



KRAFTIG TURBULENS PÅ FLYVETUREN - en oplevelse for livet!

Har man oplevet kraftig turbulens på en flyvetur, er det næppe noget, man glemmer. I denne artikel går meteorolog Jesper Eriksen på jagt efter en forklaring på, hvad der forårsagede den kraftige turbulens, der i november måned 2024 fik et SAS-fly til at afbryde en tur til Miami.

De fleste mennesker, der har rejst med fly, har oplevet fænomenet turbulens, hvor flyet ryster og falder eller stiger brat. I de fleste tilfælde er det ikke så voldsomt, men hvis man har oplevet en episode med meget kraftig turbulens, er det noget, man husker for livet. Her kan man bogstaveligt talt blive kastet rundt, hvis man ikke er spændt fast og i værste fald komme voldsomt til skade. Selvfølgelig kan flyet også få strukturelle skader ved en sådan omgang, og derfor foreskriver procedurerne, at et fly skal igennem et sikkerhedstjek efter sådan en omgang, før det igen må gå på vingerne.

I denne lille artikel vil jeg se nærmere på fænomenet turbulens i forhold til flyvning med udgangspunkt i en konkret hændelse den 14. november 2024, hvor et SAS-fly med 254 passagerer på vej fra Stockholm til Miami stødte på

kraftig turbulens ud for Sydøstgrønland. Flyet måtte efter mere end 5 timers flyvning vende om med de chokerede passagerer og lande til et sikkerhedstjek i København.

Turbulens og jetstrømme

Det er faktisk svært at give et kort og præcist svar på, hvad turbulens er. Men man kan groft sagt sige, at en turbulent luftstrøm er præget af ubalance, og som et resultat heraf hurtige udsving i vindens styrke i både tid og rum. I en turbulent luftstrøm opstår der derfor hvirvler af forskellige størrelser, hvor den enkelte hvirvel har en ret kort levetid. De mindre hvirvler tager energien fra de større hvirvler. Energien bevares i denne proces, men den nedskaleres, kan man sige.

Højt oppe i atmosfæren i 10 km's højde eller mere, hvor de store industrielle flyvninger foregår, undtagen når flyet skal lette og lande, er det angiveligt hvirvler med stør-

relser på mellem 100 m til flere km, der udgør en potentiel fare.

I atmosfæren findes der såkaldte jetstrømme, der er afgrænsede områder, hvor luften bevæger sig med meget høje vindstyrker – undertiden kan de komme op på 3-4 gange stormstyrke. Jetstrømmen befinder sig typisk i 8-13 km's højde, og der kan optræde hvirvler tæt på jetstrømmen, fordi vinden hurtigt ændrer styrke indenfor kort afstand. Disse hvirvler er usynlige for det blotte øje, da der i denne højde ikke er noget materiale de turbulente hvirvler kan snurre rundt med og dermed afsløre deres tilstedeværelse.

Hvordan opleves turbulens?

Turbulens inden for flyvning opdeles normalt i 3 kategorier, let, moderat og kraftig. Men der findes faktisk endnu en kategori nemlig ekstrem turbulens. Mens let turbulens højst kan føles lidt generende, slynges



Forfatteren

Jesper Eriksen er uddannet meteorolog fra Københavns Universitet og DMI og arbejder til daglig som meteorolog på DMI. Betragtningerne i denne artikel er dog forfatterens egne. je@DMI.dk

alle løse genstande – og mennesker – rundt ved kraftig og ekstrem turbulens (se tabel).

En vigtig pointe er, at turbulensens styrke afhænger af flytypen og den hastighed, som flyet bevæger sig med. Set fra piloternes synspunkt opleves turbulens som en ikke planlagt og hurtig ændring af flyvehøjden, der både går op og ned. Hastighedsændringen (accelerationen) ved kraftig turbulens svarer til en påvirkning på mere end 1 g (dvs. 9,81 m/s²), og flyet vil kortvarigt være ude af kontrol. Det kan som minimum sammenlignes med en tur i det Gyldne Tårn i Tivoli, hvor man på få sekunder oplever et fald på 55 m.





Piloter prøver selvfølgelig at undgå områder med kraftig turbulens, som i for eksempel en tordenbyge. Men turbulens i højderne omkring jetstrømmen er, i modsætning en meget synlig tordenbyge, ekstremt vanskeligt at forudsige og opdage i tide.

Vender vi tilbage til episoden den 14. november 2024, så viser flykort fra det pågældende tidsrum to grene af jetstrømmen med op til 2-3 gange stormstyrke mellem Island og Østgrønland. Omkring disse to grene af jetstrømmen indikeres der risiko for moderat turbulens indenfor et større område i højder fra cirka 8,3-14 km's højde (i flyjargon angives dette i fod, dvs. 25.000-42.000 fod) og stedvis kraftig turbulens indenfor et lidt mere afgrænset område i højden fra cirka 8,3-12,7 km's højde.

En pilot, der skulle over Grønland på en tur fra Stockholm til Miami, ville derfor være advaret om, at flyet skulle igennem jetstrømme med risiko for moderat turbulens og stedvis kraftig turbulens. Det er nok meget normalt med den slags advarsler på en så lang rute, men i langt de fleste tilfælde slipper flyet for at møde alvorlig turbulens. Men var der også andre fænomener end turbulens i forbindelse med jetstrømmen i spil den dag?



Illustration: Shutterstock

Intensitet	Påvirkning	Oplevelse i flyet
 Let turbulens	Man kan opleve en let belastning af sikkerhedsseler eller skulderstropper. Usikrede genstande kan forskydes lidt.	Madserving kan udføres, og der opstår kun få eller ingen problemer, når man går.
 Moderat turbulens	Man oplever en tydelig belastning af sikkerhedsseler eller skulderstropper. Usikrede genstande løsnes.	Madservice og gåture er vanskelige.
 Kraftig turbulens	Man tvinges voldsomt mod sikkerhedsseler eller skulderstropper. Usikrede genstande bliver slynget rundt. Flyet er kortvarigt (få sekunder) ude af kontrol.	Madservice og gåture er umulige.
 Ekstrem turbulens	Endnu mere kaotiske tilstande med et fly i naturens vold. Det anbefales at lande hurtigt efter, da flyet kan have fået skader.	Evt. panik blandt passagerne og passagerer kan komme til skade.

Tabel over de forskellige grader af turbulens med en beskrivelse af deres konsekvenser. De meteorologiske symboler for de forskellige styrker af turbulens er angivet. Graderne er forfatterens oversættelse til dansk fra de engelske: Light, Moderate, Severe, Extreme. Kilde: www.weather.gov

Bjergbølger kan have spillet en rolle

Her kommer et fænomen kaldet "bjergbølger" ind i billedet. Sådanne bjergbølger opstår undertiden omkring de grønlandske fjerde, og de dannes især, når en kraftig vind rammer næsten vinkelret på en bjergkæde, og den tilhørende luftmasse bevæger sig over bjergene. Bjergbølgerne er ikke i sig selv turbulente, idet luften bevæger sig udramatisk op og ned. Men i lav højde kan afledte effekter af dem give anledning til turbulens af moderat til kraftig styrke, ligesom de i den sidste fase af deres livscyklus kan give kraftig turbulens, når de bryder i lighed med bølger på stranden.

Normalt er bjergbølger ikke farlige for fly i 10-12 km's højde, men under særlige meteorologiske forhold kan bjergbølgerne dog brede sig helt op til disse højder. Når bølger af denne type bryder op og bliver ustabile, kan de give anledning til kraftig turbulens og endda ekstrem turbulens, selv i 10-12 km's højde.

Spørgsmålet er, om der var særlige meteorologiske forhold den pågældende dag?

Teorien bag bjergbølger foreskriver, at når de har mulighed for at brede sig vertikalt, vil man se kraftige vinde ved overfladen i kystzonen tæt ved bjergene. Det var i høj grad

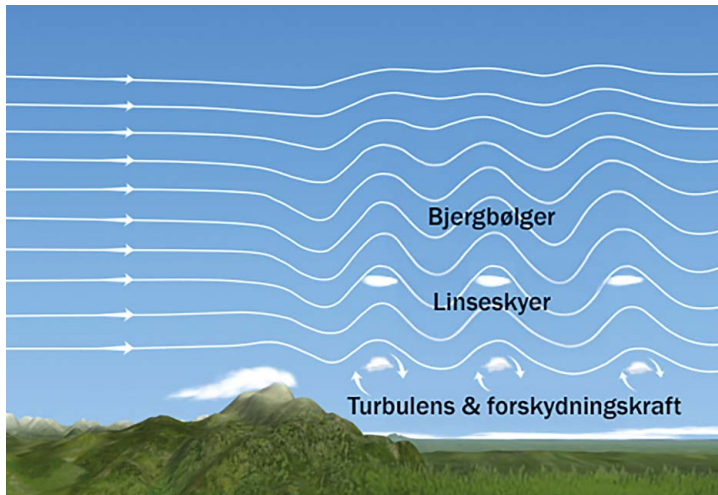


Illustration af strømningsmønstret ved bjergbølger. Disse giver anledning til, at der dannes karakteristiske skytyper kaldet linseskyer ved toppen af bølgen. Derudover fremgår det at hvirvlerne med turbulens forekommer under selve bjergbølgen. Illustration efter D.R.Duran and J.B.Klemp, 1983/The COMET Program/eutrain.org

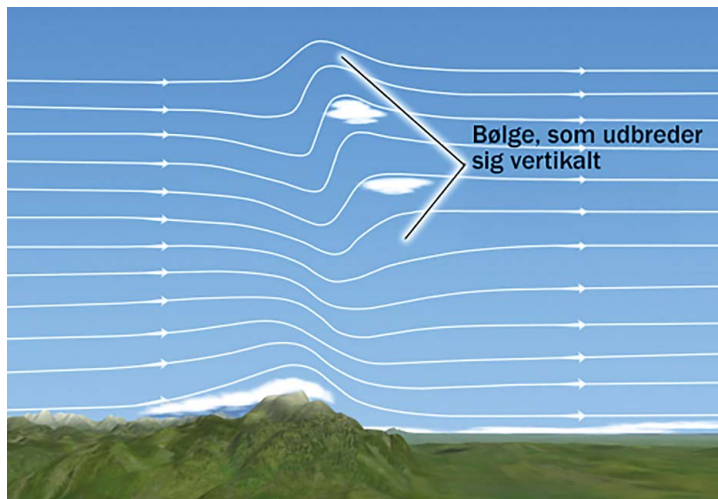


Illustration af en situation, hvor vejrforholdene medfører, at bjergbølgerne breder sig opad i atmosfæren. Man ser stadigvæk linseskyer omkring bølgens top. Illustration efter D.R.Duran and J.B.Klemp, 1983/The COMET Program/eutrain.org

turbulens, der nok vil være usynlig, men piloterne har muligvis kun se skyer af en bestemt type kaldet linseskyer tæt på.

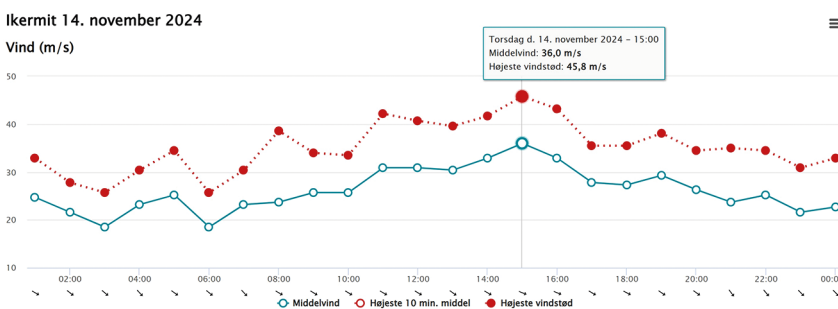
Gennem meteorologer fra Island har jeg fået et satellitbillede (Figur 9) fra den 14. november meget tæt på det tidspunkt, hvor flyet mødte den kraftige turbulens. Ved kysten ud for Sydøstgrønland ses nogle hvide skyformationer netop i det område, hvor flyet stødte på den kraftige turbulens. Jeg tolker disse skyer som bjergbølger med vertikalt vokseværk, derudover ser man en afstand mellem skyerne og selve bjergene inde ved kysten. Teorien for bjergbølger indebærer, at når man ser denne form for barrierer, før bjergbølgen dannes, kan afledte effekter af bjergbølgen give farlig turbulens.

Hold sikkerhedsselen spændt under flyveturen

Der forskes meget i at blive bedre til at forudsige kraftig turbulens i de høje højder som de industrielle fly rejser i. Der er endnu ikke udviklet et perfekt produkt. Men der er for nyligt udviklet et nyt turbulensindeks, kaldet Eddy Dissipation Rate (EDR), der på dansk kan oversættes til "hvirvel-nedskalings-hastighed". EDR udregnet med forskellige vejrmodeller havde faktisk advaret om, at der kunne forekomme kraftig turbulens højt over fjeldene ved Sydøstgrønland den 14. november.

Årsagen til, at SAS-flyet stødte på kraftig turbulens den 14. november, kan altså efter min mening være kraftige bjergbølger, der forplantede sig vertikalt og brød op, måske kombineret med en effekt fra en jetstrøm i området.

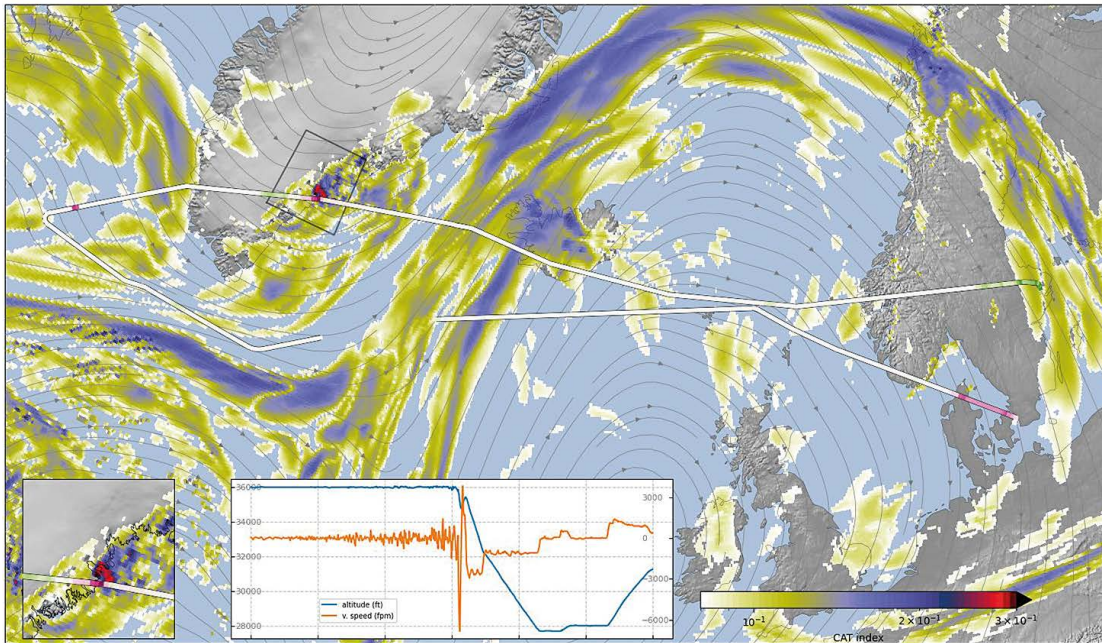
På mange lange flyvninger, for eksempel fra Europa til USA, er piloterne nødt til at krydse en eller flere jetstrømme og af og til bevæge sig over bjerge, hvor der kan forekomme bjergbølger, der på et tidspunkt vil bryde og en kort overgang give farlig turbulens. Det er fortsat meget vanskeligt at forudsige turbulensen omkring jetstrøm-



Målinger af middelvinden og vindstød ved DMI's vejrstation Ikermit, der er placeret et ubeboet sted ved kysten af Sydøstgrønland. Det blev målt 36 m/s i middelvind, orkan starter ved 32,6 m/s. Kilde dmi.dk

tilfældet den 14. november 2024, hvor en af DMI's vejrstationer et øde sted i Sydøstgrønland målte vinde langt over orkanstyrke fra en retning der var stort vinkelret på bjergene. Når en bjergbølge breder

sig vertikalt, kommer bølgeenergien med, og teorien foreskriver, at når/hvis en bølge brydes, bliver energien nedskaleres i turbulente hvirvler i et koncentreret område tæt på selve bølgen. Det kan føre til kraftig



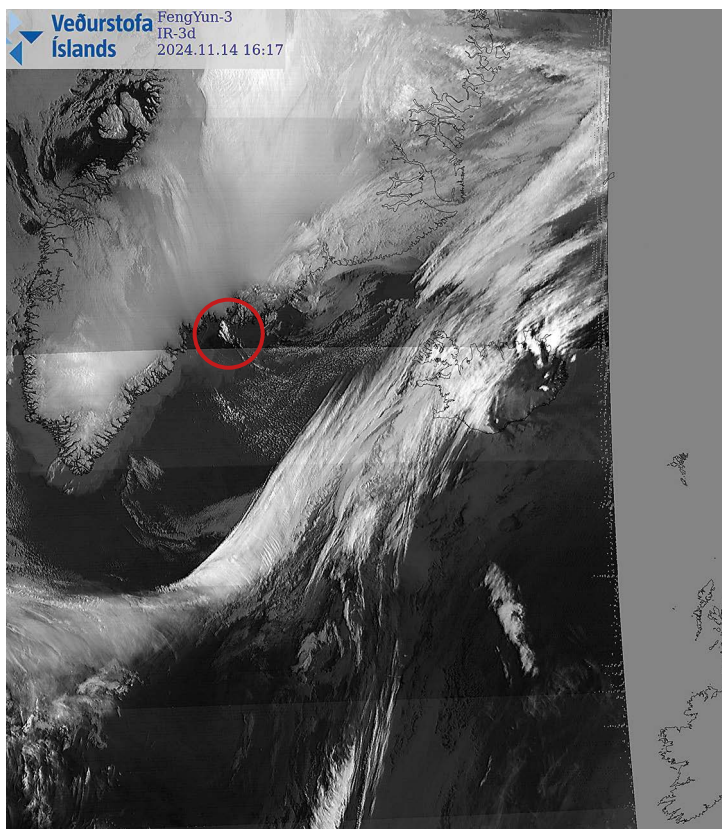
Kortet viser en prognose gældende for kl. 16 UTC (det tidspunkt SAS-flyet ramte kraftig turbulens) lavet med et nyt turbulensindeks fra den fælleseuropæiske vejrmødel IFS, overlagt med SAS-flyets rute (den hvide tykke streg). Det fremgår, at turbulensindekset advarer om fare for turbulens af alvorlig styrke omkring fjeldene ud for Sydøstgrønland.

Der er zoomet ind på det område omkring Sydøstgrønland, hvor flyveren mødte den kraftige turbulens. Derudover er der grafer med flyverens ændring af højde og den lodrette hastighedskomponent som funktion af tiden. Turbulensen afslører sig som en ekstremt hurtig ændring af højde, hvorefter piloterne selv vil ændre flyverens højde i et håb om at komme ud af hvirvlen med den kraftige turbulens. Kilde Guido Cioni.

me, og hvornår disse bjergbølger brydes.

Det betyder dog ikke nødvendigvis, at de meteorologiske forudsigelser for "High Level Turbulence" tit er dårlige. Man bør nemlig huske på, at turbulens optræder som mindre hvirvler med en ret kort levetid, og at risikoen for et møde med disse hvirvler i et større område, hvor der er forudsagt moderat til kraftig turbulens, er ret lille. Når et fly endeligt møder kraftig turbulens, advares andre fly, og de holder sig væk fra området i en periode.

Mødet med kraftig turbulens huskes for livet. Min fornemmelse er, at piloterne deler erfaringerne med andre, efter de er landet, og der oftest kommer forøget fokus på turbulens herefter. Selv fløj jeg til Wien kort efter hændelsen den 14. november, og her blev der sagt over højtaleren, at man anbefalede brug af sikkerhedssele under hele flyturen, da kraftig turbulens var vanskelig at forudsige. ■



Et satellitbillede gældende for den 14. november kl. 16.17 UTC. Man ser nogle hvide skyformationer lige ud for kysten i den sydøstlige del af Grønland (rød cirkel). Det er antageligt bjergbølger, der har bredt sig opad i atmosfæren.

Kilde: Den kinesiske satellit FengYung-3.

Kilder:

Artiklen er en redigeret udgave af artiklen Fangeleg med grønlandske bjergbølger, oprindelig bragt i (eller skrevet til) Dansk Meteorologisk Selskab tidsskrift *Vejret*.

www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2021/20117-forecasting-clear-air-turbulence.pdf

www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/turbulence_stuff/turbulence/turbulence.htm

resources.eumetrain.org/data/3/304/print_2.htm

turbli.com/blog/a-turbulent-world-mountain-waves/

resources.eumetrain.org/data/4/452/print_4.htm

www.fliightradar24.com/blog/sas-severe-turbulence-engine-shutdown/