

Ljungbyhed 2005-03-11

# KOSMISK STRÅLNING OCH FLYGNING



Foto: Dag Öhrlund

Finns skäl att oroa sig för den ökade dosen av joniserande strålning man utsätts för under flygning?

Författare: Jennie Meijer

Kurs: TFHS 03:2

Handledare: Christian Bjursten Carlsson

## Abstrakt

Joniserande strålning, i dagligt tal oegentligt benämnd radioaktiv strålning, förekommer naturligt och utgör en hälsofara för allt organiskt liv. De viktigaste källorna till sådan strålning är radon som finns i varierande mängd i bergrunden, sådant radioaktivt material som finns i all materia (t.ex. Kol-14, Kalium-40), strålning som uppkommer i samband med mänsklig aktivitet (medicinska tillämpningar, kärnkraft, kärnvapenprov) och den kosmiska strålningen. Av dessa ökar den kosmiska strålningen med ökad höjd över havsytan, men samtidigt avtar den sammanlagda stråldosen från de andra källorna något. Sammantaget sker dock en viss ökning av stråldosen med ökande höjd. Denna ökning är märkbar på sådan höjd där det förekommer flygtrafik. På grund av jordens magnetfält och det faktum att den största delen av den kosmiska strålningen utgörs av elektriskt laddade partiklar finns också en variation i strålningstätheten med latituden sådan att doshastigheten är högst i närheten av polerna och lägst vid ekvatorn. Utöver denna variation påverkas intensiteten i den kosmiska strålningen av solens tillstånd. Soleruptioner kan ge kortvariga stegringar av doshastigheten men även ibland reduktioner.

Eftersom joniserande strålning är potentiellt skadlig finns internationella och nationella regler för hur riskerna skall hanteras. I detta arbete utreds vilka risker som föreligger beroende på typ av strålning, hur stora riskerna är samt vilka regler som styr åtgärder speciellt för flygande personal. Om reglerna tillämpas, innebär arbete som flygande personal en viss ökad risk för strålningsinducerad cancer i förhållande till normalbefolkningen. I en stor studie omfattande 10.000 piloter har kunnat påvisas en viss ökning av förekomsten av en viss typ av hudcancer, malignt melanom, men sambandet till belastningen från kosmisk strålning har inte kunnat slås fast. I sammanhanget kan påpekas att 10-årsöverlevnaden (andelen överlevande 10 år efter diagnos) för malignt melanom idag är c:a 83%.

I samband med graviditet ska också hänsyn tas till den risk som joniserande strålning innebär för fosterskador. De dosnivåer som uppnås vid flygning är inte tillräckliga för att någon ökad risk för fosterskador eller fosterdöd ska kunna påvisas. Ett skäl till att farliga dosnivåer osannolikt uppkommer är att exponeringstiden är begränsad.

Ett sätt att kontrollera hur mycket strålning en person utsätts för är att använda dosimeter. En dosimeter kan bestå av en fotografisk film som kommer att exponeras av strålningen. Ju mer strålning desto större svärtningsgrad framträder vid framkallning. Omfattande utredningar och beräkningar har visat att det inte är, i vanliga fall, nödvändigt med personliga dosimetrar för flygande personal. Matematiska beräkningar erbjuder tillräcklig noggrannhet för att uppskatta dosen som personalen utsätts för med hänsyn tagen till flygtid, flyghöjd och rutt, och med hänsyn tagen även till kända variationer i den kosmiska strålningens intensitet.

Internationella reglementen ålägger flygbolag att göra sådana beräkningar, och om beräkningarna visar att det finns risk att någon personal närmar sig uppsatta gränser för strålbeklagning, vidtagna lämpliga åtgärder. Sådana åtgärder kan vara förändring i arbetsschema så att strålningsexponeringen minskar. Vid överskridande av gränsdosen 6 mSv skall individuella åtgärder sättas in bl.a. innefattande hälsokontroll med särskild inriktning på strålningsinducerad sjukdom.

Målet med regelverket är att i den mån det efterlevs skall flygande personal inte ha någon nämnvärd ökad risk för strålningsinducerad sjukdom i förhållande till allmänheten. Mot bakgrund av här redovisade fakta synes den målsättningen vara uppnådd.

# Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
2. Syfte .....	1
3. Metod .....	1
4. Resultat.....	2
4.1 VAD ÄR STRÅLNING? .....	2
Joniserande strålning.....	2
Radioaktivitet .....	3
Bakgrundsstrålningen.....	3
Kosmisk strålning.....	4
4.2 HUR MÄTS STRÅLNING? .....	7
Energifluens .....	7
Absorberad dos.....	7
Ekvivalent dos .....	7
Effektiv dos .....	8
Miljödosekvivalent.....	10
4.3 EXTRA STRÅLDOSER TILL FLYGANDE PERSONAL .....	10
Flygande personal och uppmätta doser .....	10
Dosuppskattningar för flygande personal .....	10
SAS undersökning 2002.....	10
4.4 VERKAN AV STRÅLNING PÅ MÄNNISKAN .....	11
Biologiska system .....	11
Energiöverföring .....	12
Primära biologiska effekter .....	12
Cancer.....	12
Genetiska effekter .....	13
Fosterskador .....	14
Flygande personal och cancerrisk .....	14
4.5 REGELVERK OCH ORGANISATIONER .....	14
Strålskyddslagen.....	14
EU.....	15
EU-direktiv för strålning .....	15
Joint Aviation Requirements .....	16
EURADOS - rapporten. ....	16
5. Diskussion .....	18
6. Referenser.....	19

# 1. Inledning

Livet på jorden har utvecklats under konstant exponering av olika former av joniserande strålning. Trots detta är strålning ofta hos människor automatiskt sammankopplat med något extremt farligt. Det verkar glömt att exponeringen av strålning är en integrerad del av livet, och har alltid varit så. Utan ljuset och värmen från solstrålningen skulle livet på jorden och mänskligheten inte finnas till. Å andra sidan har inte flygning varit en integrerad del av livet sedan tidernas begynnelse, och denna för oss nya radiologiska miljö kunde kanske innebära ökade risker typiskt associerade med joniserande strålning. Dessa risker skulle t ex kunna innebära högre sannolikhet för strålinducerad cancer, eller vid fallet gravida kvinnor, faror för det ofödda barnet.

Bland människor är konceptet strålning ofta överdramatiserat, men det bör undersökas vad för strålning vi utsätts för under flygresor dels p.g.a. människors starka reaktioner på konceptet strålning och dels därför att det faktiskt innebär en ökad strålningsdos under flygning. Från och med februari år 2003 finns ett reglemente som kräver av flygbolagen att göra dosuppskattningar på sin flygande personal.

## 2. Syfte

Syftet med uppsatsen var att sammanfatta och sammanställa aktuell information från områden som berör ämnet joniserande strålning i flygplan. Dessa omfattar områden från grundläggande atomfysik till lagstiftande organisationer. Detta för att den flygande personalen och resenären ska kunna göra en egen riskuppskattning beträffande de ökade doserna av joniserande strålning de kommer att utsättas för under flygresor.

## 3. Metod

Metoden för detta arbete har varit litteraturstudium. Informationen har insamlats på bibliotek, från tidskrifter och böcker, och på internet. Vidare har sakkunniga samt branchfolk konsulterats.

## 4. Resultat

### 4.1 VAD ÄR STRÅLNING?

Strålning är överföring av energi i form av *elektromagnetisk vågor* (vågrörelser av elektriska och magnetiska fält) eller av *partiklar*. Exempel på partikelstrålning, som består av materiella partiklar, är protoner, alfapartiklar och betapartiklar. Exempel på elektromagnetisk strålning är radiovågor, gammastrålning och synligt ljus

- *Alfastrålning* utgörs av alfapartiklar, vilka är dubbelt joniserade heliumatomer d.v.s. två protoner och två neutroner. Den positivt laddade alfapartiklen stoppas av ett pappersark eller 5 cm luft [källa: [Strålskydd \(2000\)](#)].
- *Betastrålning* består av elektroner eller positroner (positivt laddade elektroner), vilka båda kan penetrera flera meter luft [källa: [Strålskydd \(2000\)](#)].

När våglängden på den elektromagnetiska strålningen minskar och börjar närma sig atomernas och atomkärnornas dimensioner kan de elektromagnetiska ”vågpaketen”, de så kallade *fotonerna*, betraktas som partiklar.

- *Gammastrålning* är en kortvågig och därmed energirik elektromagnetisk strålning som kan penetrera flera centimeter bly [källa: [Strålskydd \(2000\)](#)].

### Joniserande strålning

Med joniserande strålning menas partiklar eller fotoner med så pass hög energi att de kan orsaka jonisation, d.v.s slå ut elektroner från atomer eller molekyler. Även atomkärnan kan klyvas om energin är tillräckligt hög.

För att kunna åstadkomma jonisation fordras, som ovan är nämnt, att den inkommande strålningen har mer än en viss energi. Energin brukar anges i elektronvolt, *eV*. Det åtgår i genomsnitt ca 30 *eV* för att orsaka jonisation [källa: [Strålskydd \(2000\)](#)]. Strålning överför dock inte alltid hela sin energi till en atom och därför orsakar t.ex. sällan en elektron med energin 30 *eV* en jonisation. Man brukar därför inte börja tala om joniserande strålning förrän vid energier kring 100 *eV*. Strålning med fotoner av lägre energi, t.ex. synligt ljus, kallas *icke-joniserande strålning*.

1 *eV* är den rörelseenergi en elektron erhåller efter en acceleration i ett spänningsfall på 1 V (1  $eV = 1 \times e J$  där *e* är elementarladdningen  $1,602 \times 10^{-19}$ ). Fotoner rör sig med ljusets hastighet och har ingen vilomassa och därmed inte heller någon rörelseenergi i egentlig mening. Deras totala energi ges av följande formel:

$$E = h \times f$$

där *f* är strålningens frekvens och *h* naturkonstanten ”Plancks konstant” ( $h = 6,626 \times 10^{-34} eVs$ ).

## Radioaktivitet

Egenskap hos instabila atomkärnor är att spontant, d.v.s utan yttre påverkan, omvandlas till andra grundämnen, varvid de utsänder joniserande strålning. Detta är en process som inte går att påverka genom yttre verkan. Strålning som utsänds vid radioaktiva sönderfall är; alfastrålning, betastrålning och gammastrålning.

Måttenheten för radioaktivitet är Becquerel [ $1 \text{ Bq}$ ] ( $1 \text{ Bq} = \text{ett sönderfall per sekund}$ ). Det nya grundämnet som uppstår genom sönderfallet kan i sin tur vara radioaktivt, och ibland inträffar en hel serie kärnsönderfall (en så kallad sönderfallsserie) som upphör först i och med att en stabil kärna har bildats. Allteftersom ett radioaktivt ämne sönderfaller avtar mängden med tiden med en hastighet som anges av ämnets halveringstid, d.v.s. den tiden det tar för ämnet att minska till hälften. Efter två halveringstider återstår  $1/4$ , efter tre  $1/8$  o.s.v.

Den joniserande strålningen är skadlig för levande celler, men den kan också användas för nyttiga ändamål inom bl.a. medicin och teknik.

<b>Radon</b>	222	3,8 dygn
<b>Jod</b>	131	8 dygn
<b>Kobolt</b>	60	5 år
<b>Strontium</b>	90	29 år
<b>Cesium</b>	137	30 år
<b>Kol</b>	14	5 700 år
<b>Plutonium</b>	239	24 000 år
<b>Kalium</b>	40	1,3 miljarder år
<b>Uran</b>	238	4,5 miljarder år

**Figur 1.** Några exempel på halveringstider (och masstal, d.v.s. antalet protoner och neutroner, i kärnan)

## Bakgrundsstrålningen

Till den naturliga bakgrundsstrålningen hör strålningen från vår egen kropp ( $0,4 \text{ mSv/år}$ ), kosmos ( $0,3 \text{ mSv/år}$ ) och marken ( $0,4 \text{ mSv/år}$ ). Människokroppen innehåller radioaktiva ämnen, framför allt kalium-40 och kol-14. Strålningen från rymden är normalt ganska liten eftersom den dämpas av atmosfären. Den kosmiska strålningen ökar alltså med höjden och den är ca dubbelt så stor som vid havsnivån på 1,500 meters höjd (5,000 *ft*). På 5,000 meters höjd (16,500 *ft*) är den 8-10 ggr större än vid havsytan. Markstrålningen varierar mycket beroende på var man bor. I Sverige t.ex. kan markstrålningen vid de bohusslänska klipphällarna

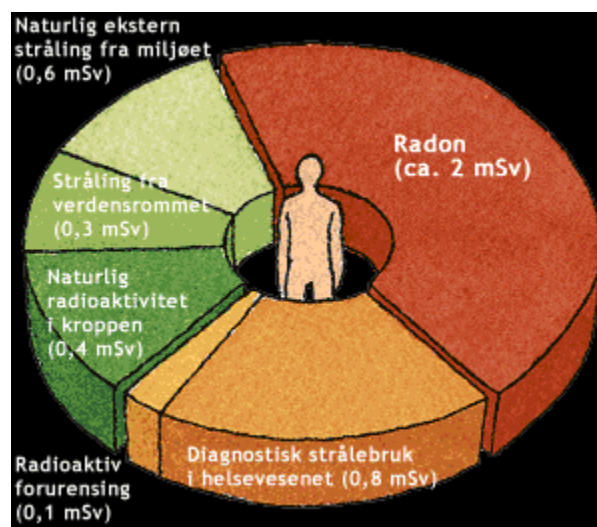
vara tre till fyra ggr högre än i genomsnitt i landet. I t.ex. staden Guarapari i Brasilien får vissa invånare årsdoser på över 50 mSv från den naturliga markstrålningen. Även dricksvatten kan innehålla radioaktiva ämnen, framför allt radon.

*Medicinska undersökningar* ger i genomsnitt en stråldos på **0,8 mSv/år**. En lungröntgen ger t.ex. 0,15 mSv.

Radon är en radioaktiv gas som kommer från marken eller från byggmaterial. Varje år får vi i genomsnitt i Sverige en stråldos på **2 mSv/år** från våra bostäder, i form av radon. Radon uppträder i sönderfallsserien där uran, som finns i varierande koncentration i jordskorpan, bryts ner till stabilt bly.

Gränsvärdet för den stråldos kärnkraften får ge allmänheten är **0,1 mSv** per person och år.

[källa: Statens strålevern och SSI]

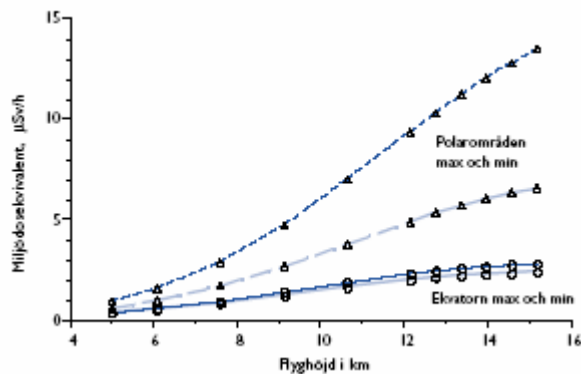


**Figur 2.** Det är radon som ger den största stråldosen till befolkningen. [källa: Statens strålevern]

## Kosmisk strålning

Den kosmiska strålningen har två ursprung nämligen vintergatan och solen.

Den *galaktiska kosmiska strålningen* kommer från vintergatan och är den dominerande. Källan till den större delen av denna tros vara supernovor [källa: [Civil Aerospace Medical Institute FAA](#)]. Den är ganska konstant men påverkas av solvinden, d.v.s. den kontinuerliga ström av joniserande materia som rör sig bort från solen. I det magnetiska fält som solvinden skapar avlänkas de kosmiska partiklarna så att färre partiklar når atmosfären. Solvinden ökar med ökande solaktivitet och solen styrka varierar fram och tillbaka under en period på 11 år, under den så kallade solcykeln. Effekten blir en ändring av doshastigheten (stråldos per tidsenhet) med ca  $\pm 20\%$  (figur 3).



**Figur 3.** Beräknad miljödosekvivalent för olika flyghöjder och för maximal (januari 1990) och minimal solaktivitet (januari 1998). Båda beräkningarna är gjorda vid nollmeridianen och den geografiska latituden  $0^\circ$  respektive  $90^\circ$  N. [källa: Strålskyddsnytt nr 3-4 2003]

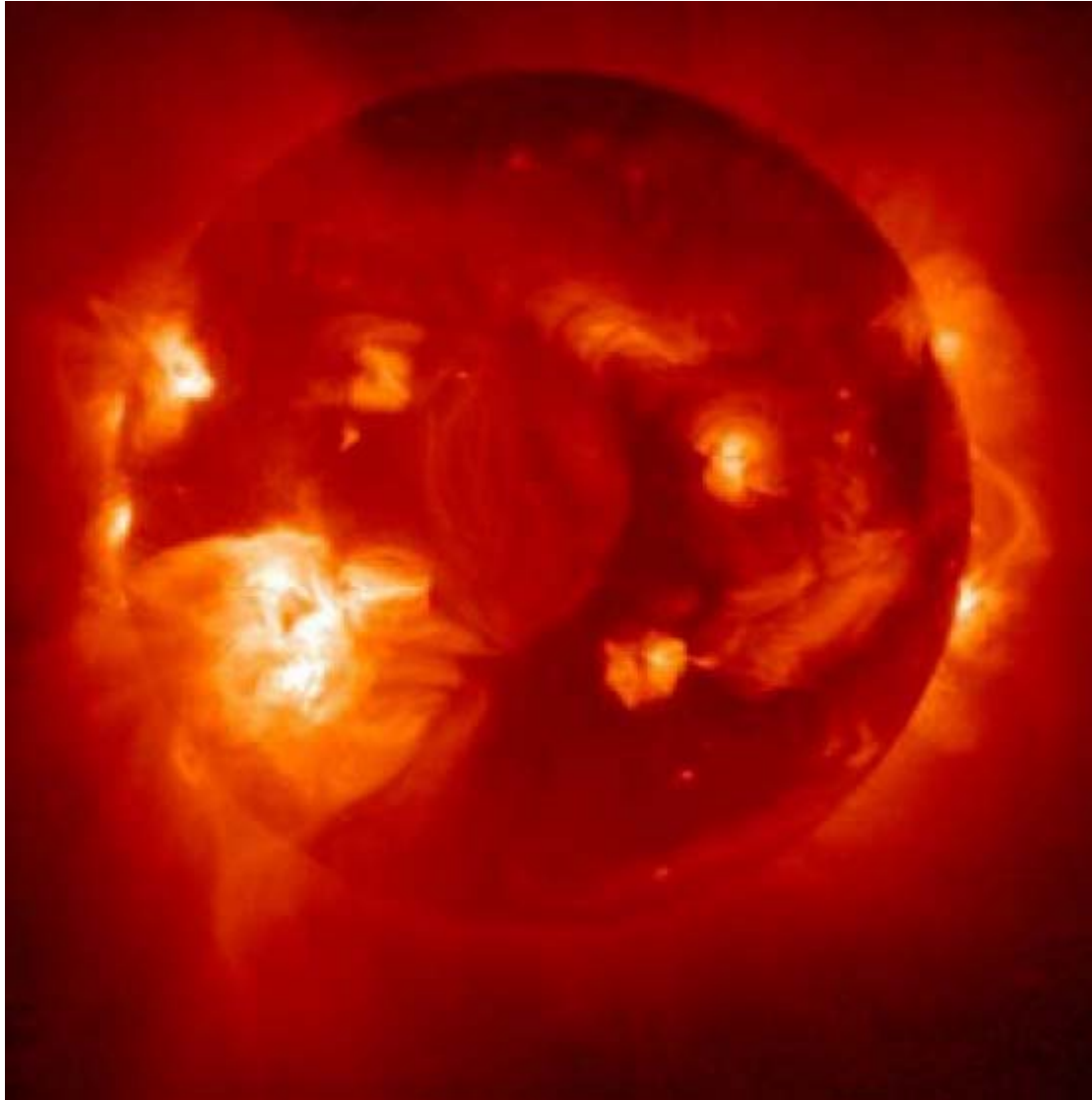
Den solära kosmiska strålningen består av framför allt protoner som förs ut från solen med solvinden. Ytterligare solfenomen som påverkar strålningsmiljön är så kallade soleruptioner (eng. solar flares) som sporadiskt uppträder i samband med hög solaktivitet. Ett samlingsbegrepp för solfenomen där partiklar slungas ut från solen är *Solar Particle Events*, *SPE*. En SPE varar från några timmar till flera dygn och om partiklarna når jordens atmosfär kan doshastigheten öka. Det är dock inte alltid som doshastigheten ökar i samband med en SPE utan ofta leder den till en reducerad doshastighet, en så kallad *Forbush decrease*. [källa: Strålskyddsnytt nr 3-4 2003]

Utanför vår atmosfär består den kosmiska strålningen till största delen av atomkärnor (**98 %**). En liten komponent (**2 %**) utgörs av elektroner och positroner. Den helt dominerande atomkärnan är protonen (vätekärnan) som utgör 87 % av alla kärnorna. Heliumkärnor utgör 12 % av totala antalet och endast 1 % utgörs av tyngre kärnor. Partiklarnas energier sträcker sig upp i *GeV*-området ( $10^9$  eV). Energierna har uppmätts till så höga värden som  $10^{11}$  GeV ( $10^{20}$  eV) men genomsnittspartikelns energi hamnar på 1 GeV ( $10^9$  eV) [källa: Examensarbete LU (2002)]. Vid dessa höga hastigheter är partiklarna relativistiska, d.v.s. beräkningar på partiklarna kräver tillämpning av Einsteins relativitetsteori.

Trots partiklarnas höga energier når bara en liten del av strålningen ner till jorden. Det beror på den kraftiga dämpning som jordens atmosfär åstadkommer, vilken motsvarar dämpningen av omkring 10 m vatten [källa: Strålskyddsnytt nr 2 2000].

Jordens magnetfält sträcker sig mellan jordens magnetiska poler. Vid ekvatorn är kraftlinjerna parallella med jordytan, medan de vänder in mot jorden vid polerna. Eftersom den kosmiska strålningen utgörs av laddade partiklar, förändras deras riktning vid kontakten med magnetfältet. Vid ekvatorn böjs partiklarna av så att partikelflödet ner mot jorden minskar och endast partiklar med mycket höga energier förmår nå markytan. Vid polerna finns å andra sidan inga kraftlinjer som hindrar partiklarna, varför inflödet här är stort. Partiklarna accelereras här istället in mot jordens yta och vid kollisioner med atmosfärspartiklar frigörs energi i form av ljus. Detta ljus är det vi kallar norrsken eller Aurora Borealis, vilket kan uppträda tydligt på breddgrader nära polerna som långa, slingrande gulgröna band som hela tiden förflyttar sig och ändrar form.





**Figur 4.** En läcker närbild på solen. [källa: Lund Space Weather Center]

När partiklarna går in i atmosfären kolliderar de med kärnorna från kväve, syre och andra atomer, vilket genererar så kallade *sekundära joniserande partiklar*. De viktigaste vid sidan om protonen är elektronen, neutronen och myonen. [källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)] Dessa har ofta relativt låga energier, under  $10\text{ MeV}$  ( $10^7\text{ eV}$ ) [källa: [Examensarbete LU \(2002\)](#)], men det är stråldoser från dessa som leder till den huvudsakliga stråldosen ombord på flygplan [källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)]. Partiklarna som går in i atmosfären tillsammans med de genererade partiklarna kallas kollektivt kosmisk strålning. ***På höjder där flygplan opererar består dosen av den kosmiska strålningen till största delen av neutroner, protoner, elektroner, positroner och fotoner*** [källa: [Strålskyddsnytt nr 3-4 2003](#)].

Den effektiva doshastigheten kosmisk strålning ökar med höjden upp till ett maximum vid ungefär  $20\text{ km}$  ( $66,000\text{ ft}$ ) över havet. Det var höjder här omkring Concorden opererade (cruise-höjd  $60000\text{ ft}$ , maxhöjd  $63000\text{ ft}$ ). Doshastigheten ökar även med latitud och når en konstant nivå vid ungefär  $50^\circ$  (i [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#) anges latituden  $60^\circ$ ). Doshastigheten på en höjd av  $8\text{ km}$  ( $26,000\text{ ft}$ ) i (eng.) "temperate latitudes" ( $23,5\text{-}66,5^\circ\text{ N/S}$ ) är typiskt ungefär  $0,003\text{ mSv/h}$  men nära ekvatorn är raten bara lite drygt  $0,001\text{ mSv/h}$ . På en höjd av  $12\text{ km}$  ( $39,000\text{ ft}$ ) är doshastigheten, i båda fallen, ungefär dubbelt så hög. [källa: [Department of Transport](#)]

## 4.2 HUR MÄTS STRÅLNING?

För att kunna mäta den joniserande strålningen måste man på något sätt uttrycka strålningens mängd i någon mätbar kvantitet. Genom att ange strålningens art (t.ex. protoner eller elektroner), dess energi och antal partiklar har man ganska fullständigt beskrivit strålfältets egenskaper. Detta säger dock egentligen inget om strålningens förmåga att överföra energi till det bestrålade materialet.

### Energifluens

Vid t ex bestrålning med fotoner, då man har en viss *energifluens*  $\psi$  [ $1 \text{ J/m}^2$ ] på strålfältet (summan av energier  $dR$  hos de joniserande partiklar som passerar en tvärsnittsarea  $da$ )

$$\psi = \frac{dR}{da}$$

kommer energin att absorberas i en stor volym, medan vid bestrålning med alfapartiklar med samma energifluens kommer energin att absorberas i en betydligt mindre volym. **Fotoner tränger alltså längre in i ett material än vad alfapartiklar gör.**

### Absorberad dos

Måttenheten *absorberad dos*,  $D$  [ $1 \text{ Gy}$ ] ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ,  $\text{Gy} = \text{gray}$ ), anger tätheten för den absorberade energin d.v.s. hur mycket energi  $d\epsilon$  som absorberas av ett masselement  $dm$  av ett material

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

### Ekvivalent dos

Den absorberade dosen säger fortfarande inte allt om den förväntade biologiska effekten. Förutom tätheten för den absorberade energin är mikrostrukturen, d.v.s. hur energin i detalj överförs till vävnaden, av stor betydelse. Den lineära energiöverföringen ( $LET = \text{Linear Energy Transfer}$ ) ger här ett mått på energiöverföringens mikrostruktur. Vi skiljer på *glesjoniserande strålning* (låg-LET-strålning), såsom fotoner och elektroner där vi har gles mellan jonisationerna, och *tätjoniserande strålning* (hög-LET-strålning), där det är tätt mellan jonisationerna.

En viss absorberad dos av glesjoniserande strålning (t.ex fotoner) ger vanligen lägre biologisk effekt än samma absorberade dos av tätjoniserande strålning (t.ex. alfastrålning). Den biologiska effekt man beaktar är den slumpmässiga risken att en bestrålning ska framkalla cancer eller ge upphov till ärftliga skador på könscellerna (vid bestrålning av könskörtlar).

I strålskyddssammanhang används ofta *ekvivalent dos*,  $H$  [ $1 \text{ Sv}$ ] ( $\text{Sv} = \text{sievert}$ ), där man får ett mått på hur mycket skada strålningen orsakar på organet som bestrålas.

För att få ett mått på den ekvivalenta dosen utifrån en absorberad dos används en *viktningfaktor*,  $w_R$ . Denna viktningfaktor uttrycker alltså att olika strålslag ger olika biologiska effekter för samma absorberade dos. Man känner bäst riskerna med glesjoniserande strålning, som t.ex. fotoner, och för denna har  $w_R$  satts lika med 1. För tätjoniserande strålning är  $w_R > 1$ , och för t.ex. alfastrålning gäller att  $w_R = 20$ . **Detta innebär alltså att det är större risk för slumpmässig skada vid bestrålning av en viss absorberad dos  $D$  av alfapartiklar än bestrålning med samma absorberade dos av fotoner.**

För den ekvivalenta dosen,  $H_{T,R}$ , för *organet*  $T$  för *strålslaget*  $R$  gäller alltså

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R}$$

där  $D_{T,R}$  är den absorberade dosen av strålslaget  $R$  i organet  $T$ . Om olika strålning förekommer görs en summering över alla strålslag  $R$

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Strålslag och energiområde	$w_R$
Fotoner (i alla energiområden)	1
Elektroner och myoner (i alla energiområden)	1
Protoner, utom rekylprotoner (av energier $> 2$ MeV)	5
Alfapartiklar, Klyvningsfragment, Tunga kärnor	20

**Tabell 1.** Viktningsfaktorn  $w_R$  för olika strålslag och energiområden.

**Den ekvivalenta dosen är en storhet för riskbedömning i enskilda organ.** Samma värde på ekvivalent dos motsvarar samma risk för detta organ oberoende av strålslag. T.ex. bestrålning med alfapartiklar med en viss absorberad dos  $D$  ska alltså innebära samma risk som fotonstrålning med 20 ggr högre absorberad dos.

## Effektiv dos

Olika organ och vävnader i kroppen är olika strålkänsliga vad gäller risken för slumpmässiga skador (cancer, ärftliga skador). Samma ekvivalenta dos för två olika organ kan betyda olika stor risk för slumpmässig skada.

Om kroppen bestrålas homogent (samma absorberade dos i alla organ och vävnader) ges den relativa risken (procentuell uppskattning) för att skada ska uppstå i organet  $T$  av viktningfaktorn  $w_T$  för organet. Om kroppen inte är homogent bestrålad beräknar man **effektiv dos**,  $E$  [1 Sv], vilken är summan av alla de viktade ekvivalenta doserna i kroppens enskilda organ (vävnader).  $E$  beräknas enligt följande formel;

$$E = \sum_T w_T H_T \quad (= \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R})$$

Viktningfaktorerna, vars sammanlagda värde ju blir 1, framgår av Tabell 2 nedan.

Om man studerar tabellen ser man att  $w_T$  för levern är 5 ggr större än för huden. **Detta betyder alltså att om kroppens alla delar bestrålas homogent är det 5 ggr så stor risk att det uppstår skada i levern än att skada uppstår på huden.** Hur stor denna risk i sin tur är beror på den ekvivalenta dosen.

Organ (vävnad)	$w_T$
Gonader (könskörtlar)	0,20
Benmärg (röd)	0,12
Tjocktarm	0,12
Lungor	0,12
Mage	0,12
Blåsa	0,05
Bröst	0,05
Lever	0,05
Matstrupe	0,05
Sköldkörtel	0,05
Hud	0,01
Benytor	0,01
Övriga organ	0,05
$\Sigma$	1,00

**Tabell 2.** Viktningsfaktorn för organ  $w_T$  representerar den relativa risken för att cancer eller ärftlig skada ska uppstå i organet (vävnaden)  $T$  då kroppen är homogent bestrålad.

**Storheten  $E$  uttrycker den totala risken med en bestrålning.** Notera att denna storhet, liksom ekvivalent dos, även den mäts i enheten  $Sv$ . Den kan tolkas som den homogena helkroppsdos vilken ger samma totala risk som den aktuella bestrålningen.

**Ex.** Fotonstrålning med  $D = 1 \text{ mGy}$  utav levern ( $l$ ) och  $D = 4 \text{ mGy}$  utav huden ( $h$ ) ger följande ekvivalenta dos;

$$H_l = 1 \times 1 \text{ mSv} = 1 \text{ mSv}$$

$$H_h = 1 \times 4 \text{ mSv} = 4 \text{ mSv}$$

och följande effektiva dos ("ekvivalenta dos för kroppen") för individen;

$$E = (0,05 \times 1 + 0,01 \times 4) \text{ mSv} = 0,09 \text{ mSv}$$

Denna bestrålning ska alltså innebära samma risk för skada som en bestrålning där varje del av kroppen får en ekvivalent dos av storleken  $0,09 \text{ mSv}$ .

## Miljödosekvivalent

*Miljödosekvivalent* är en storhet som ofta anges i enheten mikrosievert per timme,  $\mu\text{Sv/h}$  ( $1 \text{ mSv} = 1,000 \mu\text{Sv}$ ). Den anger den energi per mass- och tidsenhet som absorberas på 1 cm djup i kroppen, multiplicerad med viktningningsfaktorn  $w_R$  (som ju korrigerade för skillnader i biologisk verkan från olika typer av strålning).

### 4.3 EXTRA STRÅLDOSER TILL FLYGANDE PERSONAL

Besättningar i civil flygtrafik, med huvudsaklig sysselsättning på utrikeslinjer, kan förväntas få årliga stråldoser i intervallet 1  $\text{mSv}$  till 6  $\text{mSv}$ . Högre värden kan inte heller uteslutas men är förmodligen sällsynta. För personal som enbart flyger under 8,000  $\text{m}$  (26,000  $\text{ft}$ ) är det inte troligt att årsdosen når över 1  $\text{mSv}$  [källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)]

#### Flygande personal och uppmätta doser

Under 2002 blev den maximala årsdosen för personal inom de tre största flygföretagen i Holland **2,9  $\text{mSv}$**  och ca 70 % fick doser över 1  $\text{mSv}$  [källa: [Strålskyddsnytt nr 3-4 2003](#)].

Tidigare har man rapporterat att brittiska flygbesättningar får en uppskattad maximal årsdos på **6  $\text{mSv}$** . Medelvärde för korta transporter uppskattades till 2  $\text{mSv}$  och värdet för långa transporter till 4  $\text{mSv}$  [källa: [Strålskyddsnytt nr 3-4 2003](#)].

#### Dosuppskattningar för flygande personal

Regler från JAA kräver idag, utav flygbolagen, en dosuppskattning för den flygande personalen. Vidare krävs av bolagen att informerar de anställda om hälsorisker med kosmisk strålning och om specialregler vid graviditet. På grund av den relativt konstanta stråldosraten från kosmisk strålning [källa: [Strålskyddsnytt nr 3-4 2003](#)] anses det inte finnas behov att bära persondosmätare. Istället använder man program för att beräkna besättningarnas doser (effektiva doser). Detta beräknings sätt från flygbolagen har godkänts av berörda myndigheter, förutsatt att programmen kontrolleras regelbundet genom jämförelser med mätningar.

Solvindens inverkan beaktas på ett eller annat sätt av beräkningsprogrammen, medan inverkan av olika SPE är svårare att beräkna. Genom att granska markbaserade neutronmonitorer kan man i efterhand konstatera när en SPE har inträffat. Det är dock inte, som tidigare nämnt, alltid som doshastigheten ökar i samband med ett sådant fenomen utan ofta leder den till en reducerad doshastigheten [källa: [Strålskyddsnytt nr 3-4 2003](#)].

#### SAS undersökning 2002

SAS gör beräkningar med hjälp av en programvara från FAA, CARI6. Utifrån flygprofiler (från Rhodossystemet), startplatser och destinationer beräknas doserna för varje tur. Doserna kopplas därefter med det verkliga schemat för att beräkna den sammanlagda dosen.

### **SAS slutsatser:**

- De flesta exponeras för mer än 1 mSv/år och omfattas därför av reglerna om kosmisk strålning. Samtliga ligger klart under dosgränsen på 6 mSv/år, vilket är undre gräns för individuell uppföljning.
- Ingen yrkesgrupp kom upp mot doser nära 6 mSv/år. För att nå upp till 6 mSv/år måste man ha över 1500 flygtimmar under detta år.
- Flygning på långlinjer ger högre doser än på kortlinjer. Anledningen är att man tillbringar en större andel flygtimmar på höga höjder. Dosen beror på den totala flygtiden och antalet långlinjer.
- Det är osannolikt att flygande personal på kortlinjer ska komma över 1 mSv under graviditeten.
- För flygande personal på långlinjer kan gränsen på 1 mSv under graviditeten överskridas om man flyger heltid mer än 3 månader. [källa: SAS informationsblad till sina anställda]

Sträcka	Dos (mSv)	# sträckor/1 mSv	# h/1 mSv (airborne)	# h/6 mSv
CPH-SEA	0,049	21	187	1116
CPH-BKK	0,035	29	288	1728
CPH-MAD	0,010	96	349	2094
CPH-LHR	0,005	186	310	1860
CPH-ARN	0,003	376	351	2106
ARN-SDL	0,001	862	661	3966

**Tabell 3.** Doserna är beräknade med CARI6 och flygprofiler från Rhodossystemet, sommarprogrammet 2002. Flyghöjderna på cruise varierar mellan 29,000-41,000 ft beroende på sträckan [källa: SAS informationsblad]. Studerar man tabellen ser man att sträckan Köpenhamn–Seattle, vilken är den högst strålbeklagade sträckan, skulle innebära 6 mSv efter 1116 h.

## 4.4 VERKAN AV STRÅLNING PÅ MÄNNISKAN

### **Biologiska system**

Alla högre organismer består av ett antal celler, vilka samverkar genom att fördela de arbetsuppgifter som ska genomföras. En människa är uppbyggd av omkring  $10^{14}$  celler.

Inom den enskilda cellen finns också en arbetsfördelning och det är cellkärnan som styr. Inuti cellkärnan finns DNA (arvsmassa) som fungerar som mall vid uppbyggnad av RNA, vilket fungerar som mall vid bildning av olika proteinmolekyler, vilka i sin tur fungerar som arbetare i cellen.

DNA innehåller informationen i form av en speciell sekvens av så kallade nukleotider - byggstenar i DNA. Det finns 4 st olika nukleotider: A, T, G och C, och det totala antalet i DNA i en cell hos en människa är ca 5 miljarder. DNA i en cell väger ca  $5 \times 10^{-12}$  g och är ca: 1,5 m långt med en diameter på  $2 \times 10^{-9}$  m. [källa: Strålskydd]

Kvantitativt sett är vatten den vanligaste molekylerna; 60-70 % av cellens innehåll är vatten. Ungefär 15 % av innehållet är proteiner, några % RNA och mindre än 1 % är DNA. Från strålningsbiologisk synpunkt är DNA den viktigaste biomolekylen.

## Energiöverföring

Strålningen verkar på ett material genom att all eller delar av dess energi (rörelseenergi om det är materiella partiklar) överförs till atomer och molekyler i materialet. Vanligen överförs denna energi till levande celler genom att snabba elektroner (betastrålning) växelverka med elektroner i atomer i cellen, eller genom växelverkan mellan alfapartiklar (alfastrålning) och molekyler i cellen.

## Primära biologiska effekter

Man kan särskilja mellan två olika typer av primära biologiska effekter, nämligen *direkt verkan* och *indirekt verkan*.

- *Direkt verkan*: Strålningen växelverkar direkt med molekylerna i cellen så att en förändring av dessa sker (t.ex. av DNA, RNA eller proteiner).
- *Indirekt verkan*: Denna verkan är den vanligaste i levande celler och innebär en förändring av vattnet i cellen som i sin tur leder till förändrade molekyler. Efter att vattnet i en cell har förändrats återgår det antingen till sin ursprungliga form eller reagerar med molekyler i cellen och förändrar dessa. Processen i båda fallen är mycket snabb.

Överföringen av energi till en cells molekyler sker nästan slumpmässigt, varför energin i 60-70 % av fallen primärt överförs till vattnet. Fördelningen av den energi som överförs till en cell sker inte likformigt utan ofta i "cluster" (klumpvis) Detta innebär flera jonisationer, och därmed primärskador, inom en liten volym. Då en elektron passerar en cell blir den absorberade dosen i denna omkring 3 mGy (och den ekvivalenta dosen 3 mSv ty  $w_R = 1$ ) och antalet primärskador på biomolekyler i cellkärnan är ca 100. Då bakgrundsstrålningen i Sverige årligen ger en effektiv dos på omkring 4 mSv har alltså under ett år i genomsnitt varje cell träffats lite drygt en gång.

## Cancer

En ökad stråldos ökar riskerna för att få cancer. Strålinducerad cancer visar sig först flera år efter bestrålningstillfället och räknas därför till de så kallad *senare skadorna*. Hit hör även de ärftliga skadorna. Leukemi (blodcancer) kan dock visa sig redan två år efter bestrålningen medan vissa tumörtyper tar tio år eller mer för att utvecklas [källa: SSI].

Nu är det inte säkert att man får cancer om man blir utsatt för strålning. Det är många olika faktorer som ska samspela för att en tumör ska utvecklas. Sannolikheten att få cancer står i proportion till stråldosen. Ju mer strålning desto större risk! Men ett problem som diskuteras i många sammanhang är dos-effektkurvans form vid låga stråldoser. Olika tolkningar finns, men sanningen är att man inte kan visa hur kurvan ser ut vid låga doser. Den internationella strålskyddsorganisationen ICRP (1991) anger att ett statistiskt signifikant överskott (95 % konfidensnivå) av cancerfall endast har påvisats först vid 200 mSv. Statens strålskyddsinstitut, SSI, anger (2005) att en ökad cancer risk har kunnat påvisa då människor under en kort tid utsatts för stråldoser högre än 100 mSv. SSI antar dock i likhet med ICRP, trots detta resultat, att det inte finns något tröskelvärde under vilket stråldosen blir harmlös.

ICRP anger i sin riskbedömning (för låga stråldoser och doshastigheter) 5 % risk per Sv att få strålinducerad cancer om en population med normal åldersfördelning bestrålas. Det innebär att om en individ utsätts för 1 mSv är risken 1 på 20 000 att utveckla strålinducerad cancer någon gång i livet. För vuxna är risken 4 % per Sv, barn är alltså känsligare än vuxna. Enligt Socialstyrelsen är den relativa 10-årsöverlevnaden för alla cancerformer ca 58 % och för malignt melanom i huden ca 83 %.

För att belysa strålningsriskerna med arbete i civil flygtrafik kan följande beräkning göras: Om antalet personer i civil flygtrafik är 7000, som flyger i 30 år och får en extra årsdos på ca 3 mSv uppskattas sannolikheten för cancer till omkring 25 fall ( $0,003 \times 30 \times 0,04 \times 7000 \approx 25$ ), som följd av denna extra bestrålning. Om vi räknar med en 10-årsöverlevnad på 58 % får vi ett dödstal på 11 personer ( $25 \times 0,42 \approx 11$ ).

Beräkningen har mycket stora osäkerheter, men värdet ger ändå en möjlighet att få en uppfattning om strålningsriskerna. Enligt statistiska källor är cancer dödsorsaken i Sverige i 30 % av fallen. [källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)]. Bland nämnda 7000 personer kan man alltså förvänta sig omkring 2000 cancerdödsfall ( $0,3 \times 7000 = 2100$ ), att jämföras med de 11 fallen från kosmisk strålning under flygning.

*Federal Aviation Authority*, FAA, anger att en extra dos på, som i det här fallet, 90 mSv ( $3 \times 30 = 90$ ) innebär en risk 1 på 280 (0,4 %) att utveckla strålinducerad cancer.

## Genetiska effekter

Förändringar i den genetiska informationen (mutationer) visar sig först i kommande generationer. Orsaken är en förändring i informationsmaterialet (DNA) i könscellerna (spermier och äggceller). Är förändringen liten kallas den punktmutation, är den stor är det vanligen en kromosomförändring. En könscell som skadats av strålning kan vid en befruktning rent teoretiskt föra skadan vidare. Genetiska skador framkallade av strålning har dock aldrig kunnat påvisas hos människor, inte ens efter atombombsfällningarna i Japan. Genom djurförsök vet man dock att ärftliga skador inträffat till följd av bestrålning [källa: [SSI](#)]. Man anser dock att risken är mindre när det gäller genetiska skador än när det gäller cancer [källa: [Strålskydd \(2000\)](#)].

Det finns dock studier av förekomsten av t.ex. dicentriska kromosomaberrationer där det i en artikel (Heimers, 2000) rapporteras att man hos 18 piloter som flugit Concorde funnit en säkerställd ökning av denna kromosomförändring [källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)].



## Fosterskador

Foster växer mycket snabbt och är på grund av detta särskilt känsliga för strålning [källa: SSI]. Men även om dosen till fostret vore så hög som 20 *mSv* skulle varken någon strålningsinducerad strukturell abnormalitet eller mental retardation observeras. Men en ökad risk för missfall under de första dagarna av utveckling kan resultera från en ökad dos av joniserande strålning. Efter den första dagen eller två skulle en dos på 20 *mSv* inte påverka fostrets överlevnad.

För ett barn som bestrålas under graviditeten ökar risken för att utveckla cancer. FAA anger en risk 1 på 10,000 per *mSv*. För bestrålning senare i livet anger FAA en risk 1 på 26,000 per *mSv*. Det innebär alltså en större risk vid bestrålning i fosterstadiet än vid bestrålning senare i livet.

[källa: [Civil Aerospace Medical Institute FAA](#)]

## Flygande personal och cancerrisk

I en nordisk studie från 2002 samlades svenska, danska, finska och isländska undersökningar. 10,000 piloter undersöktes under en period på 17 år. Studien visade att där förelåg större risk för piloterna och kabinpersonalen att få hudcancer, speciellt av typen malignt melanom, än för resten av befolkningen.

Förekomsten av malignt melanom har sexdubblats de senaste 30 åren och är den vanligaste cancerformen bland kvinnor mellan 15 och 29 år och män mellan 30 och 54 år. Den största riskfaktorn är överdriven solning. Det antas att flygande personal har andra semester- och solvanor än befolkningen i allmänhet, och att detta kan medverka till den ökade risken. Att kosmisk strålning kan vara en orsak har inte bevisats men kan inte heller helt uteslutas.

I någon undersökning har man hittat en ökad tendens till bröstcancer hos flygande personal. Här kan förklaringen vara färre graviditeter och högre ålder vid förstagångsgraviditeten.

Andra orsaker till cancer i tillägg till kosmisk strålning kan vara rökvanor, alkoholvanor, kost och andra livsstilsfaktorer. Jetlag med hormonändringar i kroppen kan också vara en orsak.

[källa: "SAS informationsblad till sina anställda"]

## 4.5 REGELVERK OCH ORGANISATIONER

### Strålskyddslagen

Strålskyddslagen (SFS 1988:220) reglerar all verksamhet med strålning. Strålskyddslagen är en ramlag vilket innebär att lagen innehåller de huvudsakliga reglerna men att dessa ska fyllas med ett innehåll som bestäms av regeringen eller den myndighet regeringen bestämmer. Regeringen har genom strålskyddsförordningen bemyndigat Statens Strålskyddsinstitut, SSI, att meddela föreskrifter om strålskydd.

## EU

*Europeiska unionen* (EU) är namnet på den västeuropeiska sammanslutning där nu 25 länder är medlemmar.

Europeiska gemenskapen (EG) är samlingsbeteckningen på tre separata gemenskaper: kol- och stålgemenskapen (EKSG), den Europeiska ekonomiska gemenskapen (EEG) och atomenergigemenskapen (Euratom). De tre delarna vilar på varsin traktat. De grundläggande är Pariskonventionen 1951 och *Romfördraget* (EEG-fördraget, numera kallat *EG-fördraget*) 1957. De tre gemenskaperna har sedan 1967 genom Fusionsfördraget 1965 gemensam förvaltning. Genom *Maastrichtavtalet* 1991 bestämdes att gemenskapen skulle utvecklas till en europeisk union, EU. Maastrichtavtalet om EU trädde i kraft 1993.

EU:s samarbete bygger på ett antal fördrag (mellanstatliga avtal) som ingåtts mellan medlemsländerna. Fördragen fungerar som en slags grundlag för EU. De mest centrala fördragen är

- *EG-fördraget* eller *Romfördraget*. Detta är det mest omfattande fördraget. Det innehåller framför allt grundreglerna för den gemensamma marknaden. Det innehåller 314 artiklar (med en mängd ändringar och tillägg). Tillägg till och ändringar i Romfördraget gjordes genom Enhetsakten 1987 och Maastrichtavtalet 1991.
- *Euratom-fördraget* trädde i kraft 1958. Genom detta inrättades ett samarbete på kärnenergiområdet.
- *EU-fördraget* tillkom genom Maastrichtfördraget.

De egentliga institutionerna är *Rådet*, *Kommissionen*, *Europaparlamentet*, *Domstolen* och *Revisionsrätten*.

*Kommissionen* är ett utredande, förslagsställande, verkställande och övervakande organ. Det är i stort sett bara kommissionen som har rätt att komma med förslag till förändringar som berör alla medlemsstaterna.

*Rådet* är det högsta beslutande organet och består av stats- och regeringscheferna samt Kommissionens ordförande (president).

En *EG-förordning* som har trätt i kraft gäller direkt och likadant i alla medlemsländer som en del av den nationella lagstiftningen.

Ett *EU-direktiv* har som mål att harmonisera de nationella lagarna på något område.

## EU-direktiv för strålning

De regler som gäller för personal verksam med joniserande strålning grundar sig på ett direktiv från Rådet 96/26/EURATOM av den 13:e maj 1996. Dessa regler gäller för verksamhet som faller under strålskyddslagen och kosmisk strålning gör detta sedan 2002. Direktivet har omsatts i föreskrifter utgivna av SSI. I korthet säger dessa föreskrifter att årsdosen inte regelbundet får överskrida 20 mSv utöver den strålning man får i sitt vardagliga liv (en person som arbetar med strålning i sitt yrke får högst utsättas för 50 mSv under enstaka år, men högst 100 mSv under 5 på varandra följande år). Personal som får en årsdos på 1-6 mSv tillhör en så kallad *kategori B* och deras arbetsplats ska vara kontrollerad. Går det inte att utesluta att dosen kan överstiga 6 mSv, tillhör personalen *kategori A*. Arbetsgivaren är då skyldig att förse personalen med persondosmätare och dosvärdena ska rapporteras till det

nationella dosergistret vid SSI. Tillträde till arbetsplatsen ska dessutom vara begränsad. För gravida kvinnor gäller speciellt och oberoende av kategoritillhörighet *Artikel 10*.

*Artikel 10* säger att så snart en gravid kvinna i enlighet med nationell lagstiftning och/eller nationell praxis informerar företaget om sitt tillstånd, ska det ofödda barnet skyddas på samma sätt som enskilda personer ur befolkningen. Stråldosen till det ofödda barnet ska bli så låg som rimligen är möjligt och det ska vara osannolikt att denna dos överstiger 1 mSv under åtminstone återstoden av graviditeten.

## **Joint Aviation Requirements**

30 Europeiska luftfartsmyndigheter samarbetar i flygsäkerhetsfrågor genom ett organ kallat *Joint Aviation Authorities*, JAA. JAA har inga befogenheter, men utarbetar och fastställer tekniska och operativa krav för flygplan, så kallade *Joint Aviation Requirements*, JAR, som medlemsstaterna måste göra till sina nationella regler för att de ska bli gällande. EU har, genom beslut av Europaparlamentet och Rådet, gett ett antal JAR status av en EG-förordning (regulation) genom att ta in dessa JAR i en bilaga till EG-förordningen 3922/91 (Förordningen om "harmonisering av tekniska krav och administrativa förfaranden inom området civil luftfart"). Dessa tekniska krav bevakas i Sverige av luftfartsverket (Luftfartsstyrelsen, tidigare Luftfartsinspektionen).

JAA har fastställt en JAR som innehåller kravet att flygplan som flyger på en höjd över 15 km (49,000 ft) ska ha dosmätare installerad. EU avser att ge denna JAR status av EG-förordning. JAA har utarbetat ett förslag med tillägg till denna JAR som innebär att arbetsschemat, när det är praktiskt genomförbart, ska organiseras så att årsdosen inte kommer att överstiga 6 mSv. I de fall planeringen inte kan genomföras på det sättet, ska företaget ansvara för att register förs över varje flygning eller besättningsman som berörs. Företaget ska också ansvara för lämplig medicinsk kontroll av personalen.

Skrivningen av denna JAR går längre än strålskyddsdirektivet. Om EU antar detta tillägg kommer även det att få status av EG-förordning som ska gälla i Sverige.

## **EURADOS - rapporten.**

För att underlätta införandet av EU-direktivet 96/26/EURADOS fick Eurados i uppdrag av Europeiska kommissionen att utvärdera de stråldoser som rapporterats med hjälp av mätningar och beräkningar under flygningar. 14 Olika grupper med forskare bidrog med mätvärden och rapporter. Rapporten innehåller mer än 400 jämförelser av ruttdoser, som har uppmätts under hela den senaste elvaåriga solcykeln. Dessutom har mer än 10,000 värden på dosrater sammanställts och jämförts. För flyghöjder över 13 km har antalet mätvärden varit färre och slutsatser därför mindre väl underbyggda.

Olika grupper arbetade med utveckling av beräkningsprogram, och fem olika program har ingått. Alla program är dock inte oberoende av varandra och alla kan inte heller beräkna den storhet som mätinstrumenten bestämmer (miljödosekvivalenten). Därför har inte alla program jämförts i alla situationer. Ett av programmen är CARI6\*.

Rapporten innehåller också en jämförelse mellan beräknade resultat från alla programmen. För 28 olika datum, spridda över i stort sett hela perioden, beräknades både den effektiva

dosen och miljödosekvivalenten för olika flygrutter. Arbetsgruppen bedömde sen hur väl de beräknade värdena stämde överens med de uppmätta värdena.

\*CARI6 går att få kostnadsfritt från FAA [källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)]. Programmet kan nås via en länk från the Radiobiology Research Team Web site: <http://www.cami.jccbi.gov/radiation.html>

Slutsatsen var att det finns god överensstämmelse mellan värden uppmätta på olika sätt. Uppmätta och beräknade värden stämmer ofta överens inom 30 %. Slutsatsen blir därför att det finns stöd för tanken att basera bestämningar av ruttdoser på beräkningar av den effektiva dosen, förutsatt att sådana beräkningsprogram kontrolleras genom jämförelser mellan mätvärden och beräknade värden. Arbetssättet bör ge tillräcklig noggrannhet i strålskyddsarbete, där ICRP:s krav är  $\pm 50\%$ .

[källa: [Strålskyddsnytt nr 2 2000](#)]

## 5. Diskussion

Det finns berättigad anledning att utreda riskerna med flygning med hänsyn till den ökade stråldos man utsätts för. Den kosmiska strålningen är känd sedan länge och väl utredd till kvantitet och fysikalisk natur. Biologiska effekter av strålning är också väl utredda men det finns fortfarande osäkerheter i kunskaperna. Framförallt har det inte varit möjligt att säkert slå fast hur dos-effekt kurvan ser ut vid låga dosnivåer. Riskbedömningar vid dessa nivåer får därför grunda sig på extrapolering. Troligen kommer denna metod att något överskatta riskerna med lågdos-strålning, åtminstone sannolikt inte underskatta dem.

Den komponent i strålningen som ökar vid vistelse på hög höjd är den kosmiska strålningen. Kosmisk strålning består av högenergetiska partiklar och elektromagnetisk strålning. Partikelstrålning är principiellt farligare än elektromagnetisk strålning främst på grund av att den ger en högre jonisationstäthet. Å andra sidan har partikelstrålning kortare räckvidd vilket betyder att dosen framförallt deponeras i ytan. Flygplanskroppen i sig utgör ett skydd framförallt mot partikelstrålningen. Det framgår inte i vad mån hänsyn tagits till detta vid beräkningarna av exponering i de beräkningar som referats ovan. Vid riskbedömning är det viktigt att röra sig på rätt sida på skalan av osäkerhet, så det kan motivera att man bortser från skyddande effekt av flygplanskroppen, klädsel mm. Dessa faktorer är ju också varierande och svåra att ta hänsyn till. Med detta vill jag bara påpeka att de riskbedömningar som gjorts sannolikt inte underskattar risken.

Vid utformning av regler för tolerabla doser tas hänsyn till kända fakta om strålningens effekter på biologiskt liv. Eftersom det finns flera olika typer av risker måste den största vikten läggas vid de allvarligaste konsekvenserna. Joniserande strålning kan ge upphov till cancer och till fosterskador. I förhållande till andra skadetyper måste dessa anses som de tyngsta och därför ligga till grund för riskanalysen.

Eftersom vi inte kan påverka den kosmiska strålningen är möjligheterna att påverka dosen begränsade till förändringar i vårt eget beteende. De variabler som kan modifieras blir då av teknisk-administrativ natur. Flygrutter kan anpassas till att undvika områden med hög doshastighet (polområden). Flyghöjden kan varieras med beaktande av att doshastigheten ökar med ökande höjd. Personalens arbetsschema kan anpassas så att man undviker att samma personal ideligen flyger på rutten med hög strålbekastning och under lång tid.

Enligt de regler som JAA utarbetat, vilka minst måste uppfylla EU:s krav, ska flygbolagen göra beräkningar av den dos som personalen utsätts för. Det ligger även i allas intresse att schemat läggs så att den beräknade årsdosen för de anställda hamnar under 6 *mSv*, vilken är gränsen för individuell åtgärd. Detta verkar generellt inte innebära några större svårigheter.

Mot bakgrund av ovan redovisade förfaringssätt föreligger inte, så länge reglerna efterföljs, någon ökad risk för strålningsinducerad ohälsa för flygande personal i förhållande till normalbefolkningen. I sammanhanget ohälsa är variationer i doser från de riskfaktorer, i det vardagliga livet, som utgörs av strålning från bostadsort (variation i strålning från berggrunden), där radon spelar en högst betydande roll, hobbyverksamhet, medicinska undersökningar inkl. tandröntgen och andra omständigheter lika avgörande som variationer i dosen kosmisk strålning.

## 6. Referenser

### *Litteratur:*

- Karl-Johan Johansson, Kerstin R,...:**Strålskydd**, tredje utgåvan (2000).
- Harris Benson: **University Physics**, andra utgåvan (1996).
- Mats Areskoug: **Miljöfysik, energi och klimat**, studentlitteratur (1999).
- Birgitta Nyström: **EU och arbetsrätt**, andra utgåvan (1997)
- Examensarbete vid Lunds Universitet (2002)

### *Hemsidor:*

- Statens strålskyddsinstitut, SSI: [www.ssi.se](http://www.ssi.se)
- Statens strålevern: [www.nrpa.no](http://www.nrpa.no)
- Civil Aerospace Medical Institute FAA: [www.cami.jccbi.gov/radiation.html](http://www.cami.jccbi.gov/radiation.html)
- Socialstyrelsen: [www.socialstyrelsen.se](http://www.socialstyrelsen.se)
- EU-upplysningen Sveriges Riksdag: [www.eu-upplysningen.se](http://www.eu-upplysningen.se)
- Department of transport: [www.dft.gov.uk](http://www.dft.gov.uk)
- Lund Space Weather Center: [www.lund.irf.se](http://www.lund.irf.se)

### *Artiklar:*

- **Strålskyddsnytt** nr 3-4 2003 (hittas via SSI:s hemsida)
- **Strålskyddsnytt** nr 2 2000
- **What Aircrew Should Know About Their Occupational Exposure to Ionizing Radiation** (hittas via hemsidan av Civil Aerospace Medical Institute, FAA)
- ”SAS informationsblad till sina anställda” finns på SAS intranät och benämns: **Informasjon om eksponering av kosmisk strålning ombord på fly**