

Opdaterede analyser

Aromater i flybrændstof Brancheforeningen Dansk Luftfart

Dato: 23. november 2022

Indhold

1	Formål med aromater i flybrændstof.....	1
2	Regulatoriske krav til indhold af aromater i flybrændstof (standarder, ASTM).....	2
3	Aromater, soddannelse og contrails	2
4	Kan aromatindholdet reduceres/minimeres?.....	3
4.1	Kilder:.....	4

1 Indholdet af aromater i flybrændstof

Aromater forekommer naturligt i fossile brændstoffer og hermed flybrændstof. Aromater har overordnet set et højt energiindhold pr. volumenenhed men dårlige forbrændingsegenskaber, og er dårligt flydende ved lave temperaturer. Flymotorer kræver brændstof med en vis smøreevne til at smøre bevægelige dele i brændstofpumper og "flow control units" og til at sikre tæthed af ventiler. Traditionelle fossile flybrændstoffer har som udgangspunkt en god smøreevne, blandt andet på grund af aromat-indholdet, der dog ikke er ensidigt afgørende for brændstoffets smøreevne (Chevron 2007).

Der er forskellige perspektiver på den praktiske nødvendighed af aromater. Mange moderne flytyper og motortyper er konstrueret med tættnende materialer som ikke kræver aromaters tættnende egenskaber, og der forskes og udvikles løbende på materialerne i motorerne. I praksis varierer aromatindholdet også naturligt i almindeligt jet fuel, og derfor flyves der allerede i nogle tilfælde med et lavt aromatindhold, uden at der er kendskab til det eller opleves ulemper. Der er dog ikke i industrien konsensus omkring nødvendigheden af en nedre grænse for aromatindholdet (CE Delft 2022).

2 Regulatoriske krav til indhold af aromater i flybrændstof (standarder, ASTM)

ASTM D 1655 er den mest anvendte standard for almindeligt jet fuel (turbine fuel), Jet A og Jet A-1. Jet A og JetA1 er de almindeligt anvendte brændstoffer til kommerciel luftfart. ASTM D1655 indeholder et krav om max 25 pct. volumenindhold af aromater (Jet A).

ASTM D7566 er en standard for jet fuel tilsat syntetiske kulbrinter (hydrocarbon). Denne standard anvendes typisk ved iblanding af SAF (Sustainable Aviation Fuels) i traditionelt jet fuel. Standarden sætter et minimums krav om 8 pct. volumenindhold af aromater.

- 1 Der er forskellige bevæggrunde for max. og min. indholdet af aromater i standarderne. Ifølge en hollandsk interviewundersøgelse med deltagelse af industrielle eksperter og repræsentanter fra flybrændstofindustrien, er der bred enighed om nødvendigheden af en øvre grænse af aromater i flybrændstof, da energiindholdet falder, hvis aromatinholdet overstiger 25 pct. volumenindhold. Ifølge undersøgelsen er der ikke helt så klare argumenter for nødvendigheden af en nedre grænse for aromatinholdet på 8 pct. Argumentet bundet historisk set i aromaternes tætnende egenskaber. Som tidligere nævnt er denne funktion dog ikke nødvendigvis altafgørende i nyere motorer. Desuden viser en videnskabelig undersøgelse også, at der i nogle tilfælde allerede flyves (formentlig uvist) med lavere aromatinhold end 8 pct. i traditionelt fossilt flybrændstof. Den hollandske undersøgelse konkluderer, at det er nødvendigt at forske yderligere for at be- eller afkræfte nødvendigheden af en nedre grænse for aromatinholdet i flybrændstof (CE Delft 2022). Aromater, soddannelse og contrails

Udledningen af partikler fra flymotorer påvirker den globale opvarmning i og med, at udledningen af partikler i atmosfæren fører til at vand kondenserer omkring partiklerne og fryser til is. Partikeludledning fra flymotorer fremmer derfor dannelsen af contrails, dvs. dannelsen af iskrystaller i atmosfæren fra flymotorer. Contrails reflekterende egenskaber - radiative forcing – betyder at varme reflekteres tilbage mod jorden og contrails virker derfor direkte forstærkende på drivhuseffekten.

Contrails er en større bidragsyder til global opvarmning end selve udledningen af CO₂ og NO_x fra flybrændstof. Der til er contrails kortlivede, hvilket betyder, at en indsats for at reducere contrails vil have en umiddelbart effekt på global opvarmning. Contrails har en regional påvirkning, hvor koncentrationen af flyruter og dermed contrails er højest.

Brændstofsammensætningen har en betydning for partikeludledningen fra fly. Brændstoffer med et højt indhold af aromater, herunder især naftalin, fører til højere soddannelse i flymotorer.

Flere studier påpeger, at brændstoffer med lavt aromatinhold reducerer dannelsen af contrails. Et studie viser fx, at afbrænding af lav-aromatisk SAF kan resultere i 50-70 pct. reduktion i koncentrationen af sod og ispartikler og en reduktion i størrelsen af iskrystaller. De to typer SAF, der ligger til grund for resultaterne, har et volumenindhold af aromater på hhv. 8,5 og 9,5 pct. Studiet påpeger, at en reduktion i aromatinholdet altså kan bidrage til at reducere flytransportens indvirkning på den globale opvarmning (Voigt et al 2021).

Dog er brændstofsammensætningen ikke den eneste faktor med indflydelse på partikeludledningen. Andre tiltag kan formentlig også begrænse partikeludledningen fra fly. Nyere flymotorer har typisk en mere ren forbrænding pga. en bedre ilttilførsel og derfor også en mindre partikeludledning end ældre motorer (Chevron 2017). NIRAS har ikke fundet kvantificeringer af, hvordan nyere motortyper indvirker på partikeludledningen, eller antagelser omkring, hvor meget flymotorer kan udvikles yderligere mhp. at reducere partikeludledningen. Der er der flere eksempler på

igangværende forskning i at fremme renere forbrænding i flymotorer, eksempelvis det spanske projekt ESTiMatE, finansieret af EU-Kommissionens Clean Sky 2¹.

3 Kan aromatindholdet reduceres/minimeres?

Reduktion af aromater i fossilt jet fuel

Overordnet set kan indholdet af aromater i traditionelt fossilt jet fuel reduceres gennem to forskellige tilgange: 1) Kemisk omdannelse af aromater til andre stoffer gennem fx hydrogenering, 2) Aromaterne separeres fra brændstoffet gennem ekstraktiv destillation. De nævnte teknologier er efter sigende modne og forhindrer ikke, at flybrændstoffet lever op til ASTM-standarder (CE Delft 2007). Der er dog økonomiske barrierer for at anvende teknologierne, fx vil hydrogenering medføre en meromkostning på jet fuel.

CE Delft, et hollandsk konsulentbureau har estimeret meromkostningerne ved hydrogenering af fossilt jetfuel, jf. nedenstående tabel. Tallene er blandt andet baseret på energipriser for 2019, hvilket formentlig gør omkostningerne lidt højere i dag. Rapporten har ikke oplysninger om meromkostninger for ekstrativ destillation.

Tabel 3.1: Gennemsnitlig meromkostning ved hydrogenering af jetfuel, kilde: CE Delft: Potential for reducing aviation non-CO2 emissions through cleaner jet fuel" (2022)

Table 8 - Average additional costs of primary energy for the hydrotreated aviation fuel

	Hydrotreated Jet A-1
Natural gas (€/ton kerosene)	10
Power from grid (€/ton kerosene)	0.92
Elemental Sulphur (€/tonne kerosene)	-0.46
Total cost (€/ton kerosene)	10
Total cost (€-cents/litre kerosene)	0.823

Note: According to IATA³⁰, the average kerosene price in 2021 amounted to USD 610 per tonne, which equates to EUR 540 per tonne.

Omkostningerne er et udtryk for et teoretisk beregnet niveau. Det vil kræve nærmere undersøgelser at komme prisen nærmere, fx gennem dialog med Drivkraft Danmark.

Aromatindhold i SAF

De fleste bæredygtige flybrændstoffer indeholder ikke aromater. Det mest almindelige industrielt producerede SAF, HEFA19 (Hydrotreated Esters and Fatty Acids), indeholder ikke aromater, fordi det er produceret ved hydrogenering. Derfor har kommercielt tilgængelige SAF jet fuel blandinger typisk et lavere aromat-indhold end konventionelt jet fuel. SAF anvendes i dag ved iblanding i traditionelt flybrændstof for at leve op til gældende standarder.

Nogle SAF-typer medfører en vis dannelse af aromater i produktionsprocessen, se bla. tabellen nedenfor. Det medfører naturligvis de førnævnte ulemper ved forbrænding af aromater, men kan også have fordele i at møde minimumskravene til aromatindhold i gældende standarder.

¹ <https://www.aero-mag.com/helping-the-aviation-industry-design-cleaner-aero-engines>

Nedenfor oplistes metoder til produktion af SAF, hvoraf de fleste er på udviklingsstadiet:

Tabel 3.2: Mest almindelige SAF - Kilde: EASA

Sustainable Aviation Fuel	Kort beskrivelse
Hydroprocessed Esters and Fatty Acids HEFA	Biobaseret brændstof produceret på fedtholdige affaldsprodukter (ex. vegetabilsk olie, animalsk fedt) og olieholdige planter gennem hydrogenering. Pt. det eneste kommercielt anvendte SAF.
Alcohols to Jet, AtJ	Biobaseret brændstof baseret på fermentering af lignocelluloseholdig biomasse (restprodukter fra landbrugs- og skovdrift) og stivelsesholdige afgrøder (ex. sukkerrør og hvede). Nogle produktionsveje medfører dannelse af aromater.
Biomass Gasification + Fischer-Tropsch (Gas+FT)	Syntesegas produceres gennem forgasning af biomasse og processes efterfølgende til flydende brændstof i en Fischer-Topsch reaktor. Samme biomassetyper kan anvendes som for AtJ, og derudover også fx biogene affaldsfraktioner
Power-to-Liquid (PtL)	Brændstof produceret gennem elektrolyse, hvorigennem der produceres hydrogen, der efterfølgende syntetiseres med CO ₂ til syntesegas. Processes efterfølgende til flydende brændstof i en Fischer-Topsch reaktor.

Aromatindholdet i SAF-blandinger vil variere med iblandingsforhold, indholdet af aromater i det fossile brændstof og indholdet af aromater i SAF-brændstoffet. Heraf kan indholdet af aromater i det fossile brændstof variere betragteligt (CE Delft, 2022). Det vil kræve nærmere drøftelser med Drivkraft Danmark om teknisk mulige niveauer for aromatindhold i iblandinger af SAF.

3.1 Kilder:

Bräuner et al (2021): *Reduced ice number concentrations in contrails from low aromatic biofuel blends* (<https://acp.copernicus.org/preprints/acp-2021-582/acp-2021-582.pdf>)

CE Delft (2022): *Potential for reducing aviation non CO₂-emissions through cleaner jet fuel* (<https://cedelft.eu/publications/potential-for-reducing-aviation-non-co2-emissions-through-cleaner-jet-fuel/>)

Chevron (2007): *Aviation Fuels, Technical Review* (<https://www.chevron.com/-/media/chevron/operations/documents/aviation-tech-review.pdf>)

EASA (2022): *What are sustainable jet fuels?* (<https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/what-are-sustainable-aviation-fuels>)

Voigt et al (2021): *Cleaner burning aviation fuels can reduce contrail cloudiness* (<https://www.nature.com/articles/s43247-021-00174-y>)