



SKB rapport R-97-10

Juni 1997

PLUTONIUM - data, egenskaper m m

Sammanställning gjord av

Per-Eric Ahlström, SKB

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co

SKB, Box 5864, S-102 40 Stockholm, Sweden

Tel 08-665 28 00 Fax 08-661 57 19

Tel +46 8 665 28 00 Fax +46 8 661 57 19

ISSN 1402-3091
SKB Rapport R-97-10

**PLUTONIUM -
DATA, EGENSKAPER M M**

Per-Eric Ahlström

Svensk Kärnbränslehantering AB

Juni 1997

PLUTONIUM – data, egenskaper m m

**Sammanställning gjord av
Per-Eric Ahlström, SKB**

15 juni 1997

Förord

I diskussionen om det använda kärnbränslet nämns ofta plutonium särskilt. Det är angeläget att debatten grundas på så riktiga data och fakta som möjligt. Med hänsyn till det intresse som finns för plutonium har några data och egenskaper för plutonium sammanställts i denna rapport. Den tar också upp ett par exempel som förekommit i den svenska debatten under senare år. Syftet är att ge intresserade läsare en lättillgänglig och samlad bild av plutoniums viktigaste egenskaper, förekomst, användningsområden och hälsoeffekter/farlighet.

Per-Eric Ahlström

Innehållsförteckning

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inledning | 1 |
| 2 | Fysikaliska egenskaper | 1 |
| 3 | Kemiska egenskaper | 2 |
| 4 | Plutoniums isotopsammansättning | 3 |
| 5 | Plutoniums användning | 3 |
| | 5.1 Kärnbränsle | 3 |
| | 5.2 Kärnladdningar | 5 |
| | 5.3 Batterier | 5 |
| 6 | Plutonium i naturen | 5 |
| 7 | Plutoniums hälsoeffekter | 6 |
| 8 | Plutonium från kärnkraftsel enl Eva Goës | 10 |
| 9 | Plutonium i en snusdosa från Greenpeace | 10 |
| | Referenser | 13 |
| | Bilaga 1 | 15 |

PLUTONIUM – data, egenskaper m m

1 Inledning

I diskussionen om det långlivade radioaktiva avfallet nämns ofta plutonium särskilt.

Plutonium upptäcktes år 1941. Glenn Seaborg ger följande uppgifter i en intervju /9/:

- Plutonium upptäcktes 23-24 februari 1941 vid Univ of California, Berkeley, Gilman Hall room 307; det var Pu-238 framställt genom deutronbestrålning¹ av U-238-kärnor.
- Den första synliga mängden isolerades 20 augusti 1942 i Univ of Chicago, Jones Lab room 405.
- Den första vägbara mängden – 2,77 microgram – 10 september 1942 också i Chicago.

Under 1945 hade man för första gången fått fram kilogrammängder, tillräckligt för att göra de kärnladdningar som detonerade vid Alamogordo² och över Nagasaki.

Plutonium beskrivs ibland som världens farligaste ämne. Greenpeace påstår i en broschyr att utbränt bränsle motsvarande den mängd som ryms i en snusdosa är tillräcklig för att utrota hela Sveriges befolkning och att det är de mycket långlivade radioaktiva ämnena, t ex plutonium, som är den största faran /4/. Miljöpartisten Eva Goës sade i en riksdagsdebatt att när en familj lagar sin middag med kärnkraftel bildas plutonium tillräckligt för att döda hela familjen /5/. I det följande har några data och fakta om plutoniums egenskaper sammanställts. Underlaget har huvudsakligen hämtats från ref 1.

2 Fysikaliska egenskaper

Rent plutonium är ett metalliskt ämne. Metallen förekommer i sex olika faser (tillstånd) och har en smältpunkt på 640 °C. Tätheten varierar mellan 19,9 (vid rumstemperatur) och 15,9 g/cm³ beroende på strukturen. Två av fasövergångarna med stigande temperatur ger volymminskning. Pluto-

¹ Deutron = tung väteatomkärna bestående av en proton och en neutron.

² Alamogordo i New Mexico var platsen för den första provsprängningen i juli 1945.

niem är därmed den enda metall som drar sig samman när temperaturen ökar!

Plutoniummetall reagerar med luft och bildar oxid. Vanligaste oxiden är plutoniumdioxid PuO_2 med en täthet på $11,4 \text{ g/cm}^3$ och en smältpunkt på $2290 \text{ }^\circ\text{C}$.

Plutonium är grundämne 94 d v s atomkärnan har 94 protoner. Antalet neutroner i kärnan kan variera från 138 till 152 d v s atomvikten från 232 till 246. Alla plutoniumisotoper är instabila. Halveringstiderna varierar från 21 min för Pu-233 till 82,6 millioner år för Pu-244. Isotoperna 239 och 241 är fissila³ och därför mycket bra som bränsle i kärnreaktorer. Tvärsnittet för klyvning av Pu-239 är ca 1,3 ggr större och för Pu-241 ca 2 ggr större än för U-235. Detta betyder att det behövs mindre mängd Pu-239 och ännu mindre Pu-241 än U-235 för att åstadkomma en kedjereaktion. Vidare är utbytet av neutroner per kärnklyvning större för plutonium-isotoperna än för uran, vilket gör det möjligt att konstruera s k bredreaktorer (se nedan).

3 Kemiska egenskaper

Plutonium kan åtminstone förekomma i fyra olika valenstillstånd (+3, +4, +5, +6) och dess kemi är därför mycket komplex jämfört med vanliga metalliska grundämnena.

Plutonium i metallisk form reagerar med luft och bildar oxider. Reaktionen sker spontant vid rumstemperatur och all hantering av plutoniummetall måste därför ske i slutna utrymmen med inert (syrefri) atmosfär.

Den vanliga formen av plutonium i använt kärnbränsle är plutoniumdioxid, ett keramiskt material som är mycket svårlösligt i rent vatten. Plutoniums löslighet i vatten är ca 2 mikrogram per liter. Plutonium löst i vatten tenderar att fastna på ytor som vattnet kommer i kontakt med. Detta gäller t ex lera och sprickytor i berg vid ett djupförvar. Den buffert av lera som föreslås omge varje kapsel i ett djupförvar är en effektiv barriär för plutonium.

³ Fissila eller klyvbara isotoper som kan klyvas i två fragment med termiska/långsamma neutroner. Vid kärnklyvning frigörs även neutroner som kan ge ytterligare kärnklyvningar. Neutronernas energi är i medeltal över 2 MeV (megaelektronvolt). Kärnklyvning sker lättast med termiska/långsamma neutroner som har energi av storleken 0,02-0,1 eV. Moderatorm t ex vatten i reaktorn bromsar neutronerna till lämplig energi.

4 Plutoniums isotopsammansättning

Plutonium bildas (till allt övervägande del) genom infångning av neutroner i uran-238 bl a i vanligt kärnbränsle. De viktigaste isotoperna i kärntekniska sammanhang upptas i Tabell 1:

Tabell 1. Halveringstider för några plutoniumisotoper och isotopsammansättning för plutonium i använt bränsle från en kokvattenreaktor, BWR.

| Isotop | Halveringstid år | Sönderfallstyp | Halt och sammansättning av plutonium i BWR-bränsle med utbränningen 38 MWd/kg efter | | | | |
|--------------------|------------------|----------------|---|---------|----------|-----------|------------|
| | | | 0 år | 100 år | 1 000 år | 10 000 år | 100 000 år |
| Totalt g Pu / kg U | | | 9,2 | 7,8 | 7,4 | 5,0 | 0,7 |
| Pu 236 | 2,85 | alfa | 0,00001% | - | - | - | - |
| Pu 238 | 87,7 | alfa | 2% | 1% | 0,0009% | - | - |
| Pu 239 | 24 100 | alfa | 52% | 60% | 62% | 72% | 37% |
| Pu 240 | 6 580 | alfa | 27% | 32% | 30% | 17% | 0,009% |
| Pu 241 | 14,4 | beta | 13% | 0,1% | - | - | - |
| Pu 242 | 376 000 | alfa | 6% | 7% | 8% | 11% | 63% |
| Pu 244 | 82,6 million | alfa | 0,0004% | 0,0004% | 0,0005% | 0,0007% | 0,005% |

5 Plutoniums användning

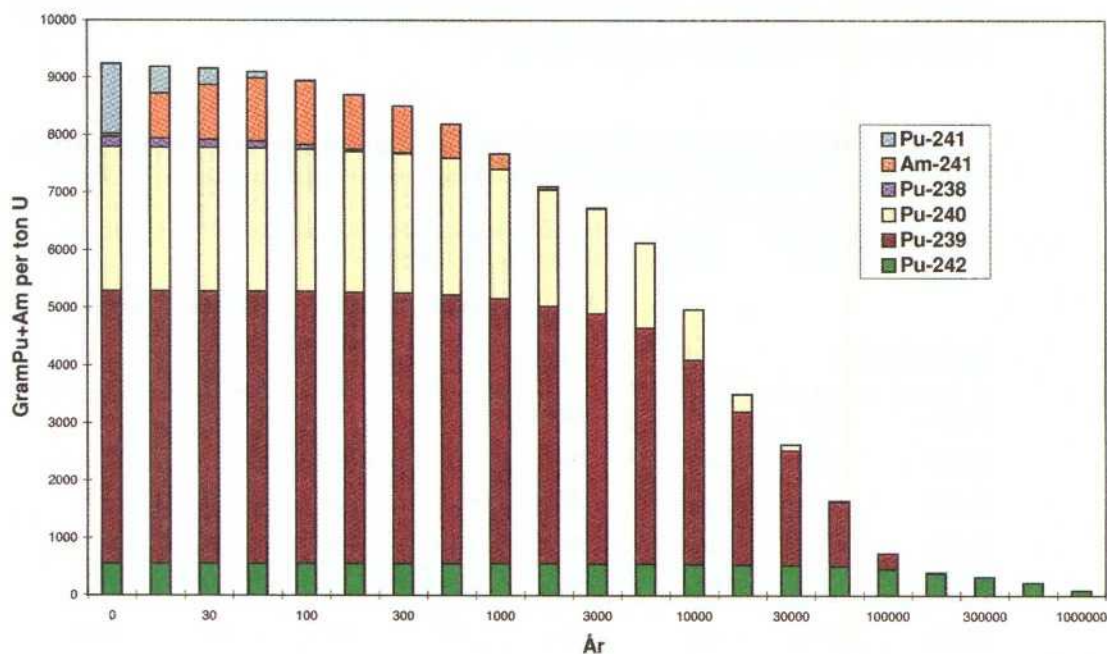
Plutonium har tre betydande användningsområden dels i kärnbränsle, dels i kärnladdningar och dels i batterier för speciella ändamål.

5.1 Kärnbränsle

Plutonium bildas genom infångning av neutroner i uran-238 i vanligt kärnbränsle. En del av det plutonium som bildas, förbränns (genom kärnklyvning) på plats medan bränslet sitter kvar i reaktorn och bidrar därmed till energiproduktionen. I genomsnitt i en modern lättvattenreaktor med anrikat uran-bränsle kommer ca en tredjedel av energiuttaget från kärnklyvningar av plutonium. Utbränt lättvattenreaktorbränsle innehåller knappt 10 kg plutonium per ton uran – sammansättningen framgår av Tabell 1. Kvarvarande plutonium i lättvattenreaktorbränsle kan återvinnas genom upparbetning (i en kemisk fabrik) och återföras till samma reaktor eller en annan reaktor som sk MOX-bränsle⁴. Sådan sk plutoniumåterföring sker i ett antal reaktorer i Frankrike, Schweiz, Tyskland m fl länder. Erfarenheter från reaktordrift med denna typ av bränsle finns sedan slutet

⁴ MOX = mixed oxide fuel = blandoxidbränsle – blandning av plutonium- och uran-oxider.

Isotop-sammansättning av Plutonium + Americium-241



Figur 1. Sammansättningen av plutonium och av plutonium-241 bildat americium-241 från BWR-bränsle med utbränningen 38 MWd/kgU som funktion av tiden efter uttag ur reaktorn. Plutonium-239 och -240 dominerar upp till ca 50 000 år. Ordinataxeln visar gram per ton uran i bränslet.

av 1960-talet. I Sverige har försök med ett mindre antal MOX-bränslestavar genomförts i Ågesta och Oskarshamn 1. Av olika skäl återförs plutonium från upparbetat MOX-bränsle till nytt bränsle endast ett litet antal gånger. Efter "några cykler" byggs bl a mängden av plutonium-238 och -242 samt andra icke klyvbara isotoper upp och försämrar kvaliteten på plutonium.

Under 1960- och 1970-talet utvecklades bridreaktorer där man använder plutonium som bränsle och där uran-238 omvandlas till plutonium. Reaktorn kan konstrueras så att det bildas mer plutonium än vad som förbrukas⁵. På så sätt skulle man kunna omvandla en betydande del av det uran-238 som tas upp ur gruvor till plutonium direkt användbart som kärnbränsle. Energiuttaget per utbruten mängd uran skulle kunna ökas från någon procent till kanske 70 procent av teoretiskt energiinnehåll. Utvecklingen av bridreaktorer avstannade under 1980-talet av ekonomiska och politiska skäl. För att starta en stor bridreaktor – typ Superphenix i Frankrike med 1200 MW eleffekt – behövs 3 à 4 ton plutonium.

⁵ Brid av eng. breed = föröka; Breeder reactor – bridreaktor.

5.2 Kärnladdningar

För tillverkning av kärnladdningar använder man plutonium av en särskild kvalitet med hög andel plutonium-239, så kallat vapenplutonium. Den mängd plutonium-239 som behövs för att tillverka en kärnladdning är i storleken några få kilogram. Plutonium i metallisk form legeras med ett annat ämne för att stabilisera materialet. Man anger att vapenplutonium innehåller minst 93% plutonium-239. För att erhålla sådan kvalitet måste bränslet tas ut efter en låg utbränning, mindre än 1 MWd/kg dvs ett par procent av vad som är normalt i lättvattenreaktorer.

Det är dock möjligt att tillverka kärnladdningar av plutonium med lägre halt plutonium-239, men det kräver större mängd och sannolikt en mer avancerad teknik. Exempelvis innehåller plutonium från högutbränt LWR-bränsle ca 2% plutonium-238. Detta avger så stark alfastrålning att värmeutvecklingen blir så hög i metallen att den måste kylas. Problemet accentueras ytterligare när plutonium-241 sönderfaller till americium-241. På mycket lång sikt minskar mängden av de mer kortlivade plutoniumisotoperna och den relativa halten plutonium-239 ökar till som mest ca 77% efter ca 25 000 år. Samtidigt har emellertid den absoluta mängden gått ned till hälften.

I USA har det militära programmet producerat sammanlagt 111,4 ton plutonium sedan 1945 [9]. Det ryska lagret av plutonium uppskattas till 120 à 200 ton.

Plutonium från nedfallet efter de atmosfäriska kärnvapenproven har av olika skäl en annan sammansättning än vapenplutonium – 84% plutonium-239, 15% plutonium-240 och ca 1% plutonium-241.

5.3 Batterier

Plutonium i batterier utgörs av huvudsakligen plutonium-238 (80-89%), vilket som redan nämnts är en stark alfa-strålare och därmed en långlivad värmekälla. Sådana batterier har använts som energikälla i satelliter, för att driva instrument på månen, i fyrar och andra typer av apparater på isolerade platser men även i så kallade "pace-makers".

6 Plutonium i naturen

Plutonium betecknas i allmänhet som ett konstgjort – av människan skapat – grundämne. Detta är inte helt korrekt. I naturen finns små mängder plutonium som bildas genom att fria neutroner infångas av uran på samma sätt som i en kärnreaktor. I en uranmalm finns för varje gram uran ungefär 10^{-12} gram plutonium. Undersökningar av rik uranmalm t ex från Cigar Lake visar att uppmätt mängd plutonium stämmer väl med beräknad mängd med antagandet att jämvikt uppnåtts mellan bildat och sönderfal-

lande plutonium. Beräknade värden är $2 \text{ à } 5 \cdot 10^{-12}$; uppmätta värden är $1,9 \text{ à } 3,2 \cdot 10^{-12} /3/$. Denna överensstämmelse visar också att uran och plutonium under normala geokemiska förhållanden inte separeras från varandra under mycket lång tid – många 10 000-tals år. Totalt uppskattas att den övre jordskorpan innehåller några kilogram naturligt bildat plutonium-239.

I naturen finns också spår av det plutonium-244 (82,6 miljoner år halveringstid) som bildades när jordens alla övriga grundämnen bildades.

Plutonium har också spritts i naturen av människan framför allt genom de atmosfäriska kärnvapenproven på 1950-talet och 1960-talet, men även genom att satelliter med plutonium-källor har störtat. Totalt finns från provsprängningarna ca tre ton plutonium kvar i naturen, utspritt över hela jordklotet men med ca 80% på norra halvklotet. Man kan därav beräkna nedfallet av plutonium över Sverige till ca 4 kilogram. Sannolikt är det väsentligt större om man beaktar att en stor del kommer från de sovjetiska proven vid Novaja Semlja, vilka gav relativt sett stort nedfall i norra Sverige. Utsläppet från Tjernobyl beräknas ha innehållit ca 20 kg (55 TBq) av plutonium-239, -240 varav ca 90% föll ned i det dåvarande Sovjetunionen. Några satelliter med plutonium-238-källor har störtat. Enligt uppgift innehöll en sådan källa från Apollo 13 en aktivitet av 44 500 Curie (=1,65 PBq) eller ca 2,6 kg plutonium-238.

7 Plutoniums hälsoeffekter

Plutonium är i huvudsak en alfastrålare och kan endast skada en människa om det kommer in i kroppen. Upptaget genom hud eller via mag-tarmkanalen (d v s via föda eller dryck) är mycket lågt (mindre än 0,1%, utom i speciella fall) varför det farligaste är om plutonium som stoft kommer in i lungorna via inandning.

Radioaktiva ämnen som kommer in i människokroppen kan, beroende på mängden, ge akuta eller sena hälsoeffekter. Akuta effekter uppkommer om den tillförda mängden är så stor att ett stort antal celler i vitala organ förstörs. Den akuta giftigheten hos olika ämnen anges ofta i s k LD50-värden varmed förstås den mängd av ämnet som leder till akut död för 50% av de människor som får i sig denna mängd. Man kan säga att för en individ är det bara 50% chans att man överlever om man får i sig en LD50-mängd. Tabell 2 anger LD50 i mg/kg kroppsvikt för ett antal giftiga ämnen /1/.

LD50-värdet är omdiskuterat, det avser akuta effekter inom viss kortare tid och tar ej hänsyn till sena skador. Eftersom olika ämnen har olika snabb verkan på organismen är det svårt att göra jämförelser som är helt rättvisande. Värdena i Tabell 2 är erhållna från djurförsök på smågnagare och för plutonium på hundar. Om man antar att de gäller även för människor innebär de att för en fullvuxen person leder inandning av ca 90 mg plutonium-239 (eller injektion i blodet av ca 20 mg) med 50% sannolikhet till akut död. Motsvarande värde för intag med födan är ca 20 g.

Tabell 2. LD50-värden mg per kg kroppsvikt för några olika ämnen och för plutonium-239 baserade på djurförsök /1/.

| Ämne | LD50 mg/kg | Sätt för intag |
|---------------|------------|--------------------|
| Ren alkohol | 1 0000 | Injektion i buken |
| Morfin | 900 | Injektion i buken |
| Nikotin | 1 | Injektion i buken |
| Kadmium | 1 | Inandning |
| Plutonium-239 | 0,3 | Injektion i blodet |
| Plutonium-239 | 1,3 | Inandning |
| Dioxin | 0,001 | Injektion i buken |
| Botulin | 0,00001 | Injektion i buken |

Dessa värden gäller som framgår av tabellen för plutonium-239. Utgår vi i stället från "färskt" plutonium från högutbränt reaktorbränsle så har detta väsentligt högre aktivitet främst p g a att det innehåller ca 2% plutonium-238 med relativt kort (87,7 år) halveringstid. Likaså är aktiviteten från plutonium-240 och -241 större än från plutonium-239 (se nedan). "Färskt" reaktorplutonium är därför farligare än rent plutonium-239 och LD50-värdena blir ca en faktor 10 mindre än för rent plutonium-239.

Sena hälsoeffekter kan uppkomma genom att cellkärnans DNA i vanliga celler eller könsceller skadas av strålning från de radioaktiva ämnena eller av ämnen som bildats vid bestrålningen (s k fria radikaler) och att dessa skador senare utvecklas till cancer resp ärftliga skador. Eftersom plutonium som kommer in i kroppen i första hand fastnar i levern, lungorna eller benhinnor är troligen risken för cancer mångfaldigt större än för ärftliga skador. Upptaget är beroende på den kemiska formen hos det plutoniumstoff som kommer in via inandningsluft eller föda.

Cancertumörer till följd av att man fått plutonium i kroppen har man inte kunnat påvisa hos människor. Detta gäller för övrigt de flesta ämnen som anses cancerogena. Man har redan från det man började hantera plutonium varit medveten om dess farlighet och därför undvikit överexponeringar av dem som arbetat med ämnet.

Genom att människor fått i sig små mängder plutonium från kärnvapenedfallet har man kunnat mäta var i kroppen det fastnar. Som redan nämnts tas det upp främst i lever, lunga och benhinnor. Vid intag genom lungan (inandning) av 37 000 Bq (=1 mikroCurie=16 mikrogram plutonium-239) plutoniumstoff har man beräknat risken för levercancer till 1,2%, för lungcancer till 0,6% och för bencancer till 0,12%. D v s om var och en av 100 människor inandas denna mängd plutonium kan två (2) av dem förväntas bli drabbade av någon av de nämnda cancerformerna. Detta förutsätter ett lineärt dos-risk-samband, vilket ifrågasätts av många

forskare. Många studier pekar på en tröskeldos under vilken risken t ex för bencancer är noll.

Ibland framhålls att plutonium oavsett alfa-strålningen från det radioaktiva sönderfallet också har en kemisk giftighet. Eftersom plutonium är så starkt radiotoxiskt kan man ej genom direkta mätningar vid t ex djurförsök avgöra den kemiska giftigheten. Studier av neptunium (som kemiskt liknar plutonium men har längre halveringstid = mindre radiotoxicitet) visar dock att för att utlösa biokemiska skador krävs det en dos (mängd) som med en faktor 100 000 till 1 miljon överstiger gränsvärdet för yrkesmässig exponering m h t strålningen. Detta innebär att den kemiska giftigheten är liten jämfört med den radioaktiva.

Den internationella strålskyddskommissionen ICRP anger s k ALI-värden d v s högsta tillåtet årligt intag (Annual Limit of Intake) för personer i radiologiskt arbete. För de alfa-strålade plutonium-isotoperna är detta värde 300 Bq för intag via lunga och 40 000 Bq för intag via mag-tarmkanalen (föda). ALI-värdet för föda (t ex dricksvatten) motsvarar ca 17 mikrogram plutonium-239. Eftersom lösligheten är 2 mikrogram per liter kan man således dricka drygt 8 liter lösning mättad med plutonium-239 innan man överskrider årsgränsvärdet.

Som allmän kommentar till ”giftigheten” hos plutonium från använt kärnbränsle kan man konstatera att den är mycket hög, men att det finns andra ämnen som har lika hög eller högre ”giftighet”. ”Giftigheten” för denna typ av plutonium minskar väsentligt med tiden allt eftersom de mer kortlivade isotoperna avklingar. Detta illustreras av Tabell 3.

Tabell 3. Relativ giftighet för plutonium i använt kärnbränsle vid olika tidpunkter efter tiden för uttag från reaktorn.

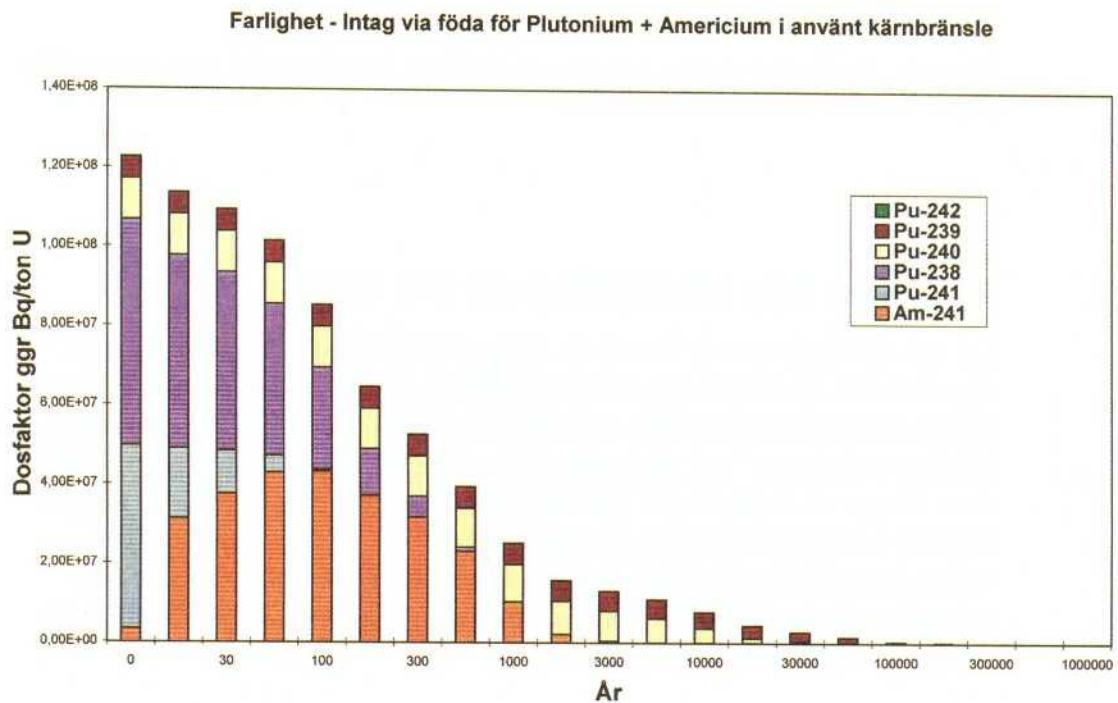
| Tid år | Relativ radiotoxicitet för kvarvarande plutonium i BWR-bränsle med 38 MWd/kg | |
|---------|--|--------------------|
| | Per kvarvarande gram plutonium | Per kg kärnbränsle |
| 0 | 100% | 100% |
| 100 | 40% | 40% |
| 1 000 | 17% | 13% |
| 10 000 | 13% | 7% |
| 100 000 | 4% | 0,4% |

Den vänstra kolumnen visar giftigheten per viktsenhet kvarvarande plutonium i förhållande till giftigheten per viktsenhet färskt reaktorplutonium; rent plutonium-239 motsvarar i denna skala ungefär 10%. Ett gram ”färskt” reaktorplutonium är således 25 ggr giftigare än ett gram 100 000 år gammalt plutonium. Den högra kolumnen visar giftigheten per kg av

bränslet och tar således hänsyn även till att den absoluta mängden plutonium i bränslet minskar p g a det radioaktiva sönderfallet.

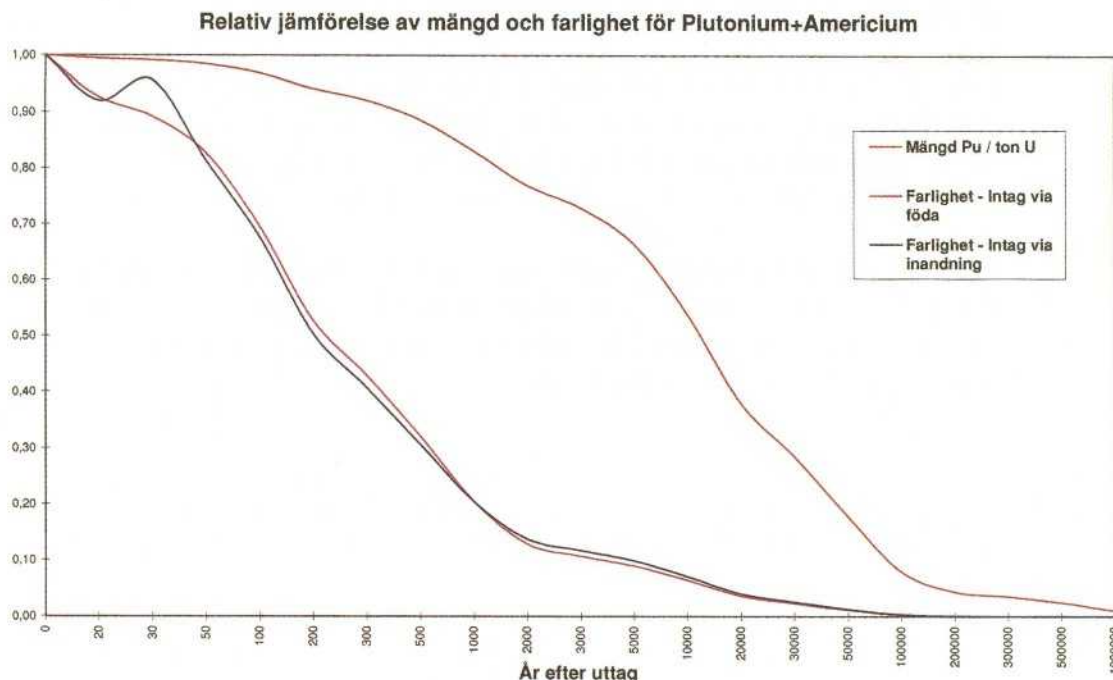
Figur 2 visar farligheten⁶ vid intag via föda för den i Figur 1 visade sammansättningen av plutonium och därav bildat americium-241 vid olika tidpunkter. Isotoperna 238 och 241 (Am och Pu) dominerar under flera hundra år varefter 240 och 239 tar över i tur och ordning.

Figur 3 visar att farligheten (radiotoxiciteten) hos plutonium (+ därav bildat americium) minskar väsentligt snabbare än mängden plutonium (+ därav bildat americium) i bränslet p g a att de kortlivade isotoperna dominerar under de första tusen åren.



Figur 2. Farligheten vid intag via föda för plutonium och därav bildat americium-241 som funktion av tiden. Sammansättningen är densamma som illustreras i Figur 1. Farligheten anges som dosfaktor för en viss isotop gånger antalet Bq per ton bränsle.

⁶ Det här använda måttet på *farlighet* är dosfaktorn Sv/Bq för intag via föda respektive via inandning multiplicerad med antal Bq per ton använt kärnbränsle.



Figur 3. Jämförelse mellan mängd och farlighet för plutonium plus därav bildat americium-241 i använt kärnbränsle.

8 Plutonium från kärnkraftsel enl Eva Goës

Låt oss nu fundera över Eva Goës inlägg i riksdagen /5/. Antag att middagen drar 0,5 kWh energi för tillagning (0,75 kW under 40 min) och att denna elenergi kommer från en BWR där bränslet byts efter 38 MWd/kg. Middagsströmmen ger då upphov till ca 15 mikrogram plutonium. Detta är ca 10 ggr ALI-värdet för "dricksvatten" för plutonium med den tidigare angivna sammansättningen. Det är också ca 150 ggr mindre än LD50-värdet för injektion i blodet. Andas någon i familjen in hela plutoniummängden när den är "färsk" innebär det en cancerrisk på drygt 20%. Allt enligt ovan redovisade antaganden.

9 Plutonium i en snusdosa från Greenpeace

Vi kan jämföra nedfallet av plutonium från kärnvapensprängningar med det av Greenpeace anförda "snusdoseexemplet" /4/. En snusdosa motsvarar ca 1,5 kg plutoniummetall (och ca 0,8 kg plutoniumdioxid). Under 1950- och 1960-talen spreds således minst 3 "snusdosor" plutonium i atmosfären över Sverige på "effektivast" tänkbara sätt. Inga hälsoeffekter kan påvisas eller förväntas från detta.

Jämför vi de i Tabell 2 angivna LD50-värdena med innehållet i "en Greenpeace-snusdosa" med ca 1,5 kg plutoniummetall (med en sammansättning som "färskt" plutonium från högutbränt reaktorbränsle) finner vi att den "räcker" till att fördela LD50-dos till 750 personer om den "ges" via mat och dryck, till 170 000 personer om de "sniffar" eller till 750 000 personer om den injiceras i blodet.

Snusdosan med ca 1,5 kg plutonium räcker alternativt till att ca 100 miljoner människor "sniffar" var sin 37 kBq-dos (16 mikrogram Pu-239). Om denna utdelning genomförs (utan spill) kan 2% eller 2 miljoner eventuellt få cancer några decennier senare. Nuvarande "naturliga" cancerfrekvens är ca 25% d v s av 100 miljoner människor får ca 25 miljoner dödlig cancer. Antar vi att Greenpeace kommit över en snusdosa med rent plutonium-238 så räcker den med samma förutsättningar väl till att hela jordens befolkning får varsin dos om 37 kBq eller 1 mikroCurie.

Referenser

1. **GSF Mensch+Umwelt** Ein Magazin der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München 6. Ausgabe, September 1989 – **Plutonium**.
2. R C Weast (Editor): **Handbook of Chemistry and Physics**. 68th edition 1987-1988.
3. J Cramer (Ed), J Smellie (Ed): Final Report of the AECL/SKB Cigar Lake Analog Study. SKB Technical Report 94-04. May 1994
4. Greenpeace – Det radioaktiva arvet. Radioaktiv från 0-240000 år. Broschyr 1995.
5. Riksdagsprotokoll 1995/96:68 13 mars 1996, 8 § Kärnavfall m m, sid 26.
6. OECD/NEA Plutonium Fuel – An Assessment. Report by an expert group. Paris 1989.
7. Cancer – Orsaker, Förebyggande m m. Betänkande av Cancerkommittén. SOU 1984:67.
8. E Holm (Editor): Radioecology. Lectures in environmental radioactivity. World Scientific 1994.
9. NUKEM Market Report May 1966 Part I Plutonium: Nuclear Pieces into Nuclear Peace pp13.

Bilaga 1

I USA har det militära programmet framställt sammanlagt 111,4 ton plutonium sedan 1945. Ca 12 ton har "förbrukats" i kärnvapenprov, processförluster m m, d v s 99,5 ton finns kvar i lager. Av detta är 85 ton weapons grade (7% Pu-240), 13,2 ton fuel grade (7% – 19% Pu-240) och 1,3 ton reactor grade (19% Pu-240).

Ryska lagret av Pu uppskattas till 120 à 200 ton.

Uppgifter anger att amerikanska kärnvapen innehåller ca 3 kg Pu per bomb.

Glenn Seaborg ger följande uppgifter i en intervju /NUKEM Market Report May 1996 pp13/:

- Pu upptäcktes 23-24 februari 1941 vid UC Gilman Hall room 307, det var Pu-238 från neutronbestrålning av U-238-kärnor.
- Första synliga mängden isolerades 20 augusti 1942 i Univ Chicago Jones Lab room 405.
- Första vägbara mängden – 2,77 microgram – 10 september 1942 också i Chicago.

Källor till plutonium i USA:

| | | |
|--------------------------------|------------------|-------------------|
| 1. Hanford reservation grade | 67,4 ton | 54,5 ton weapons |
| 2. Savannah River site grade | 36,1 ton | ca 29 ton weapons |
| 3. Foreign countries enl avtal | 5,7 ton | 5,4 ton från UK |
| 4. US civila reaktorer | 1,7 ton | |
| 5. Andra US reactors grade | 0,6 ton | 0,1 ton weapons |
| SUMMA | 111,5 ton | |

Uttag från Pu-lager i USA:

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1. Använt vid vapenprov | 3,4 ton |
| 2. Avfall i normal processer | 3,4 ton |
| 3. Inventarie spill | 2,8 ton |
| 4. Fission och transmutation | 1,2 ton |
| 5. Till andra länder | 0,7 ton |
| 6. Sönderfall och annat bortfall | 0,4 ton |
| 7. Till forskning | 0,1 ton |
| SUMMA | 12,0 ton |

Nuvarande inventarium i USA:

| | |
|------------------------|-----------------|
| 1. Pantex + DOD | 66,1 ton |
| 2. Rocky Flats | 12,7 ton |
| 3. Hanford Reservation | 11,0 ton |
| 4. Argonne West | 4,0 ton |
| 5. Los Alamos | 2,7 ton |
| 6. Savannah River | 2,0 ton |
| 7. Idaho Nat Eng Lab | 0,5 ton |
| 8. Livermore | 0,3 ton |
| 9. Övrigt | 0,2 ton |
| SUMMA | 99,5 ton |

Referens: NUKEM Market Report May 1966 Part I Plutonium: Nuclear Pieces into Nuclear Peace.