



Centrum socio-ekonomického výzkumu  
dopadů environmentálních politik



UNIVERZITA KARLOVA  
Centrum pro otázky životního prostředí

# Ekonomické otázky nového jaderného zdroje

**Milan Ščasný, Lukáš Rečka**

*Výbor pro udržitelnou energetiku a dopravu RVUR  
MŽP ČR, 17. duben 2023*



# Hodnocení dopadů klimaticko-energetických politik

**Evropská komise** využívá "sadu modelů"

- **Sektorové:** PRIMES (energetika), PRIMES-TREMOVE (doprava), GLOBIOM-G4M (land use), CAPRI (zemědělství)
- **Makroekonomické:** E3ME, CGE, GEM-E3, E-QUEST

**SEPIA** používá srovnatelný přístup

- **Sektory:** TIMES-CZ
- **Makroekonomické:** CGE, E3ME
- **Propojení (soft-link)** TIMES a E3ME
- **Spolupráce s ČEPS:** propojení TIMES a PLEXOS

## TIMES-CZ

- Technologický nákladově optimalizační model, pokrývá celou energetickou bilanci ČR do 2050
- IEA-ETSAP, v ČR UK COŽP; aplikace: JRC, většina členských států

## E3ME

- Post-keynesiánský makro-ekonometrický model rozvíjený *Cambridge Econometrics* a UK
- Globální, dynamicky (do 2050), vhodný na krátkodobé a dlouhodobé simulace
- Analýza dopadů pro Evropskou Komisi od 1999, vč. CTP2030, zero-carbon politik

## TIMES-CZ

- Rozvoj **IEA-ETSAP**, využití pro hodnocení dopadů a vývoje v energetice v EU (JRC), a v řadě zemí (Německo, Dánsko, Rakousko, V.Británie, Irsko, SVK,...)
- **technologický** „bottom-up“ **optimalizační model** pro **dlouhodobé predikce** v sektoru energetiky a dopravy
- **nákladová optimalizace** celého energetického systému s cílem minimalizovat celkové náklady během 2015-2050
  - při **cenách** fosilních paliv, daní/poplatků a cenách EUA
  - **CAPEX** a **OPEX** nových technologií, O&M všech
  - za předpokladu **omezení** (dostupnost paliv, technologií, emisního stropu, atp.)
  - exogenní agregátní poptávka **po energetických službách** (°C, spotřebiče, pkm,...)
- **substituce**
  - úspory energie nebo spotřeba energií (kWh, GJ, litry)
  - volba technologického mixu
  - výroba doma vs. dovozy
- **politiky**: uhlíková daň, emisní poplatky, bonus/malus, dotace, omezení na určité technologie a/nebo paliva, cena emisních povolenek (EUA)



# Modelování vývoje technologického mixu v TIMES

## Exogenně

- NJZ & SMR budou v mixu dle zadání (rok a náklady jsou fixní)
- Studie dopadů Fit-for-55 (UK & CE, září 2022)

## Endogenně

- instalace NJZ & SMR budou záviset na cenách paliv a EUA a nákladech všech technologií (→ nákladová optimalizace v modelu TIMES-CZ)
- citlivostní analýza pro CAPEX, WACC, dobu výstavby, ...

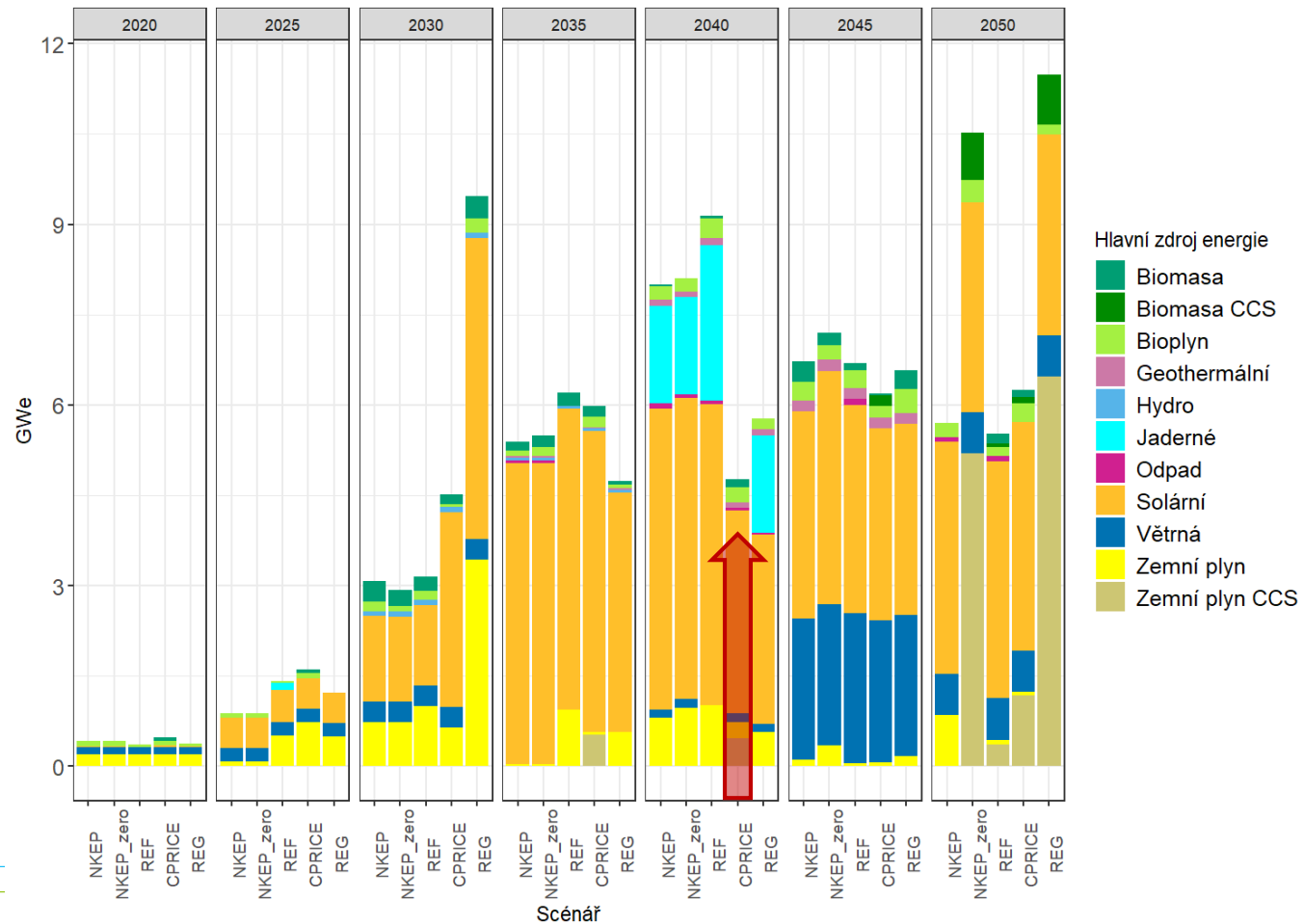


# NJZ není výhodný za všech podmínek, natož více NJZ

RegSim: CPRICE: NZJ 0 MW, EUA 180 €

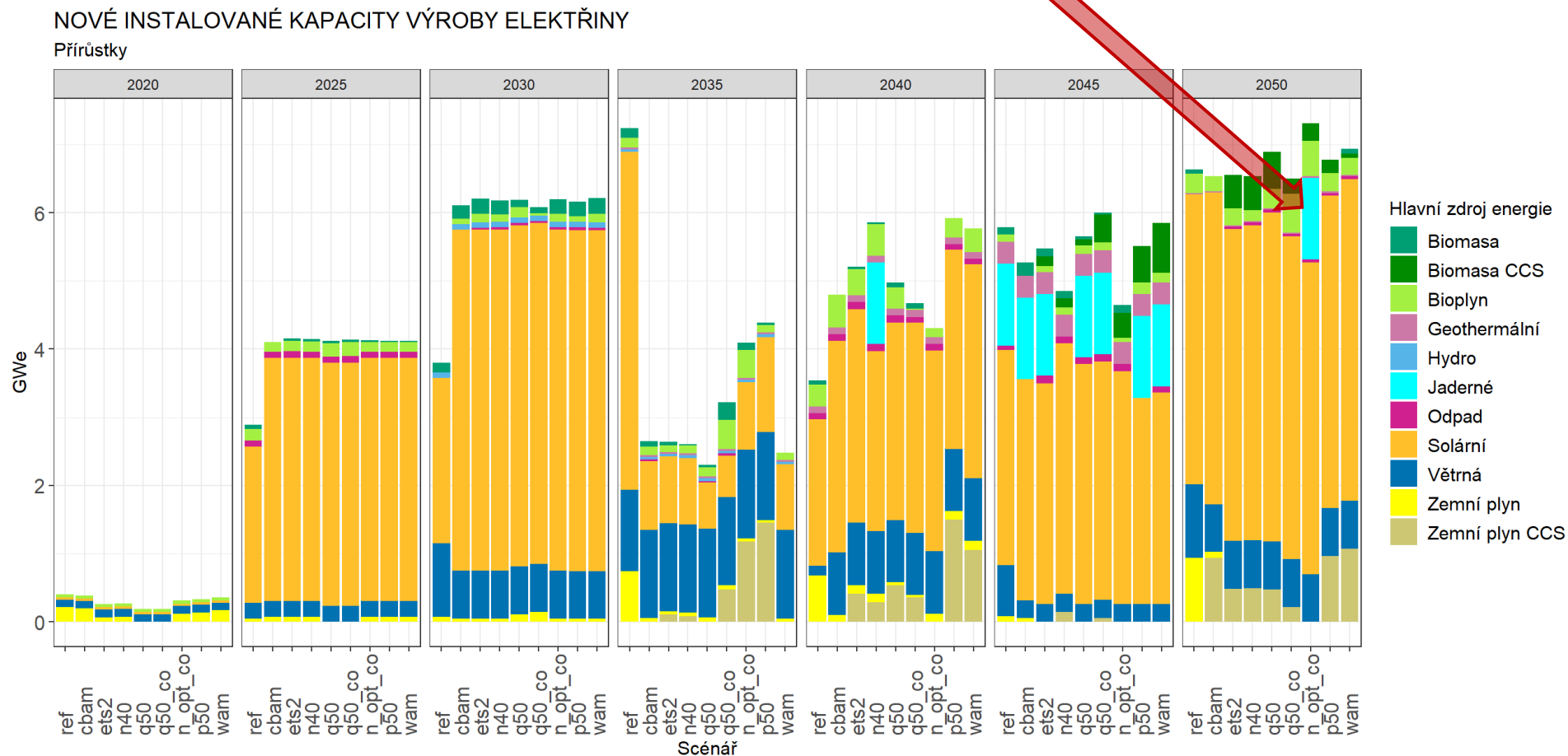
NOVÉ INSTALOVANÉ KAPACITY VÝROBY ELEKTŘINY

Přirůstky



# NJZ není výhodný za všech podmínek...

SEEPiA: N\_opt: NJZ až po 2045, EUA 220€





# Faktory ovlivňující cenu elektřiny z NJZ (LCOE)

## Jaderné elektrárny

- CAPEX – overnight cost
  - časté navyšování nákladů v průběhu výstavby
- WACC – Vážené průměrné náklady kapitálu
- Doba výstavby
- Forma financování („*contract-for-difference*“, *sliding premium*,...)
- Cena EUA (vliv na LCOE dalších technologií)

## Malé modulární reaktory (SMR)

- Stále ve vývoji; nedostatek údajů (*confidential*)
- Velký rozptyl CAPEX, většina projektů je průběžně navyšuje

6571€/kWe (US EIA 2023); 15750€/kWe (NuScale 6\*77MWe foak+fin); 2980-3577€/kWe (GE Hitachi BWRX300, foak); 4109€/kWe (Rolls-Royce 470MWe PWR, noak); 5570€/kWe (Holtec 160MWe PWR, foak)



# CAPEX Overnight cost – Nové velké zdroje 1200 MW

Předpoklady se různí

Institute	CAPEX €2015/kWe	Reference
MPO	4 100 – 5 400	NAP JE (2015)
ČEPS	3 992	MAF 2022 (2023)
EIA	5 953	US Energy Info Admin 2022
EDF	6 163	<a href="#">Economics of Nuclear Power</a>
TIMES v.2 (Hinkley Point C)	6 317	



## CAPEX Overnight cost – vybrané projekty

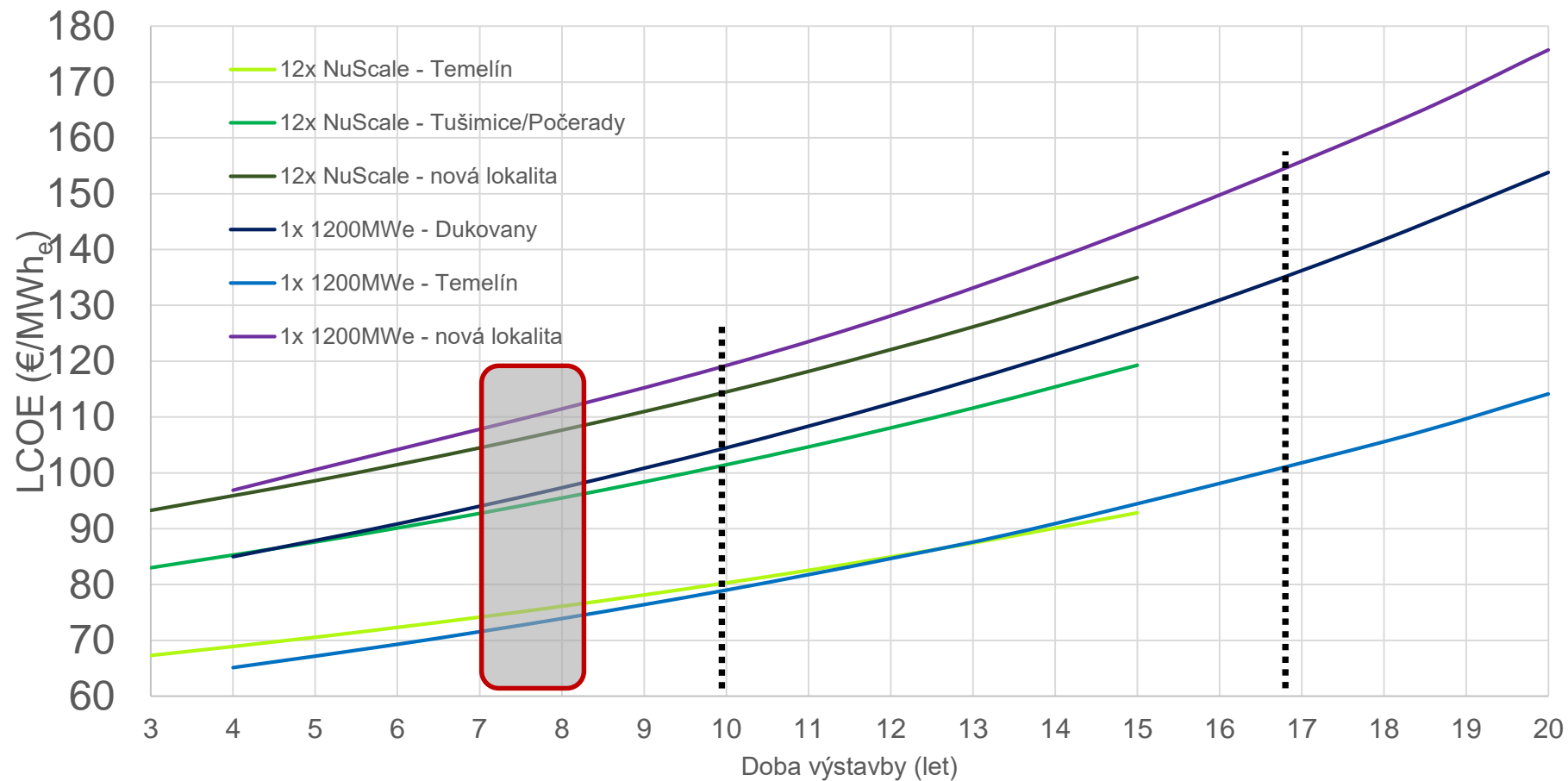
€2015/kWe, AMO (2021) Náklady spojené s novým jaderným zdrojem Dukovany

JZ	Země	Kontraktor	CAPEX	Reaktor; Kapacita
Olkiluoto 3	Finland	EdF, AREVA-Siemens	<b>4 829</b>	EPR; 1x1600MWe
Flamanville 3	France	EdF, AREVA-Siemens	<b>6 322</b>	EPR; 1x1600MWe
Hinkley Point C*	UK	EdF, AREVA-Siemens	<b>6 849</b>	EPR; 2x1600MWe
Shin Kori 4	Jižní Korea	KHNP, KEPCO	<b>2 195</b>	APR-1400; 2x1340MWe
Barakah 1	UAE	KHNP, KEPCO	<b>2 985</b>	APR-1400; 1x1340MWe
Vogtle 3	USA	Westinghouse	<b>9 132</b>	AP1000; 1x 1117MWe

\* Hinkley Point C: Původní CAPEX navýšeny o cca 30%

# LCOE NJZ a SMR: Vliv doby výstavby

WACC 9 %, citlivostní analýza doby výstavby na LCOE. Novák (2023)



Předpoklad

## Náklady kapitálu - WACC

$$WACC = \frac{D}{D + E} \cdot r_d \cdot (1 - t) + \frac{E}{E + D} \cdot r_e$$

kde  $D$  je celková hodnota dluhu (cizí kapitál),  $E$  je vlastní jmění,  $r_d$  a  $r_e$  je hodnota nákladů cizího kapitálu a vlastního kapitálu,  $t$  je sazba daně z příjmu.

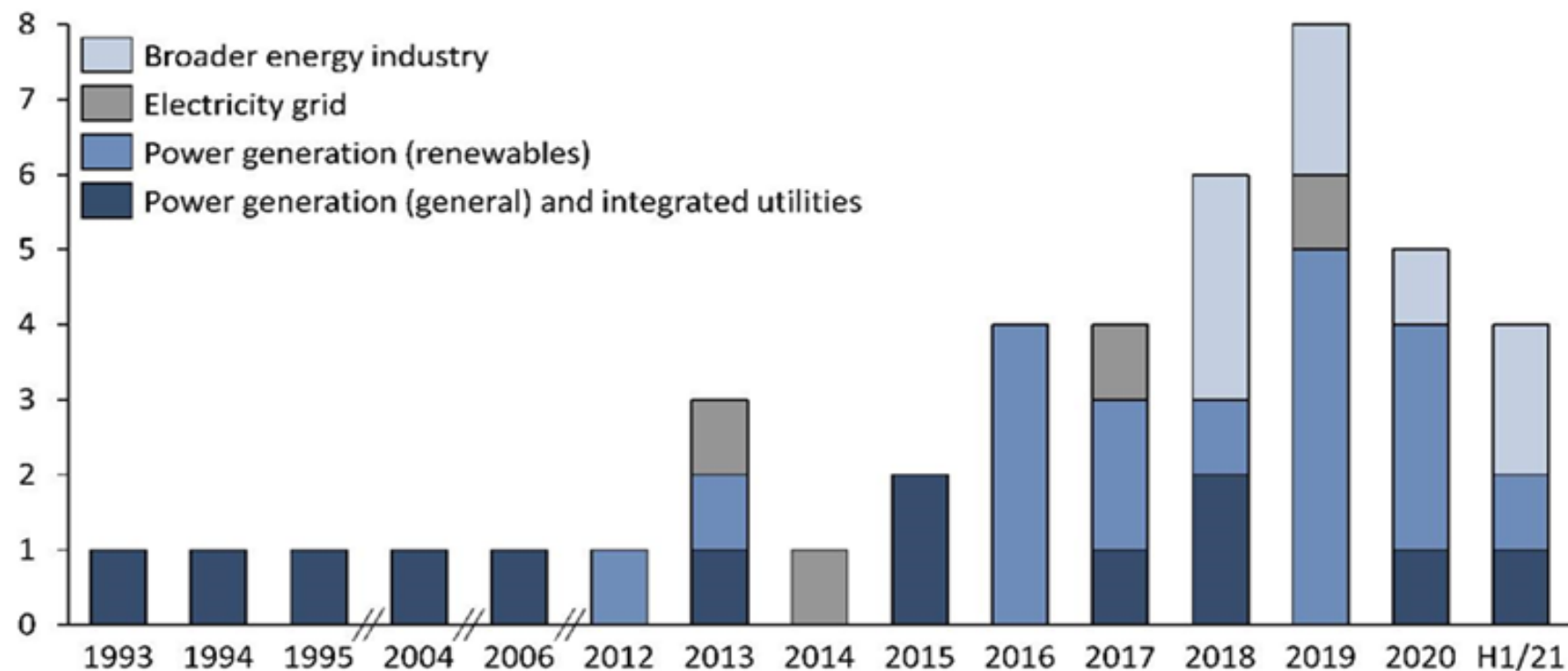
- CoD (Cost of Debt) – Náklady dluhového financování – náklady na vypůjčování si finančních prostředků na realizaci projektu (odráží rizika vnímaná věřiteli)
- CoE (*Cost of Equity*) – Náklady vlastního kapitálu – odrážejí očekávanou míru návratnosti investory (náklady příležitosti a rizikový profil projektu a země)
- D/E – Poměr dluhu k vlastnímu kapitálu – z jakých zdrojů byly peníze na investice získány. Předpokládá se, že vyšší podíl dluhu na kapitálové struktuře může vést k nižšímu WACC.
- Doba splatnosti úvěru – čím rizikovější je projekt, tím kratší je doba splatnosti úvěru

## Náklady kapitálu - WACC

- MPO předpokládá **3-7%**
  - 3% jsou reálné pouze při financování státním dluhem (optimistické)
- [Sfen](#): reálný WACC **4-5%** optimální z pohledu francouzské společnosti, dosažitelné při státní podpoře
- Bez státní podpory obvykle **9% a více**
- WACC pro OZE (2017-2021): **6.5–8.1 %** plus zvýšení WACC mezi 2021-01 a 2022-01 vede k **9.7–11.3 %** (7.2–8.9 % PV); dle EEIP 2023

# Náklady kapitálu - WACC

No. of studies addressing cost of capital drivers



Note: For 2021, including all articles through 30 Jun 2021

Zdroj: EEIP 2023, převzato z Steffen 2022



# Náklady kapitálu - WACC

Průměrný WACC pro utilitní společnosti dle Polzin (2021)

- odhad na základě finančních údajů z rozvah a výkazů zisků a ztrát
- váhy jsou dány celkovým dluhem k celkovému kapitálu
- náklady na dluh měří jako podíl úrokových nákladů na celkovém dluhu; náklady vlastního kapitálu vypočítává z výplat dividend vztažených k celkovému objemu vlastního kapitálu

Table 1 Country- and technology-specific WACCs for fossil fuel and renewable power technologies

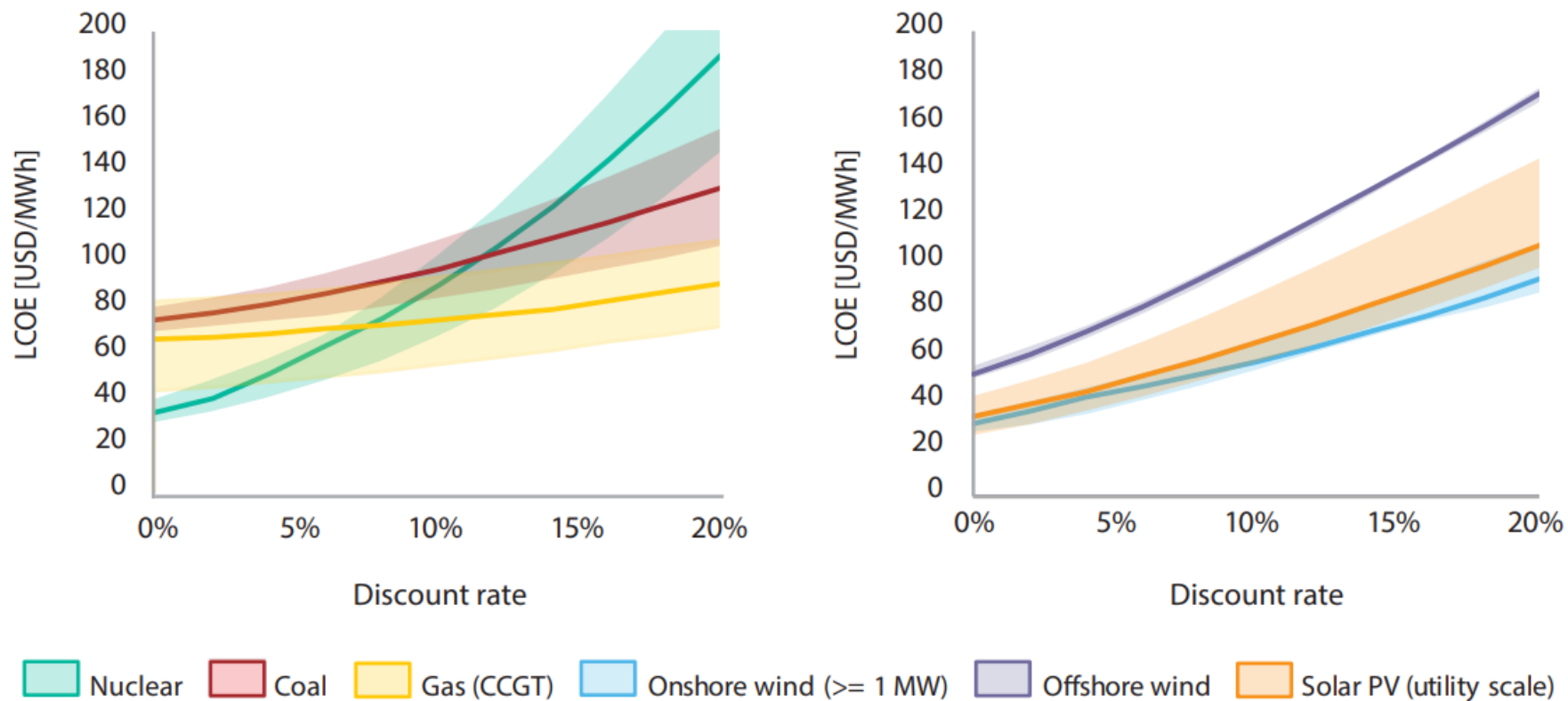
Country code	Country	Year	Solar PV	Wind onshore	Wind offshore	Hydro	Biomass	Coal-fired plant	Gas plant	Nuclear plant
AUT	Austria	2015	4.20%	6.10%	Not applicable	4.27%	5.73%	5.73%	1.77%	5.85%
BEL	Belgium	2015	2.70%	3.50%	5.70%	4.36%	5.82%	5.82%	1.86%	5.94%
BGR	Bulgaria	2015	7.70%	9.60%	10.60%	6.01%	7.47%	7.47%	3.51%	7.59%
CYP	Cyprus	2015	7.50%	9.40%	10.40%	8.06%	9.52%	9.52%	5.56%	9.64%
CRO	Croatia	2015	9.70%	11.60%	12.60%	7.07%	8.53%	8.53%	4.57%	8.65%
CZE	Czech Rep	2015	5.70%	7.60%	Not applicable	4.10%	5.56%	5.56%	1.60%	5.68%
DEU	Germany	2015	2.90%	3.10%	6.30%	4.02%	5.48%	5.48%	1.52%	5.60%
DNK	Denmark	2015	3.30%	5.20%	7.90%	4.21%	5.67%	5.67%	1.71%	5.79%
ESP	Spain	2015	7.70%	9.60%	10.60%	5.25%	6.71%	6.71%	2.75%	6.83%
EST	Estonia	2015	7.40%	9.30%	10.30%	4.96%	6.42%	6.42%	2.46%	6.54%
FIN	Finland	2015	4.20%	6.10%	7.10%	4.24%	5.70%	5.70%	1.74%	5.82%
FRA	France	2015	3.40%	5.30%	6.30%	4.36%	5.82%	5.82%	1.86%	5.94%
GBR	UK	2015	3.60%	5.50%	11.90%	5.31%	6.77%	6.77%	2.81%	6.89%
GRC	Greece	2015/2018	12.00%	22.90%	23.90%	7.71%	9.17%	9.17%	5.21%	9.29%
HUN	Hungary	2015	2.80%	12.80%	Not applicable	6.25%	2.41%	2.41%	4.45%	2.52%



# Citlivost LCOE na WACC

## USD 2018, IEA Projected Costs of Generating Electricity (2020)

**Figure 5.1: LCOE as a function of the discount rate**  
(left: non-renewables, right: renewables)



Note: Lines indicate median values, areas the 50% (20% for renewables) central region.

## Náklady kapitálu a financování

- WACC **3-7%** (předpoklad MPO)
- 3% reálné pouze při **financování státním dluhem**
- Na základě žádosti oprávněného investora nízkouhlíkové výroby může být poskytnuta ze státního rozpočtu z kapitoly ministerstva **návratná finanční výpomoc** na výstavbu. Roční úroková sazba je určena jako fixní do dne splatnosti návratné finanční výpomoci ve **výši nákladů na financování státního dluhu** stanovené v procentním vyjádření Ministerstvem financí v daném roce a **navýšené o 1 procentní bod**, přičemž roční úroková sazba bude určena **minimálně ve výši 2 %**.
- S rostoucím dluhem může klesnout rating ČR a **stoupnout náklady na dluh**.
- Omezení **dluhová brzda** (if dluh >55% HDP → přebytek SR)
- Kolik reaktorů si může ČR dovolit financovat na dluh?
  - při 5400€/kWe (4x1200 MWe + 3x400 MWe) → 32 mld. € nebo **810 mld. Kč**

## Náklady kapitálu a garance

- Zákon zakotvuje právo státu uzavřít s investorem do NJZ **smlouvu o výkupu elektřiny**. Smlouva má oprávněnému investorovi zaručit návratnost projektu výstavby a provozu NJZ prostřednictvím výkupu vyrobené elektřiny za předem stanovenou realizační cenu po dobu 30 let, s možným prodloužením o 10 let, a to opakovaným, nejdéle však do ukončení provozu nízkouhlíkové výroby.
- Smlouva stanoví minimálně výši realizační ceny (**strike price**)
- **Two-sided Contract for difference:**
  - if  $P_{ele} < \text{strike price}$  → platba státu investorovi
  - if  $P_{ele} > \text{strike price}$  → platba investora *státu* (do fondu na pokrytí plateb)
- Čím **nižší WACC** (riziko bere stát), tím nižší náklady a tím **nižší „strike price“** a tím menší **případné platby státu investorovi**

## Scénáře pro nové jaderné zdroje (modelování 2023)

Stávající zdroje:

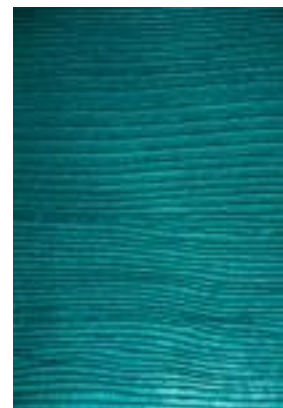
- ETE-1 Temelín 1x1100 MW (<2060)
- ETE-2 Temelín 1x1100 MW (<2062)
- EDU Dukovany 4x510 MW (<2035-37) nebo (<2045-47)

Nové zdroje

- EDU5 1x1200 MW →2036
- EDU6, ETE3,4 3x1200 MW →2039+
- SMR1,2,3 3x400 MW →2035-39-41

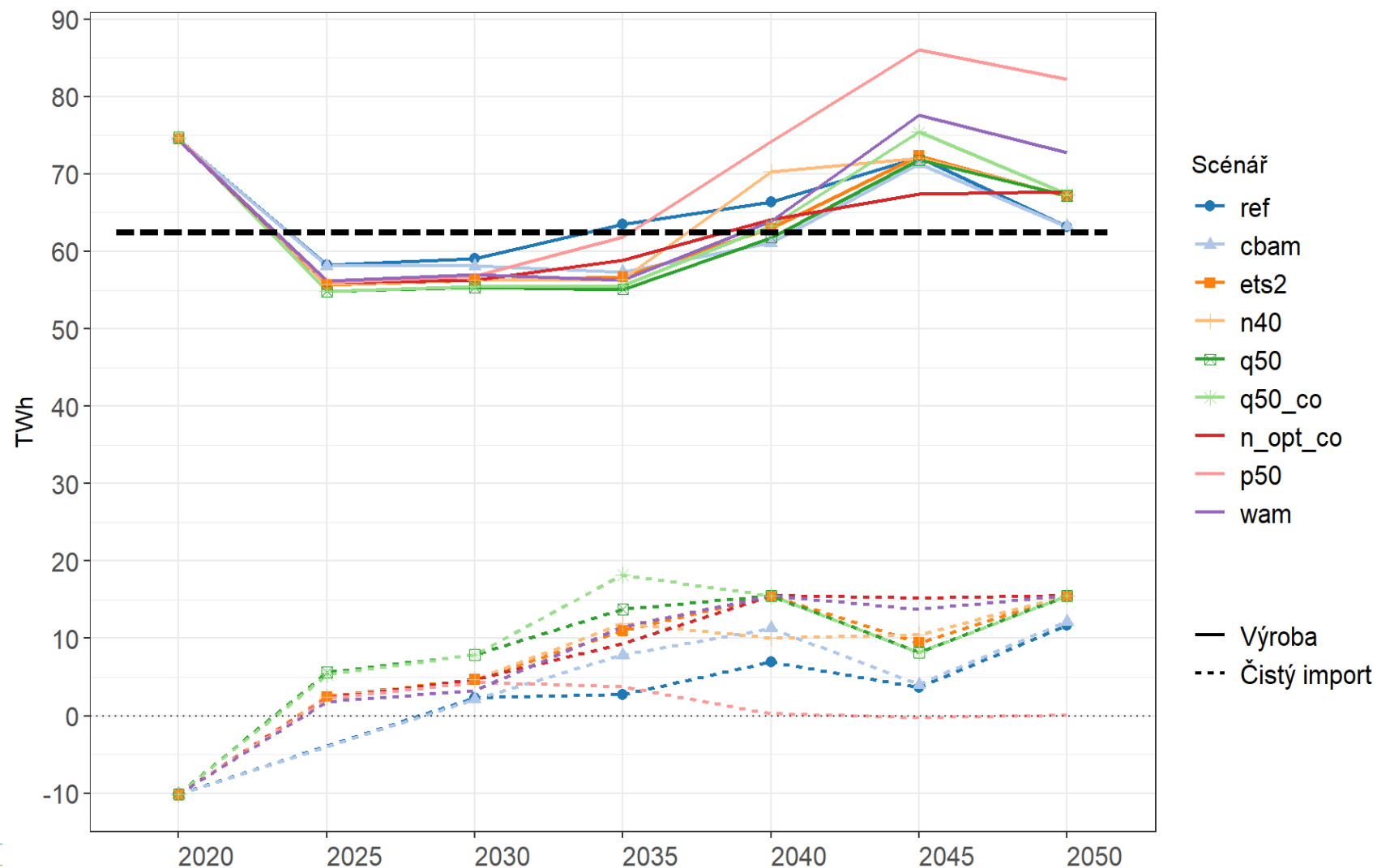
Maximální kapacita a výroba

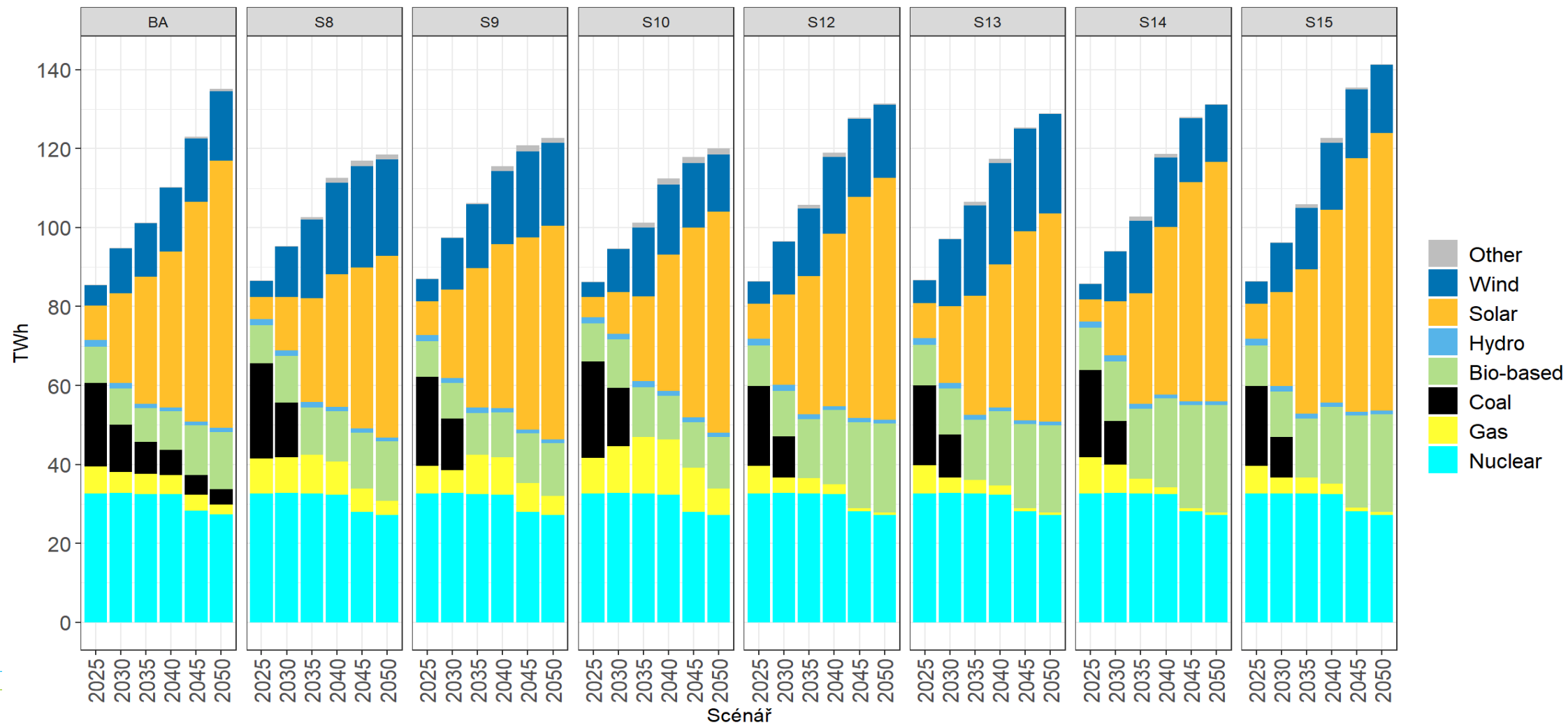
- EDU 2037: 8 240 MW (≈90% provoz) **64 TWh**



# TIMES - Výroba a čistý import elektřiny

*(bez vlastní spotřeby na výrobu elektřiny a tepla)*

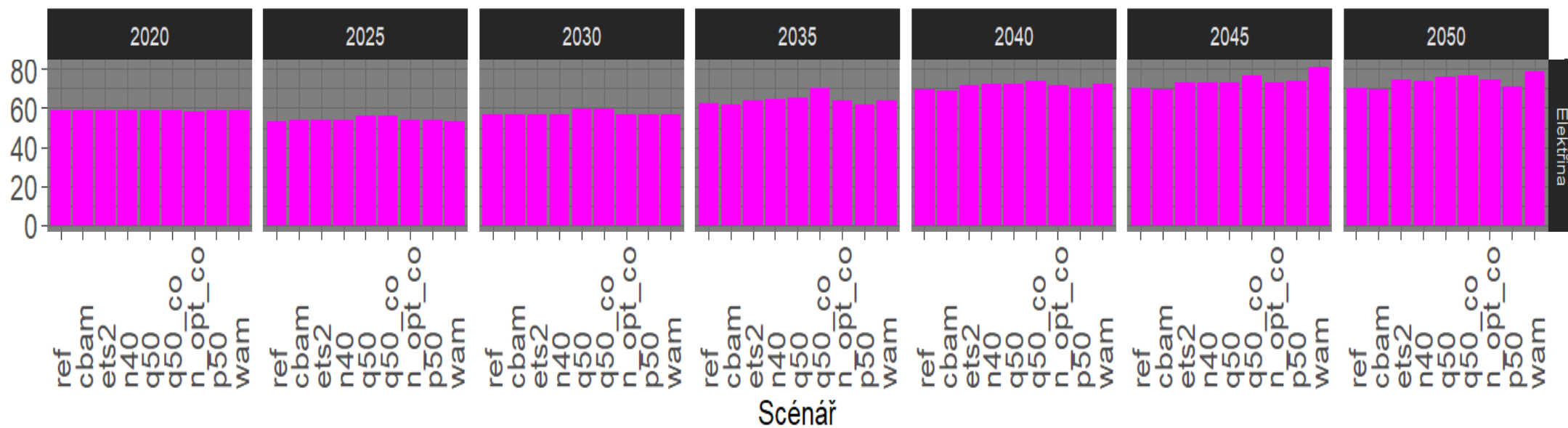






# Konečná spotřeba elektřiny

TWh, modelování FF55 bez dosažení uhlíkové neutrality (2022)



## Výroba a spotřeba elektřiny v ČR

- **Objem výroby elektřiny z JE** (vč. 4x1200 MWe NJZ + ETE Temelín)  
**<64 TWh**
- **Spotřeba elektřiny v ČR**
  - TIMES **75+ TWh** (v 2050: 80-85 TWh)
  - E3ME **95–100 TWh** (v 2050: 110-115 TWh)
  - MAF-2023 **83–112 TWh** (v 2050: *NA*)
- **Požadavky ESG** na zelenou elektřinu nemusí být naplněny



**Milan Ščasný**

*Centrum pro otázky životního prostředí UK*

*milan.scasny@czp.cuni.cz*

Lukáš Rečka

Vladimír Kubeček