

Nízkoemisní zdroje – jaderná energetika

Vladimír Wagner

Ústav jaderné fyziky AV ČR a FJFI ČVUT

- 1) Současné trendy v energetice – omezení emisí
- 2) Nízkoemisní zdroje (jak u Česka?)
- 3) Reaktory III. generace
- 4) Malé modulární reaktory
- 5) Dlouhodobá vize jaderných zdrojů
- 6) Závěr



Současné trendy v energetice

- 1) Zvyšování životní úrovně v rozvíjejících se zemích (Čína a Indie) – **růst spotřeby energií**
- 2) **Důraz na ekologizaci a snížení emisí**
- 3) **Přechod k elektřině i v dopravě, průmyslu i částečně při vytápění**
- 4) **Rozporné trendy – decentralizace: malé lokální zdroje, inteligentní sítě ... prohlubování centralizace: obrovské větrné a solární farmy daleko od místa spotřeby, velmi dlouhá vedení (i podmořská) velmi vysokého napětí**
- 5) **Pokrok v technologiích a důležitost vědeckého pokroku a poznání**

2016 - Elektřina (**Celkově**): ropa 3,7 (**32,9**) %, uhlí 38,3 (**28,1**) %, plyn 23,1 (**23,0**) %, voda 16,6 (**2,5**) %, jádro 10,4 (**1,7**) %, vítr 4,2 (**0,6**) %, slunce 1,4 (**0,2**) %, bio 2,3 (**10,1**) %.



Enormní růst a znečištění čínských měst



Větrné farmy jsou i velmi daleko od míst spotřeby

Možné nízkoemisní zdroje

- 1) Vodní** – jeden z nejvýznamnějších, **Výhody:** možnost využití pro regulaci a akumulaci, velké i malé decentralizované
Nevýhody: závisí na geografických podmínkách,
- 2) Větrné** – **Výhody:** decentralizované i velké
Nevýhody: závislé na počasí (fluktuující), potřebuje vhodné podmínky,
- 3) Solární** – **Výhody:** tepelné (velké), fotovoltaické i decentralizované
Nevýhody: závisí na geografické poloze, fluktuující závislé na počasí
- 4) Na biomasu** – **Výhody:** umožňují regulaci, jsou i decentralizované využívající odpad
Nevýhody: mají také emise, konkurují výrobě potravin
- 5) Jaderné** – **Výhody:** nezávislé na počasí, na geografických podmínkách jen omezeně, umožňují regulaci
Nevýhody: zatím pouze velké zdroje, nutnost technologicky rozvinuté společnosti, postoj veřejnosti
- 6) Geotermální, přílivové** (zatím ve vývoji) u nás minimálně nebo vůbec



Spalování biomasy – opravdu ekologické řešení? Upozornění na možné ekologické riziko

Milión tun dřeva (800 km²) → půl milionů tun pelet

Drax (VB) – 4000 MWe potřebuje 7,5 milionů tun pelet ročně

Podobně Dánsko

Dovoz dřeva z Litvy, Estonska, Ruska a Ameriky

V případě následování této cesty Německem – obrovské riziko drancování lesů v rozvojových zemích

Cyklus obnovy lesa – řadu desetiletí – dlouho uzavíraný cyklus CO₂



Uhelná elektrárna Drax ve Velké Británii a Avedøre v Dánsku přešly na spalování dovezeného dřeva

Potřebné plochy

Větrné:

Walney Wind Farm (Velká Británie)

659 MW 145 km² 1160 mil EUR

102 turbín, výška 190 m

Roční využití až 0,4

Solární

Francouzská elektrárna u Bordeaux:

300 MW 2,5 km² 360 mil EUR

Španělsko

500 MW 4 km² 300 mil EUR

Roční využití až 0,2

Jaderné:

Temelín, rozloha 1,3 km²

Nyní 2110 MW, dimenzováno na 4000 MW

Roční využití okolo 0,8

Srovnání 1000 MWrok

větrné solární jaderné

Plocha [km ²]	550	40	0,8
Cena [miliardy Kč]	120	80	150



Ukládání energie, regulace

- 1) Nutnost vyrovnání produkce a spotřeby elektřiny.
- 2) Dramatická změna a zvýšení nároků při velkém podílu fluktuujících zdrojů.
- 3) Do jisté míry vyřešena krátkodobá regulace a ukládání (otázka ekonomiky).
- 4) Klasika – PVE, nově baterie.
- 5) Chytré sítě, využití elektromobility pro regulaci.
- 6) Možnost převodu energie do plynu a zpět – dlouhodobá regulace – zatím vývoj.



Současné největší bateriové úložiště firmy Tesla v Austrálii: 100 MW, 128 MWh



Přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně: 650 MW, 3900 MWh (zdroj ČEZ)

Centralizace a decentralizace

- Protichůdné tendence: 1) **decentralizace**, malé lokální zdroje – využití grid parity a lokálních možností (malé větrníky, bioplynky, fotovoltaiky)
2) **extrémní centralizace** – velké farmy vzdálené od lidských sídel (velké přehrady, větrné a fotovoltaické farmy)

Využití prvků umělé inteligence, propojení různých doplňujících se zdrojů, vítr, slunce, místní odpad z biomasy – poloostrovní režim

Úspory z využití prvků průmyslu 4.0, elektromobility, úsporných technologií
Naopak ke **zvýšení spotřeby** může vést elektrifikace, intenzivnější využívání úspornějších zařízení nebo využití blockchain technologií (viz bitcoin) či robotů



Střešní fotovoltaika, využití místního bioodpadu a větru pomáhá k decentralizaci



Velké větrné farmy nejen na moři potřebují vedení VVN stovky až tisíce km (zdroj Ramboll)

Úspěšné přechody k nízkoemisní elektroenergetice

Kombinace obnovitelných a jaderných zdrojů

Ontario 2014 - konec uhlí v elektroenergetice – rekonstrukce reaktorů CANDU na další čtvrt století (ještě v roce 2003 čtvrtina elektřiny z uhlí), 19 reaktorů s výkonem 13,5 GWe, jádro 62 % elektřiny

Francie - během zhruba deseti let nízkoemisní elektroenergetiku, 58 reaktorů, 63 GWe, od devadesátých let minimum emisí, nyní stále více doplňováno OZE

Švédsko, Švýcarsko – kombinace jaderné a vodní elektřiny už řadu desetiletí

Slovensko – jádro a voda 87 %, Mochovce podíl nízkoemisní elektřiny zvýší

Touto cestou se vydaly také Finsko, Maďarsko a Velká Británie

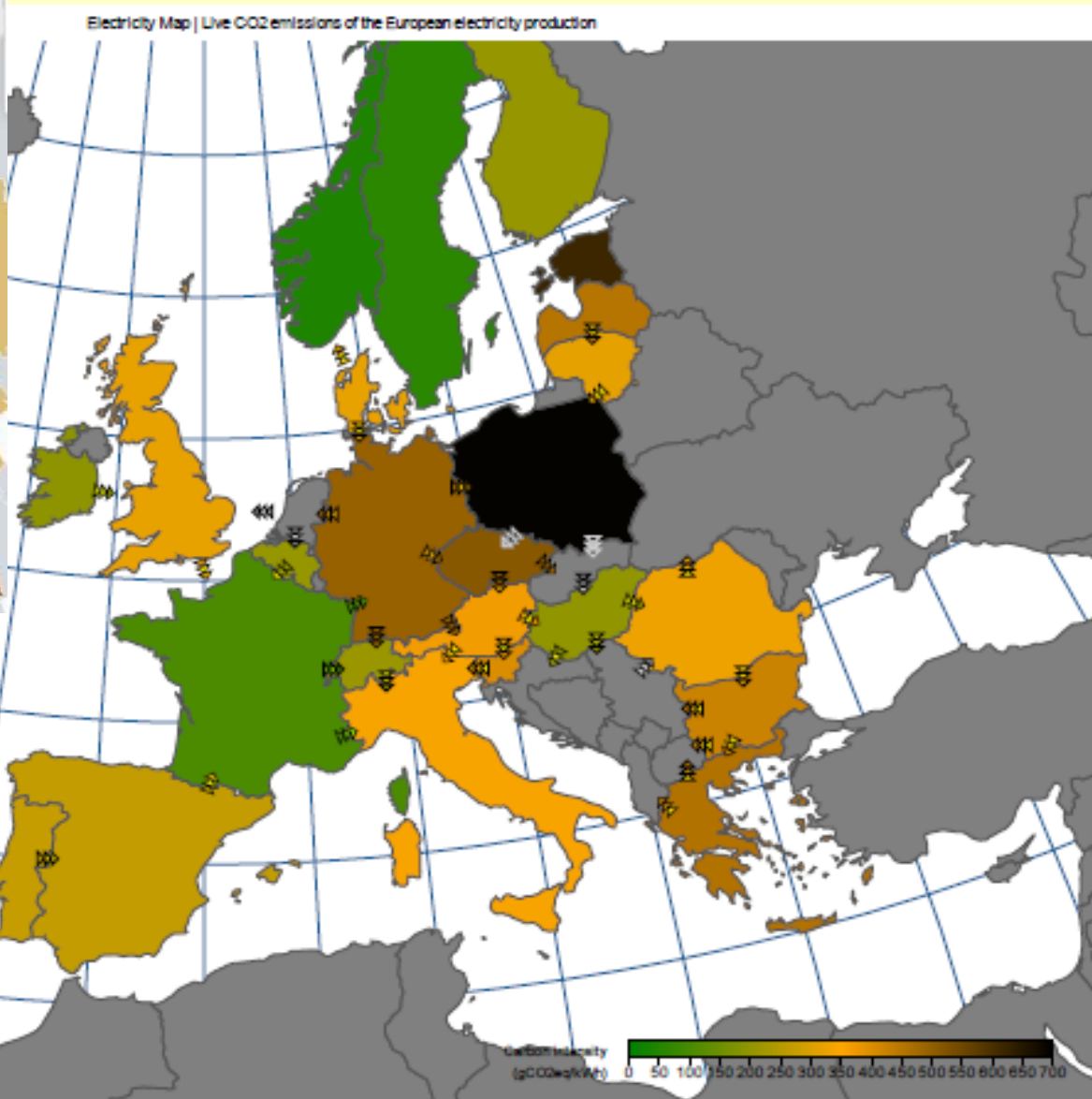


Mořská větrná farma ve Švédsku



Kanadská elektrárna Bruce B

24. května 2019 22:40

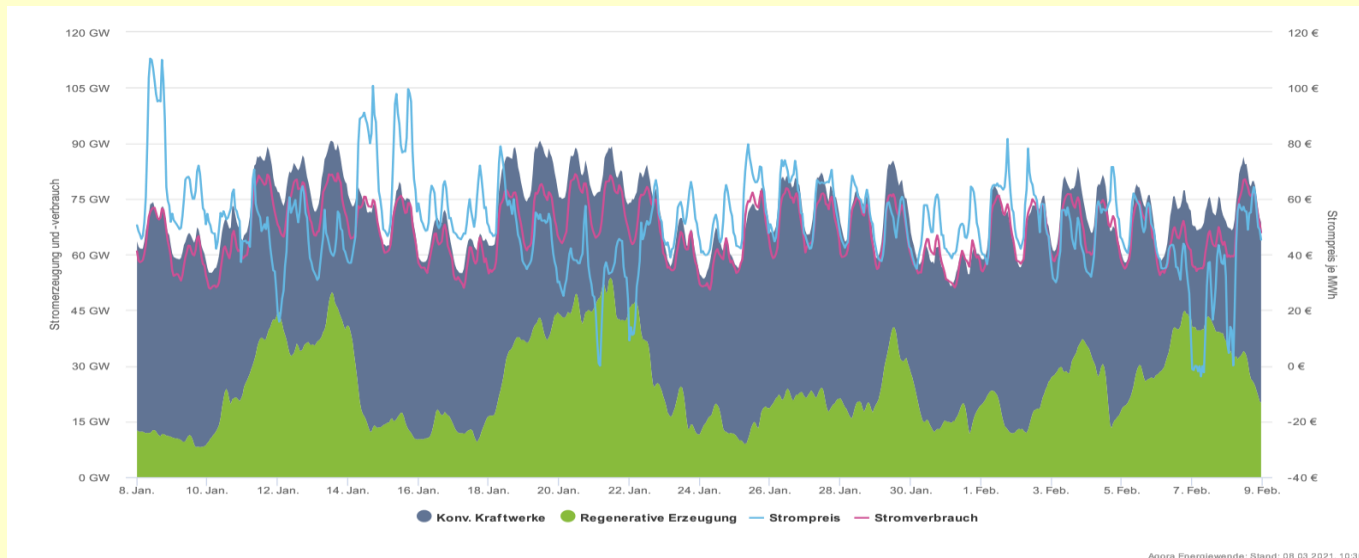
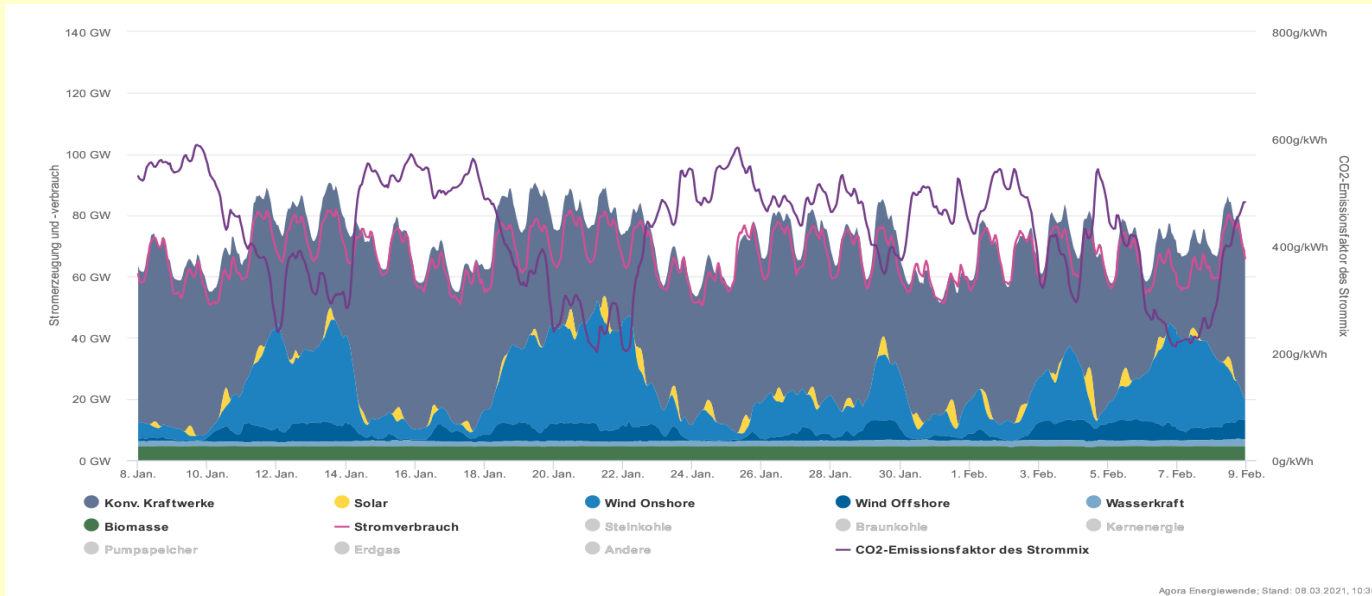


<https://electricitymap.tmrow.co/>

12

Emisi oxidu uhličitého lze průběžně sledovat na stránkách <https://electricitymap.tmrow.co/> [electricityMap - Year in Review 2020 \[Europe\] - YouTube](#)

Chladný začátek roku 2021



Stránky:
Agora Energiewende

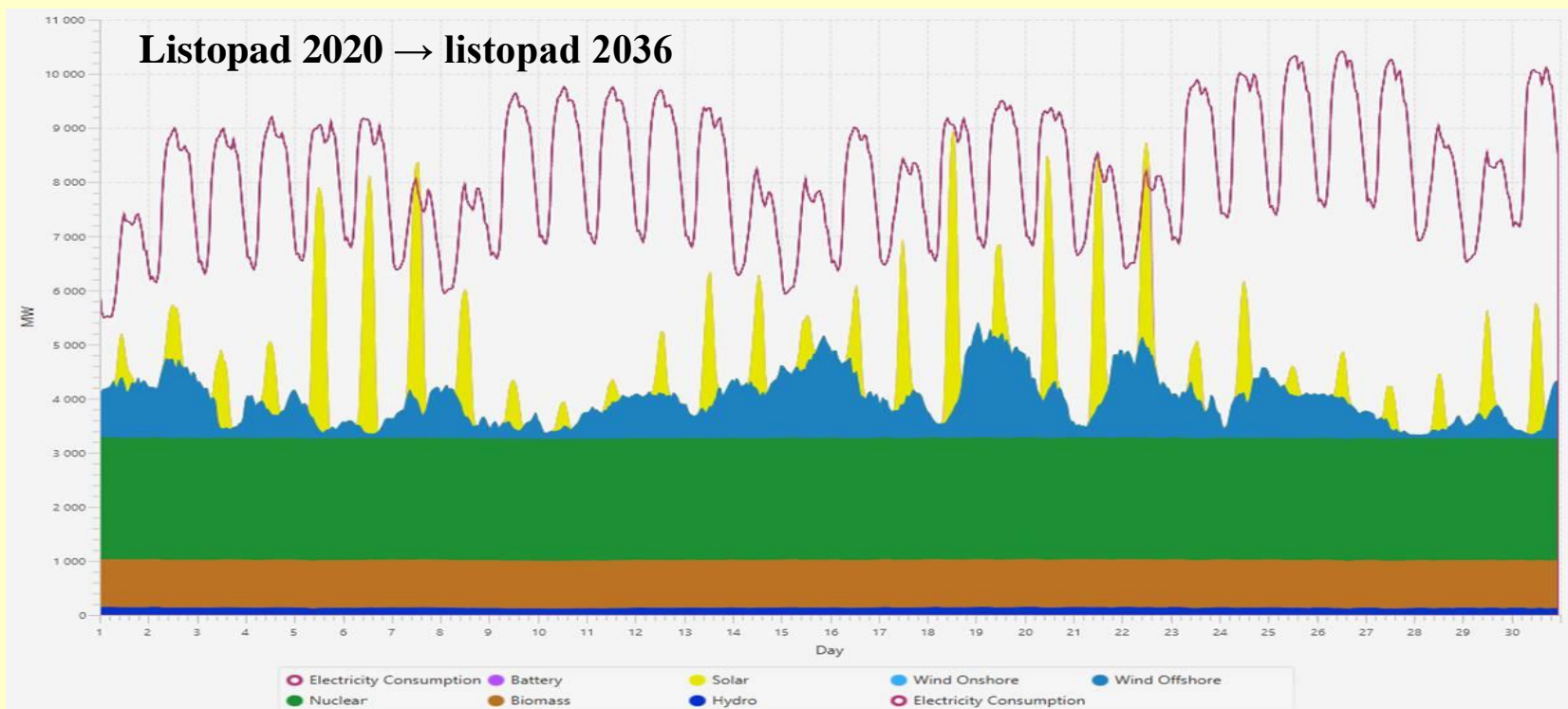
Situace v České republice

- 1) Zatím velký podíl uhlí při produkci elektřiny a tepla. Velký tlak na odstavení uhelných zdrojů.
- 2) Řada uhelných bloků bude brzy odstavena kvůli nesplnění limitů na škodlivé emise.
- 3) Možnosti vodních zdrojů už z dominantní části využity.
- 4) Větrná mapa Česka je relativně velmi chudá (nemáme mořské pobřeží).
- 5) Biomasa – omezené možnosti (konkurence potravinám a ekologii) – nízkoemisnost?
- 6) Nejde o tak ekonomicky silný stát, velmi silná závislost na průmyslu a exportu, větší sociální citlivost obyvatel ke zvyšování cen elektřiny.
- 7) Značné množství uhelné produkce elektřiny v okolí (Německo a Polsko) – škodlivé emise neznají hranice – také tlak na její odstavení.



Současná diskuze o odchodu od uhlí

- 1) Je třeba nahradit uhelné bloky, jejich výrobu a hlavně i jejich regulační službu.
- 2) Je třeba nahradit jaderné i obnovitelné zdroje, které v třicátých a čtyřicátých letech doslouží.
- 3) Dva možné scénáře: zemní plyn a OZE nebo jádro a OZE (plyn není nízkoemisní – při započtení emisí při těžbě a dopravě je podobný uhlí).
- 4) Nelze odstavit uhelné zdroje bez náhrady – rok 2023 není realistický.



Projekce listopadu 2020 do roku 2036 s instalací celkového výkonu obnovitelných zdrojů až 15 800 MWe podle ambiciózního cíle Komory obnovitelných zdrojů a odstavení Dukovan.

Které bloky jsou k dispozici?

Tlakovodní reaktory fungující a ve výstavbě

AP 1000 – čtyři běží v Číně, Westinghouse má velké problémy, nechce se už podílet na samotné výstavbě, negativní zkušenosti z USA

EPR – dva běží v Číně (Finsko, Francie bude v roce 2021, 2022), problémy při stavbě, uvidíme zkušenosti z Velké Británie, příliš velký výkon až 1700 MW

APR1400 – běží v Jižní Koreji, první běží v SAE, pozitivní reference, v domovská země odstupuje od jádra. Připraven projekt menší verze s výkonem 1000 MWe

Hualong One – běží jeden v Číně a nyní se spustil v Karáčí, dobré zkušenosti z kontinuální výstavby reaktorů v Číně

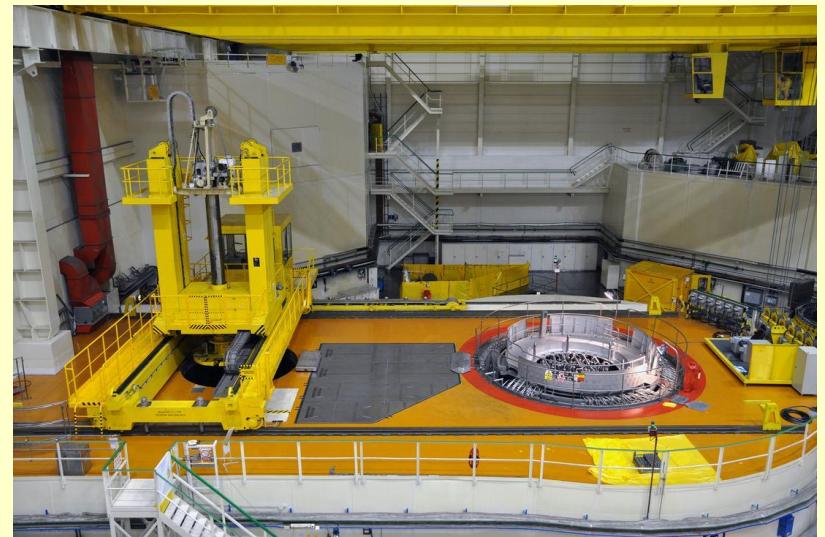
VVER1200 – běží v Rusku, první v Bělorusku, stavba ve Finsku, Maďarsku, Turecku, Bangladeši. Kontinuální stavba a evoluce reaktorů. Intenzivní zapojení českých firem.

Další projekty: ATMEA1



Situace okolo jaderných zdrojů v Česku

- 1) V současné době celkový jaderný výkon přes 4 GWe, dodává okolo 35 % elektřiny
- 2) Prodloužení provozu současných Dukovan na 60 let, do roku 2045 – technicky a ekonomicky nejspíše možné. Politicky kvůli sousedům spíše nepravděpodobné
- 3) Výstavba nových Dukovan a případně Temelína má zajištěno stavební místo a infrastrukturu i řadu potřebných povolení, podpora místních obyvatel
- 4) Problém s výběrem finančního modelu, žádný není ideální, okrajové podmínky (např. minoritní akcionáři ČEZ)
- 5) Diskuze okolo výběru dodavatele – zaměňování bezpečnostních a geopolitických aspektů, velký vliv ideologie – taxonomie zelených zdrojů, ideologický pohled
- 6) Velmi dlouhodobá strategická investice, velmi citlivá na politickou stabilitu



Malé modulární reaktory

Výkony 10 MWe až 300 MWe, mikroreaktory (výkon menší než 10 MWe)

Přínosy: 1) Možnost proniknutí do decentralizované energetiky
2) Rozložení investice, zmenšení rizika, lepší finanční model
3) Modulární hromadná výroba v továrnách (snížení ceny)

Směry: 1) Klasické reaktory ve zmenšené verzi
2) Reaktory IV. generace (např. vysokoteplotní reaktory pro průmysl)
3) Dlouhá doba vyhoření - baterie

Zatím: specifické případy - odlehlé oblasti (plovoucí elektrárna Akademik Lomonosov)
vysokoteplotní reaktor chlazený plynem HTR-PM (Čína)

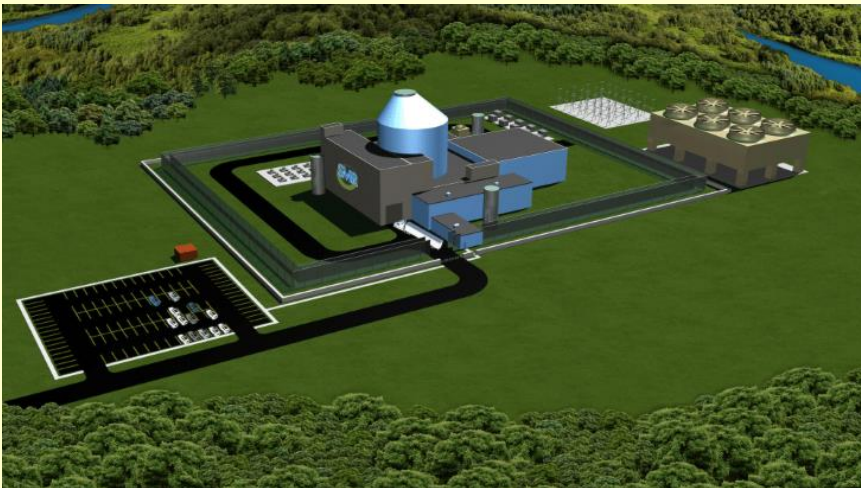


**Dominantně pouze na papíře, příprava projektů a licencování, zatím nejdále NuScale
V reálné nabídce až v 30. letech**

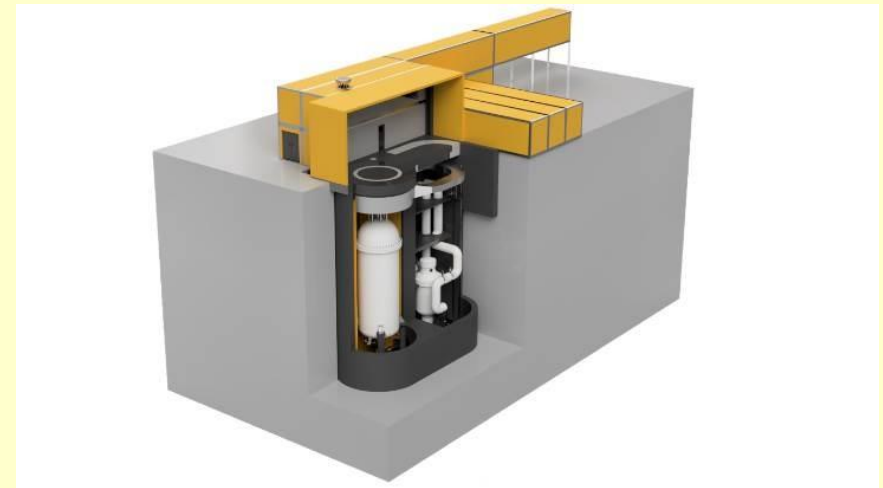
Klíčové pro nás:

- 1) Nutnost připravit licencování odpovídající tomuto typu reaktorů, aby mohly být využity v decentralizované energetice**
- 2) Sledovat přípravu nabízených modelů, otestovat stavbu bloku třeba v Temelíně**
- 3) Zapojit se do vývoje nových pokročilých typů (ÚJV a.s. – Energy Well)**
- 4) Zapojit náš průmysl do výroby komponent pro ně**

Malé modulární reaktory nenahradí velké reaktory III. a IV. generace, doplní je



SMR160 Holtec

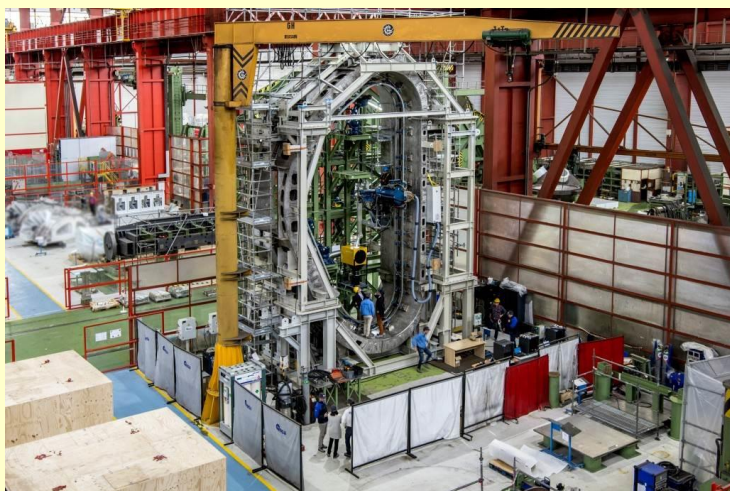


Mikroreaktor MMR Kanada

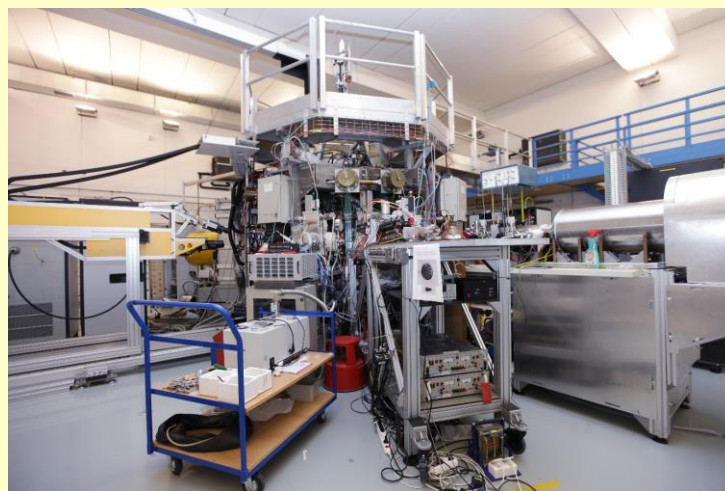
Dlouhodobá vize jaderné energetiky

(druhá polovina tohoto století)

- 1) Masivní využití malých modulárních reaktorů a pokročilých vysokoteplotních reaktorů pro nízkoemisní průmysl
- 2) Zapojení rychlých reaktorů IV. generace – dlouhodobá udržitelnost využívání štěpné jaderné energetiky
- 3) Zapojení urychlovačem řízených štěpných systémů – dramatické snížení objemu a nebezpečnosti jaderného odpadu
- 4) Fúzní technologie – termojaderné elektrárny, případně hybridní systémy
- 5) V současné době ve výzkumu a vývoji, pro Česko je vhodné se zapojit



Budovaný fúzní tokamak ITER



Tokamak COMPASS v Praze

Závěry

- 1) Trendy v energetice – růst spotřeby v rozvojových zemích, **přechod k nízkoemisním zdrojům, přechod jak k větší decentralizaci, tak naopak i k vyšší centralizaci.**
- 2) **Různé geografické, geologické i podnebné podmínky vyžadují různé energetické koncepce a strukturu zdrojů.**
- 3) **Řada příkladů ukázala, že je možné vybudovat nízkoemisní elektroenergetiku založenou na kombinaci jaderných a obnovitelných zdrojů.**
- 4) **V našich podmínkách není zatím příklad nízkoemisní elektroenergetiky založené pouze na OZE.**
- 5) **Česko se s odchodem od uhlí a neexistenci oblastí s pravidelným stabilním prouděním nemůže spolehnout na uhlí a vítr . Těžko se obejde bez jádra v případě, že chce přispět k nízkoemisní energetice a má pomáhat k udržení stability sítě.**
- 6) **V současné době je třeba řešit výstavbu velkých zdrojů III. generace v Dukovanech a Temelíně.**
- 7) **Malé modulární reaktory budou k dispozici pro start výstavby až ve třicátých letech. Nenahradí velké bloky, ale umožnit proniknutí jádra do decentralizované energetiky.**
- 8) **Je třeba se připravit na transformaci české energetiky a kritická období okolo roku 2022 (přestaneme být vývozci elektřiny) a roku 2035 (náhrada většiny současných zdrojů).**