

# Analyse | KA kraka advisory

24. AUGUST 2022

## Målet om grønne indenrigsfly kan blive dyrt for danskerne

Samfundsaspekter af den grønne omstilling



# Sammenfatning

I sin nytårstale i år fremsatte statsminister Mette Frederiksen en ambition om, at alle indenrigsfly skal flyve grønt i 2030. Målet om grønne fly skaber et ekstra benspænd for at nå Klimalovens mål på 70 pct. reduktion af CO<sub>2</sub>e-udledninger i 2030. Målet er sandsynligvis muligt at realisere uden omstilling af indenrigsflyene og på en billigere måde.

Samtidig står vi i en helt anden situation end ved årsskiftet. Ruslands invasion af Ukraine har stor betydning for dansk og europæisk energiforsyning. Både Danmark og Europa mangler akut grøn strøm, så det er muligt at gøre sig uafhængig af russisk naturgas. Produktion af grønt flybrændstof med Power-to-X kræver store mængder strøm i forhold til output, og derfor kan det være uhensigtsmæssigt at bruge den knappe energiforsyning til det formål.

## Burde Danmark fokusere på andre anvendelser af grøn strøm?

Grønne brændsler til fly vil fortrænge flybrændstof, som er et oliebaseret fossilt brændsel. Et fokus på grønne indenrigsfly vil altså prioritere et område, der har mindre geopolitisk betydning end at fortrænge russisk naturgas fra det danske og europæiske energiforbrug på det helt korte sigt. Samtidig er energieffektiviteten lav ved produktion af grønt flybrændstof sammenlignet med både direkte elektrificering og andre typer Power-to-X-produktion, der på en lignende måde kan fortrænge fossile brændsler.

## Grønne flybrændsler er mulige, men de er dyre

I samarbejde med DTU har vi kortlagt tilgængelige tekniske og økonomiske oplysninger om mulighederne for at producere PtX-brændslet *e-kerosen*, der produceres af brint og CO<sub>2</sub>. Vi forventer, at e-kerosen er den tekniske løsning, der skal gøre indenrigsflyvninger grønne frem mod 2030. Teknisk set er det muligt at producere brændstoffet, men det er forholdsvist dyrt målt i kr. pr. fortrængt ton CO<sub>2</sub>e. Skyggeprisen er på ca. 3.700 kr. pr. ton. Til sammenligning har Klimarådet vurderet, at de dyreste reduktioner for at nå 70 pct.-målet i 2030 har en pris på ca. 1.500 kr. pr. ton. Det giver en samfundsøkonomisk meromkostning på ca. 370 mio. kroner om året i 2030 ved at omstille med e-kerosen.

## Danske grønne indenrigsfly kan retfærdiggøres som et forsknings- og udviklingsprojekt

Det taler dog for ambitionen, at de samlede mængder af brændstof til indenrigsflyvninger er begrænsede. Derfor er der også brug for en begrænset mængde grøn strøm til produktionen, selvom den alternativt kunne være anvendt mere effektivt. Ambitionen om grønne indenrigsfly kan ses som et forsknings- og udviklingsprojekt, der kan videreudvikle PtX-teknologien. På den måde har e-kerosen potentiale til at medføre globale CO<sub>2</sub>e-reduktioner, fordi teknologien på sigt bliver billigere og mere velafprøvet. En sådan indsats er også en del af at være et grønt foregangsland. I det lys kan projektet retfærdiggøres ud fra klimalovens ambitioner.

**Ambitioner om grønne fly i 2025 og 2030****1. Regeringens ambition om grønne fly i 2030**

På årets allerførste dag fremlagde statsminister Mette Frederiksen (S) en ambition om grønne indenrigsflyvninger frem mod 2030. Helt konkret sagde statsministeren:

*”Derfor vil regeringen sætte et ambitiøst mål: Senest i 2025 skal danskerne have mulighed for at flyve grønt på en indenrigsrute. Og senest i 2030 skal vi kunne flyve helt grønt, når vi flyver indenrigs i Danmark.”*

Citat: Statsminister Mette Frederiksen 1/1 2022, Statsministeriet (2022)

Der er altså to delmålsætninger: Én grøn indenrigsrute i 2025, og at alle indenrigsfly flyver grønt i 2030.

**Indenrigsfly skal formentlig flyve på PtX-brændsel**

Det er vores vurdering, at e-kerosen fremstillet med Power-to-X-teknologi (fremadrettet PtX) er den mest sandsynlige vej til at realisere målet om grønne indenrigsflyvninger. Det skyldes at:

E-kerosen kan anvendes i eksisterende fly  
Der er bred politisk opbakning til udvikling af PtX-teknologien

Derfor sætter dette notat fokus på netop fremstilling af e-kerosen. Det bør dog bemærkes, at regeringen ikke har redegjort yderligere for, hvordan de vil realisere målsætningen: *at flyve grønt*.

**Teknisk muligt at fremstille e-kerosen**

Det er teknisk muligt at fremstille og bruge e-kerosen i dag. E-kerosen kategoriseres som et *sustainable aviation fuel* (SAF).<sup>1</sup> Udover e-kerosen dækker SAF også over flybrændstof fremstillet af biomasse, *biofuel*. Flybrændstof fremstilles traditionelt set af olie. SAF kan bruges i allerede eksisterende flymotorer, og det er derfor en forholdsvis hurtig vej til at gøre indenrigsflyvninger grønne. Modsat vil teknologier som batteridrevne fly eller fly med brintbrændselsceller kræve helt nye fly. Derfor er der også længere udsigter til, at den slags løsninger bliver udbredt, jf. DR (2022).

**Boks 1 Grøn strøm skal lave brændstof til tung transport**

Power-to-X dækker over den proces, hvor elektricitet og vand udnyttes til at fremstille brint og brintbaserede stoffer med elektrolyse og evt. en efterfølgende forædlingsproces med kvælstof eller kulstof. Det kan fx være ammoniak, e-metanol og e-kerosen (flybrændstof). Disse produkter skal bruges som et grønt alternativ til brændsel i de sektorer, hvor det er svært at elektrificere direkte. Det er fx i den tunge vejtransport, skibstransport og flytransport.

Hvis den anvendte strøm til elektrolysen kommer fra vedvarende energikilder som vind- og solkraft, er der ikke nogen CO<sub>2</sub>e-udledninger forbundet med at producere brinten, hvorfor det er CO<sub>2</sub>e-neutralt.

Teknologien eksisterer ikke i en kommerciel skala endnu, men der er flere større projekter på vej, jf. KEFM (2021).

<sup>1</sup> SAF dækker over en række forskellige alternativer til flybrændstof. Fællesnævneren for dem alle er, at det skal være bæredygtigt, det skal fremstilles af et alternativ til råolie, og det skal kunne bruges som brændstof, jf. IATAa

### Eksisterende fly kan flyve med e-kerosen

Vi vurderer det sandsynligt, at flybrændstof kan erstattes med e-kerosen. I dag er det kun tilladt at iblande 50 pct. SAF i flyenes tanke. Dog bliver det antageligvis tilladt at iblande en større mængde, jf. Europakommissionen (2021).<sup>2</sup> Et fly på 100 pct. e-kerosen er ikke blevet testet endnu. Der er til gengæld udført succesfulde testflyvninger med 100 pct. bio-jetfuel, jf. Biotechnology (2021).

### Bred politisk opbakning til udbygning af PtX

Samtidig er der stor, politisk opbakning bag udvikling af PtX-teknologien i Danmark. Regeringen og et bredt flertal i Folketinget har vedtaget en aftale om at udbrede PtX, jf. Regeringen (2022a). Derudover fremgår det også af PtX-aftalen at:

*"Partierne noterer sig desuden, at regeringen vil præsentere et udspil til en grøn omstilling af flytrafikken i 2022."*

Det tyder altså på, at der kommer en aftale om grønne fly i forlængelse af den første PtX-aftale. Det understøtter, at de grønne fly skal flyve på e-kerosen. Derudover eksisterer der allerede et stort dansk PtX-projekt: *Green Fuels for Denmark*, et konsortium bestående af bl.a. Ørsted, Københavns Lufthavne og SAS, der ønsker at fremstille en anseelig mængde e-kerosen i Danmark frem mod 2030, jf. Ørsted (2022).

### CO<sub>2</sub>e-reduktioner fra fly skal komme fra flere teknologier

Det er formodentlig ikke én teknologi alene, der kommer til at omstille flytrafikken væk fra fossile brændsler. I fremtiden vil danske indenrigsflyvninger sandsynligvis være en blanding af forskellige typer SAF og nye, grønne flytyper. Den internationale flyorganisation, The International Air Transport Association (IATA), har en målsætning om, at flytransporten skal være netto-nul-udleder i 2050. De forventer, at SAF vil stå for 65 pct. af de nødvendige reduktioner, mens fly, der flyver på el eller med brint-brændselsceller, vil stå for 13 pct. De resterende reduktioner skal nås med CO<sub>2</sub>-fangst og effektiviseringer, jf. IATAB.

#### Boks 2 Fly fylder kun lidt i det danske CO<sub>2</sub>e-regnskab

Indenrigsfly bidrager kun i begrænset omfang til Danmarks CO<sub>2</sub>e-udledninger. Danmark er geografisk et lille land, og derfor er behovet for indenrigsflyvninger begrænset.

I 2019 stod den danske indenrigsflytransport således for ca. 0,1 ton CO<sub>2</sub>e, jf. Energistyrelsen (2022a). Til sammenligning anslår Energistyrelsen (2022b), at der samlet set blev udledt 47 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2019 i Danmark. Flytransporten er til gengæld svær at omstille, hvilket sandsynligvis bliver nødvendigt, hvis den danske 2050-målsætning om netto-nul CO<sub>2</sub>e-udledninger skal realiseres.

Konventionelt flybrændstof udvindes af råolie. I 2019 udgjorde jetpetroleum langt størstedelen af energiforbruget i de danske indenrigsflyvninger (1,29 PJ), mens en meget lille del kom fra flybenzin (0,041 PJ), jf. Energistyrelsen (2022a).

Flytransportens bidrag til CO<sub>2</sub>e-udledninger er markant lavere i 2020 og 2021. Det er sandsynligvis drevet af COVID19-pandemien.

<sup>2</sup> Jf. European Commission (2021): "A maximum blending ratio of 50% is currently imposed by certification. However, this ratio may be lifted in the coming years to allow for flights to operate on 100% of SAF. Demonstration flights have successfully proven that this is possible."

**Krig i Ukraine  
ændrer politiske  
prioriteter****2. Energipolitikken er påvirket af krig i Ukraine**

Ruslands invasion af Ukraine har påvirket energi- og forsyningspolitikken. Det er blevet en topprioritet for både Danmark og Europa at blive uafhængig af russisk gas, der bidrager markant til el- og varmeproduktion i dag.<sup>3</sup> Energi- og forsyningspolitik er tæt forbundet til klimapolitikken, både fordi elproduktion med fossile brændsler udleder CO<sub>2</sub>e, og fordi meget af den grønne omstilling skal ske med øget elektrificering – med strøm fra vedvarende energikilder.

**Grønne fly  
fortrænger ikke  
russisk gas**

Ambitionerne om grønne fly bidrager ikke til fortrængning af russisk naturgas. Da flybrændstof traditionelt er fremstillet af olie, vil en øget produktion af e-kerosen betyde, at der er mindre vedvarende energi til at fortrænge naturgas i elsystemet. Derfor modarbejder ambitionerne om grønne fly målsætningerne om øget uafhængighed af den russiske gas på den korte bane. Udviklingen af grønne flybrændsler er en gradvis proces, og vil derfor flytte strøm fra elforbruget til brændsler mod 2030.<sup>4</sup>

**Grønt jetfuel skal  
laves med brint og  
kulstof****3. Hvad kræver det at fremstille e-kerosen til danske indenrigsfly i 2030?**

E-kerosen fremstilles kort fortalt i to trin: Først fremstilles brinten af vand i en elektrolyseproces, også beskrevet i boks 1. Herefter forædles brinten med CO<sub>2</sub> i det, der kaldes en Fisher-Tropsch proces, hvor brint og CO<sub>2</sub> sættes under et tryk på 20-25 bar og opvarmes til 200-350 °C for at blive omdannet til e-kerosen og andre kulbrinter, jf. DTU (2022).

**E-kerosen skal leve  
op til to krav for at  
være grønt**

For at e-kerosen kan betegnes som klimaneutralt, modsat fossilt flybrændstof, skal to betingelser være opfyldt:

Produktionsanlægget skal drives af strøm fra vedvarende energikilder, som fx sol eller vindenergi.

Den anvendte CO<sub>2</sub> skal være klimaneutral, altså komme fra biogene kilder eller direct air capture (DAC). Se boks 3 for uddybning af klimaneutralt CO<sub>2</sub>.

**Fremstilling af  
e-kerosen kræver  
mange ressourcer**

Det kræver store mængder strøm og CO<sub>2</sub> at fremstille e-kerosen. Jf. DTU (2022) bliver 1 MWh strøm omdannet til 0,22 MWh e-kerosen.<sup>5</sup> Der er altså et markant energitab i processen. Derudover viser egne beregninger baseret på DTU (2022), at der skal bruges 7,4 kg CO<sub>2</sub> til 1 kg e-kerosen.<sup>6</sup> Da biogen CO<sub>2</sub> er en begrænset ressource, kan det blive et problem at skaffe nok CO<sub>2</sub> til at producere e-kerosen i større mængder, se boks 3.<sup>7</sup>

<sup>3</sup> Regeringens udspil *Danmark kan mere II* bærer fx underoverskriften *Uafhængighed af russisk gas. Danmark skal være grønnere og sikrere*. EU-kommissionen kom også med udspillet REPowerEU i marts 2022, der er en plan for, hvordan EU løsriver sig fra russisk gas jf. Regeringen (2022b)

<sup>4</sup> EU har med Europakommissionen (2022) fremlagt en ambition om at være uafhængig af russisk gas i 2027.

<sup>5</sup> Der vil også fremkomme 0,7 MWh benzin og 0,7 MWh lettere brændsler, som fx flaskegas i processen.

<sup>6</sup> Det fremgår af DTU (2022), at der skal bruges 2.580.000 ton CO<sub>2</sub> til at fremstille 348.000 ton e-kerosen.

<sup>7</sup> Det kan virke besynderligt, at der skal bruges 7,4 kg CO<sub>2</sub> til fremstilling af 1 kg e-kerosen. Det skyldes, at Fisher-Tropsch processen ikke kun fremstiller e-kerosen, men også andre kulbrinter, som fx lightergas. Derfor vil ikke alt CO<sub>2</sub> gå direkte til fremstilling af e-kerosen, og derfor kræver det et forholdsvis stort CO<sub>2</sub>-input.

**Boks 3 Hvornår anses CO<sub>2</sub> som klimaneutralt?**

Klimaneutral CO<sub>2</sub> kommer fra biogene ressourcer, fx indfanget CO<sub>2</sub> fra biomasse, eller indfanget direkte fra luften ved hjælp af direct air capture (DAC).

Der udledes CO<sub>2</sub>e, når der afbrændes biomasse som fx træpiller, halm og lign. Alligevel betragtes CO<sub>2</sub> fra biomasse som klimaneutralt, modsat CO<sub>2</sub> fra fossile brændsler som kul og gas. Det skyldes, at biomasse indgår i et kulstofkredsløb. Planter optager CO<sub>2</sub>, når de vokser, som frigives ved forbrænding, uanset om det afbrændes direkte eller bliver omformet til bio- eller syntetiske brændsler. Hvis der er ligevægt mellem, hvor meget der plantes, og hvor meget der afbrændes, argumenteres der for, at biomasse over en årrække er CO<sub>2</sub>e-neutral. Biogen CO<sub>2</sub> anses som en begrænset ressource, fordi det er begrænset hvor meget biomasse, der kan produceres årligt og anvendes til energiproduktion globalt (Klimarådet, 2018).

CO<sub>2</sub> indfanget fra DAC er CO<sub>2</sub>, der allerede findes i atmosfæren. Derfor øger det ikke udledningerne at anvende denne type CO<sub>2</sub> til fx brændsler. Teknologien er dog umoden og kræver derudover en del strøm. Derfor er DAC i stor skala kun en mulig løsning på længere sigt.

Modsat regnes CO<sub>2</sub>e indfanget med CCS på fossile punktkilder, som fx fra fabrikker, ikke som grønt. Derfor kan denne type CO<sub>2</sub> ikke anvendes, hvis brændstoffet skal fremstilles klimaneutralt.

Kilder: Klimarådet (2018), Energistyrelsen (2021b)

**4. Hvad kræver det at nå målsætningen om grønne fly?**

**Indenrigsfly kræver begrænsede mængder e-kerosen**

Det kræver kun begrænsede mængder brændstof at nå 2025- og 2030-målsætningerne om grønne fly. Der skal bruges ca. 53.500 ton e-kerosen for at dække energibehovet i 2030.<sup>8</sup> Ligeledes viser vores beregninger, at der skal bruges knap 2.000 ton e-kerosen til at dække indenrigsruten Aalborg-København i 2025, hvis der er lige så mange flyvninger som i dag, og at de bruger samme brændstofmængde. Det fremgår af tabel 1.

**... og kun en lille mængde strøm og CO<sub>2</sub>**

Fordi der er tale om en begrænset mængde brændstof, er der også kun brug for en relativt begrænset mængde elektricitet til fremstilling, på trods af at energitabet i produktionen er stort. Det vil kræve ca. 4,9 pct. af det samlede forventede elforbrug i 2030 at producere den efterspurgte mængde e-kerosen, jf. tabel 1. Samtidig vil det kræve ca. 400.000 ton CO<sub>2</sub> at producere den nødvendige mængde e-kerosen. Til sammenligning estimerer Energistyrelsen (2021a), at det vil være muligt at indfange 4-7 mio. ton biogen CO<sub>2</sub> i 2030. Energistyrelsen (2021b) vurderer desuden, at det vil være muligt at indfange 0,05-0,5 mio. ton CO<sub>2</sub> med DAC i 2030.

<sup>8</sup> Grunden til, at 53.500 ton flybrændstof, ifølge Energistyrelsen (2022c), kan udlede 170.000 ton CO<sub>2</sub>e er, at flybrændstoffet indeholder Kulstofatomerne (C) og Brintatomer (H). Flybrændstoffet reagerer med ilt (O<sub>2</sub>) i luften under forbrænding og danner kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og vand (H<sub>2</sub>O). Ilt vejer næsten fire gange så meget som kulstof, og vægten bliver derfor markant højere.

**Tabel 1 Forventet efterspørgsel efter e-kerosen i 2030 samt forventet ressourceforbrug**

	2025	2030
<b>Nødvendige ressourcer til produktion af e-kerosen</b>		
Efterspurgt mængde (ton e-kerosen)	1.800	53.500
Nødvendigt elforbrug (TWh)	0,1	3,0
Nødvendig mængde CO <sub>2</sub> (ton)	13.500	396.600
<b>Biprodukter fra produktion af e-kerosen</b>		
Benzin (ton)	600	17.800
Lettere brændsler (ton)	600	17.800
Varme (TWh)	0,04	1,28
<b>Nødvendig kapacitet til produktion af e-kerosen</b>		
Nødvendig kapacitet ved kørsel 100 pct. af tiden (MW)	12	340
Nødvendig kapacitet ved kørsel 50 pct. af tiden (MW)	23	680
Energiforbrug relativt til samlet elproduktion i DK (pct.)	0,2	4,9
Energiforbrug til grøn elproduktion i DK (pct.)	0,3	5,0

Anm.: Brændstofbehovet i 2025 er beregnet ved at antage, at alle DATs flyvninger mellem Aalborg-København (78 flyvninger ugentligt) er med et ATR 72-600 fly, der bruger 454 kg brændstof pr. tur. Brændstofbehovet for 2030 er estimeret ved at omregne den nødvendige brændstofmængde (2,4 PJ) til ton e-kerosen. Vi har ligeledes antaget, at al energien brugt i indenrigsflytransporten kan erstattes af e-kerosen. Vi noterer os, at DAT også bruger andre flytyper til Aalborg-København-ruten. Forventet elproduktion i 2025 og 2030 er baseret på Energistyrelsens Klimastatus- og fremskrivning 2022.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af DTU (2022), Energistyrelsen (2021c), (2022a), (2022b), DATA, DATb.

### Nødvendig kapacitet er inden for rækkevidde

Hvis de eksisterende PtX-planer bliver realiseret, virker det umiddelbart realistisk at fremstille den nødvendige mængde brændstof. Det kræver en minimumskapacitet på 340 MW i 2030. I 2025 er der som minimum brug for knap 12 MW elektrolysekapacitet. For at sætte det i perspektiv, har regeringen, med et bredt flertal i folketinget, vedtaget en ambition om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030, jf. Regeringen (2022a).<sup>9</sup> *Green Fuels for Denmark* alene har ambitioner om en kapacitet på 250 MW i 2025 og 1300 MW i 2030, jf. Ørsted (2022). Det er dog værd at bemærke, at *Green Fuels for Denmark* ikke udelukkende vil lave flybrændstof. De ønsker også at udvikle fx e-metanol til skibstransport. Hvis anlæggene kun kører 50 pct. af tiden, vil det kræve den dobbelte kapacitet. Det fremgår også af Tabel 1.

### Der bør være ressourcer til grønne indenrigsfly

På baggrund af resultaterne i tabel 1 er det umiddelbart muligt at realisere regeringens målsætning om grønne fly i 2030. Med udbygningsplanerne for vedvarende energi i KEFM (2022) bør det være muligt at afsætte den nødvendige elektricitet og biogene CO<sub>2</sub>, der skal understøtte produktionen i så relativt lille en skala. Både strøm og biogen CO<sub>2</sub> forventes dog at være en knap ressource i 2030. Derfor må prioriteringen af grønne fly være en politisk beslutning.

<sup>9</sup>1 GW = 1.000 MW

**Boks 4 Hvor mange havvindmøller skal der til for at producere grønt flybrændstof?**

Vedvarende energi er en forudsætning for, at e-kerosen bliver produceret grønt, og at indenrigs-flyvningerne dermed er grønne.

Hvis Aalborg-København ruten skal flyves udelukkende på e-kerosen i 2025, kræver det som minimum 21 MW havvindkapacitet for at dække efterspørgslen. Det er knap 1,5 havvindmølle med en størrelse på 15 MW, der er den forventede havvindmøllestørrelse i 2025 (Energistyrelsen, 2022d). Skal e-kerosen dække alt energiforbruget for indenrigsfly i 2030, vil det kræve en havvindkapacitet på 620 MW eller 31 havvindmøller på 20 MW, som er den forventede størrelse på havvindmøller i 2030.

Begge estimater er forudsat, at de opsatte havvindmøller udvikler sig som Energistyrelsens teknologikatalog for el- og fjernvarme forudser. Dvs. at hver mølle har en kapacitet på 15 MW og 4.775 fuldlasttimer i 2025 og en kapacitet på 20 MW og 4.800 fuldlasttimer i 2030.

Kriegers Flak, der er den største fungerende havvindmøllepark, der findes i Danmark på nuværende tidspunkt, består af 72 vindmøller og har en kapacitet på 576 MW.

Kilde: Energistyrelsen (2022d), Vattenfall og egne beregninger.

**E-kerosen er en ineffektiv og dyr vej til reduktioner**

**Mål om grønne fly giver store meromkostninger**

**5. Kunne ressourcer til grønt flybrændstof bruges mere effektivt?**

Det betydelige energitab ved produktion af e-kerosen, gør det til en meget ineffektiv måde at reducere Danmarks CO<sub>2</sub>e-udledninger på. Samtidig er omkostningen pr. reduceret ton CO<sub>2</sub> også høj. Vi estimerer, at skyggeprisen er ca. 3.700 kr. pr. reduceret ton CO<sub>2</sub>e, som det også fremgår af tabel 2.

Den høje skyggepris gør, at e-kerosen har en høj samfundsmæssig meromkostning relativt til mange andre initiativer. Klimarådet (2020) vurderer, at den dyreste nødvendige CO<sub>2</sub>e-reduktion for at nå 70 pct. målet i 2030 vil være ca. 1.500 kr. pr. ton. Reduktionerne med e-kerosen er altså ca. 2,5 gange så dyre, som at opnå en tilsvarende reduktion med en afgift. Hvis målsætningen om grønne fly skal realiseres, vil det derfor have en samfundsøkonomisk meromkostning på ca. 370 mio. kroner om året i 2030.<sup>10</sup>

**Boks 5 Skyggepriser**

Skyggeprisen beskriver de samfundsøkonomiske omkostninger ved reduktion af et ton CO<sub>2</sub>e for et givent klimatiltag, fx grønt flybrændstof. Skyggeprisen beregnes ved at udregne tiltagets omkostninger divideret med den reducerede mængde CO<sub>2</sub>e. Skyggeprisen opgøres derfor som DKK pr. reduceret ton CO<sub>2</sub>e.

<sup>10</sup> Skyggeprisen på 3.700 kr./ ton CO<sub>2</sub>e kan også holdes op mod den marginale CO<sub>2</sub>-afgift for den ikke-kvotebelagte sektor i 2030, der bliver på 750 kr. / ton CO<sub>2</sub>e (Finansministeriet, 2022). Dette vil give en ekstraomkostning på ca. 500 mio. kr. årligt (0,17 mio. ton CO<sub>2</sub>e \* (3.700 kr./ton CO<sub>2</sub>e – 750 kr./ton CO<sub>2</sub>e) = 500 mio. kr.). Til sammenligning vurderede Det Økonomiske Råd (2020) i 2020, at 70 pct.-målsætningen kan nås for en samlet meromkostning på 4 mia. kr.



**Flere CO<sub>2</sub>e-  
reduktioner for de  
samme penge**

Besparselsen på de 370 mio. kr. kan fx bruges til at føre en mere ambitiøs klimapolitik ved at øge Danmarks 2030-mål om 70 pct. CO<sub>2</sub>e-reduktion relativt til 1990. Med Klimarådet (2020) bud på en omkostningseffektiv CO<sub>2</sub>e-afgift på 1.500 kr., kunne Danmark nå en CO<sub>2</sub>e-reduktion på 70,3 pct. i stedet for 70,0 ved blot at bruge de 370 mio. kr. på de mest omkostningseffektive reduktioner i stedet for at bruge dem på grønne indenrigsfly. Politikerne står derfor over for et valg om, hvordan pengene skal bruges: Vil de have, at grønne indenrigsfly skal være en del af opfyldelsen af 2030-målet, eller vil de alternativt bruge pengene på at opnå endnu flere reduktioner?

**Tabel 2 Meromkostninger ved reduktioner med e-kerosen**

**Omkostninger ved produktion af e-kerosen**

Beregnete meromkostning for e-kerosen (DKK/GJ)	270
Total meromkostning ved produktion af nødvendig mængde e-kerosen, ift. produktion af fossil kerosen (mio. DKK)	630
Total CO <sub>2</sub> -reduktion, hvis alle indenrigsfly i 2030 bliver grønne (ton CO <sub>2</sub> )	170.000

**Samfundsøkonomiske omkostninger ved reduktion med e-kerosen**

Skyggepris (DKK/ton CO <sub>2</sub> e)	3.700
Samfundsøkonomisk meromkostning (mio. DKK)	370

**Omkostningseffektive CO<sub>2</sub>e-reduktioner**

Mulige ekstra reduktioner ved at droppe ambitionen om grønne fly, og i stedet lave omkostningseffektive reduktioner med en afgift på 1.500 kr. (mio. ton CO <sub>2</sub> e)	0,25
Mulig reduktion i 2030, ved at droppe ambitionen om grønne fly, og i stedet lave en afgift på 1.500 kr. (pct.)	70,3

Anm.: Meromkostningen for e-kerosen i 2030 er beregnet ved at tage omkostninger for e-kerosen i nærmeste fremtid (345 DKK/GJ) fratrukket omkostninger for fossilt jetfuel (103 DKK/GJ) og et tillagt skatteforvriddningstab på 10 pct. af differencen. Herefter er den totale meromkostning ved produktion af e-kerosen til at dække det nødvendige energiforbrug (2,4 PJ) i 2030 beregnet. Skyggeprisen er beregnet ved at dele den totale meromkostning med CO<sub>2</sub>e-reduktionerne ved at omstille alle indenrigsfly i 2030 (170.000 ton CO<sub>2</sub>e). Skyggeprisen er repræsenteret i producentpriser, hvorfor den ikke er forhøjet med nettoafgiftsfaktoren. Den samfundsøkonomiske meromkostning er beregnet ved at fratække Klimarådets estimerede skyggepris (1.500 kr.) fra den estimerede skyggepris for e-kerosen. Herefter er de samlede meromkostninger ved at reducere alle CO<sub>2</sub>e-udledninger estimeret.

Kilde: Kilde: Egne beregninger på baggrund af DTU (2022), Energistyrelsen (2019), (2020), (2021c), (2021d), (2021e), (2022b) og Klimarådet 2020.

**Grøn strøm kan  
bruges mere  
effektivt**

Udover økonomiske meromkostninger, vil den nødvendige strøm til produktion af e-kerosen også kunne bruges på en mere energieffektiv måde relativt til de sparede CO<sub>2</sub>e-udledninger. Det kunne være at erstatte fossil energi direkte i elnettet eller til øget elektrificering andre steder i økonomien, som fx flere elbiler, der er væsentligt mere energieffektive end produktion af e-kerosen, se fx Energistyrelsen (2022c).

**Brint og ammoniak  
kan mindske både  
CO<sub>2</sub> og naturgas**

I stedet for e-kerosen kan der alternativt laves andre PtX-produkter, fx brint og ammoniak, der potentielt kan bidrage mere til den grønne omstilling. Brint og ammoniak bliver i dag primært produceret af naturgas, og udleder markante mængder CO<sub>2</sub> i produktionen. Ifølge DTU (2022) er energitabet markant mindre ved at lave brint og kræver samtidig ikke CO<sub>2</sub>

som input.<sup>11</sup> Klimarådet anbefaler af samme årsag, at PtX-indsatsen prioriteres om kulstof-frie produkter (Klimarådet 2022).

**På kort sigt vil PtX-ikke reducere CO<sub>2</sub> i Danmark**

En stor produktion af PtX-produkter vil sandsynligvis ikke lede til CO<sub>2</sub>e-reduktioner i Danmark på kort sigt. Der er en relativt lille brint- og ammoniak-produktion i Danmark, og der er på nuværende tidspunkt ikke en stor efterspørgsel i transportsektoren, hvor brint og ammoniak forventes at skulle fortrænge fossile brændsler.

## 6. Danmark som foregangsland for e-kerosen

**Der er gode grunde til at udvikle e-kerosen**

Udvikling og opskalering af e-kerosen til indenrigsfly kan være gavnligt for klimaet på længere sigt, også selvom skalaen er lille, og det er relativt omkostningstungt. Først og fremmest er det kun en lille del af det samlede strømforbrug, der skal bruges til at producere e-kerosen og mængderne af biogen CO<sub>2</sub>, der skal anvendes, er ligeledes begrænsede. Der er stadig lang vej igen, før flytransporten kan blive CO<sub>2</sub>e-neutral, og der er behov for at udvikle nye klimaløsninger. En dansk indsats med grønne indenrigsfly skal altså hovedsageligt anses som et forsknings- og udviklingsprojekt.

**Dansk e-kerosen kan bidrage til globale reduktioner**

Lykkes det Danmark at realisere ambitionerne om grønne indenrigsfly, kan det således medvirke til at nedbringe de globale CO<sub>2</sub>e-udledninger. Tages Danmarks størrelse i betragtning, er det samlede bidrag til CO<sub>2</sub>e-reduktionerne forsvindende små i en global skala. Til gengæld kan Danmark bidrage til den teknologiske udvikling, og på den måde gøre omstillingen billigere og nemmere i andre lande.<sup>12</sup> Det er ligeledes i tråd med Klimaloven, at Danmark skal være et foregangsland i den grønne omstilling, jf. Regeringen (2020a).

**Målsætning om fly skaber ekstra udfordringer**

Omvendt betyder ambitionen om grønne flyvninger, at det bliver dyrere at nå målet om 70 pct. reduktion af CO<sub>2</sub>e i 2030. Det er dyrt at reducere i flytransporten relativt til andre sektorer, både i kr. og i elforbrug. Det går til gengæld imod et af Klimalovens bærende principper, nemlig at omstillingen skal være omkostningseffektiv, jf. Regeringen (2020a). Der skal altså gives køb på princippet om omkostningseffektivitet, for at Danmark kan blive et foregangsland i forbindelse med grønne flyvninger.

**Det er risikabelt at investere i et forskningsprojekt**

Der er en del risici forbundet med en satsning på et stort forsknings- og udviklingsprojekt som e-kerosen. Bruges der penge på noget, der ikke allerede eksisterer, er der en vis sandsynlighed for, at det ikke kan realiseres inden for en given tidsramme. Måske bliver det markant dyrere, end hvad der var forventet, eller måske er det svært at skaffe de nødvendige materialer eller kompetencer. Derudover kan andre lande fx opfinde en mere overlegen teknologi og producere e-kerosen eller andre typer grønt brændstof mere effektivt. Der er altså en risiko for at spilde ressourcer på lang sigt, der heller ikke omsættes til særlig meget reduktion af CO<sub>2</sub>e.

**Der er fordele og ulemper ved sats på e-kerosen**

Der er dog et politisk trade-off. På den ene side er omkostningerne til e-kerosen til indenrigsfly lave i det store billede, fordi der er tale om begrænsede mængder, og udviklingen af teknologien kan få gavnlige klimaeffekter. På den anden side er det en dyr og risikabel måde at reducere udledninger på målt ved kr. pr. ton CO<sub>2</sub>e, hvilket går imod klimalovens målsætning om omkostningseffektivitet.<sup>13</sup> Derudover findes der andre klimatiltag, der udover at

<sup>11</sup> 1 MWh strøm bliver til 0,67 MWh brint. Også ammoniak har højere effektivitet, hvor 1 MWh strøm bliver til 0,50 MWh ammoniak. Ammoniak og e-kerosen har dog nogenlunde samme effektivitet, hvis det for begge processer sikres, at den overskudsvarme, der teknisk set kan indfanges og bruges i fx fjernvarmeforsyningen, rent faktisk bliver indfanget.

<sup>12</sup> For en dybere gennemgang af gevinsterne ved at være foregangsland, se Kraka Advisory (2020) kapitel 3.3.

<sup>13</sup> Regeringen (2020): "Indfrielsen af Danmarks klimamål skal ske så omkostningseffektivt som muligt under hensyntagen til både den langsigtede grønne omstilling, bæredygtig erhvervsudvikling og dansk konkurrencekraft, sunde offentlige finanser og beskæftigelse, samt at dansk erhvervsliv skal udvikles og ikke afvikles".

reducere CO<sub>2</sub>e mere effektivt også indirekte kan mindske brugen af naturgas, som ligeledes er et mål for regeringen, jf. Regeringen (2022b).

## 7. Litteraturliste

Biotechnology (2021), *World's first passenger flight with 100% renewable fuel takes off – thanks to biotech*. Lokaliseret via <https://www.bio.org/blogs/worlds-first-passenger-flight-100-renewable-fuel-takes-thanks-biotech> (03/05 2022)

Danish Air Transport (DATA). *I fly green*. Lokaliseret via <https://dat.dk/iflygreen> (24/05 2022)

Danish Air Transport (DATb). *Kapacitet og frekvens*. Lokaliseret via <https://dat.dk/kapacitet-og-frekvens> (24/05 2022)

Danmarks Radio (DR) (2022), *I fremtiden skal flytrafikken være helt grøn – men hvordan bliver den det?* Lokaliseret via <https://www.dr.dk/nyheder/viden/klima/i-fremtiden-skal-flytrafikken-vaere-helt-groen-men-hvordan-bliver-den-det> (03/05 2022)

Det Økonomiske råd (2022). *Kapitel 1 Dansk Klimapolitik frem mod 2030*. Lokaliseret via [https://dors.dk/files/media/rapporter/2020/m20/endelig\\_rapport/m20\\_kapitel\\_i.pdf](https://dors.dk/files/media/rapporter/2020/m20/endelig_rapport/m20_kapitel_i.pdf) (17/06 2022)

DTU (2022), *Overview of the Power-to-X potential and integration within the Danish energy system*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Energistyrelsen (2019). *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner*. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsoekonomiske\\_beregningsforudsætninger\\_for\\_energipriser\\_og\\_emissioner\\_2019.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsoekonomiske_beregningsforudsætninger_for_energipriser_og_emissioner_2019.pdf)

Energistyrelsen (2020). *Brændselspriser til 2020-fremskrivninger* [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/baggrundsnotat\\_-\\_braendelspriser.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/baggrundsnotat_-_braendelspriser.pdf)

Energistyrelsen (2021a). *Punktkilder til CO<sub>2</sub> – potentialer for CCS og CCU*. Lokaliseret via [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/punktkilder\\_til\\_co2\\_potentialer\\_for\\_ccs\\_og\\_ccu.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/punktkilder_til_co2_potentialer_for_ccs_og_ccu.pdf) (04/05 2022)

Energistyrelsen (2021b). *Analyseforudsætninger til Energinet 2021 – Power-to-X (PtX) og Direct Air Capture (DAC)*. Lokaliseret via [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/baggrundsnotat\\_-\\_power-to-x\\_og\\_direct\\_air\\_capture.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/baggrundsnotat_-_power-to-x_og_direct_air_capture.pdf) (04/05 2022)

Energistyrelsen (2021c). *Efterspørgsel efter Power-to-X-produkter*. Lokaliseret via [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/efterspoergsel\\_efter\\_power-to-x-produkter.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/efterspoergsel_efter_power-to-x-produkter.pdf) (24/05 2022)

Energistyrelsen (2021d). *Power-to-X-produkter og konkurrence*. Lokaliseret via [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/power-to-x-produkter\\_og\\_konkurrence\\_0.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/power-to-x-produkter_og_konkurrence_0.pdf), (03/06 2022)

Energistyrelsen (2021e). *Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, juli 2021*. Lokaliseret via [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/vejledning\\_i\\_samfundsoekonomiske\\_analyser\\_paa\\_energiomraadet\\_2021.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/vejledning_i_samfundsoekonomiske_analyser_paa_energiomraadet_2021.pdf) (03/06 2022)

Energistyrelsen (2022a). *Annual and monthly statistics*. Lokaliseret via <https://ens.dk/en/our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/annual-and-monthly-statistics> (03/05 2022).

Energistyrelsen (2022b). *Klimastatus og fremskrivning 2022*. Lokaliseret via <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning-2022> (24/05 2022)

Energistyrelsen (2022c). *Klimastatus og -fremskrivning 2022(KF 22): Transport*. Lokaliseret ia [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf22\\_sektornotat\\_4a\\_transport.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf22_sektornotat_4a_transport.pdf) (03/06 2022).

Energistyrelsen (2022d). *Technology Data Generation of Electricity and District heating*. Lokaliseret via [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_catalogue\\_for\\_el\\_and\\_dh.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_el_and_dh.pdf) (10/06 2022)

Europakommissionen (2021), *REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ensuring a level playing field for sustainable air transport*. Lokaliseret via [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu\\_aviation\\_-\\_sustainable\\_aviation\\_fuels.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf) (03/05 2022)

Europakommissionen (2022). *REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*. Lokaliseret via: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_3131](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131) (03/06 2022)

Finansministeriet (2022). *Grøn skattereform for industri mv*. <https://fm.dk/media/26070/aftale-om-groen-skattereform-for-industri-mv-a.pdf>

International Air Transport Association (IATAa), *What is SAF?* Lokaliseret via <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf> (03/05 2022)

International Air Transport Association (IATAB), *Our Commitment to Fly Net Zero by 2050*. Lokaliseret via <https://www.iata.org/en/programs/environment/flynetzero/> (03/05 2022)

Klima-, Energi og Forsyningsministeriet (KEFM) (2021), *Fremtidens grønne brændsler*. Lokaliseret via <https://kefm.dk/Media/637751860685972853/Fremtidens%20gr%C3%B8nne%20br%C3%A6ndstoffer.pdf> (03/05 2022).

Klima-, Energi og Forsyningsministeriet (KEFM) (2022), *Aftale om et mere grønt og sikkert Danmark*. <https://www.regeringen.dk/nyheder/2022/aftale-om-et-mere-groent-og-sikkert-danmark/#:~:text=De%20danske%20farvande%20har%20potentiale,over%20de%20n%C3%A6ste%208%20%C3%A5r>.

Klimarådet (2018). *Biomassens betydning for grøn omstilling*. Lokaliseret via [https://klima-raadet.dk/sites/default/files/downloads/klimaraadet\\_biomassens\\_rapportno4\\_digi\\_01.pdf](https://klima-raadet.dk/sites/default/files/downloads/klimaraadet_biomassens_rapportno4_digi_01.pdf) (24/05 2022)

Klimarådet (2020). *Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion*. Lokaliseret via <https://klimaraadet.dk/da/rapporter/kendte-veje-og-nye-spor-til-70-procents-reduktion> (24/05 2022)

Regeringen (2022a), *Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer*. Lokaliseret via <https://www.regeringen.dk/media/11146/aftale-om-udvikling-og-fremme-af-brint-og-gronne-braendstoffer.pdf> (03/05 2022)

Regeringen (2022b), *Danmark kan mere II*. Lokaliseret via <https://www.regeringen.dk/aktuelt/publikationer-og-aftaletekster/danmark-kan-mere-ii/> (03/05 2022)

Statsministeriet (2022), *Mette Frederiksens nytårstale 1. januar 2022*. Lokaliseret via <https://www.stm.dk/statsministeren/taler/mette-frederiksens-nytaarstale-1-januar-2022/> (03/05 2022)

Vattenfall. *Energiproduktion i Danmark*. Lokaliseret via <https://group.vattenfall.com/dk/vores-forretning/energiproduktion-i-danmark> (10/06 2022).

Ørsted (2022), *Partnership behind 'Green Fuels for Denmark' accelerates project and investigates production of green jet fuel by 2025*. Lokaliseret via <https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2022/02/20220204476711> (03/05 2022)