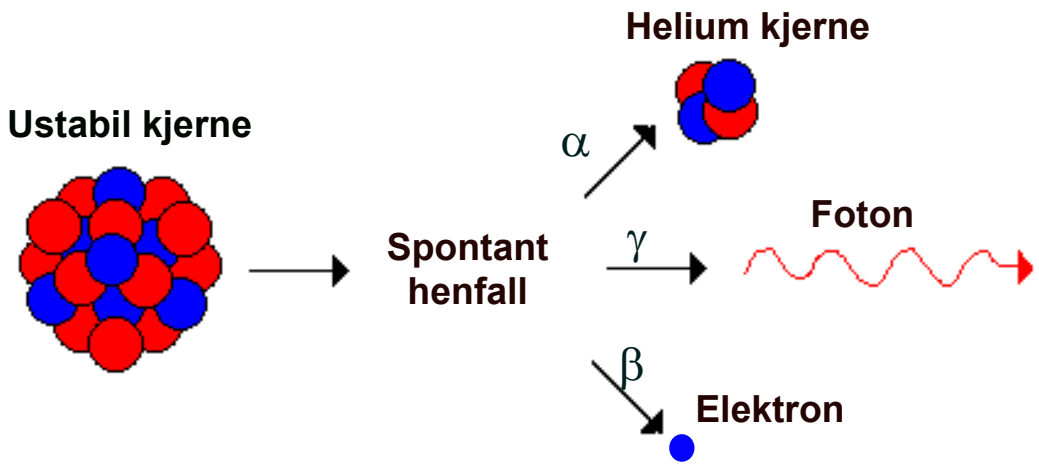
Radioaktivitet

De fleste atomkjerner er stabile, men vi har noen som er ustabile. Vi sier at de er radioaktive. Det betyr at de før eller senere vil gå over til en mer stabil tilstand ved å sende ut stråling.
Det er 3 typer stråling som er mulig og vi kaller de for alfa (α), beta (β) og gammastråling (γ) etter de tre første bokstavene i det greske alfabet.

α-partikler er kjernen til helium og består av 2 protoner og 2 nøytroner.

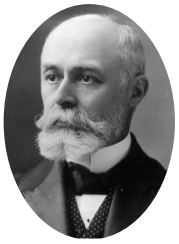
β-partikkel er ganske enkelt et elektron.

γ-stråling er fotoner (det kan sammenlignes med røntgenstråling)



Enheter

En radioaktiv kildes intensitet angis i "antall henfall per sekund" Enheten er becquerel (Bq) – etter Henri Becquerel som oppdaget radioaktiviteten.


Henri Becquerel

1 Bq = 1 desintegrasjon (ett henfall) per sekund.

I starten brukte en enheten 1 Ci (curie). Det er den intensitet som er i et gram radium. Denne enheten er fortsatt i bruk slik at det kan være nyttig å kjenne overgangen mellom Bq og Ci. Vi har:

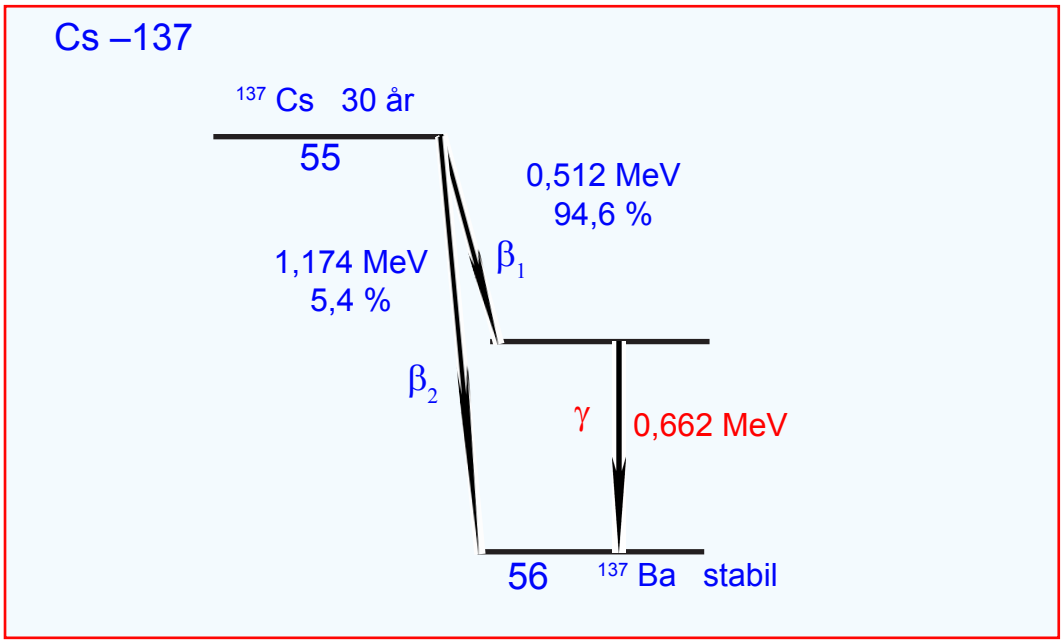
1 Ci = 3,7 • 10^{10} Bq

Marie Curie
oppdaget radium

Når det er radioaktivitet i luften måler vi det i becquerel per kubikkmeter luft (Bqm^{-3}).
Når det er aktivitet i mat pleier en angi det som Bq per kg. Hvis vi snakker om nedfall på bakken (etter ulykker) angies det som Bq per kvadratmeter.

Litt informasjon om den radioaktive strålingen

Når vi skal vurdere betydningen av en radioaktiv isotop (for eksempel med hensyn til helse), er det ikke nok å kjenne intensiteten i Bq – vi må også ha informasjon om strålingen. Vi kan gi informasjon, enten i tabell-form eller ved et skjema som vi kaller for isotopens henfallskjema (på engelsk "decay scheme"). I figuren nedenfor er gitt henfallskjemaet til Cs-137 som er den viktigste isotopen i forbindelse med reaktorulykker og bombenedfall.



Her er vist henfallskjemaet til Cs-137. Vi kan lage slike skjemaer for all isotoper. Det gir verdifull informasjon og er helt nødvendig når en skal beregne stråledoser. Vi får informasjon både horisontalt og vertikalt fra et slikt skjemna. Langs den horisontale aksen er atomnummeret. Når Cs med atomnummer 55, sender ut en β-partikkel, går den over til Ba med atomnummer 56.
Vertikalt er angitt energi. Vi ser at i 94,6 % av desintegrasjonene sendes det ut en β-partikkel med energi på 0,512 MeV og i 5,4 % sendes det ut en β-partikkel med 1,174 MeV. Gamma-strålingen som er viktigst i dos-esammenheng har energien 0,662 MeV. Videre er halveringstiden 30 år.
Du kan se en rekke slike skjemaer for viktige isotoper i boka "Radioactivity and X–rays. Applications and health effects" i Chapter 2. http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/biofysikk/Nettbok.pdf

---

Hvis du lurer på dette med energi kan vi fortelle at når det gjelder atomer og radioaktiv stråling brukes det en enhet som brukes kalles elektronvolt – forkortet til eV. Den er liten og er definert på følgende måte.

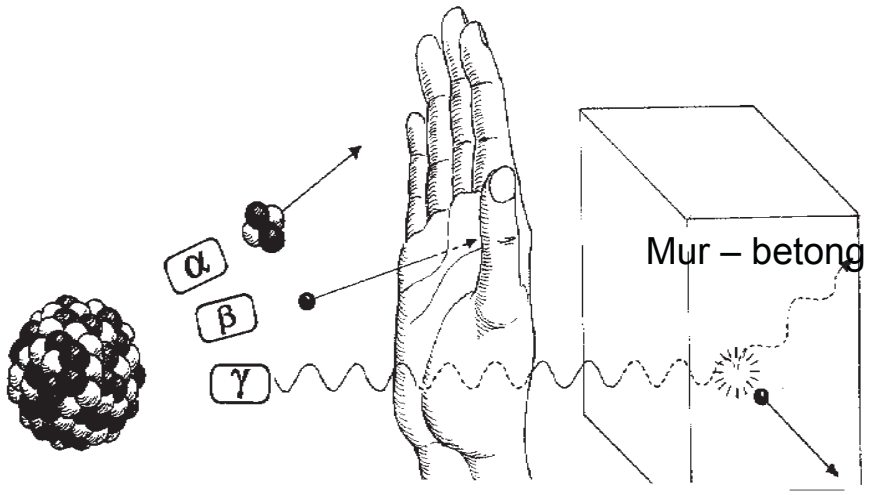
En elektronvolt er den energi et elektron får når det aksellereres gjennom et spenningsgap på 1 volt.

Normalt bruker vi energienheten joule. Sammenlignet med den er 1 eV meget liten. Forholdet er:

$$1 \text{ eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ joule}$$

Rekkevidden av den radioaktive strålingen

Hvordan kan du beskytte deg mot strålingen fra en radioaktiv kilde? I forbindelse med reaktoruhell er det mange forskjellige isotoper. Alle disse isotopene sender ut β-partikler og γ-stråling. Det er γ-strålingen som har størst rekkevidde. Vi kan illustrere rekkevidden ved figuren på neste side.



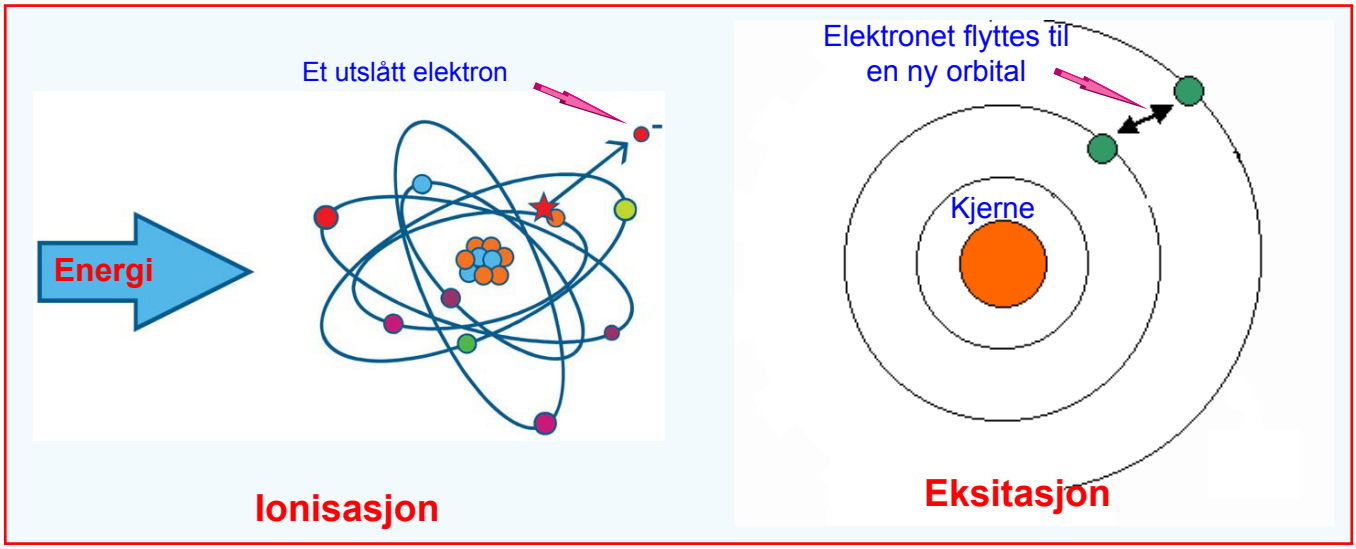
Alfapartikler fra en radioaktiv isotop (for eksempel radon og dens henfallsprodukter) har en rekkevidde i luft på noen få cm (5 – 8 cm). I vev er rekkevidden noen mikrometer. Det betyr at α-partikler vil ikke gå gjennom klær – du kan "sitte på en α-partikkelkilde". Hvis derimot α-partiklene kommer inn i kroppen vil de avgi all sin energi innenfor noen få mikrometer.
Vi nevner det tragiske tilfellet med Aleksandr Litvinenko. Han ble i 2006 drept av α-partikler fra isotopen Po-210 som har en energi på 5.3 MeV.

Beta-partikler med en energi på 1 MeV har en rekkevidde i vev på 0,5 cm. Men de aller fleste β-partikler har langt mindre energi enn 1 MeV. Følgelig vil omtrent alle β-partikler som kommer fra reaktorulykker bli stoppet av klær. Det som måtte komme på huden må vaskes av.

Gamma-stråling kan trenge gjennom vev og andre stoffer som mur og tildels metaller. For eksempel vil 50 % av γ-strålingen fra Cs-137 (den har energien 0,662 MeV) gå gjennom et vannlag på 9 cm. Vi sier at γ-strålingen fra Cs-137 har et "*halv-verdi lag*" på 9 cm i vann (det betyr ca. 90 meter i luft). Etter 5 halv-verdi lag er 97 % av strålingen absorbert. Hvis du for eksempel bader i vann med radioaktivt cesium er det bare isotoper i et vannlag på ca. en halv meter som kan gi deg en stråledose. γ-stråling er lett å måle enten den radioaktive isotopen er utenfor eller innenfor kroppen.

Stråledose

Strålingen avgir sin energi i små porsjoner ved ionisasjoner og eksitasjoner. Stråledose er definert som ***"energi absorbert"***. Den måles i enheten gray (Gy).



Stråledose-enheter

1Gy = 1 joule pr. kg

Louis Harold Gray

Forskning har vist at den biologiske virkning avhenger av fordelingen av ionisasjoner og eksitasjoner. Biologisk effekt øker med tettheten av ionisasjoner. Vi sier at effekten øker med "*linear energy transfer*" (LET). En forsøker å ta hensyn til dette ved å innføre en strålingsvektfaktor (w_R). Da angir en dosen i sievert (Sv).

Vi har sammenhengen:

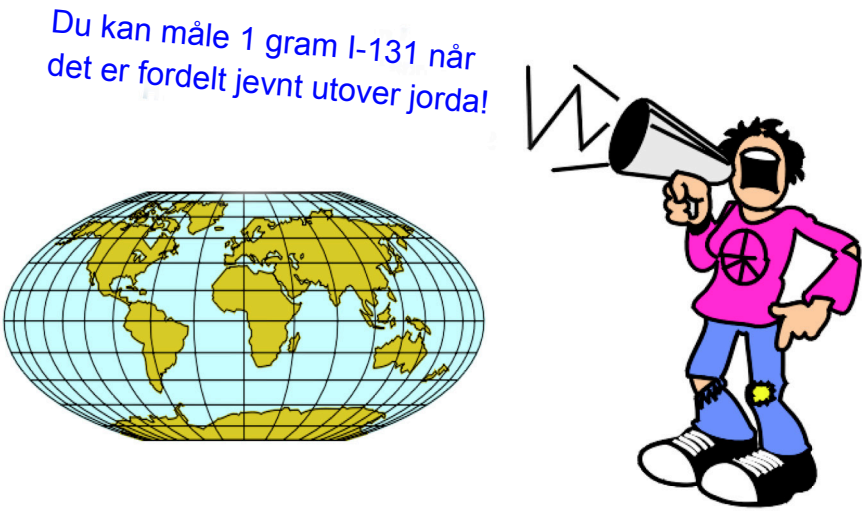
$$Sv = w_R \bullet Gy$$

Rolf M. Sievert

Sv er ubenevnt og kan <u>ikke</u> måles (tiltross for at noen forsøker å si det). For stråling i forbindelse med reaktorulykker (γ-stråling og β-partikler) er fordelingen av ionisasjoner jevn, og w_R er lik 1. Da er dose i Gy lik dose i Sv. Det er nok grunnen til at mange snakker om doser i Sv i forbindelse med reaktorulykker.
For isotoper som sender ut α-partikler (gjelder radon) eller nøytroner er w_R større enn 1. Vi skal la dette ligge i denne omgang.

Måling av radioaktivitet

Vi kan måle radioaktivitet ned til ufattelig små mengder av et stoff. Hør bare! Hvis vi tok 1 gram I-131 og fordelte det jevnt over hele jorda (over land og hav) ville aktiviteten være 10 Bqm^{-2} – det kan vi lett måle! Du kan selv regne litt på dette. Du må vite at I-131 har en halveringstid på 8,04 dager. Du må også vite at 131 gram I-131 er et mol og inneholder $6{,}022 \bullet 10^{23}$ atomer (det er Avogadro`s tall). Da kan du finne at aktiviteten i et gram I-131 er $4{,}59 \bullet 10^{15}$ Bq. Vi vet hvor stor jorda er og får således gitt antall Bq per kvadratmeter.



Måling av radioaktivitet er overlegent andre målemetoder når det gjelder å måle små mengder.

Kjente utslipp av radioaktivitet

De første store utslipp av radioaktive stoffer var knyttet til de kjernefysiske bombeprøvene. Ialt er det sprengt over 500 bomber i atmosfæren. Noen ble sprengt i stor høyde – og da var det stort sett bare fisjonsprodukter som ble ført med vinden. For sprengninger nær bakken ble det dannet en mengde aktiveringsprodukter i tillegg. Beregninger som er gjort tyder på et globalt utslipp på ca. 30 millioner Ci eller $1{,}1 \cdot 10^{18}$ Bq. Det er ca. 30 ganger mer enn Tsjernobyl.

En annen viktig forskjell mellom bomber og reaktorulykker er at for bombene nådde aktiviteten stratosfæren. Det ga betydelig større spredning (omfattet en større del av kloden). Siden det er liten utveksling mellom stratosfære og troposfære tar det lang tid før de siste rester av isotoper når bakken.

For Norge var det sprengningene over Novaja Semlja i 1961 og 62 som førte til nedfall. Det var ialt 87 sprengninger i atmosfæren. Målinger den gang, ble i første rekke foretatt av Anders Storruste på Blindern. Han målte aktivitet i luft og samlet opp nedfall i regn i et "kar" på taket av Fysikkbygget.

Luftmålingene viste at ca. 4 dager etter en sprengning økte luftaktiviteten i Oslo. Hele høsten 1961 ble det målt verdier ca. 30 ganger over det normale. I november 1962 ble det målt ca. 200 ganger over normalverdi (sammenlign dette med Japan der det i Tokio en dag ble målt 10 ganger over normalt).

Nedfallet kom stort sett med regn. Totalt fikk Oslo et nedfall av Cs-137 på 37 kBq per m^2. Etter Tsjernobyl var det midlere nedfall i Norge 7 kBq per m^2, men i enkelte områder i midt-Norge var det på over 100 kBq per m^2. Nedfallet i nord, førte til betydelige mengder Cs-137 i reinkjøtt. Helt frem til 1970-tallet var det jevnt over mer enn 1000 Bq per kg kjøtt. Samer som spiste dette jevnlig, hadde Cs-137 i kroppen – opptil 700 Bq per kg. De stråledosene de fikk i toppåret på 1960-tallet var en ekstradose på 1,5 mSv. For oss i syd var ekstradosen ca. 0,03 mSv.

Windscale 1957

I oktober 1957 tok det fyr i en grafittmoderert reaktor i Windscale (idag Sellafield). Kjernen brant en hel dag og det slapp ut ca. $700 \cdot 10^{12}$ Bq med isotoper. I-131 var hovedproblemet de første dagene og det ble målt opp til 50 000 Bq per liter melk fra en gård 15 km unna. Det ble innført grenseverdier for salg og grensen var 0.1 µCi (eller 3700 Bq) per liter.

Når en kjenner strålingen fra I-131 kan en raskt gjøre brukbare overslag over stråledosen til skjoldbrukskjertelen. Hvis en for eksempel drikker en liter melk som inneholder 3000 Bq, og antar at all stråling avsettes i skjoldbrukskjertelen vil den få en dose på ca. 7 mGy. Slike og andre doseberegninger kan være nyttige.

Three Mile Island 1979

I mars 1979 mistet en kjølingen på en trykkvanns-reaktor (PWR) på Three Mile Island nær Harrisburg, Pennsylvcania i USA. Kjernen smeltet ned i løpet av de 6 – 7 timene en ikke hadde kjøling. Reaktoren hadde en sikkerhets-inneslutning og bare små mengder radioaktivitet ble sluppet ut. Det er beregnet til ca. 20 Ci (eller 740 • 10^9 Bq) I-131. Det er altså lite i forhold til Windscale og bombeprøver.
Nedfallet var lokalt, men fikk voldsom oppmerksomhet og skapte engstelse og tildels hysteri. Det førte også til at USA stoppet sitt kjernekraftprogram.

Tsjernobyl 1986

I april 1986 hadde vi Tsjernobyl-ulykken. Den står frem som det store skrekkscenariet og det er fortsatt vanskelig å se på ulykken med nøytrale øyne.

Vi skal ikke gå gjennom Tsjernobylulykken, men vise til at det er en del faglige gjennomganger når det gjelder ulykken og de helsemessige konsekvenser. Vi henviser interesserte til rapport fra UNSCEAR, WHO og IAEA fra 2008. Du finner den på adressen:

http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html

Når det gjelder stråledoser var det de såkalte "emergency workers" som fikk de største stråledoser. V. K. Ivanov og medarbeidere har studert 65 905 russiske arbeidere med doser fra 5 til 300 mSv. Resultatene så langt viser at det er *mindre* dødlighet og *mindre* antall kreft hos disse arbeiderne sammenlignet med en normal russisk gruppe (se artikkel i FFV). Idag, 25 år etter, er strålenivået i Pripyat som er fraflyttet ca. 5 mGy per år.

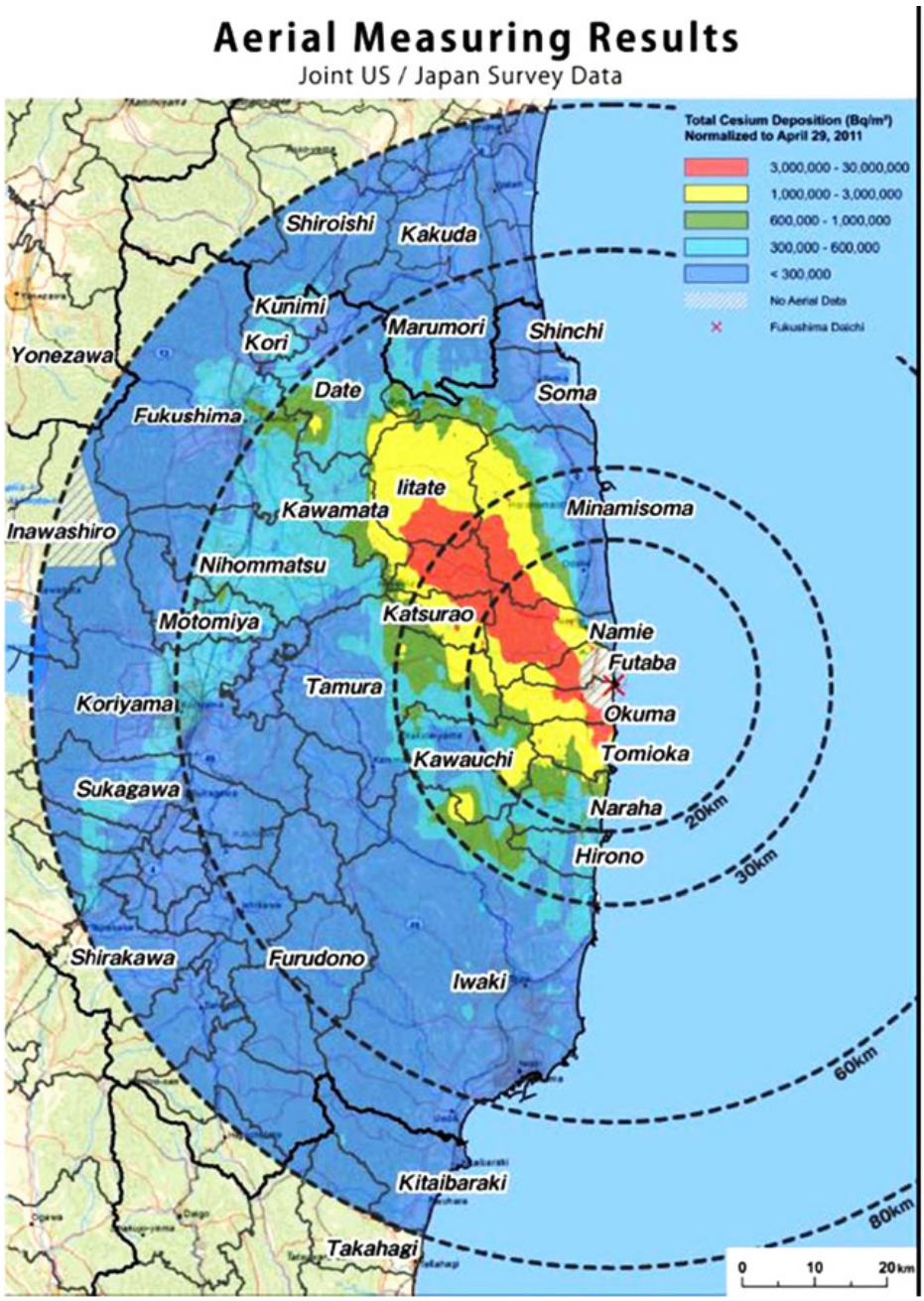
Japan 2011

Jordskjelv og tsunami 11. mars førte til reaktorhavariet i Fukushima. Det førte til utslipp både til luft og til hav. De viktigste isotopene var I-131 og Cs-137.
Det antydes at utslippet var ca. 10 % av utslippet i Tsjernobyl.
Utslippet til luft falt ned i nærområdene – det vil si innen 60 km fra reaktorene (se figur neste side). De første dagene ble det gjort målinger på personer som hadde vært i området og som muligens hadde fått noe radioaktivt på klærne. Det ble også satt igang en rekke målinger av strålingen i luften. Da måles naturlig bakgrunnsnivå (γ-stråling fra bakken og kosmisk stråling) samt stråling som skyldes utslipp fra reaktorene. Måleverdiene ble oppgitt som μGy per time (eller μSvh^{-1}). Det betyr at hvis du oppholder deg på stedet i en time vil stråledosen fra disse kildene være lik måleverdien.

Målinger ble gjort hver time på en lang rekke steder i området rundt reaktoren og i byer rundt om. Dosene som en kan beregne ut fra dette, lå i april på et nivå omtrent det doble av naturlig bakgrunn. Fukushima området hadde de høyeste verdier og de lå i mai på 1,6 μGyh^{-1}. Hvis dosenivået holdt seg på dette nivået et helt år, ville det gi en årsdose på ca. 14 mSv.

I midten av mai er det fortsatt litt nedfall av I-131 og Cs-137, men nå avtar nedfallet av I-131 ganske betraktelig. Vi kjenner ikke det totale nedfall, men figuren under viser det totale nedfall beregnet til 29 april. Strålingen vil avta etterhvert som de kortlivede isotopene dør ut. I-131 har en halveringstid på 8 dager og aktiviteten fra I-131 vil bli borte i løpet av omkring 10 halveringsperioder (2 – 3 måneder).

Cs-137 nivået (med halveringstid 30 år) vil være der i mange år. Isotopene kan komme inn i matkjeden. Det er satt igang med målinger av radioaktivitet i matvarer. For prøver som er målt i april– mai av grønsaker, frukt, fisk, melk osv. var nivået enten ikke observerbart eller under de grenseverdier som er satt av Japanske myndigheter. Noen prøver viste verdier over grenseverdien. Det er selvsagt av interesse å følge med i dette og se om Cs-nivået vil øke denne første vekstsesongen.



Kommentarer

Det kan være av interesse å se på strålingen fra disse reaktorulykkene og sammenlikne den med strålingen en finner i de naturlige høydose-områdene som Ramsar i Iran og Guarapari i Brasil. Guarapari er et ferieområde med stort innrykk av turister. Det midlere strålenivå i selve byen er 2 – 5 ganger vårt nivå, men på stranda er dosenivået opp i mer enn 100 ganger det nivå de har rundt Fukushima. Det er et paradoks at hit reiser det tusener på ferie.