej republiky*.

Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky. (2023) *Návrh aktualizácie Integrovaného národného energetického a klimatického plánu na roky 2021-2030*. <https://www.mhsr.sk/uploads/files/sj8nUQQJ.pdf?csrt=1687861011568144381>

Ministerstvo životného prostredia SR. (2016). *Záverečné stanovisko EIA*. Dostupné online: https://www.jess.sk/media/1471-2023_zs-niz-jaslovske-bohunice-zverejnene-15-04-2016-pdf.pdf

Národný jadrový fond. (2022). *Stanovenie povinných príspevkov a povinných platieb do NJF od roku 2023*. Dostupné online: <https://www.njf.sk/wp-content/uploads/2022/10/Stanovenie-povinn%C3%BDch-pr%C3%ADspevkov-a-povinn%C3%BDch-platieb-do-NJF-od-roku-2023.pdf#page=18&zoom=100,72,261>

OECD, Nuclear Energy Agency. (1998). *VVER-Specific Features Regarding Core Degradation, Status Report*. Dostupné online: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-01/csni-r98-20.pdf>

OECD, Nuclear Energy Agency. (2021). *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities*. Dostupné online: <https://www.oecd.org/publications/small-modular-reactors-18fbb76c->

en.htm#:~:text=Large%2Dscale%20deployment%20of%20SMRs,realised%20in%20the%20next%20decade.

OKTE. (2022). *Národný energetický mix*. Dostupné online: <https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/statistiky/narodny-energeticky-mix/>

Pan, Yanliang. (2023). *Managing the atomic divorce: The challenges of East Central Europe's nuclear energy decoupling from Russia* in *The Electricity Journal* 36.

Potočár, Radovan. (2023). *Jadrové palivo z Ruska vlni priviezli na Slovensko päťkrát. Tu sú podrobnosti* in *Energie-portál*. Dostupné na: <https://www.energie-portal.sk/Dokument/jadrove-palivo-2022-javys-108687.aspx>

Reuters. (2024). *Exclusive: Ukraine to start building 4 new nuclear reactors this year*. Dostupné online: <https://www.reuters.com/business/energy/ukraine-start-building-4-new-nuclear-reactors-this-year-minister-2024-01-25/>

Rosatom. *The VVER today: Evolution, Design, Safety*. Dostupné online: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf>

Slovenská elektrizačná a prenosová sústava. (2023) *Hodnotenie zdrojovej primeranosti ES SR do roku 2040*. Dostupné online: https://www.sepsas.sk/engine/wp-content/uploads/2023/10/MAF_SEPS.pdf

Schneider, Mycle; Froggatt, Antony. (2022). *The World Nuclear Industry Status Report 2022*. Paris: A Mycle Schneider Consulting Project. Dostupné online: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2022-v3-lr.pdf>

Slovenská nukleárna spoločnosť. (2018). *Jadrová elektrárň dosiahla taký stupeň zložitosti, že sa jej rozvoj najmä v Európe spomaľuje*. Dostupné online: <https://www.nuclear.sk/jadrova-elektren-dosiahla-taky-stupen-zlozitosti-ze-sa-jej-rozvoj-najma-v-europe-spomaluje/>

Slovenské elektrárne. *AE Bohunice: Stručne o elektrárni*. Dostupné online: <https://www.seas.sk/elektren/ae-bohunice-v2/>

Slovenské elektrárne. *AE Mochovce: Stručne o elektrárni*. Dostupné online: <https://www.seas.sk/elektren/ae-mochovce/>

Slovenské elektrárne. (2019). *Palivo pre jadrové elektrárne na Slovensku dodá spoločnosť TVEL*. Dostupné online: <https://www.seas.sk/tlacove-spravy/palivo-pre-jadrove-elektarne-na-slovensku-doda-spolocnost-tvel/>

Slovenské elektrárne. (2022). *Výročná správa SEAS 2022*.

Slovenské elektrárne, EY. (2023). *Správa nezávislého audítora a konsolidovaná účtovná závierka*. Dostupné online: <https://www.registeruz.sk/cruz-public/domain/financialreport/attachment/10018199>

Slovenské elektrárne. (2023a). *Mochovce: Tretí blok dosiahol 100 % výkon*. Dostupné online: <https://www.seas.sk/tlacove-spravy/mochovce-3-vykon-100-percent/>

Slovenské elektrárne. (2023b). *Slovenské elektrárne majú jadrový rekord*. Dostupné online: <https://www.seas.sk/novinky/slovenske-elektrarne-maju-jadrový-rekord/>

Slovenské elektrárne. (2023c). *Odpovede pre analytický útvar ISA*.

Slovenské elektrárne. (2023d). *Slovenské elektrárne sa pridali k výzve na strojnásobenie svetovej jadrovej kapacity*. Dostupné online: https://www.seas.sk/novinky/cop28-slovenske-elektrarne-trojnásobok-jadrovej-kapacity/?_gl=1*_1g1rbi8*_up*MQ.*_ga*MjAxNjI1MzA0MC4xNzAyOTk3NTUy*_ga_XTGTDT4T90*MTcwMjk5NzU1MS4xLjAuMTcwMjk5NzU1MS4wLjAuMA

Statista.com. (2023). *Number of operational, shutdown, and planned nuclear reactors in European countries as of August 2023*. Dostupné online: <https://www.statista.com/statistics/792589/operational-nuclear-reactors-european-union-eu-28/#:~:text=As%20of%20May%202022%2C%20there,operational%20nuclear%20reactors%20in%20Europe>

Šnidl, Vladimír. (2018). *Američania prehrali s Rusmi súťaž o palivo pre slovenské reaktory, lobujú ďalej* in Denník N. Dostupné online: <https://e.dennikn.sk/1330721/americiania-prehrali-s-rusmi-sutaz-o-palivo-pre-slovenske-reaktory-lobuju-za-druhu-sancu/>

TASR. (2023). *České jadrové elektrárne prechádzajú z ruského na americké palivo*. Dostupné online: <https://www.teraz.sk/ekonomika/ceske-jadrove-elektrarne-prechadzaj/704411-clanok.html>

TASR. (2024). *Premiér podporil výstavbu jadrového bloku v Jaslovských Bohuniciach*. Dostupné online: <https://www.teraz.sk/ekonomika/premier-podporil-vystavbu-jadroveho-b/778086-clanok.html>

U.S. Energy Information Administration. (2023). *Uranium Marketing Annual Report*. Dostupné online: <https://www.eia.gov/uranium/marketing/>

Vlček, Tomáš. (2016) *Critical assessment of diversification of nuclear fuel for the operating VVER reactors in the EU* in Energy Strategy Reviews, no. 13-14, pp.77-85.

Westinghouse. (2023). *Westinghouse and Fortum Sign MOUs to Evaluate Small Modular Reactors in Finland and Sweden*. Dostupné online: <https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-and-fortum-sign-mous-to-evaluate-ap1000-reactors-and-ap300-small-modular-reactors-in-finland-and-sweden#:~:text=Helsinki%2C%20Finland%2C%20June%207%2C,projects%20in%20Finland%20and%20Sweden>

World Nuclear Association. (2023). *World Uranium Mining Production*. Dostupné online: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>

World Nuclear News. (2022). *Economics of Nuclear Power*. Dostupné online: <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

World Nuclear News. (2023a). *Westinghouse, Bechtel and PEJ push ahead on Poland AP1000*. Dostupné online: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Westinghouse,-Bechtel-and-PEJ-push-ahead-on-Poland>

World Nuclear News. (2023b). *Westinghouse VVER-440 fuel loaded into reactor*. Dostupné online: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Westinghouse-VVER-440-fuel-loaded-into-reactor>

Odpovedali Andrej Žiarovský, Veronika Oravcová, Tomáš Vlček a Slovenské elektrárne.²⁰

1) Dokáže Slovensko v strednodobom horizonte (10-20 rokov) vymeniť dodávateľa jadrového paliva?

Andrej Žiarovský: *Áno, dokáže. Je to dokonca možné v jednotkách rokov. Výrobu paliva pre reaktory VVER-440 má plne zvládnutú americká spoločnosť Westinghouse, ktorej zástupca na jednej z konferencií dokonca deklaroval, že od roku 2024 zvládnu uspokojiť požiadavky všetkých stredo a východoeurópskych elektrární. Svoje palivo pre technológie VVER vyvíja aj francúzsky Framatome.*

Rozhodujúcim parametrom pri zavádzaní nového paliva je/bude jeho certifikácia pre naše jadrové reaktory zo strany UJD. Na Ukrajine majú o.i. rovnaký typ reaktorov (Rovenská elektráreň) ako na Slovensku a už prevádzkujú na viacerých elektrárnach (Južnoukrajinská, Chmelnícká a Záporožská) tzv. zmiešané zóny (čo je medzistupeň pri postupnej zmene paliva) obsahujúce palivo Westinghouse. Český ČEZ už tiež podpísal dohodu o nahradení ruského paliva do Temelína dodávkami od Westinghouse a francúzskej firmy Framatome. ČEZ má však zásoby ruského paliva na 2 resp. tri roky, takže pre neho tento problém nie je taký akútny.

Veronika Oravcová: *Nie je to jednoduchý proces, ale v strednodobom horizonte by sa mal zvládnuť z hľadiska bezpečnosti i potrebnej certifikácie.*

Tomáš Vlček: *Áno, dokáže aj rýchlejšie, pretože má v prevádzke reaktory VVER-440. Keby malo reaktory VVER-1000, bolo by to dokonca možné len na základe jedného tendra, pretože americký Westinghouse už na to má technológiu. Na reaktory VVER-440 má americká firma tiež vyvinutú už 2. generáciu paliva vrátane dizajnu, ale chýbajú výrobné kapacity, pretože 6 európskych štátov s týmito reaktormi pred ruskou inváziou na Ukrajinu o alternatívne dodávky paliva neprejavovalo záujem. Nemali na to dôvod. Ruské palivo od firmy TVEL má výborné prevádzkové vlastnosti a dodáva ho vyrobené na mieru pre každý jeden reaktor. To Westinghouse nevedel ponúknuť. V Rovenskej elektrárni na Ukrajine a vo Fínsku už napriek tomu v reaktoroch ruskej výroby používajú alebo používali americké palivo.*

Ďalšou rovinou sú zmluvné záväzky, ktoré sú obvykle dlhodobé alebo na celú životnosť reaktora. Slovensku sa ako jedinému končí kontrakt onedlho, v roku 2026 (s možnosťou jej predĺženia do roku 2030, pozn. red.). V najbližšom tendri podľa mňa vyhrá neruský dodávateľ paliva, mohlo by to byť už od toho roku 2026, pričom niekoľko rokov budú elektrárne prevádzkované so zmiešanými palivovými zdrojmi.

SEAS: *Vzhľadom na predpokladaný rozsah prác súvisiacich s vývojom paliva, realizáciou testovacieho programu jadrového paliva v reaktore (nutné schválenie Úradom jadrového dozoru SR), vypracovaním bezpečnostných analýz a dokumentácie pre vydanie súhlasu na použitie jadrového paliva v jadrovom reaktore pre štandardnú prevádzku, vrátane sériovej výroby jadrového paliva, by mal byť uvedený časový horizont postačujúci. Časový horizont by*

²⁰ Doplňím funkcie.

mohol byť kratší, ak alternatívny dodávateľ už má vyvinutý dizajn jadrového paliva pre reaktory VVER-440 (platí pre Westinghouse Electric Sweden AB).

Pokiaľ ide o licenčný proces, na Slovensku je v kompetencii Úradu jadrového dozoru SR (ÚJD SR).

V prípade nového typu paliva posudzovanie nie je limitované len na samotné palivo, ale aj na validáciu systému vnútroreaktorovej kontroly, softvéru, posúdenie oblasti ohrozenia atď.

Rovnako príprava na samotné licencovanie trvá určitý čas, nakoľko najskôr musí žiadateľ o povolenie zhromaždiť potrebnú dokumentáciu a všetky potrebné informácie. Až potom je dokumentácia predložená na ÚJD SR a povoľovací proces sa začína jej posúdením.

Akýkoľvek nový typ jadrového paliva musí spĺňať všetky technické a bezpečnostné požiadavky stanovené legislatívou, s dôrazom na jadrovú bezpečnosť.

2) Ktorý z dodávateľov paliva (EDF, KHNP, Westinghouse) by bol pre Slovensko najvýhodnejší?

Andrej Žiarovský: *Ako som už uviedol, americký Westinghouse je najďalej a dokáže pokryť celý palivový cyklus spracovania prírodného uránu a obohacovania až po výrobu a dodávku palivových tyčí. Francúzsko (EDF, Framatome) by má technologické predpoklady na zvládnutie výroby paliva do reaktorov VVER a v súčasnosti už prebieha jeho vývoj. Predbežné informácie hovoria, že výroba by sa mohla rozbehnúť v roku 2026. Juhokórejská firma KHNP palivo do reaktorov typu VVER nevyrába a nemám správy, že by sa na to chystala.*

Veronika Oravcová: *Dôležité je, aby sa dodávateľ neposudzoval len podľa ceny, ako tomu bolo v minulosti. I keď je jadro považované za domáci zdroj (a tento pohľad sa mení len postupne), v prípade paliva sa musíme spoľahnúť na dôveryhodného partnera a spojenca. Takže je potrebné brať do úvahy všetky aspekty: cenu, technické parametre (bezpečnosť prevádzky), spoľahlivosť dodávateľa, ale aj geopolitický rozmer.*

Tomáš Vlček: *Je to najmä obchodná otázka a najlogickejšou voľbou by bol Westinghouse. Oproti ruskému palivu by ani nemusel byť výrazne drahší, nasvedčujú tomu dáta z Ukrajiny, ktoré sa však druhú stranu týkajú sektora VVER-1000.*

Celkovo je hľadanie alternatívneho dodávateľa spôsobené politicky. S ruskými dodávkami paliva doteraz boli dobré skúsenosti a sú spoľahlivé, ale po rozpútaní vojny na Ukrajine v roku 2022 nastali obavy, či ich ruský Rosatom nemôže zastaviť podobne ako ropu alebo plyn, hoci na jadro sankcie uvalené nie sú.

Reálnou alternatívou je len Westinghouse. Ak palivo skutočne vyvíja aj Francúzsko EDF/Framatome, tak je to minimálne na 10 rokov. Francúzi majú so sovietskymi jadrovými technológiami najväčšie skúsenosti, vďaka čomu dokážu poskytnúť servis a vyvinúť palivo. Ale vývoj je ďaleko od reálnej výroby. Pochybujem o tom, že by bol Framatome schopný dodávať Slovensku palivo už od roku 2026.

Je tam ešte jedna možnosť – že by niektorý z dodávateľov na základe licencie vyrábal palivo vyvinuté Westinghousom či TVELom. V Španielsku sa to stalo a tamojšia firma Enusa o tom vlani s USA podpísala zmluvu.

Považujem za nepravdepodobné, že by mal nejaký dodávateľ reálnu šancu konkurovať USA a Rusku, pretože by za cenu veľkých nákladov súperil o dodávky do pár reaktorov na niekoľko desiatok rokov. Ekonomicky by to nedávalo zmysel.

SEAS: *Pre Slovenské elektrárne, a. s., (SE) je základnou požiadavkou na dodávku jadrového paliva jeho maximálna kvalita a spoľahlivosť pre bezpečnú prevádzku jadrových blokov. Z pohľadu logistiky dodávok jadrového paliva sa javia výhodnejšie európski výrobcovia jadrového paliva (Framatome, Westinghouse Electric Sweden AB, ENUSA).*

3) Prečo Slovensko užšie nespolupracuje v oblasti jadrovej energetiky s Francúzskom, hoci je to oblasť spolupráce vymedzená aj v rámci bilaterálneho strategického partnerstva?

Andrej Žiarovský: *Spolupráca s francúzskymi spoločnosťami pôsobiacimi v jadrovej energetike sa v súčasnej dobe rozbieha na báze iniciatívy súkromných spoločností. Vyššia aktivita štátnych ustanovizní v tejto špecifickej oblasti by bola určite žiaduca.*

Veronika Oravcová: *Spolu s ostatnými krajinami, ktoré majú jadro, tvoria v rámci Únie alianciu, čo bolo viditeľné napríklad počas diskusie o taxonómii jadra a plynu. Spolupráca medzi krajinami je i v prípade medzinárodných výskumných aktivít.*

Tomáš Vlček: *Jedna vec je spolupráca, výskum a vývoj, ale pri tendri na výstavbu jadrovej elektrárne alebo dodávok paliva sa musíte držať pravidiel verejného obstarávania a európskej legislatívy. Vyhrá skrátka lepší alebo lacnejší partner.*

SEAS: *V oblasti palivového cyklu SE dlhodobo spolupracujú s francúzskymi firmami, v rokoch 2015 – 2021 dodávala firma ORANO (bývalá AREVA) obohatený urán pre výrobu jadrového paliva pre polovicu jadrových reaktorov SE.*

V 2018 Slovenské elektrárne vyhlásili medzinárodný tender na dodávky jadrového materiálu a čerstvého jadrového paliva, do ktorého sa prihlásili všetci relevantní dodávatelia na svete, zainteresovaná bola aj Zásobovacia agentúra Euratom. Zvítazila firma TVEL, ktorá predložila najvýhodnejšiu ponuku.

Spolupráca s ORANO pokračuje v roku 2023 plánovanou dodávkou obohateného uránu pre výrobu jadrového paliva od alternatívneho dodávateľa Westinghouse Electric Sweden AB.

Slovenské elektrárne zároveň spolupracujú s ostatnými európskymi prevádzkovateľmi elektrární typu VVER-440 so spoločnosťou Framatome na vývoji tzv. European Sovereign Design paliva pre reaktory VVER-440.

4) Nakoľko je pravdepodobné, že Slovensko do roka 2050 vybuduje novú jadrovú elektráreň alebo reaktor?

Andrej Žiarovský: *Otázka nezná, ale kedy. Musíme postaviť nové jadrové reaktory, pretože začiatkom 40-tych rokov uplynie životnosť elektrárne Jaslovské Bohunice V2. S ohľadom na existujúcu legislatívu, najneskôr v roku 2035 musíme fyzicky stavať, čiže schvaľovacie procesy novej elektrárne sa musia rozbehnúť už v súčasnej dobe. V súčasnosti už je vytipované konkrétne miesto v Jaslovských Bohuniciach hneď vedľa existujúcej elektrárne. Investorom by mala byť Jadrová energetická spoločnosť Slovenska, čo je spoločný podnik nášho JAVYSu a českého ČEZu. Prípravné práce na schvaľovacej a projektovej dokumentácii sa už začali.*

Veronika Oravcová: *Výstavba je politické rozhodnutie, ale tento termín nevyzerá ako reálny. O nových Bohuniciach sa hovorí v súvislosti s najskorším termínom v roku 2039, ale skúsenosti s Mochovcami ukazujú, že omeškanie je výrazné. Do hry vstupujú aj ďalšie faktory – predstavy budúcich vlád o energetickom mixe, elektrifikácia (i v priemysle), miera zapájania nových OZE a financie. A tiež, trvalé úložisko odpadu.*

Tomáš Vlček: Slovensko je v podobnej situácii ako Česko a pri Česku som mimoriadne skeptický. Dokážem si predstaviť, že pri veľmi silnej politickej podpore do roku 2050 stihneme v ČR postaviť nový jadrový reaktor, ako určitú čiastočnú náhradu za uhoľné elektrárne. Smerujú k tomu viaceré kroky, zmeny zákonov a výhodné podmienky pre ČEZ (napríklad prípadné kompenzácie vysokých výrobných cien elektriny). Na Slovensku si to predstaviť neviem, keďže práve dva reaktory spúšťate a máte veľký podiel jadra na výrobe energie. Dodajme, že nikto na svete nedokáže postaviť jadrovú elektrárňu v pôvodnom termíne a za pôvodne stanovenú cenu, výnimkou je Južná Kórea.

Zároveň, pokiaľ viem, tak jadrové elektrárne spustené po roku 2045 musia mať zabezpečené hlbinné úložisko na vyhorené palivo, a to najneskôr do roku 2050, aby boli vnímané ako súčasť európskej energetickej tranzície.

SEAS: O novom jadrovom zdroji má zmysel určite uvažovať, ak bude možné vylúčiť možnosť predĺženia životnosti 3. a 4. bloku elektrárne Jaslovské Bohunice. Ak sa potvrdí nutnosť ukončiť výrobu v týchto blokoch v rokoch 2044 a 2045 a naplní sa predpoklad nárastu spotreby elektrickej energie v SR (napr. obnovenie výroby v Slovalco, prechod USSK na oblúkové pece, pribúdanie nových energeticky náročných priemyselných odberateľov, elektromobilita, tepelné čerpadlá...), bude potrebné zvýšenie inštalovanej kapacity stabilných zdrojov elektrickej energie.

Z tohto dôvodu je potrebné uvažovať o projekte nového stabilného zdroja. Tento zdroj by mal byť jadrový, zastávame totiž názor, že bez jadrovej energetiky nebude na Slovensku možné dosiahnuť dekarbonizačné ciele, ktoré sme si v rámci EÚ stanovili.

Na to aby sa plán vybudovania nového jadrového zdroja stal reálnym, musia byť splnené dve základné podmienky. Prvou je, že vízia integrovanej európskej energetiky musí byť kompatibilná s jadrom na Slovensku .

Druhým je vytvorenie vhodného regulačného a legislatívneho rámca, dodávateľského reťazca a v neposlednom rade záujmom zo strany finančných inštitúcií financovať takéto technológie. Príkladom modelu financovania takejto investície môže byť tzv. „Regulated Asset Base“ model ktorý funguje vo Veľkej Británii .

5) Je reálne, že namiesto novej veľkej jadrovej elektrárne sa Slovensko vydá cestou malých modulárnych reaktorov?

Andrej Žiarovský: Jednoznačne by to bolo pre Slovensko zaujímavé. Reaktory s menším výkonom (do 300 MWe) sú pre energetické systémy našej veľkosti dokonca vhodnejšie ako štandardné veľké reaktory s výkonom 1000+ MWe. V blízkej budúcnosti budú postavené prvé SMR's v USA, ktorých spoločnosti sú aj v tejto oblasti najďalej. Prvé prakticky použiteľné SMR's budú určite na báze tlakovodnej technológie, ktorá sa principiálne nelíši od reaktorov, ktoré poznáme a prevádzkujeme už dnes. Ďalšie typy modulárnych reaktorov, ako napr. vysokoteplotné alebo tzv. množivé sú v tejto chvíli ešte len v štádiu vývoja a ich implementácia sa nedá očakávať v blízkej budúcnosti.

Problémom môže byť legislatíva, ktorá je dnes stavaná na klasické veľké reaktory, keď každá elektrárňu je svojou konfiguráciou unikátna. To spôsobuje o.i., že 10-15 rokov trvá len samotné schvaľovanie. Aby sa naplno využili výhody malých modulárnych reaktorov, u ktorých sa predpokladá štandardizovaná (alebo dokonca homologovaná) sériová výroba a výstavba, bude potrebná zásadná zmena jadrovej legislatívy na európskej aj národnej úrovni.

Veronika Oravcová: *Keďže Slovensko má s jadrom skúsenosti, dáva zmysel podporovať výskum a vývoj v tejto oblasti. I Národný energetický a klimatický plán sa odvoláva na potrebu výskumu v oblasti uloženia vyhoreného paliva a výskumu reaktorov štvrtej generácie a jadrovej fúzie. Takže v krátkodobom a strednodobom horizonte má zmysel podporovať inovácie v tejto oblasti. Navyše, bolo by to i v súlade s postupnou decentralizáciou v oblasti energetiky.*

Tomáš Vlček: *Myslím si, že sme vo fáze technologického nadšenia – modulárne reaktory sú menšie, lacnejšie, potenciálne jednoduchšie na výstavbu a umiestnenie, hovorí sa o decentralizácii a podobne. Lenže potom príde realita. Je to stále jadrová technológia, vzniká tam žiarenie, nebezpečný odpad, vysoké teploty, používa sa jadrové palivo, takže reálne povoloňovací a licenčný proces budú v konečnom dôsledku rovnako zložité. Navyše, cesta od prototypu k reálnej výstavbe býva dlhá.*

Ešte je tu emočný rozmer. Mnohé jadrové elektrárne sa postavili pred 40 rokmi počas iných režimov a v neosídlených alebo riedko osídlených oblastiach. Aj s malými reaktormi v blízkosti miest by ľudia asi mali problém. Som teda skeptický.

SEAS: *Nový jadrový zdroj by mal mať taký inštalovaný výkon, aby ho bolo možné integrovať do elektrizačnej sústavy SR bez významných dodatočných nákladov. Ako vhodné sa javí umiestniť takýto zdroj v blízkosti miesta spotreby. Akýkoľvek zdroj, ktorý by mal inštalovaný výkon podstatne väčší ako je inštalovaný výkon aktuálnych blokov, by významne navýšil potrebu podporných služieb aFRR a mFRR, ktorých je už v súčasnosti na Slovensku nedostatok. Takéto navýšenie potreby podporných služieb v elektrizačnej sústave by sa nevyhnutne prejavilo nárastom cien elektriny pre koncových zákazníkov.*

Pri malých modulárnych reaktoroch (SMRs), s inštalovaným výkonom cca 300 MW, čo je menej ako aktuálne prevádzkované jadrové bloky na Slovensku, tento problém nevzniká. Vnímame SMRs ako perspektívu. Pre SE je kľúčové rozvíjať jadrovú energetiku ako významnú súčasť energetických mixov štátov, ale aj pre dekarbonizáciu rôznych odvetví hospodárstva. SE preto analyzuje možnosti rozvoja SMRs a túto oblasť považujú za veľmi perspektívnu pre podmienky slovenskej elektrizačnej sústavy. SR pravdepodobne nebude v prípade SMR v pozícii Innovator ale skôr ako Early Adopter alebo ako Early Majority, čiže realizácia SMR by pripadala do úvahy niekedy v rokoch 2035 – 2045.

6) Kde a v akom horizonte by Slovensko dokázalo vybudovať hlbinné úložisko jadrového odpadu?

Andrej Žiarovský: *Vzhľadom k tomu, že schvaľovanie aj výstavba budú v tomto prípade ešte náročnejšie ako pri jadrovej elektrárni a v tejto chvíli nie je ešte ani vybraná lokalita, je to projekt na desaťročia. Ak si dobre pamätám, v minulosti bolo vytipovaných 5 možných lokalít, ale vo finále sa zrejme bude vyberať z pohoria Tríbeč, juhu Veporských vrchov a masívu Stolica (to je myslím na okraji Muránskej planiny).*

Veronika Oravcová: *Toto rozhodnutie je primárne politické a malo by sa spraviť v priebehu nasledujúcich rokov tak, aby sa stihol preferovaný termín 2065. Programové vyhlásenie vlády Igora Matoviča z roku 2020 uvádza: "Začneme formálnu a odbornú diskusiu na tému trvalého úložiska vyhoreného jadrového odpadu vr. paliva – podporíme vypracovanie štúdie likvidácie jadrového odpadu vr. paliva pre budúce obdobie." a vlády Eduarda Hegera z roku 2021 dopĺňa: "Budeme pokračovať vo formálnej a odbornej diskusii na tému trvalého úložiska vyhoreného jadrového odpadu vr. paliva – podporíme vypracovanie štúdie likvidácie jadrového odpadu vr.*

paliva pre budúce obdobie." Formálne a odborné diskusie prebiehajú už dávno, chcelo by to ale tieto diskusie posunúť ďalej za účasti médií a verejnosti. Takisto samotný Vnútroštátny program nakladania s vyhoretým jadrovým palivom a rádioaktívnymi odpadmi v SR uvádza ako dôležitý proces participácie verejnosti: "Zvýšené časové nároky sú vyvolané zmenou v prístupe k verejnosti. Skúsenosti z celého sveta ukazujú, že politická akceptácia úložísk spoločnosťou (resp. jej volenými zástupcami) a lokálnou komunitou je pre realizáciu úložísk kľúčová." Na Slovensku však roky chýba otvorená diskusia na túto tému.

Tomáš Vlček: Slovensko aj Česko sa zaviazali vybudovať ho do roku 2065 (a európska taxonómia termín posúva do roku 2050), ale je to naozaj zložité. Keď má priemerná česká vláda životnosť sotva 3 roky, je nereálne teraz plánovať výstavbu hlbinného úložiska v horizonte 40 rokov, a podobne je to podľa mňa aj v iných členských štátoch EÚ. Teraz sa všetci sústredia na stavbu reaktorov, keďže EÚ sa čoraz viac stavia proti jadru.

Logická by bola spolupráca viacerých členských štátov alebo celej EÚ na spoločnom úložisku, ale na vlastnom území ho nikto nechce, je to politicky citlivé. Za úvahu stojí dohoda o vývoze jadrového odpadu mimo EÚ, ale to len špekulujem. Určite by som nebral rok 2050 ako nemenný, ale raz tie úložiská vybudovať musíme.

SEAS: Zodpovednosť za zabezpečenie vývoja, prípravu a vybudovanie hlbinného úložiska pre ukladanie vyhoreteho jadrového paliva a v Republikovom úložisko RAO neuložiteľných rádioaktívnych odpadov je v zodpovednosti spoločnosti JAVYS, a.s. (poverená MH SR v roku 2010). Základné míľniky projektu vývoja hlbinného úložiska ako aj vytypované lokality pre jeho umiestnenie popisuje aktualizovaný dokument „Vnútroštátny program nakladania s VJP a RAO v SR“, ktorý bol prerokovaný a schválený Radou správcov Národného jadrového fondu SR na zasadnutí 22.8.2022, ako aj Národná správa SR spracovaná v zmysle Spoločného dohovoru o bezpečnosti nakladania s vyhoretým palivom a o bezpečnosti nakladania s rádioaktívnym odpadom.²¹

²¹ <https://rokovania.gov.sk/RVL/Material/25247/1>