

Hur länge är kärnavfallet farligt?

Sifferuppgifterna som cirkulerar i detta sammanhang varierar starkt. Man kan få höra allt ifrån 100-tals till miljontals år. Dvs. vi har en spännvidd mellan olika uppgifter på åtminstone en faktor 10 000.

SKB hävdar att det högaktiva utbrända kärnbränslet är ofarligt om 100 000 år medan Ski brukar tala om någon eller några miljoner år vilket kan vara anledning nog att titta närmare på denna fråga.

Farlighet är egentligen ett mycket ett mycket oprecist begrepp, men för att inte krångla till det ska jag här anamma SKB:s sätt att definiera begreppet när de förklarar att det högaktiva avfallet ”på ca 100 000 år avklingat till en ofarlig nivå eller till vad som förekommer naturligt i jordskorpan”.

(Eftersom den radioaktivitet som förekommer naturligt i jordskorpan både varierar från plats till plats och kan medföra risker för människors hälsa, t.ex. i form av höga radonhalter i vattentäkter och byggnader, är naturligtvis inte detta ofarlighetsbegrepp invändningsfritt, men liksom SKB bortser jag från detta tills vidare).

Frågan blir alltså hur snabbt avfallet sönderfaller och vid vilken tidpunkt radioaktiviteten blivit så låg att den inte längre utgör någon fara för hälsa och miljö.

För att kunna svara på den frågan behöver vi veta vilka långlivade radioaktiva ämnen som ingår i bränslet, hur snabbt de sönderfaller och vad som är att betrakta som en ”naturlig nivå”.

Men därutöver tillkommer att vi behöver veta något om **på vilket sätt** dessa ämnen sönderfaller.

Uran och kärnbränsle

Låt oss därför först titta litet närmare på vad kärnbränsle är för något. Att det består av uran är bekant för de flesta. Men vad mera är – det består av tre olika varianter, eller isotoper, av uran, vilka skiljer sig åt genom att deras atomkärnor innehåller olika många neutroner. Detta medför att de sinsemellan har olika fysikaliska egenskaper, t.ex. att deras kärnor sönderfaller olika fort och på olika sätt. De reagerar inte heller på samma sätt när de utsätts för det neutronbombardemang som äger rum i en kärnreaktor.

Dessa uranisotoper brukar betecknas, U-234, U-235 och U-238. Den isotop som är av avgörande betydelse för kärnklyvningsprocessen i våra svenska kärnkraftsreaktorer är U-235.

Naturligt uran

Dvs. uran sådant som det vanligen påträffas i jordskorpan utgörs av en blandning av de tre isotoperna i följande sammansättning:

Uran-238	99,28 %	$T_{1/2} = 4,468 \times 10^9 \text{ år}^*$
Uran-235	0,71 %	$T_{1/2} = 7,037 \times 10^8 \text{ år}^*$
Uran-234	0,006 %	$T_{1/2} = 2,454 \times 10^5 \text{ år}^*$

* $T_{1/2}$ = Isotopens halveringstid

Detta naturliga uran är inte direkt användbart till energiproduktion i det slags reaktorer som vi har. Halten av uran-235 måste höjas för att detta ska bli möjligt.

Anrikat uran till kärnbränsle innebär att man höjt halten av den klyvbara isotopen uran-235. En vanlig anrikningsgrad är ca 3,5% uran-235. Vid anrikningen stiger även halten av uran-234.

Ett typiskt färskt kärnbränsle kan ha sammansättningen:

Uran-238	96,47%	964,7 kg/ton
Uran-235	3,50%	35,0 kg/ton
Uran-234	0,03%	0,3 kg/ton

Den specifika aktiviteten hos de olika uranisotoperna ser ut på följande sätt:

Uran-238	12,447	MBq/kg*
Uran-235	71,114	MBq/kg*
Uran-234	$2,303 \times 10^5$	MBq/kg*

* 1 MBq = 1 megabecquerel = 1 miljon sönderfall/sekund

De olika isotopernas bidrag till aktiviteten i ett ton typiskt (färskt) kärnbränsle blir därmed:

Uran-238	$964,7 \times 12,447 = 12\,007,6$	MBq
Uran-235	$35,0 \times 71,114 = 2\,489,0$	MBq
Uran-234	$0,3 \times 2,303 \times 10^5 = 69\,090$	MBq

Och den totala aktiviteten 83 587 MBq eller ca 83,6 GBq.*

*1GBq = 1 gigabecquerel = 1 miljard sönderfall/sekund

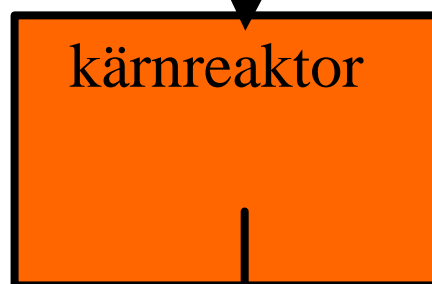
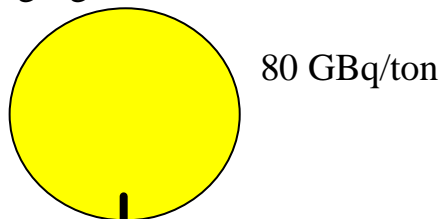
Trots att isotopen uran-234 endast utgör 3 hundradels procent av bränslematerialet bidrar den pga sin förhållandevis mycket kortare halveringstid som synes med större delen av det färskas bränslets aktivitet, ca 82,6 %.

Från färskt till utbränt kärnbränsle.

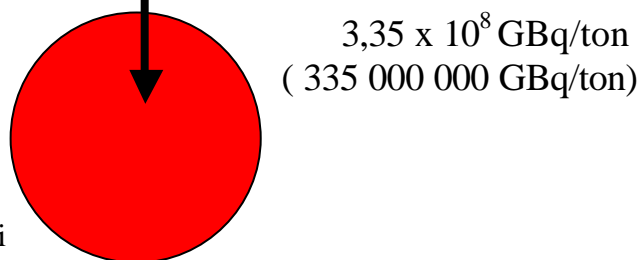
Vid kärnklyvningsprocessen i reaktorn sker ett intensivt neutronbombardemang varvid framför allt uran-235-atomerna splittras till mindre fragment, s.k. klyvningsprodukter, bestående av instabila isotoper av lättare grundämnen såsom exempelvis Cesium-137, Strontium-90, Tecnetium-99 och Krypton-85. Dessutom sker en absorption av neutroner i bl.a. uran-238-atomernas kärnor vilket leder till att tyngre instabila grundämnen, s.k. transuraner bildas såsom t.ex. plutonium, americium och neptunium.

Från att således från början endast ha bestått av tre uranisotoper kommer bränslet efter att ha använts i reaktorn att innehålla ett mycket stort antal radioaktiva isotoper med sinsemellan högst skiftande egenskaper. Detta innebär också att bränslet när det tas ut ur reaktorn kommer att ha en avsevärt högre aktivitet än vad det hade när det en gång sattes in. Som framgår av figuren nedan ökar aktiviteten några miljoner gånger.

Färskt uranbränsle.
3,5% anrikning.



Utbränt bränsle
38MWd/kg U.*
(1 mån. efter uttag).



*Mått på utbränningsgraden.
35-40 MWd/kg U är det normala i svenska kärnkraftverk.

Avklingningen.

Det utbrända bränslets höga aktivitet vid uttaget från reaktorn härrör till betydande del från kortlivade klyvningsprodukter. Detta innebär att aktivitetens avtagande går mycket snabbt i början för att sedan plana ut alltmer.

Utbränt kärnbränsle.

Avklingning.

Tid efter uttag ur reaktorn. År.	Aktivitet. GBq/ton.
40	7 000 000
100	1 700 000
1000	72 000
10 000	16 000
100 000	2 300
1 miljon	900
10 miljoner	215
4,5 miljarder	85

Av ovanstående sammanställning framgår att det utbrända kärnbränslet först efter 4,5 miljarder år börjar komma ned till en aktivitetsnivå som motsvarar det färska bränslets.

Eftersom saken i detta sammanhang gäller frågan om när det utbrända bränslet kan ha "avklingat till ofarlighet" kan vi lämna det korta perspektivet och de kortlivade klyvningsprodukterna därhän. Och det som är intressant i det längre perspektivet är vad som återstår av de ursprungliga uranisotoperna och vad som finns av nybildade transuraner i det utbrända bränslet.

Det kan se ut så här:

Innehåll av några tunga nuklider i utbränt kärnbränsle.

Nuklid.	Gram/ton bränsle.	T½ (år)
Uran-235	7 400	$7,037 \times 10^8$
Uran-234	200	$2,454 \times 10^5$
Uran-238	945 000	$4,468 \times 10^9$
Neptunium-237	440	$2,14 \times 10^6$
Plutonium-238	150	88
Plutonium-239	4 700	24 100
Plutonium-240	2 000	6 570
Plutonium-241	1 000	14,4
Plutonium-242	660	376 000
Americium-243	100	7 370
Curium-244	30	18,1

Vad säger oss nu denna tabell?

Alldeles bortsett ifrån att den visar att vi kommer att ha kvar ungefär ett kilo plutonium per ton avfall efter 100 000 år så visar den att bränslet fortfarande innehåller nära 95% uran-238 och ungefär 0,7% uran-235.

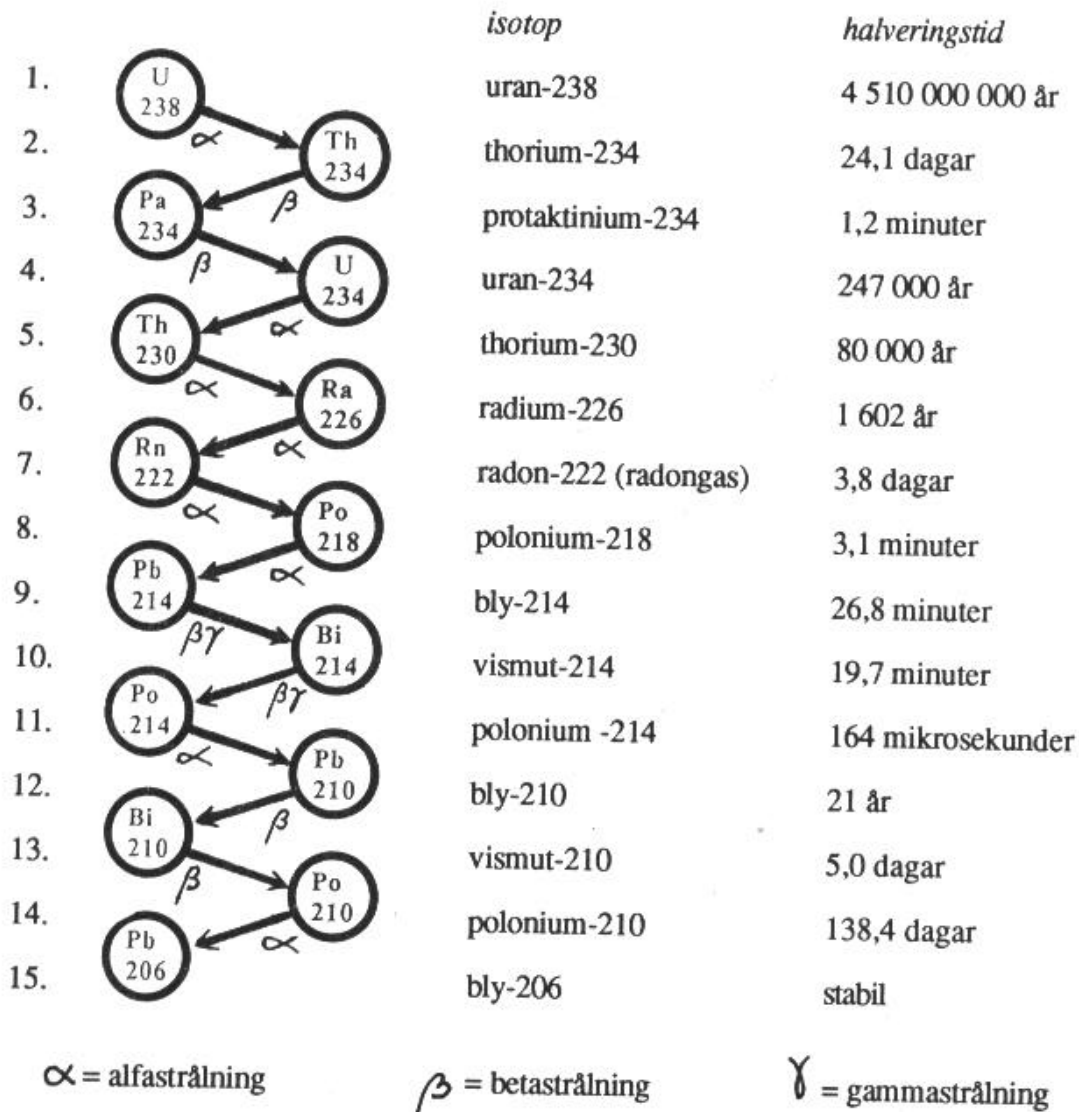
Uran- 238 har som synes en halveringstid på ca 4,5 miljarder år, vilket är detsamma som att hälften av den ovan angivna mängden fortfarande kommer att återstå vid denna avlägsna tidpunkt i jordens framtid.

Detta innebär också att avfallets innehåll av uran-238 inte kommer att genomgå någon påtaglig minskning under vare sig 100 000 eller några miljoner år.

Men det kommer att hända något annat intressant i sammanhanget.

Uran-238 kommer med tiden att sönderfalla till stabilt bly, men detta sönderfall sker stegvis över andra radioaktiva ämnen i en mycket strikt ordning.

SÖNDERFALLSKEDJA FÖR URAN-238



Sönderfallet sker i 14 steg och bilden ovan visar hur detta sker, vilka nya radioaktiva ämnen som successivt bildas, deras halveringstider och vilken typ av strålning respektive ämne avger vid sitt sönderfall. Samtliga dessa ämnen kommer alltså att uppstå i avfallet och för all framtid finnas där i mängder som är direkt proportionella mot deras halveringstider. Vad vi alltså får i långtidsperspektivet är en urangruva med en uranhalt över 90% och med alla de besvärliga radioaktiva mellanprodukter som t.ex. radium, radon och radondöttrar som finns i en sådan. Fortfarande efter 4,5 miljarder år har vi (om vi nu föreställer oss att den plats där vi lagt ned bränslet är intakt, vilket måste

betraktas som högst osannolikt) således en sådan urangruva, nu med en uranhalt på nära 50%.

Frågan man nu alltså skall ställa sig är om detta är något som kan betraktas som ”en ofarlig nivå eller vad som förekommer naturligt i jordskorpan”.

Låt oss därför titta på en annan tabell:

Naturliga förekomster av uran **(Medelvärden)**

I jordskorpan	0,0004 %
I Ranstad	0,03 %
I Rössinggruvan	0,045 %
I Rangergruvan	0,25 %
I Key Lake	2,0 %
I Cigar Lake	12%

Som framgår av denna tabell är de halter av uran som står att finna i naturliga förekomster långt blygsammare än ens de knappa femtio procent som vårt kärnbränsleförvar kan uppvisa fortfarande efter 4,5 miljarder år. Uranhalter över 1% är mycket sällsynta och gruvan Key Lake i Kanada betecknades vid upptäckten som en ”monstergruva”. Cigar Lake , likaledes i Kanada är världens i dag rikhaltigaste gruva och brytningen där sker p.g.a. den höga radioaktiviteten med hjälp av fjärrstyrd utrustning.

Det kan därför inte vara korrekt att hävda vare sig att det utbrända kärnbränslet efter 100 000 år avklingat till ofarlighet eller att dess aktivitet då ligger i nivå med vad som förekommer naturligt i jordskorpan. Att påstå att så skulle vara fallet om något eller några miljoner år är visserligen ett steg i rätt riktning men ligger ändå mycket långt från sanningen.

Den verkliga sanningen är att det utbrända kärnbränslet aldrig någonsin i vår jords framtida historia kommer att avklinga till nivåer som är naturligt förekommande på vårt klot!

Frånsett vad som ovan sagts kan man naturligtvis fråga sig om avfallet är att betrakta som ofarligt ens när det i sin helhet förvandlats till bly. Bly betraktas ju

som en av våra giftigaste tungmetaller och något som vi till varje pris vill hindra från att spridas i vår miljö.

De 500 meters bergtäckning som f.n. planeras för kärnavfallsförvaringen kommer heller inte att förslå långt i det aktuella tidsperspektivet om man betänker att den för ändamålet så lovprisade skandinaviska urbergsskölden skalats av **minst** 10 kilometer på höjden under de gångna 1,8 miljarder åren. Det deponerade materialet kommer oundvikligen som en följd av erosionens krafter att förr eller senare hamna i marknivå och därmed kommer det också att fritt kunna sprida sig i biosfären.

SKB:s påstående att det utbrända bränslet är ofarligt om 100 000 år leder också till orimliga konsekvenser, om man jämför detta med hanteringen av och synen på det låg- och medelaktiva avfallet som skall slutförvaras i Forsmarkslagret, SFR.

Aktiviteten i det utbrända bränslet kommer om 100 000 år att ha sjunkit till ungefär 2 300 GBq/ton.

I Forsmarkslagrets berggrum, 60 meter under marknivå, skall enligt gjorda prognoser 60 000 m³ avfall med en sammanlagt aktivitet på 5-10 miljoner GBq deponeras.

Fram till den 31/12 97 hade man deponerat ca 22 850 m³. Denna avfallsvolym hade enligt uppgift från SKB vid samma tidpunkt den sammanlagda aktiviteten 340 000 GBq vilket betyder 15 GBq/m³.

Utgår vi ifrån att volymvikten är 1 ton/m³, vilket torde vara lågt räknat, håller detta avfall i genomsnitt en aktivitet på 15 GBq/ton.

Detta innebär att SFR-avfallets aktivitet **vid deponeringen** uppgår till högst 0,65% av den aktivitet som för det högaktiva avfallet angivits som ofarlig. Den fråga man osökt ställer sig, är varför man gör sig så mycket besvär med att ordna ett avfallsförvar 60 meter ner i berggrunden och vidtar så rigorösa försiktighetsåtgärder för ett avfall vars aktivitet inte ens når upp till en hundradel av den nivå som förklarats som "ofarlig".

Än mer förbryllande blir det hela om man betänker att SFR-avfallet enligt SKB "har avklingat till ofarlighet om 500 år" dvs när dess aktivitet sjunkit till ca 1% av värdet vid deponeringen.

Det betyder ju att man menar att det högaktiva avfallet kan betraktas som ofarligt vid en aktivitetsnivå som ligger åtminstone 15 000 gånger högre än den nivå till vilken SFR-avfallet skall sjunka för att betraktas som ofarligt.

Om man vänder på resonemanget något kan man ställa sig följande fråga:

- *När kommer aktiviteten i det utbrända bränslet att ha sjunkit till samma nivå som det avfall har som **nu** deponeras i SFR?*

Svaret blir: om sisådär 10-12 miljarder år. Men då har vår sol för länge sedan slocknat och livet i vårt solsystem är något som tillhör en mycket avlägsen tid i universums historia.

De ovan gjorda aktivitetsjämförelserna mellan uranmalm, SFR-avfall och utbränt kärnbränsle framgår kanske något åskådligare i de diagram som finns på sidorna 10 och 11.

Referenslista.

SKB rapport R-97-02. "Använt kärnbränsle – hur farligt är det?" Sid. 14.

Nuclear Words and Terms. Miles Goldstick.

SKB-rapport. PR D-96-016. Förstudie Östhammar. Sid.35.

Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle KBS-3, SKBF 1983.

Dödens sten. En bok om uranbrytning. ISBN 91-87200-04-x. Energiflödet 1991.

Årsrapport SFR, 1998-01-27. Deponerade mängder mm. 1997.

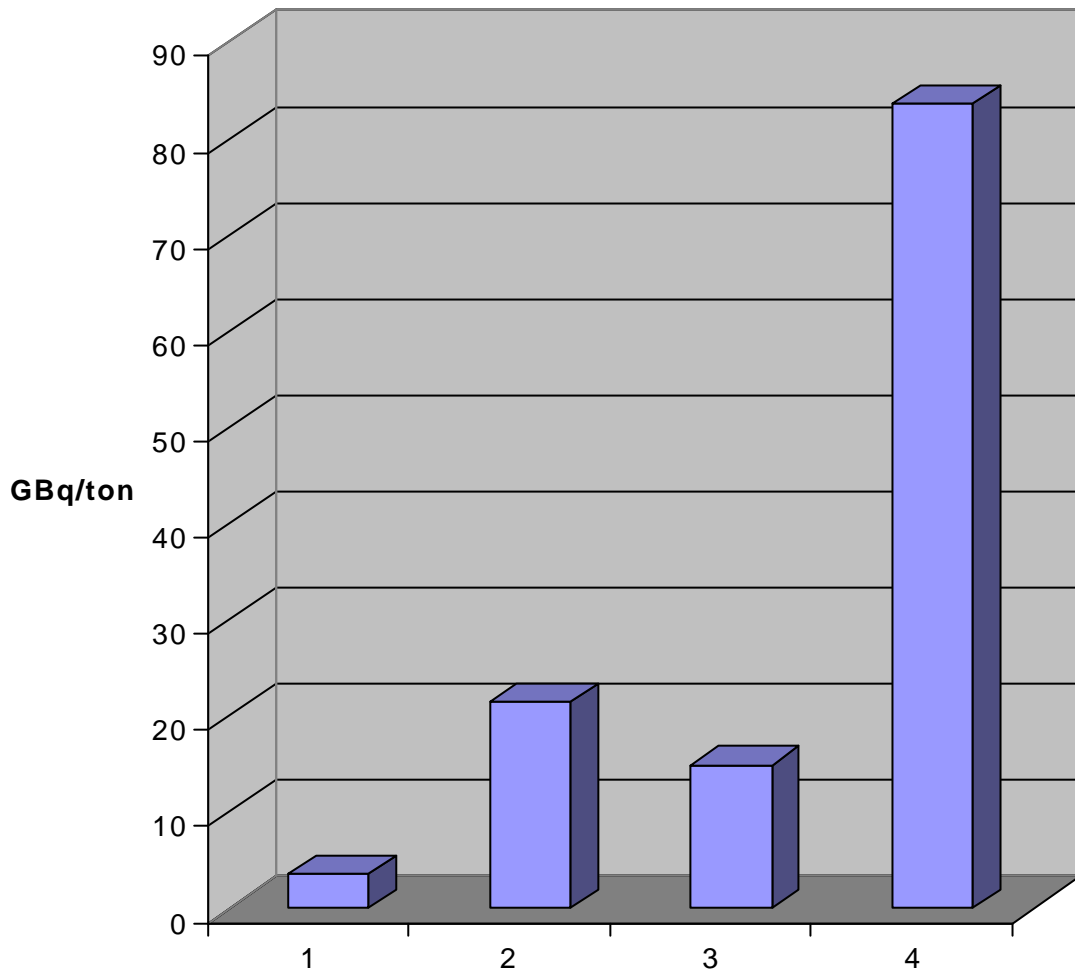
SKBF. Kärnkraftens slutsteg. "Plutoniumanvändning i svenska reaktorer". 1982.

"Slutförvar för reaktoravfall – SFR". Informationsskrift, SKB 1987.

Version 2000-08-16.

Mats Törnqvist
Söderboda 3601
74071 Öregrund.

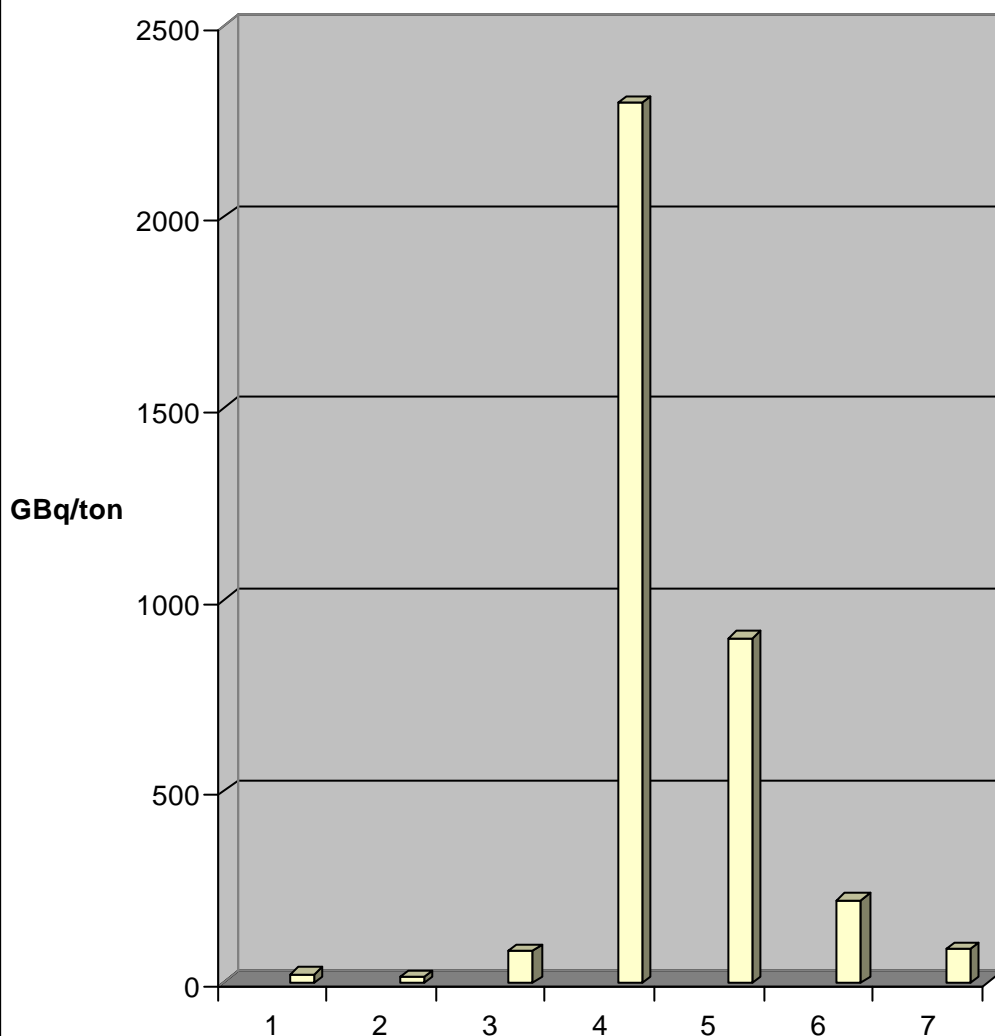
Uranmalm, kärnavfall och kärnbränsle. En aktivitetsjämförelse.



Aktivitet
GBq/ton

1. Key Lake	3,6
2. Cigar Lake	21,5
3. SFR-avfall vid deponering	15
4. Färskt kärnbränsle	83,6

Uran och kärnavfall. En aktivitetsjämförelse.



Aktivitet
GBq/ton

1. Cigar Lake	21,5
2. SFR-avfall vid deponering	15
3. Färskt kärnbränsle	83,6
4. Utbränt bränsle efter 100 000 år	2300
5. Utbränt bränsle efter 1 miljon år	900
6. Utbränt bränsle efter 10 miljoner år	215
7. Utbränt bränsle efter 4,5 miljarder år	85