

13-01-2026

Systemanalyse af atomkraft - metodenotat

Indhold

1.	Baggrund	1
2.	Metode og modelværktøj	2
2.1.	Scenarier	3
2.2.	Systemtilpasning og systemværdi i SMR-scenarierne	4
2.3.	Systemindpasning og elforsyningsikkerhed	5
3.	Referenceudvikling i energisystemet	6

1. Baggrund

Der har de seneste år været en stigende interesse for nye atomkraftteknologier såsom små modulære reaktorer (SMR) i Danmark og i EU. Det skal bl.a. ses i lyset af den løbende udvikling af de nye SMR-teknologier, øget fokus på at sikre balance i et VE-baseret energisystem mhp. stabil elforsyning, øget erhvervsinteresse, samt øget fokus på europæisk energiuafhængighed.

Betegnelsen SMR dækker over et bredt spektrum af nye atomkraftteknologier med og uden elproduktion. De planlægges typisk markant mindre end traditionelle reaktorer, med modulopbygning (fabriksfremstillede komponenter) og med såkaldt passive sikkerhedssystemer. Mange koncepter er i størrelsen 300 MW_e, men de planlægges op til 470 MW_e og ned til ca. 20 MW_e eller mindre. De findes både som videreudviklet konventionel letvands teknologi (såkaldt generation III⁺teknologi) og som generation IV teknologier, der i højere grad vurderes at være på forsøgs- og



demonstrationsstadiet. Den første kommercielle SMR-reaktor i den vestlige verden ventes pt. idriftsat i Canada ultimo 2029.

Folketinget vedtog den 4. maj 2025 følgende tekst:

'Grøn strøm fra sol og vind skal fortsat udgøre hjørnestenen i dansk energiforsyning. Folketinget anser ikke konventionel atomkraft for relevant i Danmark. Folketinget noterer, at regeringen iværksætter en analyse, der skal uddybe potentialer og risici ved nye atomkraftteknologier samt forskellige konsekvenser ved en ophævelse af forbuddet mod atomkraft.'

Energistyrelsen udbød på den baggrund i september 2025 en analyse om atomkraft. Ifølge udbudsmaterialet skal analysen inddeles i en teknisk analyse af SMR-teknologier i en dansk kontekst samt i en energisystemanalyse. Den samlede analyse skal bl.a. afdække nye atomkraftteknologiers potentialer, teknologisk modenhed, omkostninger mv., og herunder afdække SMR-teknologiens muligheder og begrænsninger ift. indpasning i et fremtidigt, dansk energisystem domineret af sol og vind. Analysen skal dermed tilvejebringe viden om SMR-teknologien og klarhed over konsekvenser ved en evt. ophævelse af forbuddet. Tidsperspektivet for analysen går frem til 2050.

Et konsortium bestående af Ea Energianalyse (Danmark) og VTT (Finland) vandt opgaven, der nu er i sin afsluttende fase. Som en del af opgaveløsningen blev en række interessenter i ind- og udland inviteret til at give input til del 1 (den tekniske analyse).

Efterfølgende har Ea modtaget spørgsmål til, hvordan del 2 (energisystemanalysen) håndteres. Efter konsultation med opdragsgiver har vi valgt at gøre orientering herom offentligt tilgængelig.

2. Metode og modelværktøj

Energisystemmodellen, Balmorel <https://www.ea-energianalyse.dk/da/temaer/balmorel/>, er blevet brugt til analysen.

Balmorel er en grundlæggende, partiel ligevægtsmodel baseret på økonomisk optimering. Modellen anvender input i form af efterspørgselsprognoser, brændsels- og CO₂-priser, teknologiomkostninger og -egenskaber, vedvarende energikilder, energi- og klimapolitikker samt andre væsentlige parametre. Modellen minimerer de samlede systemomkostninger, og som en del af denne optimering peger modellen på mulige investeringer i kapaciteter – til produktion, transmission og lagring – samt optimal drift af systemet over året. Modellen udfører således en overordnet, økonomisk



optimering af energisystemet, der svarer til en driftsoptimering og udbygning af forbrugs- og produktionskapacitet i et velfungerende marked.

Modellen dækker det sammenhængende elsystem i størstedelen af Europa.

2.1. Scenarier

Tre scenarier er blevet opstillet for at analysere effekten og værdien af SMR i energisystemet. Scenarierne afspejler forskellige niveauer af antagne SMR-kapaciteter i Danmark samt forskellige forhold vedrørende brændsels- og CO₂-priser og udvikling af elforbrug og vedvarende energi i Danmark:

- **Bal:** Udviklingen af det europæiske energisystem, herunder Danmark, er baseret på økonomisk optimering. Konsulentens bedste vurdering af brændsels- og CO₂-priser samt Danmarks elforbrug anvendes.
- **KF25:** Antagelser fra Klimastatus og Fremskrivning 2025 (KF25),¹ som repræsenterer en frosset politisk udvikling, anvendes vedrørende udvikling af elkapacitet og elforbrug for Danmark (brændsels- og CO₂-priser fra AF25 antages). De omgivende lande defineres af modellens optimeringsrutine².
- **AF25:** Antagelser fra Analyseforudsætninger for Energinet 2025³ (AF25) anvendes vedrørende udvikling af elkapacitet for Danmark og elforbrug samt brændsels- og CO₂-priser. De omgivende lande defineres af modellens optimeringsrutine.

Et overblik over scenarierne er angivet i Tabel 1. Hvert af scenarierne gennemregnes for tre forskellige niveauer af SMR-etablering:

- Uden etablering af SMR.
- Etablering af 600 MW-el SMR-anlæg som kraftvarmeanlæg: 300 MW-el i Vestdanmark (DK1) og 300 MW-el i Østdanmark (DK2).
- Etablering af i alt 1500 MW-el SMR-anlæg med 600 MW-el som kraftvarme. Derudover etableres yderligere 900 MW-el SMR med ren elproduktion (kondens), 300 MW-el i DK1 og 600 MW-el i DK2.

¹ <https://www.kefm.dk/klima/klimastatus-og-fremskrivning/klimastatus-og-fremskrivning-2025>

² De modellerede KF25 og AF25-scenarier i projektet svarer ikke fuldstændig til de originale KF25 og AF25-scenarier udarbejdet af Energistyrelsen, bl.a. når det kommer til repræsentationen af omverdenen. Derfor er elprisudviklingen ikke nødvendigvis helt den samme som i Energistyrelsens AF- og KF-scenarier.

³ <https://ens.dk/analyser-og-statistik/analyseforudsætninger-til-energinet>



Tabel 1. Oversigt over de vigtigste scenarier der undersøges i analysen. Scenarierne har forskellige niveauer af SMR-indpasning i Danmark og er blevet undersøgt under forskellige rammebetingelser. Dette giver i alt 9 forskellige hovedscenarier, som her er angivet med deres navn ("SMR0_Bal", "SMR0_KF25 osv.").

	Rammebetingelser		
	Bal	KF25*	AF25*
Ingen SMR i Danmark (Referencen)	SMR0_Bal	SMR0_KF25	SMR0_AF25
600 MW-el SMR i Danmark	SMR600_Bal	SMR600_KF25	SMR600_AF25
1500 MW-el SMR i Danmark (600 MW-el som KV**, 900 MW-el som ren elproduktion)	SMR1500_Bal	SMR1500_KF25	SMR1500_AF25

*Repræsentationen af KF25 og AF25-udviklingen svarer ikke fuldstændig til de originale KF25 og AF25-scenarier udarbejdet af Energistyrelsen, bl.a. når det kommer til repræsentationen af omverdenen. Derfor er elprisudviklingen ikke nødvendigvis helt den samme som i Energistyrelsens AF- og KF-scenarier.

**KV: Kraftvarme. I modellen: 300 MW-el af SMR-kraftvarmeanhederne antages placeret i hovedstadsområdet, og de øvrige 300 MW-el antages placeret i Aarhus.

Derudover opstilles en gruppe scenarier (kaldet EURSMR-scenarier), hvor optimeringsmodellen får mulighed for at investere i SMR-teknologien i alle lande i det modellerede, europæiske energisystem til forskellige SMR-omkostningsniveauer.

2.2. Systemtilpasning og systemværdi i SMR-scenarierne

I SMR-scenarierne tilpasses øvrige investeringer i el- og varmeproduktion i systemet efter følgende hovedprincipper:

- I SMR-Bal scenarierne og i EURSMR-scenarierne defineres systemtilpasningen af modellens optimeringsrutine.
- I SMR-KF25- og SMR-AF25-scenarierne fjernes solcelle- og havvindskapacitet i Danmark svarende til elproduktionen leveret af de indlagte SMR-anlæg. Dansk elproduktion er dermed på samme niveau som i referencen. Der forudsættes samme kraftvarmekapacitet som i referencen. Derudover tilpasses fjernvarmeproduktionskapaciteter som led i modellens optimering.

For hvert SMR-scenarie beregnes en systemværdi. Systemværdien er defineret som den samlede omkostningsreduktion sammenlignet med referencen og beregnes uden at medregne omkostningerne ved at etablere



og drifte selve SMR-anlæggene⁴. Systemværdien sammenholdes med SMR-omkostningerne, som fremskrives i tre forskellige scenarier baseret på analyserne i del 1 (den tekniske analyse): Optimistisk, central, og pessimistisk omkostningsudvikling.

Hvis systemværdien viser sig højere end de forventede SMR-omkostninger, er etablering af SMR gavnligt for samfundsøkonomien i det pågældende scenarie. Hvis systemværdien er lavere, er det omvendt. Omkostningerne for samfundet ved at opbygge de nødvendige reguleringsmæssige rammer for sikkert at håndtere atomkraft og for at tiltrække investeringer i atomkraft er dog ikke prissat.

2.3. Systemindpasning og elforsyningsikkerhed

Et elsystem med store mængder sol og vind kræver investeringer i infrastruktur og kræver, at der i systemet er ressourcer til at holde balancen mellem produktion og forbrug i hver time, også i perioder med lav eller ingen elproduktion fra sol og vind. I analysen er alle omkostninger til indpasning af sol og vind indregnet:

- **Prisfleksibelt elforbrug.** Forbrugssiden vil i stigende grad medvirke til at sikre balancen, når det kan betale sig for den enkelte forbruger. Især elkedler og varmepumper i fjernvarmesystemer, elektrolyseanlæg og eldrevne køretøjer bidrager. I analysen indgår fremskrivning af prisfleksible elforbrug i Europa og dertil har modellen mulighed for at foretage investeringer, der giver yderligere fleksibilitet (elektrolyse, varmepumper, elkedler, el-, varme- og brintlagre mv.)
- **Kapacitetskrav (effekttilstrækkelighed).** For at sikre effekttilstrækkeligheden er der i modellen indlagt et samlet krav til regulerbar kapacitet i det samlede modelområde. Det er endvidere forudsat, at der i hvert land er krav til, at en del af denne kapacitet skal være placeret lokalt. Dette afspejler, at det forventes, at de enkelte lande i fremtiden vil stille krav til, at elforsyningsikkerheden i vidt omfang kan håndteres inden for eget system. Sol og vind kan ikke bidrage til dette kapacitetskrav, men termiske elproduktion kan, herunder SMR.
- **Driftsreserver (systemsikkerhed).** For at opretholde systemsikkerheden er der i analysen krav om, at der hver time er en vis mængde reserver til rådighed, som ikke deltager i spotmarkedet, og som anvendes til at sikre driften mod fx udfald af produktionsenheder eller prognoseusikkerhed på forbrug eller elproduktion

⁴ inklusiv brændselskøb og affaldshåndtering.



fra sol og vind. Mængden af driftsreserver dimensioneres dynamisk og afhænger af mængden af sol og vind i den enkelte time.

- **Balancering.** I den enkelte time kan der være behov for aktivering af driftsreserver (overvejende aFRR og mFRR), der har andre omkostninger til op- eller nedregulering end elspotprisen. Dette giver en ubalanceomkostning for produktionsanlæg eller forbrug, der er ude af balance i forhold til driftsplanen. Balanceringsomkostning beregnes ikke direkte i modellen men tillægges baseret på historiske data.
- **Elinfrastruktur.** Ved udbygning med ny elproduktionskapacitet indregnes de nødvendige investeringer i udbygning af det lokale elnet i investeringsomkostninger for de enkelte teknologier. Nødvendige investeringer ved etablering af sol og vind er fastlagt ud fra gældende tilslutningsbidrag. Den nødvendige overordnede udbygning af transmissionsnettet i hvert scenarie (forbindelser mellem budområder) indgår i modellens optimering. Hvis der kan spares transmission i et SMR-scenarie, indgår det som en systemværdi.

3. Referenceudvikling i energisystemet

Data for udviklingen i det europæiske elsystem er baseret på en række officielle kilder, herunder særligt data fra europæiske systemansvarlige virksomheder, ENTSO-E, IEA og Energistyrelsens teknologikataloger. Modelleringen af det europæiske energisystem viser en betydelig elektrificering af samfund med omkring en fordobling af det samlede elforbrug frem mod 2050. Dette omfatter elektricitet til elektriske køretøjer, brintproduktion (power-to-X), klassisk elforbrug, datacentre samt elektricitet til individuel opvarmning og fjernvarme. Efterspørgselsstigningen dækkes ifølge modellens økonomiske optimering hovedsageligt af produktion fra vindkraft og solcelleanlæg.