

Økonomiske konsekvenser og energisystemeffekter ved atomkraft i Danmark



Brian Vad Mathiesen

Professor i Energiplanlægning, Aalborg Universitet

Høring i Folketinget, Christiansborg, 16-11-2023

Hvad koster atomkraft?

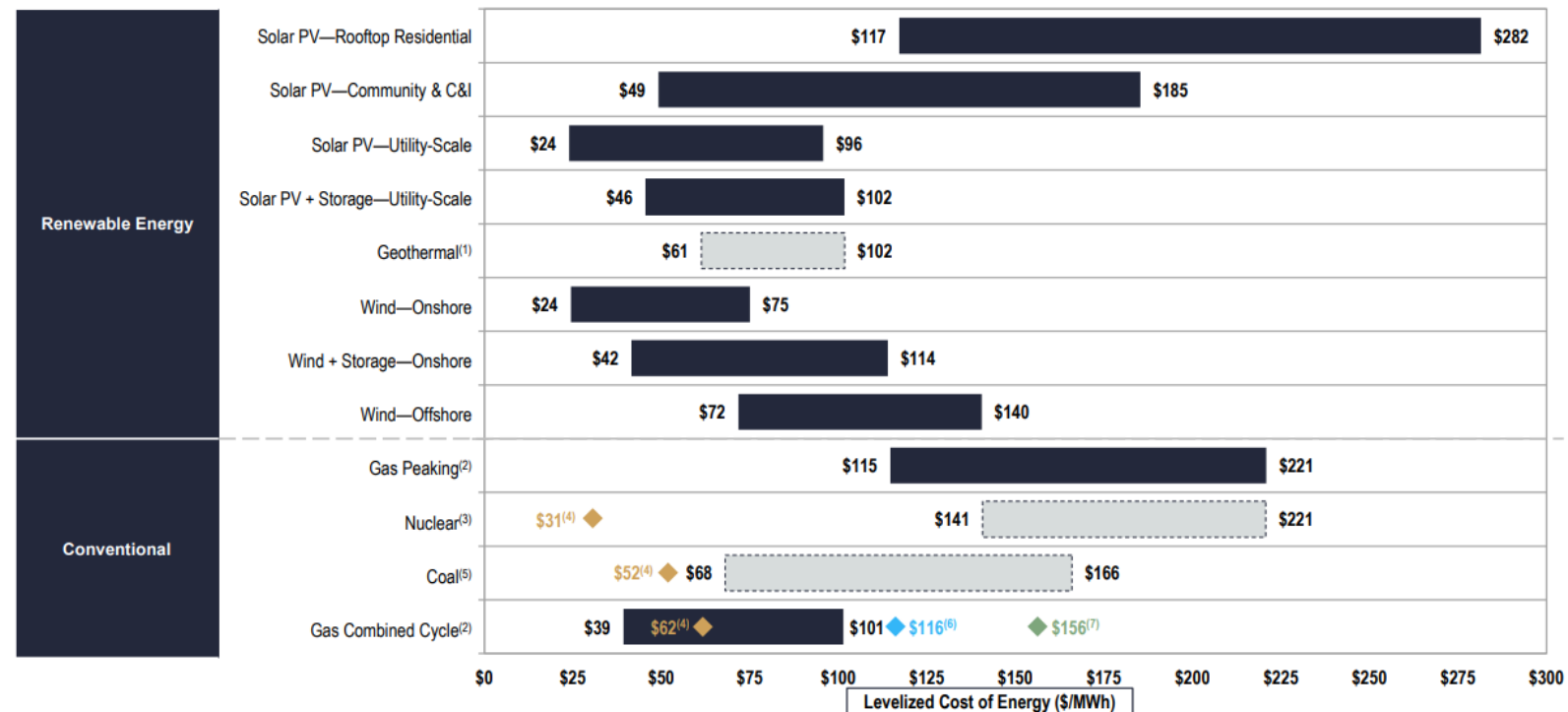
- Europæiske cases på EPR reaktoren
 - 6,8-8 MEUR/MW
- IEA i dag i Europa
 - 6,6 Mio. MUSD/MW
- IEA i 2050 i Europa
 - 4,5 Mio. USD/MW

LCOE

LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS—VERSION 16.0

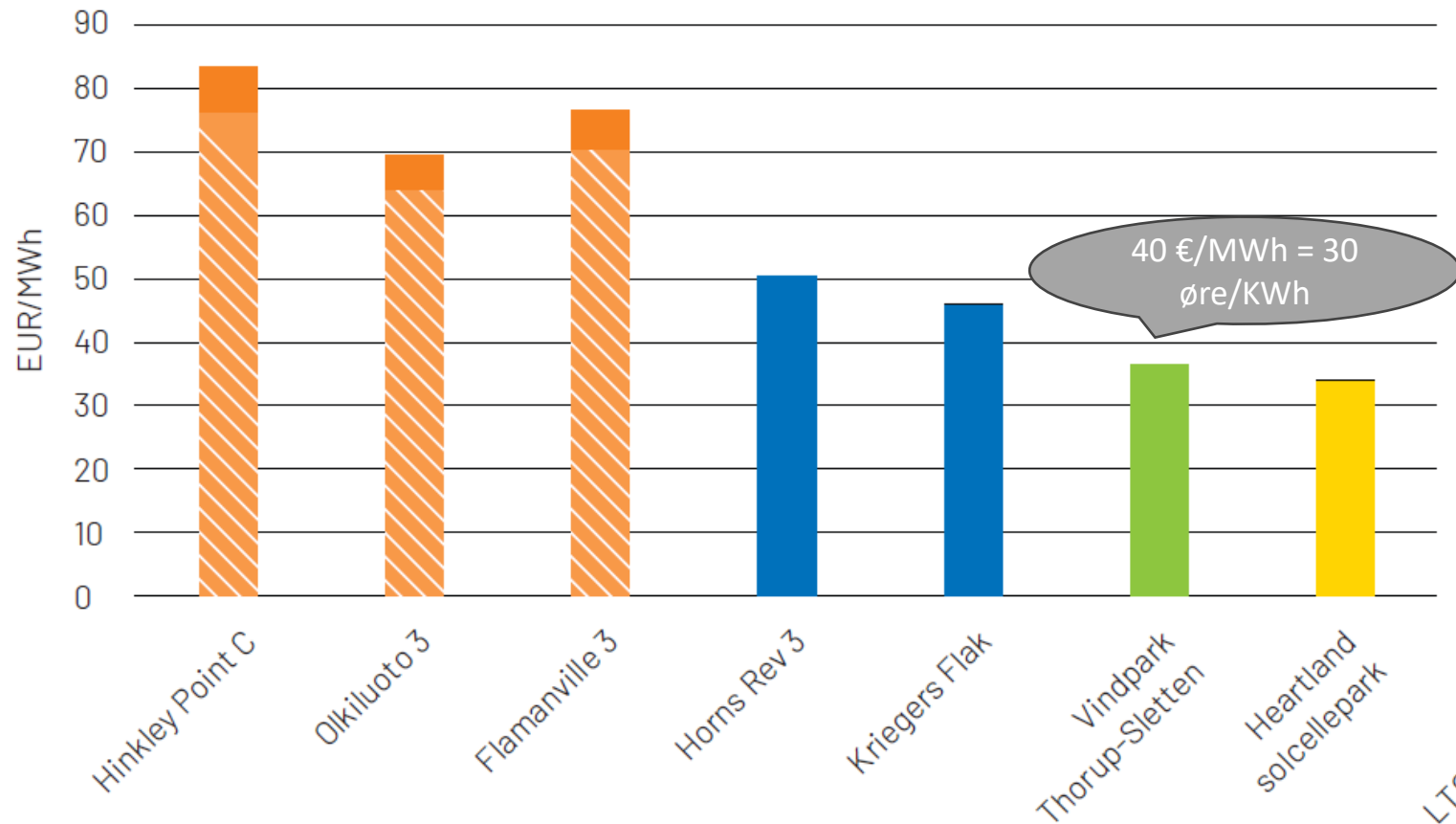
Levelized Cost of Energy Comparison—Unsubsidized Analysis

Selected renewable energy generation technologies are cost-competitive with conventional generation technologies under certain circumstances

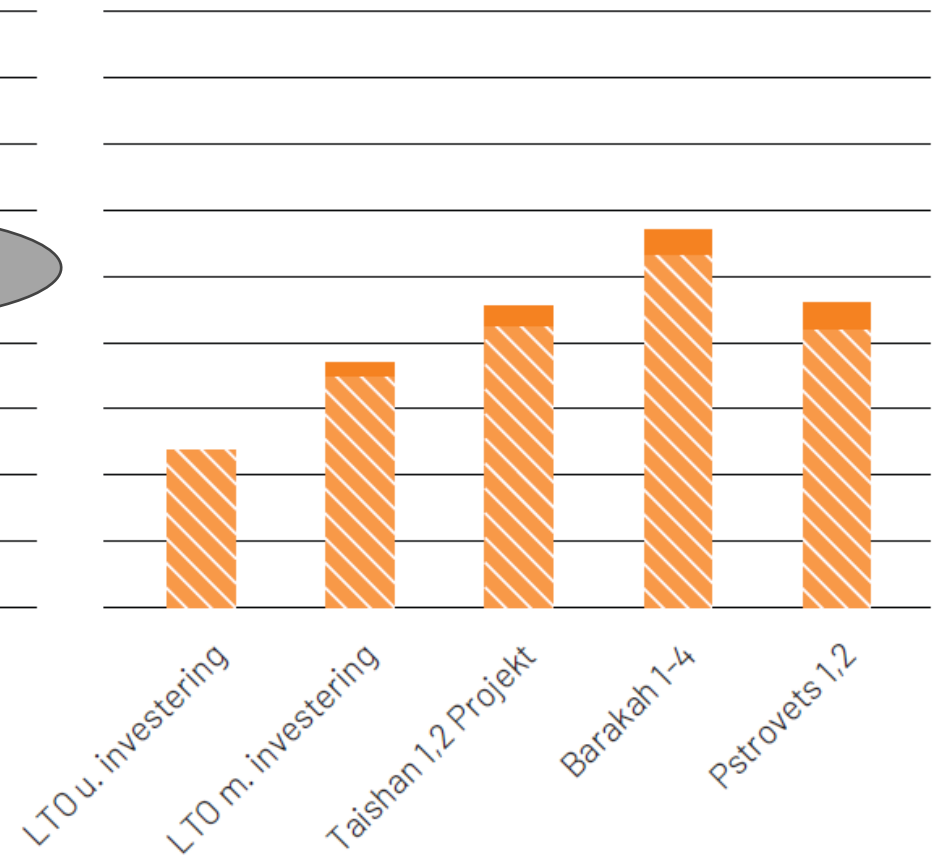


Source: Lazard and Global Energy estimates and publicly available information

Nuværende muligheder i Danmark

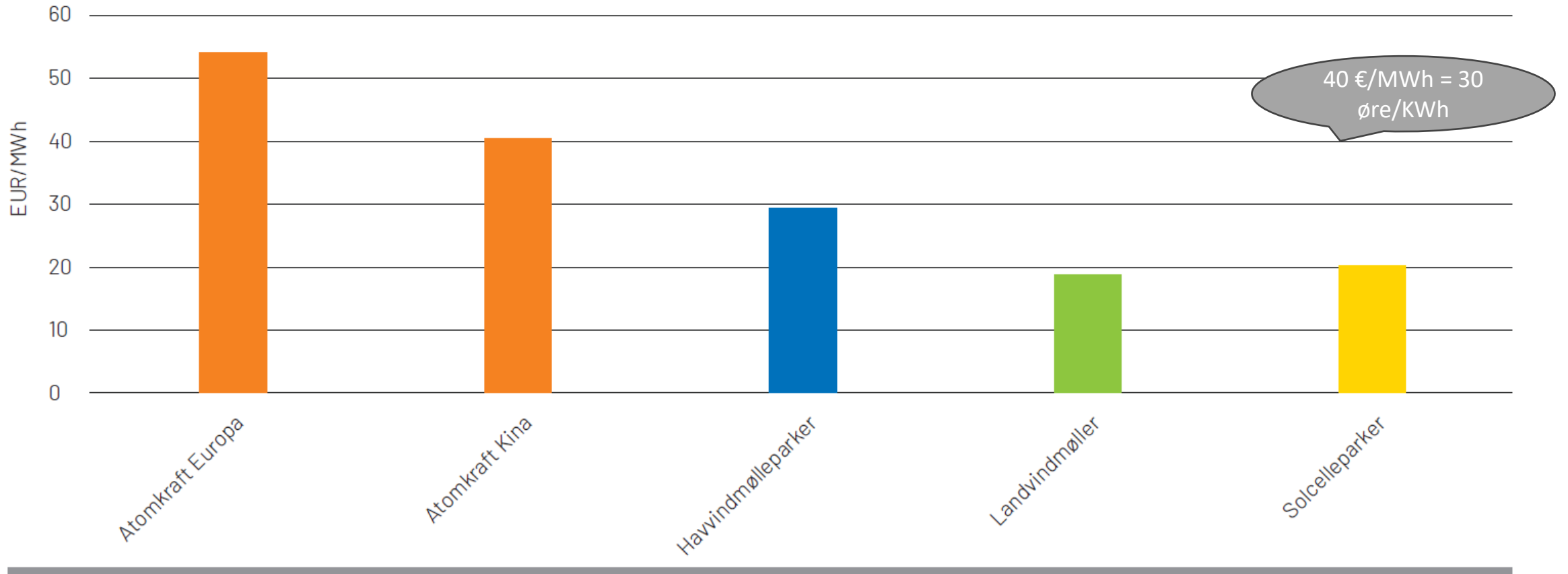


Ikke umiddelbart muligt i Danmark



Realiserede projekter. Realiserede omkostninger til at producere elektricitet, inklusive anlægsomkostninger, drift og vedligehold og brændsel (levelized cost of electricity, LCOE). **Orange** søjler er atomkraftværker, **blå** søjler er havvindmølleparker, **grønne** søjler er landvindmølleparker, og **gul** er solcelleparker. For atomkraft illustrerer hele søjlen omkostningen ved en kapacitetsfaktor på 75%, og **skraveringen** viser omkostningen ved en kapacitetsfaktor på 85%. Den venstre side af figuren illustrerer atomkraftværker bygget i Vesteuropa og danske vedvarende energiprojekter. Den højre side af figuren viser levetidsforlængelse af eksisterende værker (LTO) og værker bygget uden for Vesteuropa (Kina, De Forenede Arabiske Emirater og Hviderusland).

2050 fremskrivninger

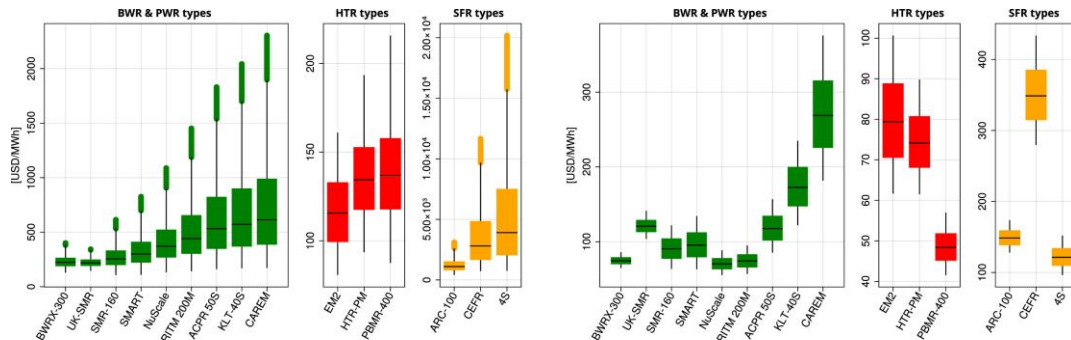
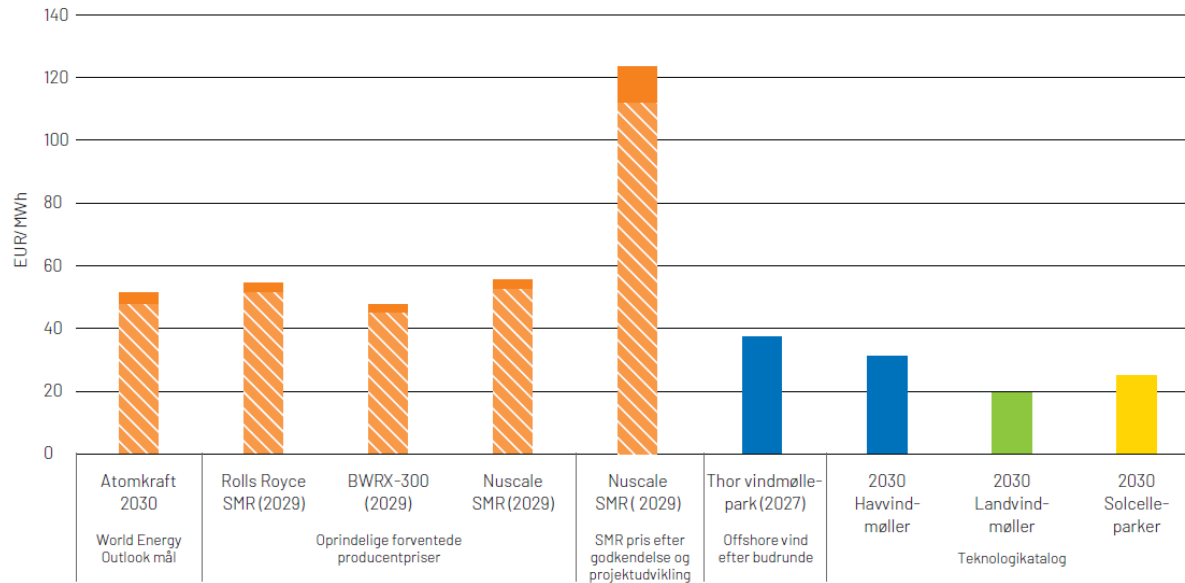


Forventninger til fremtidige projekter. Forventede omkostninger (LCOE) ved at producere en MWh elektricitet for forskellige værker. **Orange** er atomkraftværker, **blå** er havvindmøller, **grøn** er landvindmøller og **gul** er solceller. Fremskrivninger for atomkraft er baseret på teknologinformation fra det Internationale Energiagentur (IEA), vedvarende energi er baseret på Energistyrelsens Teknologikatalog

Usikkerheder om fremtidens priser?

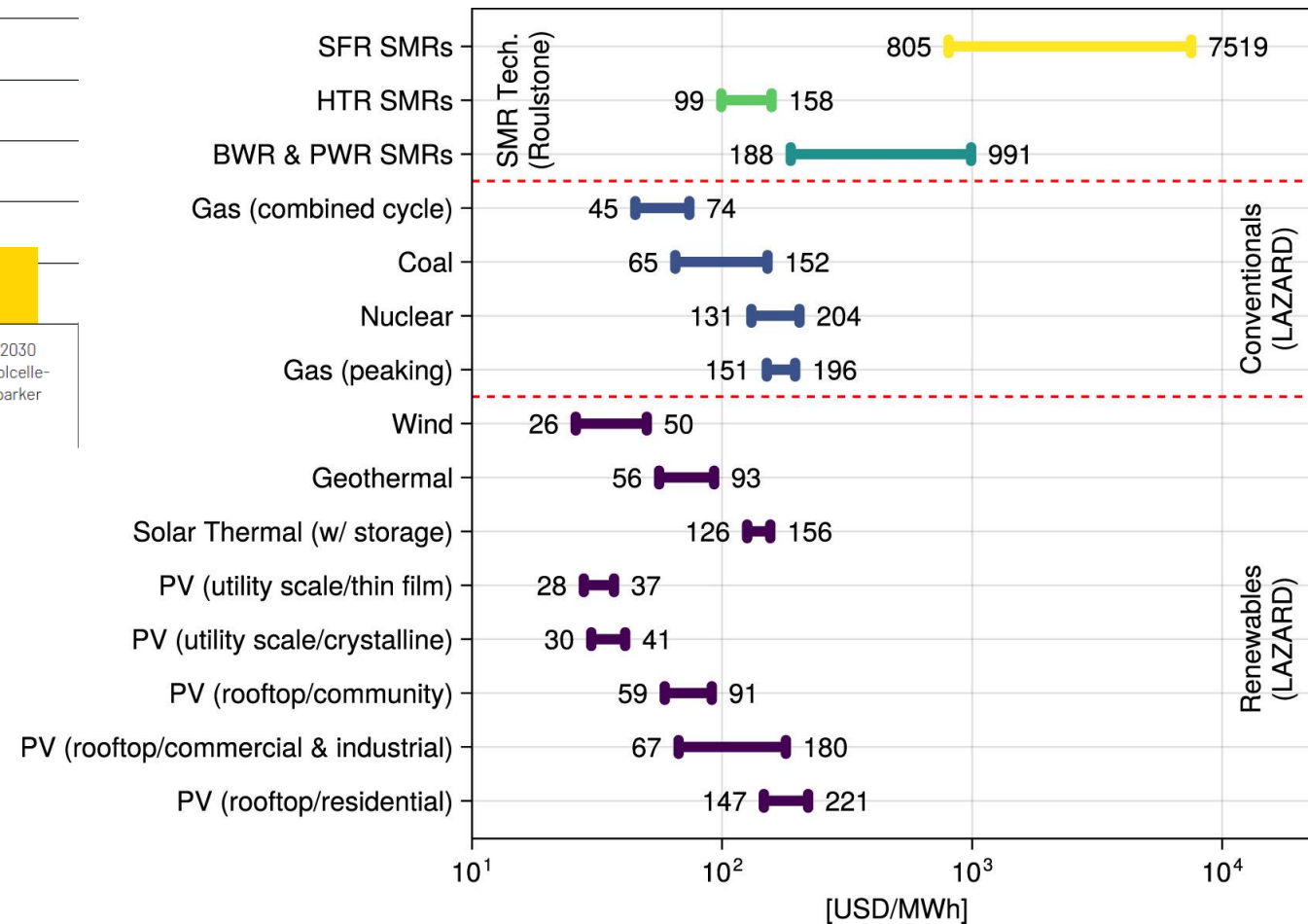
Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors

Björn Steigerwald ^{a, b}, Jens Weibezahn ^c, Martin Slowik ^d,
Christian von Hirschhausen ^{a, b}



(a) Roulstone cost estimation approach

(b) manufacturer advertised costs



Det fremtidige energisystem

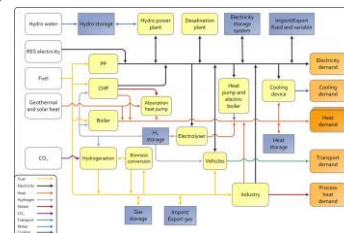
Hvad siger FN?

- Politiske målsætninger i Danmark

- 2021 Energikrise starter – NEKST? - Nu
- 2025 mål om 50-54% reduktion - Om godt et år
- 2030 mål om 70% reduktion - Om 6 år
- 2045 mål om Klimaneutralitet - Om 21 år
- 2050 mål om "klimapositivitet" - Om 26 år

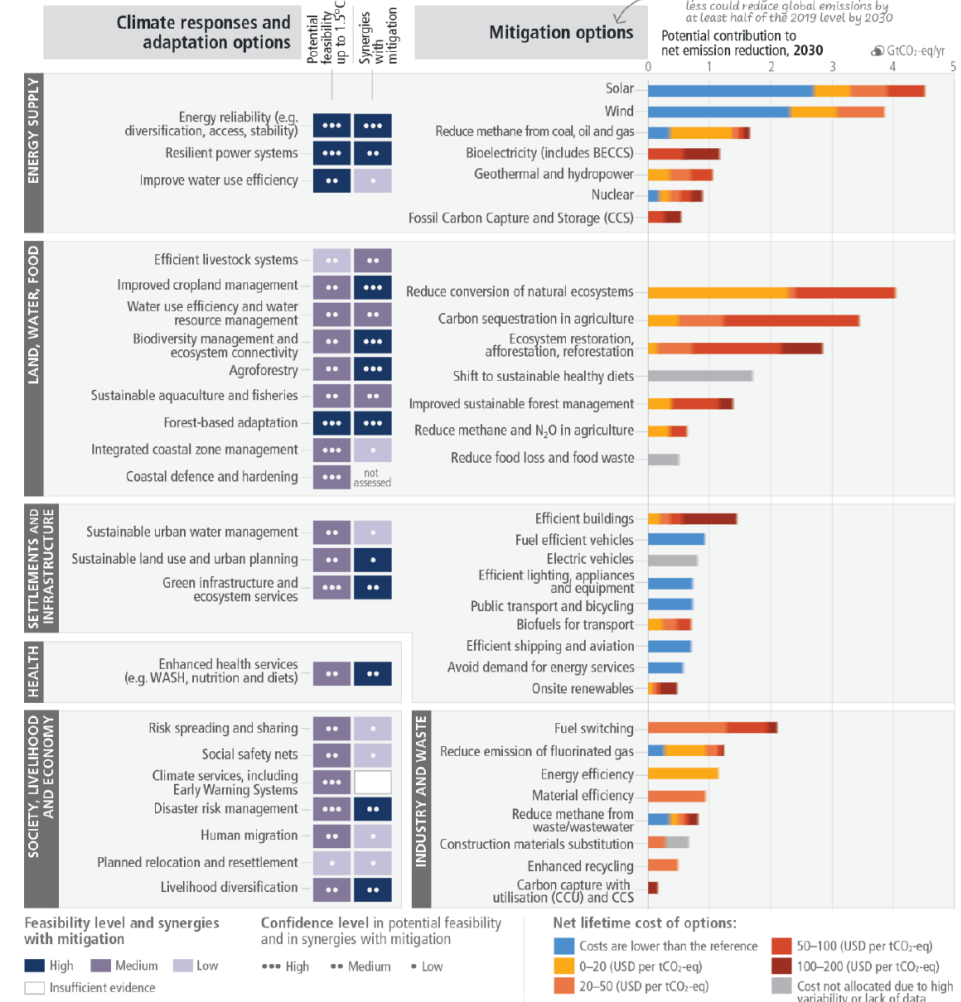
- Kræver en omstilling af energisektoren, der er langt mere end kun elforsyningen. Uanset elforsyning skal der gennemføres tiltag:

- Energieffektivitet, elbiler, ellastbiler, elektrificering af industrien, Power2X, fjernvarme, omstilling af landbruget
- CO₂ fangst og lagring er afgørende på sigt
- Sektorintegration

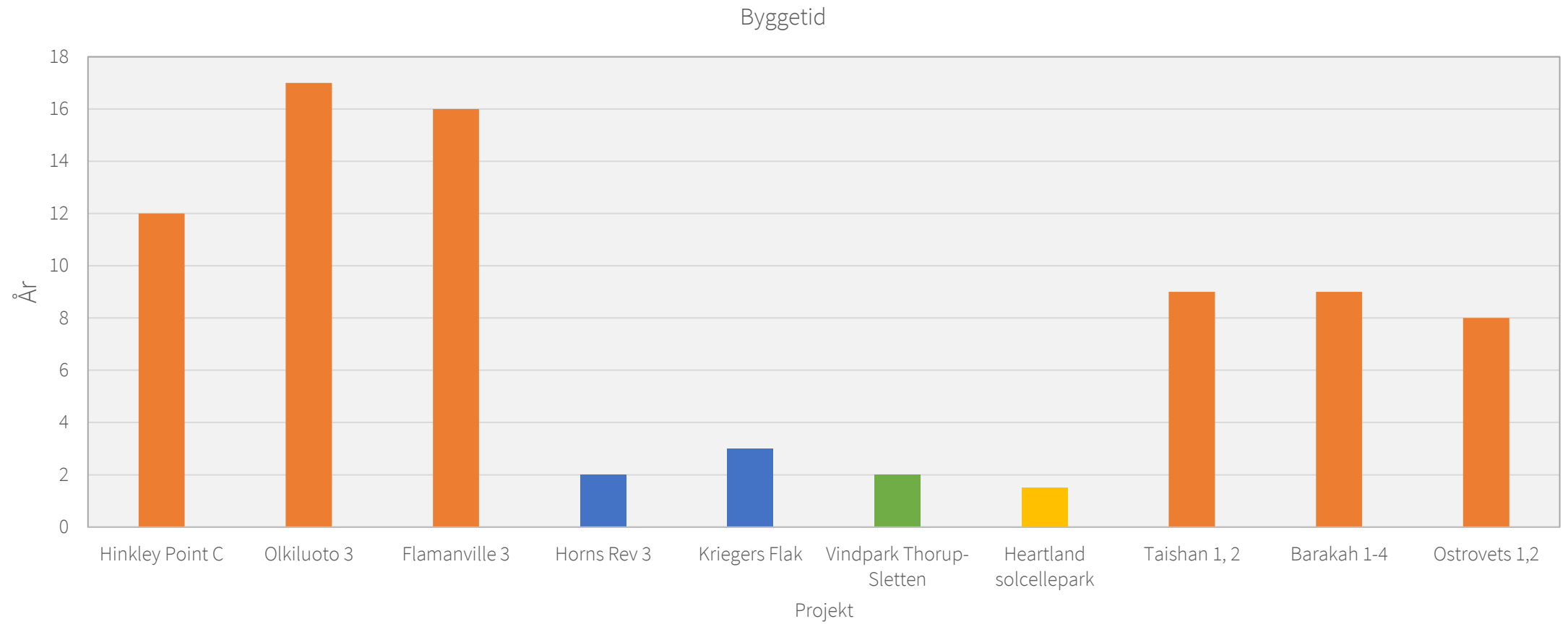


There are multiple opportunities for scaling up climate action

a) Feasibility of climate responses and adaptation, and potential of mitigation options in the near-term



Byggetider



Forudsætninger for analysen

• Industri

- Effektiviseres
- Omlægges til fjernvarme
- Elektrificeres
- Biomasse og biogas til resten

• Opvarmning

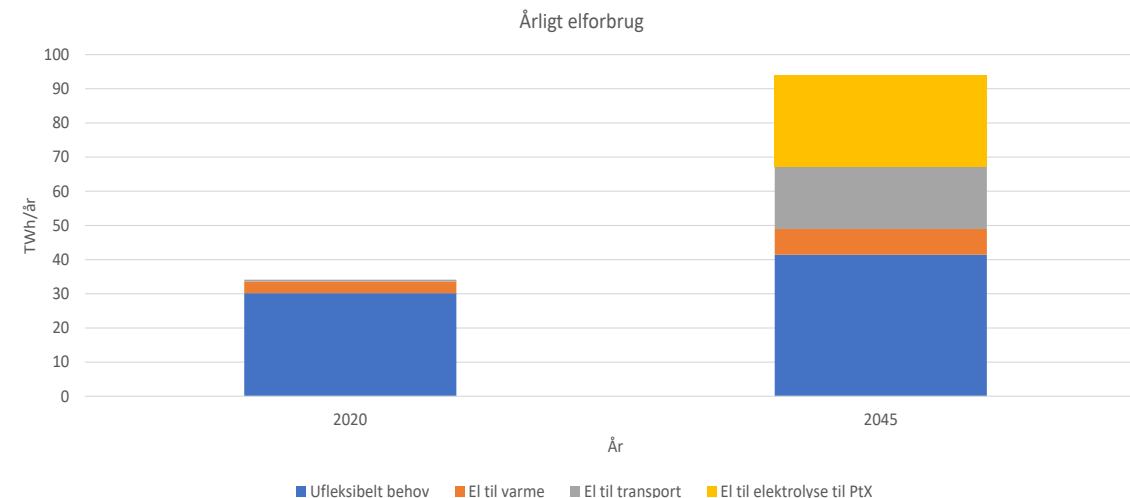
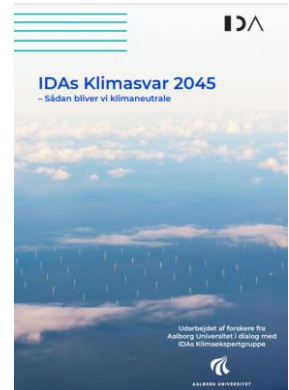
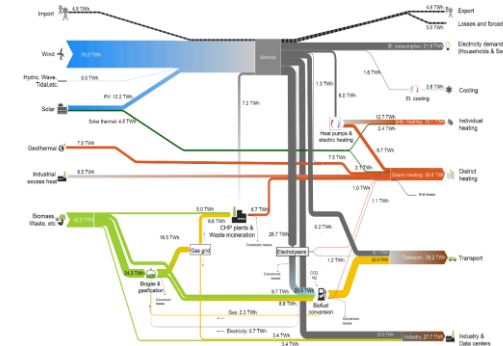
- Effektiviseres
- Fjernvarme
- Elektrificeres

• Transport

- Elektrificering af togdrift og persontransport
- Resterende behov opfyldes med bio og e-fuels

• Biomasserestriktion

- 42,5 TWh
- 3,5 TWh biogas til eksport
- ~23 GJ/person



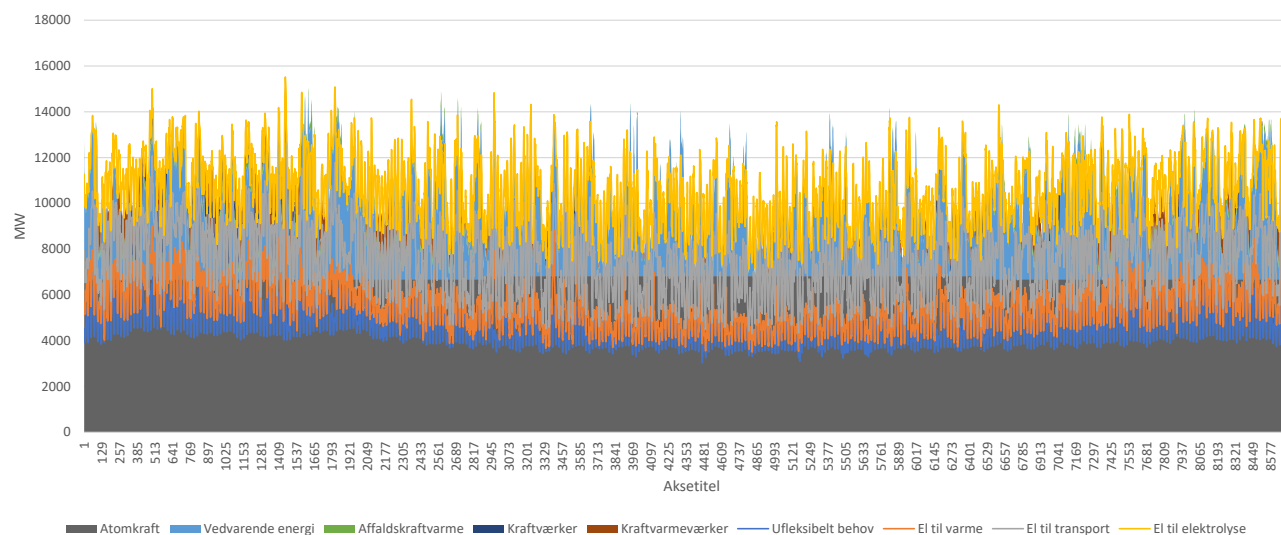
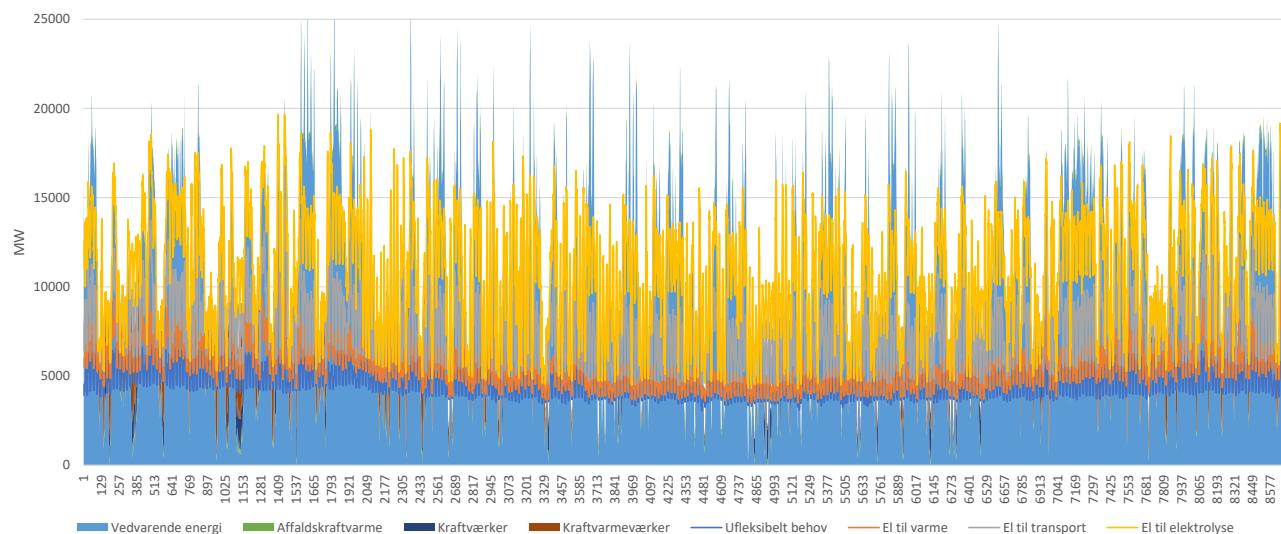
Timebalance mellem elproduktion og elbehov

El fra vedvarende energi

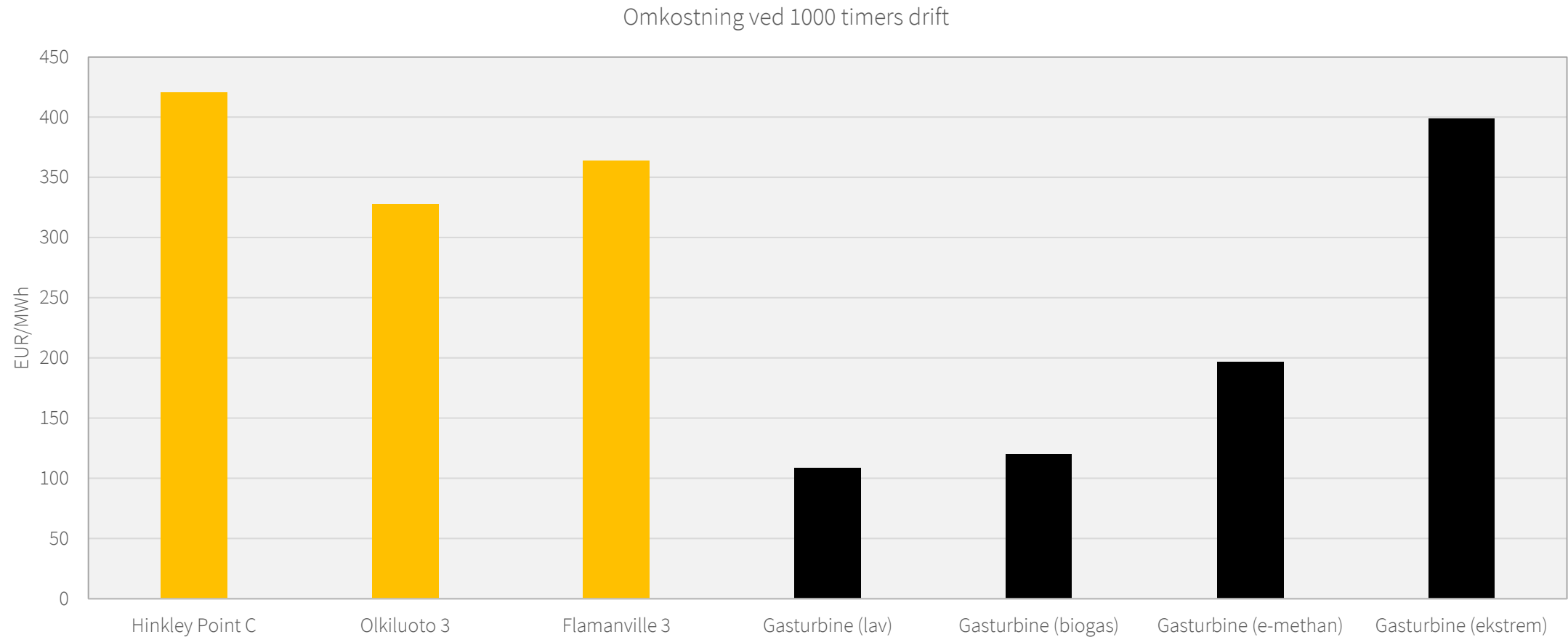
- Variende energikilder, gør at produktion af el varierer time for time
- Sektorkobling, fleksibel forbrug, energilagring sikre høj anvendelse af vedvarende energi
- I få timer vil der være brug for spidsreserverlast produktion fra et kraftværk eller udveksling af el

El fra primært atomkraft

- Sektorkobling, fleksibel forbrug, energilagring sikre stabil, høj produktion fra atomkraftværkerne
- I få timer vil der være brug for spidsreserverlast produktion når det samlede behov overstiger atomkraftkapaciteten



Atomkraft konkurrerer med vedvarende energi - ikke spids- og reservelast



Systemkonsekvenser

- De største investeringer er udenfor elsystemet
- Et akraft-baseret system er 9 til 10 mia. DKK årligt sammenlignet med kun vedvarende energi
- Alle energibehov dækkes i alle timer i alle scenarierne

Beregningsforudsætninger – kort for atomkraft

Atomkraft baseret på 90% kapacitetsfaktor med planlagte nedetider

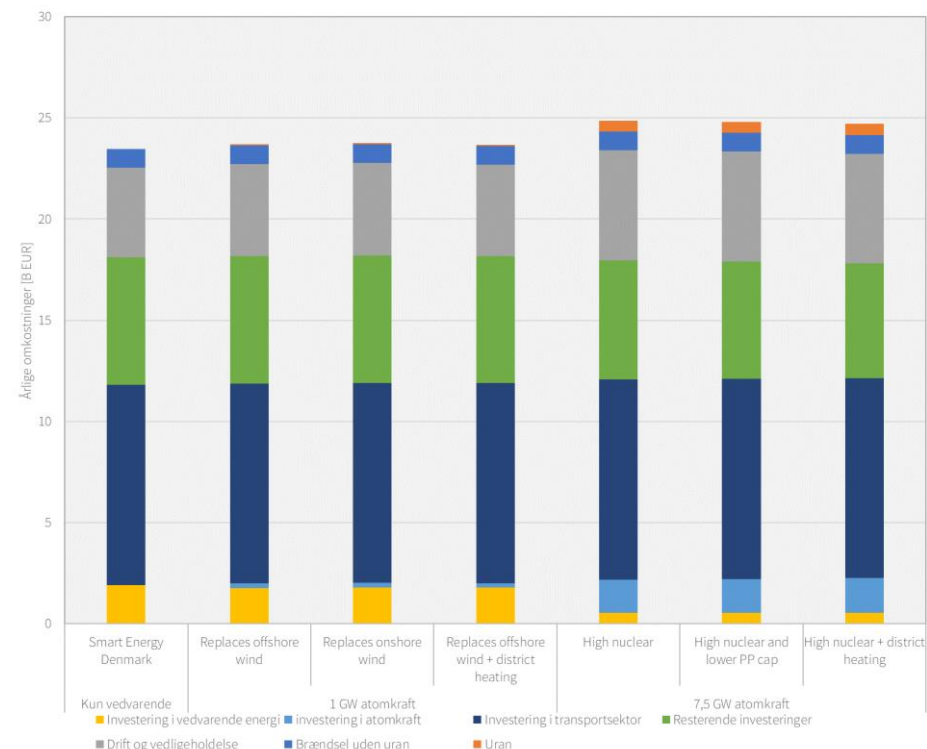
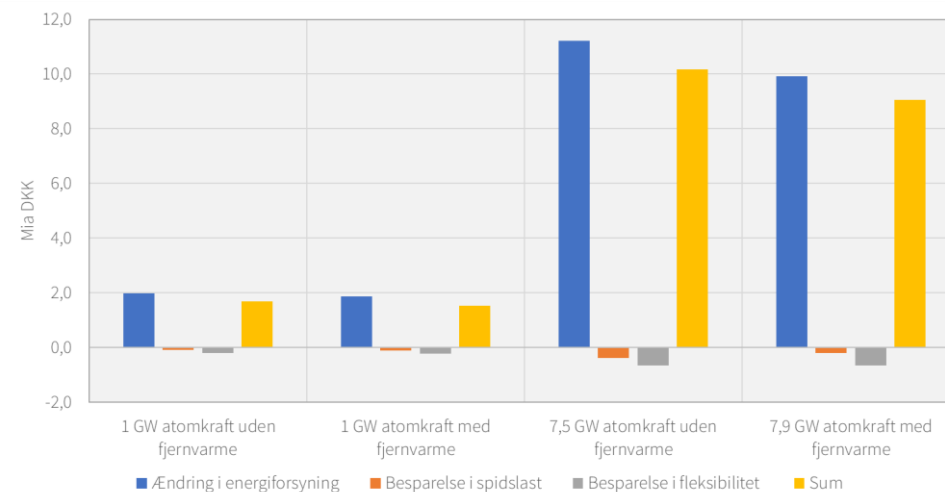
Kan nedregulere produktion til 20%

Investeringsomkostningen er 6,18 MEUR/MW svarende til gennemsnit mellem investeringsomkostninger i dag og 2050 prisen fra IEA på 4,5 MEUR/MW

Levetid: 60 år

Brændselspris: 9,33 EUR/MWh el

Drift og vedligehold: 14,26 EUR/MWh el



Konklusioner

- Vi har brug for en masse CO2 neutral strøm i fremtiden
- Vedvarende energi og atomkraft kan forsyne vores behov i alle timer
- Atomkraft repræsenterer en væsentlig dyrere løsning end vedvarende energi
- Byggetiderne er et reelt problem. Særligt mht. at leve op til 2030 målsætningen