



Klimastatus og –fremskrivning 2021 (KF22): Ramses modellen

Forudsætningsnotat nr. 1A

Kontor/afdeling
Systemanalyse

Dato
13-01-2022

J nr. 2021-15863

JNON, IMRN / MIS

Indholdsfortegnelse

| | |
|---|---|
| 1. Modellens rolle i det samlede modelkompleks | 2 |
| 2. Metode og antagelser bag KF21 forløbet | 2 |
| 2.1 Primære karakteristika for Ramses | 2 |
| 2.2 Hvordan laves baselinen til KF22 | 5 |
| 3. Kvalificering af KF22 forløbet | 6 |
| 3.1 Modeludvikling siden KF22 | 6 |
| 3.2 Kritiske antagelser og parametre i modellen | 6 |
| 3.3 Planlagt modeludvikling | 6 |
| 4. Kilder | 7 |

Dette forudsætningsnotat er en del af Klimastatus og -fremskrivning 2022 (KF22). KF22 er en såkaldt frozen policy fremskrivning, hvilket indebærer, at forudsætningerne for fremskrivningen afspejler et "politisk fastfrosset" fravær af nye tiltag på klima- og energiområdet ud over dem, som Folketinget eller EU har besluttet før 1. januar 2022 eller som følger af bindende aftaler. For yderligere information om frozen policy tilgangen, se KF22 forudsætningsnotat 2C om Principper for frozen policy.

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

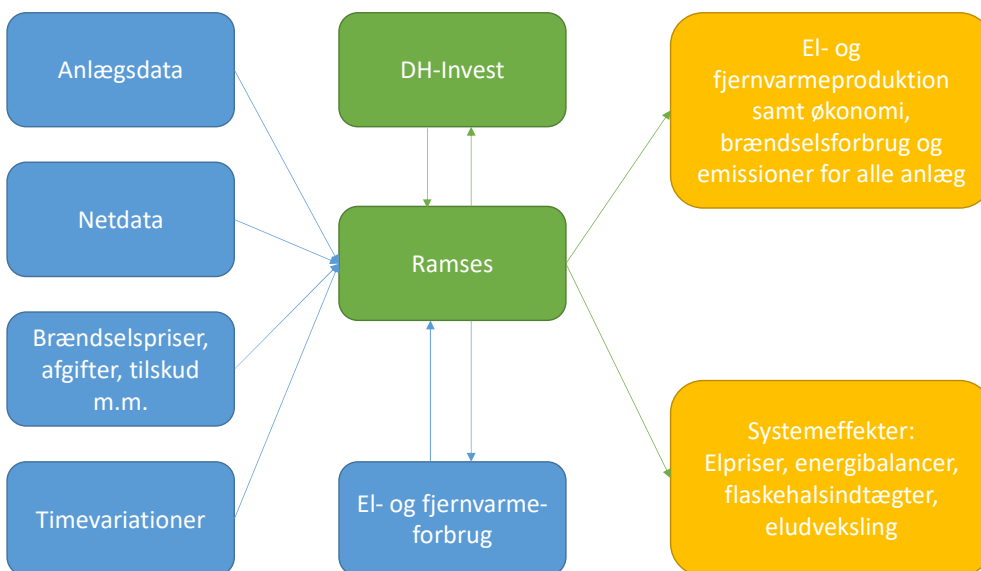
www.ens.dk



1. Modellens rolle i det samlede modelkompleks

Fremskrivningen af den samlede el- og fjernvarmeproduktion finder sted i Ramses. Ramses er en teknisk-økonomisk energisystemmodel, der beregner den fremtidige produktion af el og fjernvarme i et vilkårligt antal el- og fjernvarmeområder. El-markedsdelen i Ramses omfatter på nuværende tidspunkt det meste af Europa, mens fjernvarmen kun modelleres i Danmark.

Ramses simulerer energisystemet med udgangspunkt i den samlede efterspørgsel på el og fjernvarme, samt den tilgængelige produktionskapacitet. Fremtidig produktionskapacitet baseres på den vedtagne politik på området og bestemmes eksogent for nogle teknologier (vind, sol og affald samt visse dele af den termiske kapacitet), mens udviklingen i fjernvarmekapacitet suppleres med endogene fremskrivninger udarbejdet med det integrerede investeringsmodul DH-Invest.



Som led i Energistyrelsens samlede fremskrivning, interagerer Ramses med forbrugsmodellen IntERACT (se notat 1B "IntERACT"). Ramses leverer elpriser og fjernvarmeproduktionsomkostninger til IntERACT, der derefter genberegner den samlede efterspørgsel på el og fjernvarme, som benyttes i Ramses. Der itereres mellem Ramses og IntERACT et antal gange indtil elpris og forbrugsresultat er konvergeret.

2. Metode og antagelser bag KF21 forløbet

2.1 Primære karakteristika for Ramses

Ramses er en lineær optimeringsmodel, der beregner elproduktion, varmeproduktion, brændselsforbrug m.m. for et stort antal værker på timebasis,



også eludveksling mellem prisområder samt estimerede elpriser beregnes. Til grund for beregningen ligger en optimeringsmodel, som minimerer de samlede produktionsomkostninger til el- og fjernvarmeproduktion, under betingelse af at efterspørgslen efter el og fjernvarme opfyldes. Da modellen primært er beregnet til analyser af effekter i Danmark, er de danske værker beskrevet mere detaljeret end værker i udlandet.

Ramses omfatter en række forskellige typer af værker og teknologier. Der er kraftvarmeverker, for hvilke driften optimeres efter efterspørgslen af både el- og fjernvarme. Fjernvarmesektoren omfatter derudover bl.a. forskellige kedler, varmelagre etc. Elsektoren omfatter ligeledes mange forskellige typer elproducerende værker herunder kulkraft, vindmøller og solceller samt atomkraft (sidstnævnte kun i udlandet). Derudover omfatter Ramses også PtX-anlæg, som producerer brint ved en eksogent bestemt elpris, hvilket sammen med andre elforbrugende anlæg som varmepumper og elkedler i fjernvarmesektoren har betydning for den samlede efterspørgsel efter el.

Elmarkedet i Ramses

Det danske elmarked er i praksis integreret i det europæiske, hvilket i høj grad har betydning for både de danske elpriser samt den danske elproduktion. Ramses omfatter derfor flere elpris-områder. Det meste af Europa indgår således i Ramses i form af 23 lande fordelt på 18 elprisområder: Danmark (to prisområder), Norge, Sverige, Finland, Tyskland-Luxembourg, Østrig, Holland, de britiske øer, Frankrig, Belgien, Spanien-Portugal, Schweiz, Italien, Baltikum (Estland-Letland-Litauen), Polen, Tjekkiet-Slovakiet samt Ungarn. Produktion, kapaciteter og efterspørgsler for udland er beskrevet yderligere i forudsætningsnotatet 3C ("Udenlandske elkapaciteter"). De enkelte elprispriszoner er forbundet med udlandskabler ("interconnectors"), hvis overførselskapacitet betegnes som NTC (net transfer capacity) NTC er et tal, der indikerer hvor meget strøm, der tillades at strømme mellem de enkelte priszoner. Internt i de enkelte priszoner modelleres der ikke interne begrænsninger i transmissionsnettet.

Fjernvarmeområder i Ramses

Fjernvarmen modelleres kun i Danmark, da fjernvarmeområder i modsætning til elprisområder ikke er koblede, og derfor har udenlandsk fjernvarmeproduktion ikke nævneværdi betydning for det danske energisystem¹. Der findes ca. 380 fjernvarmenet i Danmark, som i Ramses repræsenteres i form af 60 fjernvarmeområder: 32 fjernvarmenet er repræsenteret direkte (centrale fjernvarmeområder samt decentrale områder med fjernvarmeleverance over 500 TJ/år), mens resten af de danske fjernvarmenet er repræsenteret i form af 28 aggregerede områder.

¹ Elforbrug til udenlandsk fjernvarmeproduktion er integreret i de benyttede data for udland beskrevet i forudsætningsnotat 3C.



Optimeringen i Ramses

Ramses fungerer på den måde, at hver time optimeres efter at minimere den samlede omkostning til produktion. Modellen sætter værkerne til at producere ét værk ad gangen, på baggrund af det enkelte værks kortsigtede marginalomkostning per produceret energienhed – det billigste først. Det fortsætter indtil efterspørgslen (inkl. evt. behov for eksport eller import) i den enkelte driftstime tilfredsstilles. Elprisen sættes af marginalomkostningen på det dyrest producerende værk, som leverer el til elprisområdet. Optimeringen foregår i Ramses med én uges perfekt fremsyn. Det betyder, at energilagre fx hydro-reservoirs og varmelagre tager kommende timer i betragtning. På den måde udnyttes lagre i de "dyreste" timer, og skubber dermed værker med højeste marginale omkostninger ud af systemet, når lagerenheder er tilgængelige. Tilgængeligheden af lagre er forskellig for hver type af lagerenhed, fx har hydro-reservoirs en række vejrafhængige begrænsninger, hvorimod batterier kun er begrænset af den, op- og afladningsafhængige, tilgængelige kapacitet.

Givet produktionskapaciteten bestemmes produktion fra vindmøller og solceller ud fra placeringsspecifikke vind- og soltidsserier. I timer hvor produktion fra disse anlæg er højere end den samlede tilgængelige efterspørgsel inkl. begrænsning af overførelseskapaciteten på udlandsforbindelser, opstår der timer, hvor modellen reducerer outputtet fra disse anlæg (såkaldt "curtailment").

Investeringer i fjernvarmesektoren (DH-Invest)

Beslutninger om investeringer i nye værker i fjernvarmesektoren foregår i det integrerede investeringsmodul DH-Invest. DH-Invest er en driftsoptimeringsmodel, der alene fokuserer på fjernvarmesektoren. Ud fra inputs til Ramses (bl.a. brændselspriser, afgifter, teknologidata, eksisterende og planlagt kapacitet i fjernvarmesektoren) og en eksogen elprisfremskrivning, undersøger DH-Invest, hvordan fjernvarmebehovet i hvert fjernvarmeområde kan dækkes til de lavest mulige selskabsøkonomiske varmeproduktionsomkostninger ved at investere i nye anlæg. Nye produktionsanlæg betragtes rentable, hvis de kan levere en samlet varmeproduktionsomkostning (dvs. inkl. investerings-, faste og variable omkostninger), som er lavere end de variable varmeproduktionsomkostninger på eksisterende anlæg. Investeringsmulighederne begrænses i DH-Invest ud fra en vurdering af teknologiernes tekniske potentialer i hvert fjernvarmeområde.

Efter investeringerne er beregnet, undersøger DH-Invest endvidere, hvorvidt det er rentabelt at skrotte nogle af de eksisterende produktionsanlæg. Betingelsen for skrotningen er, at dækningsbidraget (indtægter fratrukket variable omkostninger) i et givent år ikke er tilstrækkeligt til at dække de faste vedligeholdelsesomkostninger. Der medregnes indtægter fra el- og varmemarkeder (endogent) samt el-indtægter fra reservemarkeder (eksogent). I skrotningsbeslutningen



indregnes hensyn til varmforsyningssikkerhed. Et anlæg kan således ikke skrottes, hvis det vil medføre, at der ikke længere er en tilstrækkelig varmforsyningssikkerhed i det pågældende fjernvarmeområde.

Output fra DH-Invest modellen består af en liste over nye investeringer samt en liste over de skrottede anlæg. Disse indlæses i Ramses, og der produceres en ny elprisfremskrivning, som indlæses i DH-Invest. Ramses og DH-Invest itererer således et antal gange, indtil der opnås konvergens.

Antagelserne bag DH-Invest til KF22 beskrives separat i notat 8D "Termisk produktionskapacitet i el- og fjernvarmesektoren ekskl. affaldsforbrænding". En mere teknisk beskrivelse af DH-invest findes på Energistyrelsen hjemmeside.

2.2 Hvordan laves baselinen til KF22

Baseline for el- og fjernvarmesektoren fastlægges i Ramses gennem følgende trin:

- Opdatering af modellens datagrundlag for produktionskapaciteter, efterspørgsels- og produktionstidsserier, økonomiske input samt teknologispecifik data.
- Kalibrering af modellen ift. den seneste energistatistik.
- Iterationer mellem Ramses og øvrige modeller (DH-Invest og IntERACT jf. afsnit 2.1) med henblik på at opnå konvergens i systemresultatet for el- og fjernvarmesektoren (udbud og efterspørgsel af el og fjernvarme, og nye fjernvarmeinvesteringer).

De samlede produktionskapaciteter omfatter den seneste opgørelse for eksisterende kapaciteter i Energiproducenttælling og Stamdataregistret², samt opdatering af den politisk vedtagne fremtidige produktionskapacitet i Danmark herunder pipeline projekter i el- og fjernvarmesektoren, fremtidige VE-kapaciteter og affaldsforbrændingskapaciteter (jf. KF22 forudsætningsnotaterne 8A, 8B, 8C, 8D og 9A). For udlandet benyttes de seneste kapacitetsfremskrivninger fra ENTSO-E. Til KF22 benyttes scenarier fra MAF20 og TYNDP20 (jf. forudsætningsnotat 3C). De økonomiske input omfatter bl.a. brændselspriser (jf. notat 3A. "Brændselspriser"), CO₂-kvotepriser (jf. notat 3B. "CO₂ kvotepris") samt afgiftssatser og subsidier til el- og fjernvarmeproduktion fra Skattestyrelsen [1]. De økonomiske nøgletal sammen med teknologispecifikke data fra den seneste udgave af Teknologikataloget benyttes til beregning af marginale produktionsomkostninger.

Modellen kalibreres ift. den seneste energistatistik³ således, at den tilnærmelsesvis rammer det danske brændselsforbrug på de forskellige el- og fjernvarmeteknologier

² Energiprocenttælling og Stamdataregisteret indeholder tilsammen alle historisk indberettede oplysninger fra el- og fjernvarmeproducenter i Danmark, fx produktion og kapacitet på enkelte anlæg.

³ Det seneste statistiske år er 2020. Pga. COVID-19 pandemien og dens påvirkning på det europæiske el-system, kalibreres modellen op mod 2019.



samt den danske spotpris på el i historiske år. I kalibreringen ses der også på de europæiske elpriser.

Den endelige baseline for el- og fjernvarmesektoren fastlægges efter iterationer mellem Ramses og DH-Invest, og Ramses og IntERACT. Iterationer mellem Ramses og DH-Invest fastlægger investeringer og lukninger i fjernvarmesektoren på baggrund af elprisfremskrivningen. Iterationer mellem Ramses og IntERACT fastlægger efterspørgslen efter el- og fjernvarme og sikrer dermed koblingen mellem udbuds- og efterspørgselsiden for el og fjernvarme.

3. Kvalificering af KF22 forløbet

3.1 Modeludvikling siden KF22

De væsentligste opdateringer af Ramses modelplatformen siden KF21 vedrører tilføjelsen af fremsyn i modellen. Fremsyn gør at modellen minimerer omkostningerne for en periode af gangen, hvor den før betragtede enkelte timer separat. Fremsyn giver mere pålidelig simulering af specielt energilagere, der nu kan planlægge drift mht. op- og afladning. I KF22 benyttes en uges fremsyn. Modeludviklingen forventes ikke at have nævneværdig betydningen for hovedresultater i KF22.

3.2 Kritiske antagelser og parametre i modellen

Værkernes kortsigtede marginale produktionsomkostninger er afgørende for optimeringen i Ramses. Data, der indgår i beregningen af marginale omkostninger, har derfor en særlig betydning. Der tages udgangspunkt i vedligeholdelsesomkostninger fra Teknologikataloget [4], som dog kan blive justeret for at afspejle de realiserede forhold mellem produktionsteknologier jf. senest tilgængelig energistatistik. Naturgasprisforholdet mellem de forskellige europæiske lande har også en væsentlig betydning for prisdannelsen i modellen. Der tages udgangspunkt i Eurostats seneste tilgængelige statistik om naturgaspris.

3.3 Planlagt modeludvikling

Den funktionelle modeludvikling forventes særligt at blive rettet mod en bedre repræsentation af fleksible og nye teknologier inden for el-systemet samt en forbedring af spotpris-beregninger. Derudover foretages der løbende forskellig programmeringsteknisk modeludvikling på Ramses platformen, som imidlertid ikke vurderes at have nævneværdig betydning for klimafremskrivningens hovedresultater, men snarere retter sig mod en mere fleksibel og effektiv modelplatform, der effektiviserer arbejdet med analyser og reducerer risikoen for fejl.

4. Kilder

[1] skat.dk, <https://skat.dk/skat.aspx?oID=1921342&chk=216359>

[2] MAF20, <https://www.entsoe.eu/outlooks/midterm/>

[3] TYNDP20, <https://tyndp.entsoe.eu/>

[4] Teknologikatalog, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-produktion-af-el-og>

Modeldokumentation⁴: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/modeller>

⁴ En teknisk gennemgang af modellen. Opdateret version fremgår snarest af hjemmesiden.