

Orientering om kosmisk stråling

Kosmisk stråling er meget gennemtrængende stråling, som hovedsagelig stammer fra solen og vores galakse. På grund af atmosfærens skærmende virkning er strålingen ved havets overflade mange gange lavere end i atmosfærens øvre lag. Som følge af Jordens magnetfelt varierer strålingsintensiteten alt efter afstanden til polerne. Flyvehøjde og afstand til polerne har derfor betydning for stråleudsættelsen af flybesætninger og hyppigt flyvende passagerer.

Sundhedsstyrelsen, Strålebeskyttelse (SIS) registrerer danske flybesætningers beregnede doser og rådgiver om stråleudsættelse i forbindelse med flyrejser. Doser til flybesætninger, der arbejder for danske flyselskaber, er væsentligt under dosisgrænsen for arbejdstagere.¹ Det vurderes, at doser til hyppigt flyvende passagerer i meget sjældne tilfælde kan være på samme niveau som flybesætningers.

Hvad er kosmisk stråling?

Kosmisk stråling består primært af elektrisk ladede partikler som elektroner, protoner og lette ioner med høj energi, der rammer Jorden fra verdensrummet. Jordens atmosfære svækker den kosmiske stråling. Intensiteten af den kosmiske stråling afhænger derfor af højden over havets overflade. Jo højere oppe i atmosfæren, jo stærkere kosmiske stråling. Den kosmiske stråling afbøjes desuden af Jordens magnetfelt der har en skærmende virkning. Magnetfeltets skærmende effekt er stærkest ved ækvator og svagest ved polerne. Intensiteten af den kosmiske stråling er derfor større ved polerne end ved ækvator.

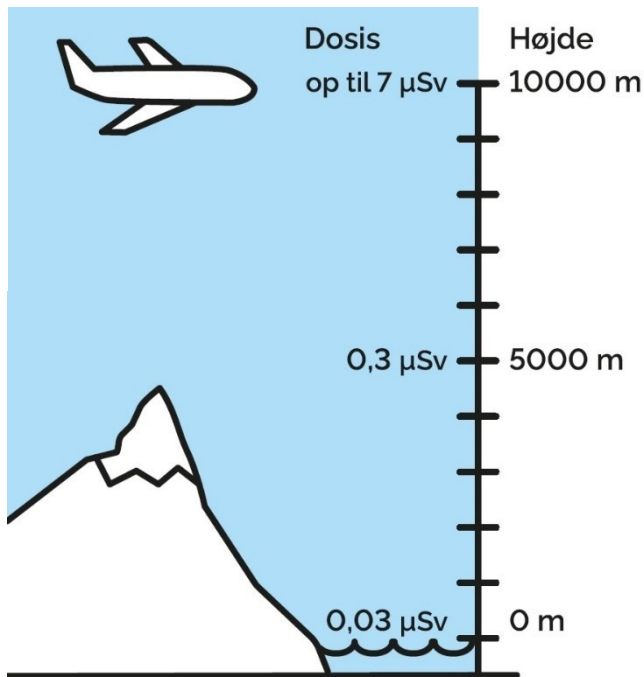
Udsættelse for kosmisk stråling under flyvning

Under flyvning får man en større dosis fra den kosmiske stråling, end man får, når man opholder sig ved havoverfladen. I flyvehøjder på 10 til 12 km kan intensiteten af den kosmiske stråling være 50-400 gange større end ved havoverfladen. På danske breddegrader modtager en person en dosis på gennemsnitligt 0,3 mSv årligt fra kosmisk stråling.² Figur 1 viser de omtrentlige doser, som personer vil få ved ophold i en time i forskellige højder over havoverfladen.

¹ Bek. nr. 669/2019, bilag 1.

² Dosis, der er et mål for virkningen af den energi strålingen afsætter i kroppen, angives i enheden millisievert (mSv).

Figur 1.
Doser ved 1 times ophold
i forskellige højder over
havet
(1 μSv = 0,001 mSv).
Illustration: Signe
Wassard

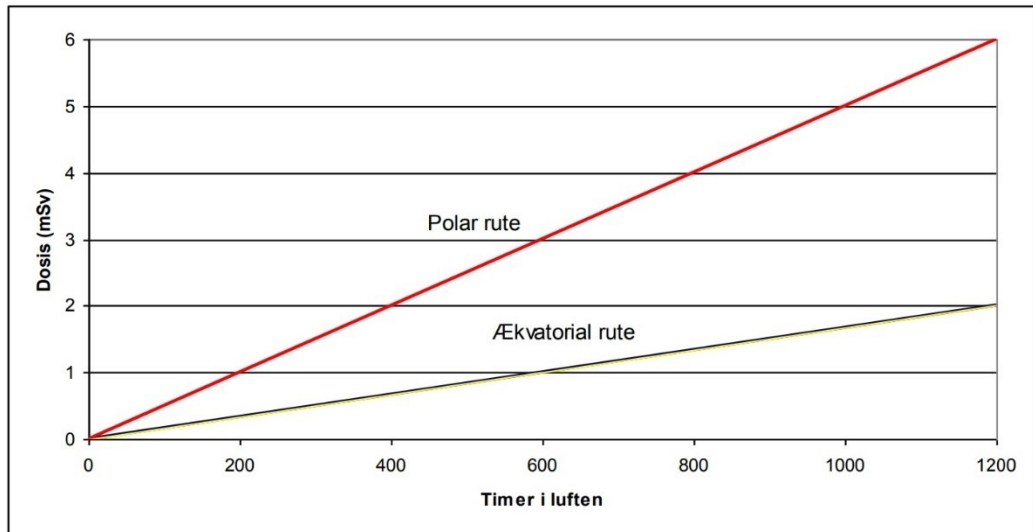


Da dosisbidraget fra den kosmiske stråling øges med stigende breddegrad (afstanden til ækvator), har flyveruten også indflydelse på den samlede dosis, der modtages ved en flyrejse. Hvis ruten passerer over polare egne, vil man modtage en større dosis, end hvis ruten går over områder nær ækvator.

På flyvninger af samme varighed giver en rute hen over et polarområde (for eksempel Danmark – Nordamerika) ca. dobbelt så høj dosis som en rute tættere på ækvator til sydlige breddegrader (for eksempel Danmark – Thailand). Som flypassager eller besætning kan man kun nedsætte bidraget fra den kosmiske stråling ved at reducere antallet af flyvninger og forsøge at undgå flyruter over polerne.

Figur 2 viser hvor store doser man kan modtage ved flyvning på ruter nær polerne og ækvator som funktion af tid. Det fremgår at på flyruter nær ækvator skal man opholde sig i luften i omtrent 600 timer for at få en dosis på 1 mSv, mens den samme dosis opnås i løbet af omkring 200 timer ved flyvninger i polare egne. Det årlige dosisbidrag fra den samlede baggrundsstråling er i Danmark 3 mSv.

Figur 2.
Doser på ækvatoriale og polare flyveruter i 9.000 m højde som funktion af tid. Baseret på Den Europæiske kommissions rapport RP156 (2009), figur 4, s. 16.



Dosis til en gennemsnitsdansker

Hver dansker modtager i gennemsnit en dosis på 4 mSv om året. En fjerdedel heraf (1 mSv) kommer fra menneskeskabt stråling og stammer hovedsageligt fra den medicinske brug af stråling til undersøgelser af patienter. Tre fjerdedele kommer fra naturligt forekommende stråling i form af kosmisk stråling fra verdensrummet, radioaktive stoffer i jord, byggematerialer og fødevarer samt radon i boliger. Sidstnævnte tegner sig for halvdelen af den gennemsnitlige årlige dosis.

Det skal fremhæves, at den gennemsnitlige dosis fra radon og medicinske undersøgelser dækker over store individuelle forskelle afhængig af den enkelte persons boligforhold og helbredsmæssige forhold. De øvrige komponenter er meget ensartede for hele befolkningen.³

Doser ved flyvning

Med avancerede computermødeler kan de forventede doser for forskellige flyveruter beregnes. Eksempler på typiske doser, beregnet for flyveruter med udgangspunkt i København, fremgår af tabel 1. Beregningerne er baseret på beregningsprogrammet EPCARD,⁴ som er frit tilgængeligt på internettet og kun kræver viden om udgangspunkt og slutdestination samt flyvetid.

³ Stråling – en del af din hverdag. Information om ioniserende stråling. Sundhedsstyrelsen, 2024

⁴ <https://www.helmholtz-munich.de/en/epcardnet>

Doser til flybesætninger

Danske flybesætningers udsættelse for kosmisk stråling kontrolleres ved hjælp af dosisberegninger udført med software, som det omtalt ovenfor. Flyselskabets metode og valg af dosisberegningsprogram skal være godkendt af SIS.⁵ Flybesætningernes ruteplaner skal desuden sammensættes på en sådan måde, at doserne bliver så lave som rimeligt opnåeligt.^{6,7}

Gravide besætningsmedlemmer skal oplyse om graviditet til arbejdsgiveren så tidligt som muligt⁸, og den gravides arbejdsplaner skal efterfølgende tilpasses, så den samlede årlige stråleudsættelse ikke overskrider 1 mSv.⁹

Omkring 4.000 besætningsmedlemmers beregnede doser indberettes årligt til SIS. Den gennemsnitlige dosis er normalt under 2 mSv om året, og doser på mere end 6 mSv om året, svarende til ca. 50 årlige returflyvninger København – Tokyo, er sjældne.

Tabel 1.
Typiske doser for flyvninger fra København, beregnet med EPCARD ved en antaget flyvehøjde på 10.000 m.

Flyverute	Flyvetid (timer)	Typisk dosis (mSv)
København - London	2	0,01
København – New York*	7	0,05
København – Cairo**	5	0,02
København – Tokyo*	12	0,06
København – Bangkok**	11	0,04

* polnær rute

**ækvatorial rute

⁵ Bek. nr. 669/2019, § 101, stk. 3.

⁶ Bek. nr. 669/2019, § 18.

⁷ Bek. nr. 157/2018, § 9, stk. 6, pkt. 2.

⁸ Bek. nr. 669/2019, § 45 pkt. 6.

⁹ Bek. nr. 669/2019, §§ 24.

Hyppigt flyvende passagerer (frequent flyers)

Flypassagerer modtager samme strålingsdosis som de flybesætningsmedlemmer de rejser sammen med. Rejsende, der flyver hyppigt vil derfor på et år kunne modtage doser på størrelse med de doser, som flybesætninger modtager. Der er ikke krav om dosiskontrol af passagerer, ej heller dem, der flyver hyppigt. Det vurderes, at doserne til hyppigt flyvende passagerer kun i ganske få tilfælde vil kunne overstige 6 mSv om året. Der vurderes usandsynligt, at en gravid passager rejser med fly hyppigt nok til at kunne medføre en dosis til fosteret, der overstiger 1 mSv.

Der er international enighed om, at den risiko, der er forbundet med det ekstra dosisbidrag fra den kosmiske stråling, hyppigt flyvende kan modtage, er så lille, at der ikke er grund til at indføre regler for denne gruppe, herunder lovpligtig dosisovervågning af hyppigt flyvende passagerer, herunder gravide passagerer. Det vurderes derimod væsentligt, at strålebeskyttelsesmyndighederne stiller information til rådighed for denne type passagerer.

Spørgsmål i forbindelse med stråleudsættelse under flyvning, herunder specifikke spørgsmål fra hyppigt flyvende, kan rettes til SIS, www.sis.dk.

Regler for flybesætninger

De nordiske strålebeskyttelsesmyndigheder og de nordiske luftfartsmyndigheder for civil flyvning har i fællesskab udarbejdet regelsæt for flybesætningers udsættelse for kosmisk stråling, der gennemfører EU's strålebeskyttelsesdirektiv.¹⁰ Trafikstyrelsen implementerede i 2018 regelsættet i samarbejde med SIS.

Bestemmelserne har betydning for de luftfartsselskaber, hvor den årlige dosis til besætningsmedlemmer kan overstige 1 mSv.¹¹ Reglerne foreskriver blandt andet, at luftfartsselskaberne efter hvert kalenderår skal estimere dosis til hvert enkelt besætningsmedlem i det foregående år i henhold til et godkendt dosisovervågningsprogram¹², f.eks. ved hjælp af passende computerprogrammer efter aftalte retningslinjer. Doser for hvert kalenderår skal rapporteres til SIS før 1. marts det efterfølgende år.^{13,14} Estimeres doser til enkelte besætningsmedlemmer at være lig med eller over 6 mSv, skal doserne indberettes til SIS med angivelse af entydig identifikation for de pågældende besætningsmedlemmer.¹⁵ Besætningsmedlemmerne skal endvidere informeres om de estimerede doser.¹⁶

SIS modtog i perioden 2018-2022 indberetning fra 12 indberetningspligtige luftfartsselskaber. De rapporterede doser for 2022 er på niveau med indberetningerne fra før COVID-19 pandemien, med en middeldosis på omkring 2 mSv pr. besætningsmedlem.¹⁷

¹⁰ Rådets direktiv 2013/59/EURATOM, artikel 26.

¹¹ Bek. nr. 669/2019, § 101, stk. 1.

¹² Bek. nr. 669/2019, § 101, stk. 3.

¹³ Bek. nr. 669/2019, § 101, stk. 4.

¹⁴ Bek. nr. 157/2018, § 9, stk. 6, pkt. 5.

¹⁵ Bek. nr. 669/2019, bilag 6.

¹⁶ Bek. nr. 157/2018, § 9, stk. 6, pkt. 3.

¹⁷ Strålebeskyttelse – Myndighedens årsrapport 2022, s. 54.

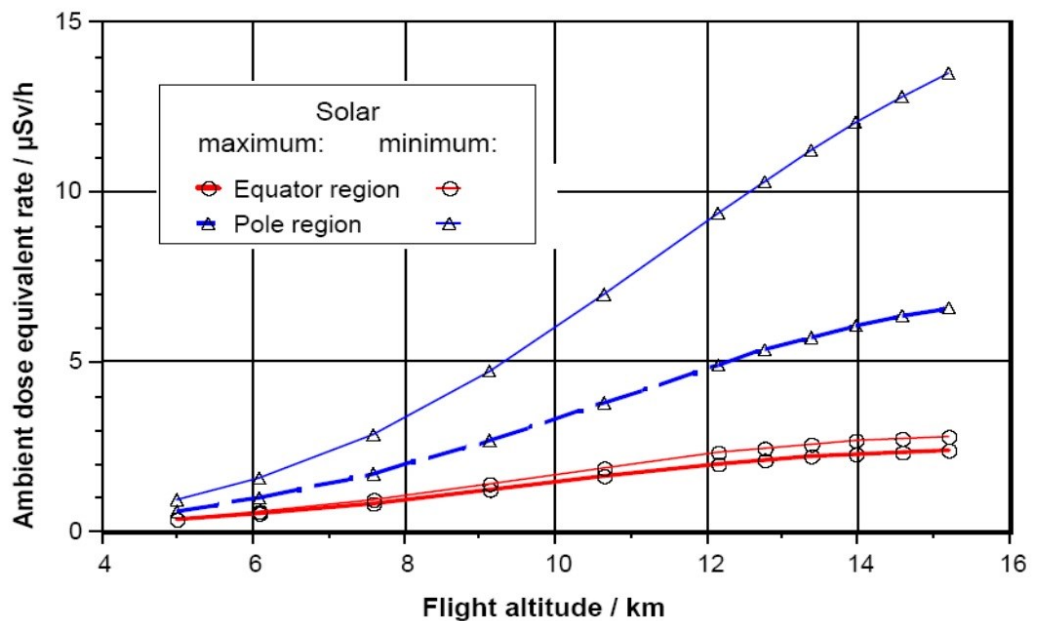
Hvor kommer kosmisk stråling fra?

Den kosmiske stråling har to oprindelser: Den galaktiske stråling, som er til stede overalt, hele tiden, og soludbrud, som optræder periodisk. Langt hovedparten af den kosmiske stråling kommer fra vores egen galakse og er dannet som følge af atomare processer i stjernernes indre.

Bidraget fra solen er mindre, men sammensat af flere bidrag, og kan derfor variere mere. Strålingens intensitet er kraftigt reguleret af solens cyklus, dvs. om der er stor eller lille solplethypighed. Solplethypigheden varierer med en periode på omtrent 11 år. Ved høj solplethypighed betyder solens udladninger, at der genereres et stærkere magnetfelt omkring solen, og at Jorden dermed afskærmes kraftigere end normalt for den galaktiske stråling.

Figur 3 viser hvordan den galaktiske stråling varierer med højden ved ækvator og ved polerne under maksimal og minimal solplethypighed. Ved høje breddegrader fordobles den galaktiske stråling, når solplethypigheden er minimal. På ækvator er effekten meget begrænset.

Figur 3.
Galaktisk stråling i forskellige højder over havet, ved ækvator og ved polerne. Kilde: Den Europæiske kommissions rapport RP156 (2009), figur 3, s. 15.
Det fremgår a) at den galaktiske stråling er højest i polare regioner (blå) og b) at den galaktiske baggrundsstråling falder i perioder med høj solplethypighed, jf. "solar maximum" (fede streger).



Soludbrud

I perioder med høj solpletaktivitet kan der forekomme energiudladninger (soludbrud) i solens atmosfære, som forårsager udsendelse af intens stråling. Under flyvning kan soludbrud føre til øgede doser til flypassagerer og besætninger. Soludbrud kan ikke forudsiges, men det er muligt efterfølgende at anslå den resulterende dosis.

Soludbrud, der er kraftige nok til at resultere i forhøjede doser, optræder i gennemsnit én gang om året og kan vare fra nogle få timer og op til flere dage. Over de seneste 80

år har man registreret ca. 70 af sådanne kraftige soludbrud.¹⁸ Den typiske dosis for en transatlantisk flyvning er 0,05 mSv. For et kraftigt soludbrud i 2017 blev den maksimale ekstra dosis til passagerer og besætninger på en transatlantisk flyvning under dette soludbrud beregnet til omtrent 0,1 mSv.¹⁹

¹⁸ Papaioannou A et al.: The first ground-level enhancement of solar cycle 25 on 28 October 2021. *Astronomy & Astrophysics* 2022;660:L5

¹⁹ Mishev AL, Usoskin IG: Assessment of the Radiation Environment at Commercial Jet-Flight Altitudes During GLE 72 on 10 September 2017 Using Neutron Monitor Data. *Space Weather* 2018;16:1921-1929.

Referencer

Publikationer fra Den Europæiske Kommission om strålebeskyttelse kan erhverves via Kommissionens hjemmeside: https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/radiation-protection/scientific-seminars-and-publications/radiation-protection-series-publications_en

Publikationer fra Sundhedsstyrelsen, Strålebeskyttelse kan erhverves fra Sundhedsstyrelsens hjemmeside: <http://www.sis.dk>

- Radiation Protection No 156. Evaluation of the Implementation of Radiation Protection Measures for Aircrew. Final Report on Contract TREN/06/NUCL/S07.66018 (RP 156). European Commission, 2009.
- Rådets direktiv 2013/59/Euratom af 5. december 2013 om fastlæggelse af grundlæggende sikkerhedsnormer til beskyttelse mod de farer, som er forbundet med udsættelse for ioniserende stråling og om ophævelse af direktiv 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom og 2003/122/Euratom. Rådet for den Europæiske Union, 2014.
- Mishev AL, Usoskin IG: Assessment of the Radiation Environment at Commercial Jet-Flight Altitudes During GLE 72 on 10 September 2017 Using Neutron Monitor Data. Space Weather 2018;16:1921-1929.
- Trafikstyrelsens bekendtgørelse nr. 157 af 27. februar 2018 om arbejdsmiljøforhold for besætningsmedlemmer under tjeneste på luftfartøj og for deres arbejdsgivere (Bek. nr. 157/2018).
- Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 669 af 1. juli 2019 om ioniserende stråling og strålebeskyttelse (Bek. nr. 669/2019)).
- Papaioannou A et al.: The first ground-level enhancement of solar cycle 25 on 28 October 2021. Astronomy & Astrophysics 2022;660:L5.
- Strålebeskyttelse – Myndighedens årsrapport 2022. Sundhedsstyrelsen, 2023.
- Stråling – en del af din hverdag. Information om ioniserende stråling. Sundhedsstyrelsen, 2024.