

CTH-RF-47

RADFYS 84:05

Avvikelser i strålskyddsmätningar
av snabba neutroner med hjälp av
fotografisk spårfilm.

av

Dan Aronsson och Lars Larsson*

April 1984

Samtidigt utgiven av: * Radiofysiska Institutionen
Göteborgs Universitet
Sahlgrenska Sjukhuset
413 45 Göteborg

Institutionen för reaktorfysik, Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

ISSN 99-0358116-5

Innehållsförteckning.

	Sid
1 Inledning	1
1.1 Kort beskrivning av spårfilmstekniken	1
2 Bakgrund	3
2.1 Skillnader i uppmätta neutrondosekvivalenter	3
2.2 Oförklarliga exponeringar på persondosimetrar	3
3 Prov av neutronfilm dosimetrar	5
3.1 Provuppställningen	5
3.2 Parallella dosimetrar	5
3.3 Enstaka avsiktliga exponeringar	6
3.4 Prov i oktober 1983 med inplastade dosimetrar	6
3.5 Prov i januari 1984	7
3.6 Sammanfattning av provexponeringarna	7
4 Förluster av spår på exponerade filmer	10
5 Resultat och diskussion	12
5.1 Resultat av provexponeringarna	12
5.2 Slutsatser	13
Referenser	14

Appendix 1. Neutrongeneratoren vid Reaktorfysik i Göteborg.

1. Inledning

Mätning av absorberad dos och dosekvivalent i neutronstrålfält erbjuder en del extra svårigheter i jämförelse med motsvarande mätning i rena fotonfält. Neutroner växelverkar huvudsakligen med atomkärnor genom absorption, elastisk och inelastisk spridning eller klyvning. Sekundärpartiklarna kan vara av flera olika slag alltifrån tunga kärnfragment till alfapartiklar och protoner, alla med olika LET-värden. Vilket slag av växelverkan som sker och därmed vilken kvalitetsfaktor strålningen skall tillordnas är starkt beroende av neutronenergin.

Vid monitorering av persondoser i neutronstrålfält måste man därför lägga stor vikt vid att välja en persondosimeter som är lämpad för den aktuella neutronenergin.

Den i Sverige vanligaste typen av persondosimeter för neutroner bygger på absorption av termiska neutroner i någon form av TL-dosimeter. Dessa dosimetrar är dock inte användbara när man vill mäta dosekvivalenten från snabba neutroner.

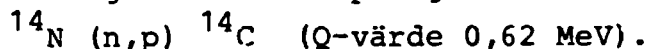
För snabba neutroner används vanligen dosimetrar som bygger på protonrekyl, detta för att göra dosimetern så energioberoende som möjligt. I en fotografisk emulsion lämnar en rekylerande proton ett latent spår som kan framkallas och därefter avläsas i mikroskop. Denna metod används bl.a. av Dosimetritjänsten vid Studsvik Energiteknik AB (Studsvik).

1.1 Kort beskrivning av spårfilmstekniken.

Tekniken för att monitera snabba neutroner med hjälp av fotografisk film har beskrivits av flera författare. Se till exempel referenserna 1 och 2.

Studsvik ombesörjer dosimetrin för snabba neutroner i Sverige och använder sig därvid av "Kodak Personnel Neutron Monitoring Film Type A". Denna emulsion har en lämplig känslighet för (rekyl-) protoner upp till 10 MeV. Filmen är förpackad i ett ljusskyddande pappersomslag och placeras vid användandet mellan två kadmiuplåtar (0,5 mm) i en hållare av plast. Kadmiuplåtarna absor-

berar effektivt termiska neutroner vilka annars skulle kunna ge "falska" spår genom reaktionen



Dosimetern används normalt 1 månad varefter den framkallas och avläses manuellt med hjälp av mikroskop (ca 1000 ggr förstoring) . På grund av rekylprotonernas höga LET blir svärtningen från dessa starkt koncentrerad i form av ett "partikelspår" i emulsioner till skillnad från foton-elektron-växelverkan vilken resulterar i en mera utbredd svärtning av filmen. På så vis går det, efter viss träning, lätt att skilja mellan neutron- och foton-dosbidrag till filmen.

Filmen undersöks i flera steg där man undersöker 1 mm^2 i taget. Om inget spår upptäcks i det först undersökta området avbryts sökandet och dosekvivalenten sätts till noll. Om däremot spår upptäcks så fortsättes sökandet i fler områden. Om filmen genom dessa "stickprov" visar sig ha blivit bestrålad, räknas antalet spår inom en 6 mm^2 stor yta. En sådan undersökning tar ungefär 20 minuter att genomföra.

Lägsta detekterbara dosekvivalent uppges till 0,20 mSv.

Energi-området är 0,3-15 MeV (neutroner).

För en fullständig beskrivning av Studsviks dosimetri se vidare referens 2.

2. Bakgrund.

Vid Chalmers Tekniska Högskola bedriver institutionen för reaktorfysik forskning med neutroner. För detta använder man sig bland annat av en kraftig neutron-generator.

I detta arbete används dosimetrar såväl för person-dosimetri som för övervakning av lokaler. Vidare används "remriktiga" instrument som registrerande och larmande neutronmonitorer i experimenthall och laboratorium.

(För vidare beskrivning se appendix 1.)

2.1 Skillnader i uppmätta neutrodosekvivalenter.

I experimenthallens dosimetripunkt mäts neutrodos på två sätt. Dels finns en spårfilm, för snabba neutroner (0,3-15 MeV), dels finns en monitor som mäter över hela spektrum från termiska till 15 MeV neutroner. Vidare finns där en TL-dosimeter för termiska neutroner.

I tabell 2.1 redovisas de månader sedan 1980 då någon av dessa mätningar visat mer än 1 mSv. För dessa månader har dosen i dosimetripunkten beräknats utifrån journaluppgifter om jonström och körtid. Vid sådana beräkningar visar det sig snabbt att kontinuerliga körningar mot en tritium-målplatta i den nedre positionen ger de helt dominerande dosbidragen.

Tabellen visar på en dålig överensstämmelse mellan de båda metoderna att mäta dosekvivalent. Särskilt kan noteras de månader då stora körningar inte alls givit utslag på spårfilmen. Sådana månader är : maj 1980 ; november och december 1981 ; mars och april 1982 samt april 1983. Det var efter april 1983 som den bristande överensstämmelsen uppmärksammades.

2.2 Oförklarliga exponeringar på persondosimetrar.

För juli månad 1983 rapporterades oväntat dosekvivalenter på 0,2 till 0,4 mSv på fyra personliga dosimetrar. Ingen av de fyra berörda hade deltagit i några experiment som kunde förklara sådana doser. Trots samtal med dessa fyra och med Studsviks personal har ingen förklaring stått att få.

Tabell 2.1. Månader med högre neutrondosekvivalenter än 1,0 mSv.

Månad	Dosekvivalent (mSv)					Ändamål
	beräknad	monitor	spårfilm	TL-dosimeter		
				term.neut.	γ -stråln.	
feb 80	1,8	5,8	1,5	-	-	
maj 80	2,1	6,6	**	-	-	Radiofysik
jul 80	1,3	1,0	**	-	-	Silveraktiv.
aug 80	0,5	1,5	**	-	-	
dec 80	4,8	7,9	0,6	-	-	Radiofysik
mar 81	2,5	8,2	2,3	-	-	Radiofysik
apr 81	1,0	8,0	1,1	-	-	- " -
jun 81	0,1	1,8	**	-	-	
jul 81	1,0	4,4	0,4	-	-	
okt 81	3,0	7,5	1,6	-	-	Radiofysik
nov 81	6,8	15,8	**	-	-	- " -
dec 81	6,9	15,7	**	-	-	- " -
feb 82	2,5	5,5	**	-	-	Radiofysik
mar 82	3,7	11,0	**	0,3	0,6	- " -
apr 82	4,2	11,6	4,0	*	1,3	- " -
maj 82	2,6	8,4	**	0,2	0,8	- " -
aug 82	0,4	2,1	**	*	*	
sep 82	0,4	1,9	**	*	0,2	
okt 82	1,4	9,9	0,8	*	0,7	Aktiv+Protrek
mar 83	0,5	1,7	**	*	0,2	
apr 83	3,7	16,4	**	0,4	0,9	Radiof. (Mont)
jun 83	0,4	1,0	0,6	*	0,5	

- Ingen mätning

* Mindre än minsta mätbara dosekvivalent 0,1 mSv.

** - " - 0,2 mSv.

Mätperioden överensstämmer inte alltid med kalendermånaden eftersom dosimetrarna kan ha bytts på andra dagar. Månader där tveksamhet funnits om exakt datum har uteslutits ur sammanställningen.

3. Prov av neutronfilm-dosimetrar.

Genom tillmötesgående från Studsvik Energiteknik AB (Studsvik) har det varit möjligt att göra avsiktliga exponeringar av neutronspårfilmer i syfte att prova systemet. Vid två tillfällen har ett större antal dosimetrar sänts till Reaktor fysik-institutionen vid CTH för exponering och därefter utvärderats av Studsvik.

Utan Studsviks vetenskap har dessutom vid olika tillfällen avsiktligt exponerade filmer sänts in bland de ordinarie månatliga filmerna.

3.1 Provuppställningen.

För exponeringen har en 5 Ci Am-Be-källa använts. Källan har riggats upp på ett fritt ställe i experimenthallen, strax ovanför aluminium-durken. Neutronfilmerna har placerats ut i samma plan med hjälp av aluminium-rörställningar. Avstånden har varierat mellan 25 och 150 cm till källan. Några filmer lämnades dock i ett annat rum för att bli nollprov. Exponeringen pågick i 5-6 timmar (beroende på provomgång).

3.2 Parallella dosimetrar.

I experimenthallen på Reaktor fysik dubblerades filmen i dosimetripunkten under några månader. Resultatet redovisas i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Jämförelse mellan två dosimetrar placerade intill varandra i experimenthallen.

Månad (1983)	Ordinarie dosimeter	Extra dosimeter
juni	0,6 (mSv)	<0,2 (mSv)
juli	0,4 "	<0,2 "
augusti	<0,2 "	<0,2 "

3.3 Enstaka avsiktliga exponeringar.

I samband med kontroll av neutronmonitorer under juli 1983 exponerades under två timmar fyra filmer för neutroner från Am-Be-källan. Resultatet redovisas i tabell 3.2. Vidare exponerades under september en film från Radiofysik och en från Reaktorfysik till samma dos från Radiofysiks ^{252}Cf -källa. Detta redovisas också i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Avsiktliga exponeringar av vissa ordinarie neutronfilmer.

Månad (1983)	Film	Avstånd	Beräkn.dosekv.	Avläst dosekv.
juli	Radiofysik 2	25 (cm)	4,0 (mSv)	<0,2 (mSv)
"	Reaktorfysik 3	50 "	1,0 "	2,0 "
"	Reaktorfysik 11	100 "	0,25 "	1,0 "
"	Radiofysik 3	100 "	0,25 "	<0,2 "
sept	Reaktorfysik 11	--	3,55 "	0,4 "
"	Radiofysik	--	3,55 "	<0,2 "

3.4 Prov i oktober 1983 med inplastade dosimetrar.

I det första större provet exponerades 16 neutronfilmer så som beskrivits i 3.1. 15 av dessa utgjorde en serie som ställts till förfogande av Studsvik. Den återstående ingick i Reaktorfysiks ordinarie omgång. Samtliga filmer inplastades med torkmedel vid ankomsten och förblev så utom just vid exponeringen. Inplastningen gjordes till rutin från och med oktober. Dock sker ingen fullständig avfuktning i exsickator.

Utvärderingen utfördes av Studsvik cirka tio dagar efter exponeringen. Resultatet redovisas i tabell 3.3.

Tabell 3.3 Resultat av utvärderingen av avsiktligt
exponerade filmer under oktober 1983.

Film nr	Beräknad dosekv.	Avläst dosekv.
11 UH 101	2,0 (mSv)	2,6 (mSv)
102	4,0	3,8
103	10,0	6,2
104	2,0	2,3
105	10,0	7,1
106	2,0	2,3
107	0	<0,2
108	4,0	5,3
109	4,0	3,0
110	10,0	5,0
111	0	<0,2
112	0,5	1,0
113	2,0	2,0
114	0,5	0,6
115	0,5	0,6
10 UH 011	0,5	0,8

3.5 Prov i januari 1984.

I januari upprepades provet från oktober med skillnaden att nu användes både inplastade och icke inplastade filmer. Nu användes totalt 24 dosimetrar, varav 20 var en speciell serie från Studsvik. En hämtades från Reaktor fysik och tre ifrån Radiofysik. 15 av Studsviks filmer var inplastade med torkmedel liksom Reaktor fysiks. Övriga var inte inplastade.

Specialserien utvärderades efter 20 dagar medan de övriga var klara först efter cirka 35 dagar. Detta skall jämföras med motsvarande tid för oktober-serien, 10 dagar.

Resultatet redovisas i tabell 3.4.

3.6 Sammanfattning av provexponeringarna.

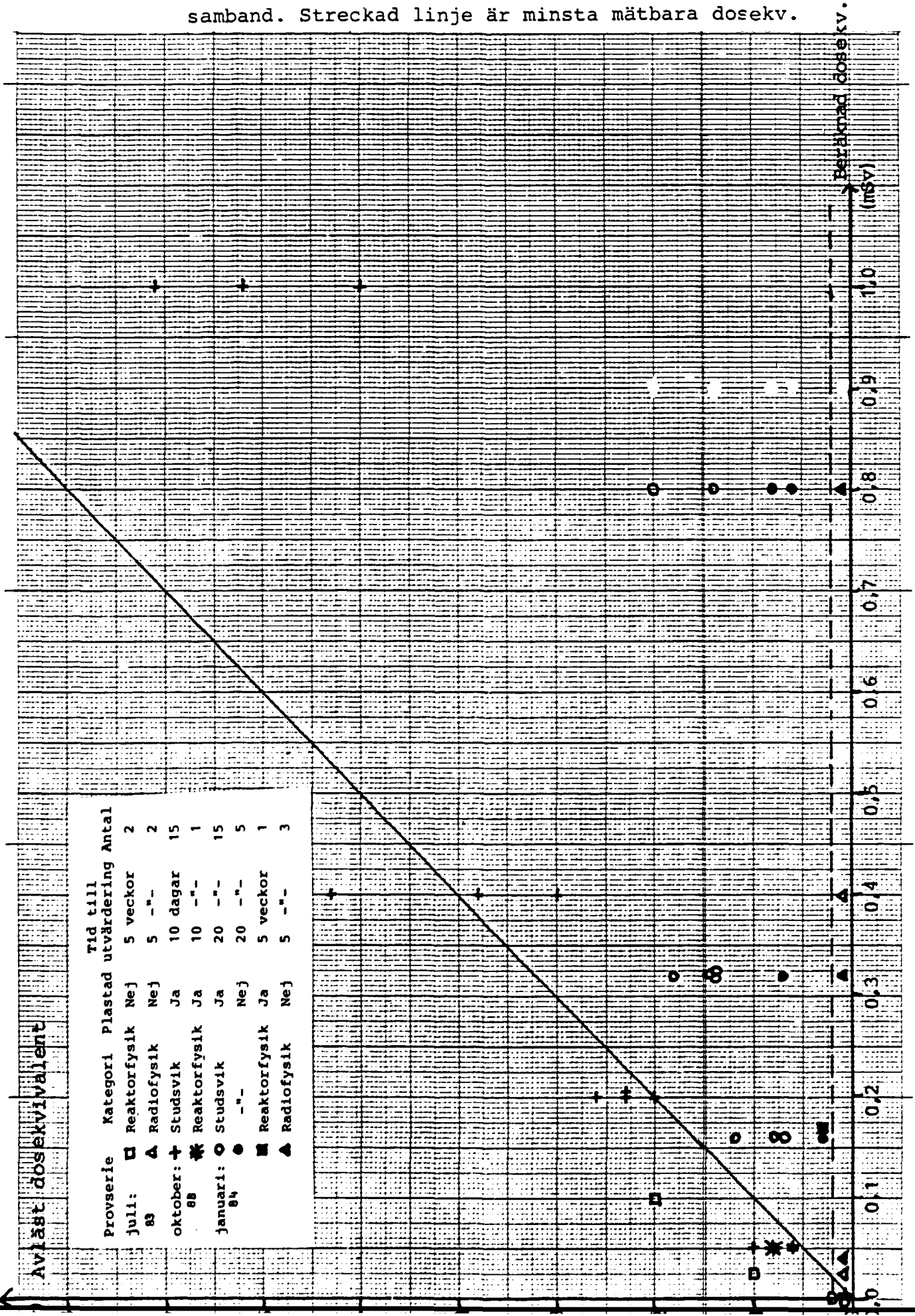
Samtliga exponeringar som har gjorts med Am-Be-källan har sammanställts i diagram-form i figur 3.1. En ideal dosimeter borde ge värden som ligger nära den heldragna linjen.

Tabell 3.4 Resultat av exponerade filmer i januari 1984.
Samtliga dosekvivalenter i mSv.

Film nr	Plast	Dos		Film nr	Plast	Dos	
		Beräknad	n-film			Beräknad	n-film
12 NA 001	JA	BAKGRUND	-	REAKT.FYS JA		1,6	0,3
002	JA	0,4	0,6	RADIOFYS102 NEJ		0,4	-
003	JA	1,6	0,8	- " - 103 "		8,0	-
004	"	BAKGRUND	-	- " - 104 "		3,2	-
005	"	8,0	2,0	SAMTLIGA OVANSTÄENDE DOSIMETRAR			
006	"	0,4	0,2	UTVÄRDERADE EFTER 35 DAGAR.			
007	"	1,6	0,7				
008	"	3,2	1,4				
009	"	3,2	1,8				
010	"	3,2	1,4				
011	"	0,4	0,3				
012	"	BAKGRUND	0,2				
013	"	8,0	1,4				
014	"	1,6	1,2				
015	"	3,2	1,4				
016	NEJ	8,0	0,8				
017	"	0,4	0,3				
018	"	1,6	0,3				
019	"	3,2	0,7				
020	"	8,0	0,6				
SAMTLIGA OVANSTÄENDE DOSIMETRAR							
UTVÄRDERADE EFTER 20 DAGAR.							

- markerar dosekvivalent mindre än minsta mätbara 0,2 mSv.

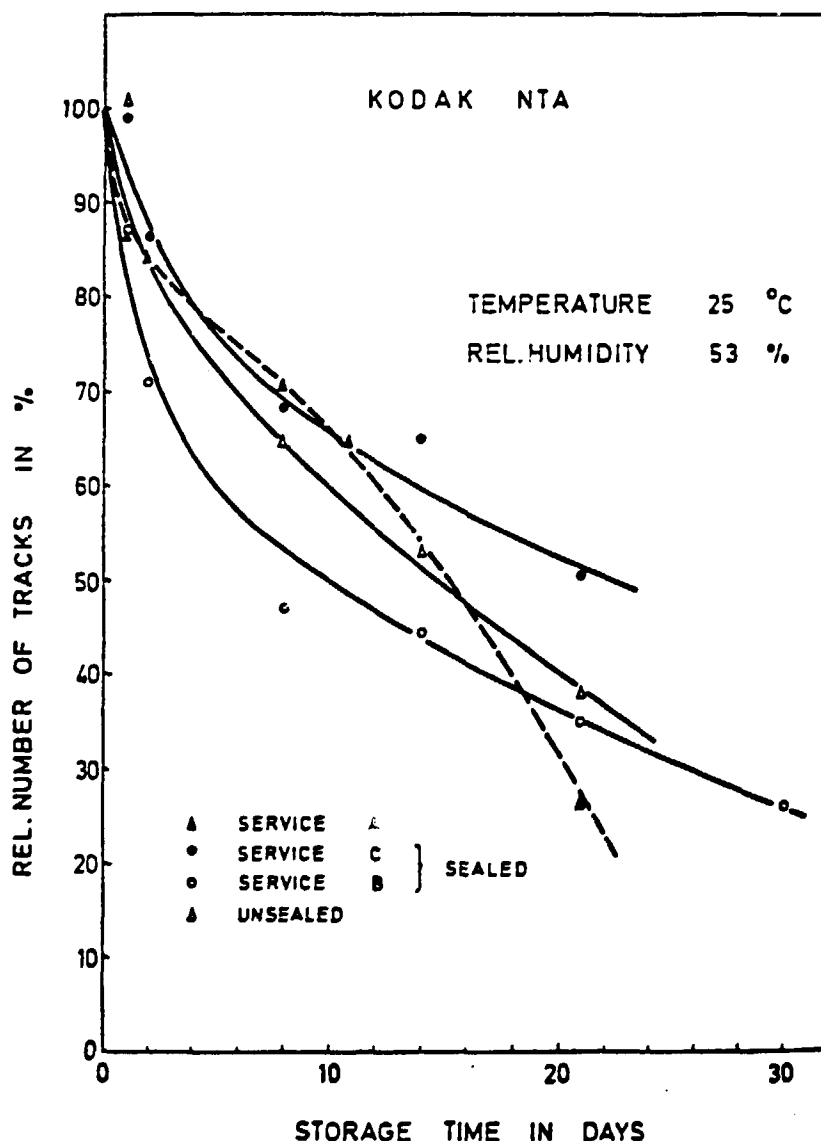
Figur 3.1 Sammanställning över resultat från de avsiktliga exponeringarna. Heldragen linje visar förväntat samband. Streckad linje är minsta mätbara dosekv.



4. Förluster av spår på exponerade filmer.

Ett väl känt och av många författare behandlat problem inom denna typ av spårfilmsdosimetri är så kallad "fading" (ungefär utbleknande). Det innebär att den latent "bilden" av rekylprotonspåren oxideras av atmosfärens syre i närvaro av fukt. Hastigheten i denna process ökar med temperaturen och luftfuktigheten.

Enligt Piesch och Sayed (3) utgör "fading" ett stort problem i synnerhet hos Kodaks film (Kodak typ NTA). De rapporterar 60 % förluster av spår efter 3 veckors lagring av oskyddad film i normal temperatur och luftfuktighet (25° ; 53 %).



Figur 4.1 (Från referens 3.) Relativa antalet spår som funktion av tiden efter exponering. Den streckade kurvan visar film som kapslats i jämvikt med 25° och 53 % rel.fukt. Uppgift saknas över hur de övriga kapslats.

Om däremot filmerna avfuktas noggrant i exsickator och kapslas fukttätt före användningen, nås betydligt bättre resultat. Bartlett och Creasey (4) hävdar att med lämplig kapslingsteknik har de hållit "fading" nere vid 17 % fortfarande efter 6 veckor. Samma författare drar slutsatsen:

" The operational experience over more than ten years with the N.T.A. emulsion has convinced us that the uncertainty in the dose equivalent assessment as a result of fading of personal fast-neutron dosimeters issued on a four-weekly basis in temperate climates is not unacceptable, provided that before the issue the film packs are desiccated and carefully sealed in aluminium/polyethylene pouches."

5. Resultat och diskussion.

Såsom framgår av kapitel 3 har utvärderingen av de avsiktligt exponerade filmerna i många fall avsevärt avvikit från de förväntade resultaten. Särskilt allvarligt är att ett antal filmer som bestrålats ända upp till 8,0 mSv har visat alldeles för liten eller ingen signal. De försök vi har gjort är långt ifrån tillräckliga för att entydigt visa orsakerna till dessa avvikelser. Det hindrar dock inte att mycket starka misstankar måste riktas mot "fading"-problemet, så länge ingen annan, mera trovärdig, förklaring kan ges till de observerade avvikelserna. Vi ser dock resultaten som så alarmerande att en vidare undersökning under alla omständigheter måste genomföras.

Vidare har i några fall en tydlig dos uppmätts på filmer som rimligen inte blivit utsatta för någon neutronbestrålning. Detta har dock inträffat endast vid ett tillfälle som kunnat säkerställas, varför inga ytterligare försök har gjorts att klarlägga detta.

5.1 Resultat av provexponeringarna.

Resultaten av provexponeringarna redovisas i figur 3.1. Ur detta kan utläsas hur resultatet försämras med ökande lagringstid och om dosimetrarna inte varit inplastade. För inplastade dosimetrar exponerade till ca 1 mSv är förlusten ca 40 % efter 10 dagar och ca 80 % efter 20 dagar. För en icke inplastad är förlusten 90 % efter 20 dagar och fullständig efter 35 dagar. Det fåtal dosimetrar det här handlar om är givetvis inte tillräckligt för att statistiskt fastlägga ett sådant samband. Tendensen är dock tydlig och i överensstämmelse med vad som beskrivits i referens 4.

Att resultatet även med inplastade detektorer är så dåligt förklaras av den synnerligen primitiva inplastningen, vilken inte föregicks av någon riktig uttorkning. För att man skall vara säker på att få ut all fukt borde givetvis filmerna ligga i en exsickator under något dygn.

5.2 Slutsatser.

De i litteraturen beskrivna problemen med "fading" och de enkla prov vi genomfört ger oss skäl att misstänka att detta fenomen är en källa till allvarliga systematiska fel i mätningen av dosekvivalenten från snabba neutroner. Temperatur och luftfuktighet kan under såväl transporter som användning variera kraftigt. När filmerna används som personliga dosimetrar måste till exempel möjligheten att personalen bär dosimetern i ficka, nära huden, beaktas med den högre temperatur och luftfuktighet detta medför.

För närvarande läggs filmerna i exsickator först efter återkomsten till Studsvik d.v.s. i värsta fall upp till 5 veckor efter exponeringen. Enligt de mätningar som redovisas i referens 4 kan redan då allvarliga förluster av data ha skett.

Kontrollerad uttorkning i exsickator och därefter en ordentlig inkapsling i fukttät folie, före utsändandet av filmerna, torde vara en tämligen enkel åtgärd som gör det möjligt att uppnå bättre resultat i neutronmoniteringen.

Referenser.

- (1) Personnel dosimetry systems for external radiation exposures, I.A.E.A. Technical Report Series no.109 (1970).
- (2) S.Hagsgård och C.-O.Widell, Personal Neutron Monitoring at AB Atomenergi, I.A.E.A. Symposium on Neutron Detection, Dosimetry and Standardization, December 10-14, 1962 i Harwell.
- (3) E.Piesch och A.M.Sayed, Latent Fading of Gamma and Neutron Monitoring Films, Nucl.Instr.Meth.123(1975) 397.
- (4) D.T.Bartlett och F.L.Creasey, Latent Fading of Monitoring Films, Nucl.Instr.Meth.127(1975) 149.

Appendix 1.

Neutrongeneratoren vid Reaktorfysik i Göteborg.

Den nuvarande, 400 kV, neutrongeneratoren anskaffades till institutionen för reaktorfysik 1979. Den kan ge maximalt 2 mA jonström (men körs normalt med cirka en tiondel av det). Mestadels utnyttjas reaktionen $T(d,n)^4\text{He}$ för neutronproduktion men genom byte av målplatta kan istället reaktionen $D(d,n)^3\text{He}$ utnyttjas.

Det finns två positioner för målplattan, en i den övre delen av hallen och en i den nedre. Den nedre utnyttjas då höga intensiteter önskas. t.ex. vid aktiveringsanalys och experiment då höga absorberade doser ska åstadkommas. Det är vid sådana experiment för Radiofysik-institutionen vid Göteborgs Universitet som de flesta höga exponeringarna i tabell 2.1 kommit till. Källstyrkan är i sådana fall 10^{10} - 10^{11} neutroner/s fördelade jämnt i alla riktningar.

Neutrongeneratoren är placerad i en experimenthall med invändiga mått cirka 11x12m och höjden 12 m. Upp till 10 m höjd finns metertjocka väggar av betongsten som strålskärm.

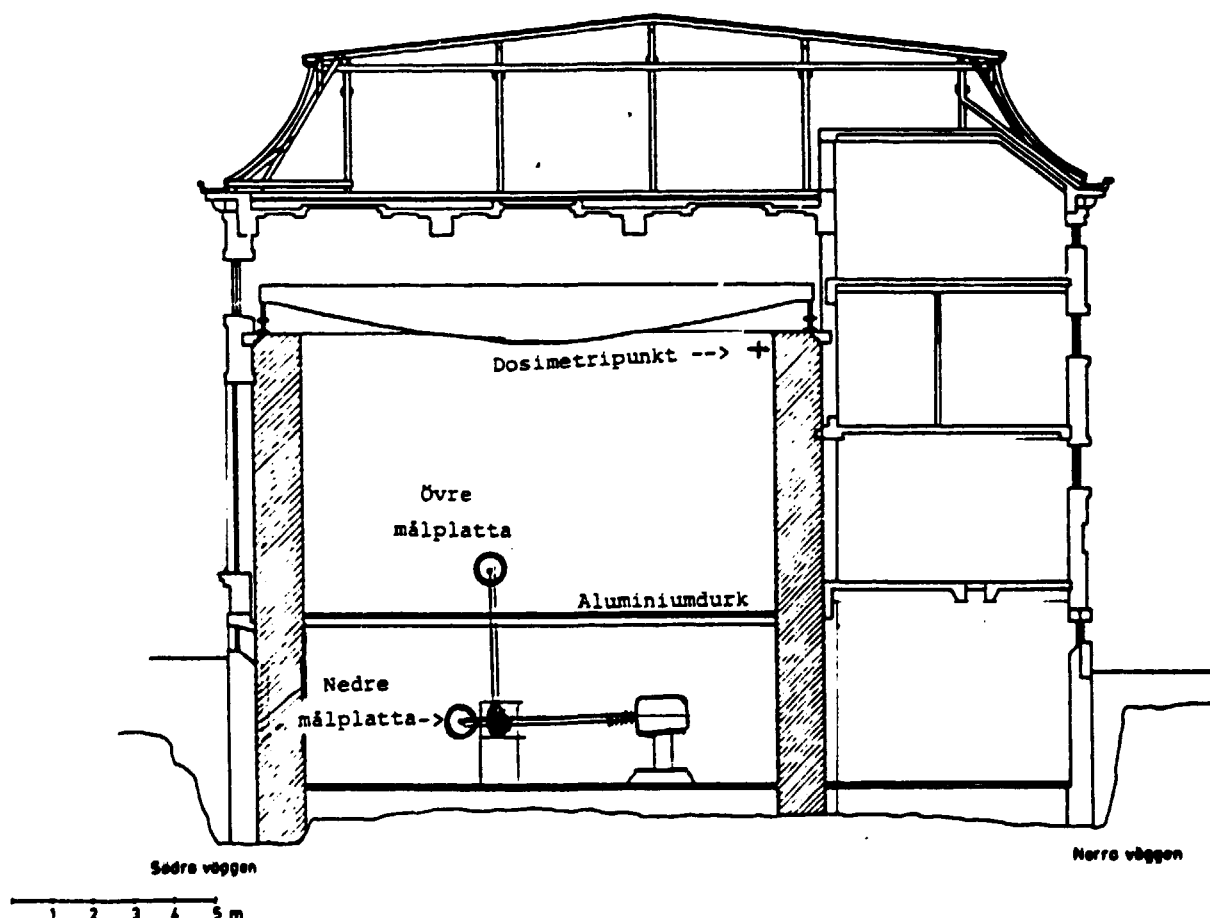
I övre kanten av en av dessa väggar finns dosimetri-punkten med avståndet 9 m till den övre målplattan och 12 m till den nedre. Mellangolv och annan inredning är i huvudsak av aluminium varför dosimetripunkten väsentligen inte kan sägas vara skärmd från någondera målplattan.

A 1.1 Dosimetrin vid Reaktorfysik i Göteborg.

Dosimetrin för snabba neutroner utförs med spårfilm som levereras och utvärderas av Studsvik Energiteknik AB (Studsvik). Så har skett alltsedan 1964 (dåvarande AB Atomenergi). Dosimetri för beta- och gamma-strålning samt termiska neutroner sker sedan 1982 med TL-dosimetrar vilka också de levereras och utvärderas av Studsvik.

För närvarande (april 1984) används sju dosimetrar av vardera slaget som persondosimetrar. Ytterligare sex av vardera används för lokalövervakning. Därav är några mätpunkter föreskrivna av Statens Strålskyddsinstitut (SSI).

I experimenthallens dosimetripunkt finns också en fast monterad neutronmonitor (av typ 2002 B av Studsviks fabrikat). Denna monitor registrerar neutroner med energier allt ifrån termiska till 15 MeV på ett "remriktigt" sätt. Monitorn är kopplad till visarinstrument och (milli-rem-)räkneverk i neutrongeneratorns kontrollrum. Ett likadant arrangemang finns för ett angränsande övningslaboratorium. Vidare finns vid institutionen ett portabelt dosratsinstrument av samma typ. Samtliga monitorer kontrollerades med en (Am-Be-)neutronkälla i juli 1983 och visade då riktiga värden inom sina specifikationer ($\pm 25\%$).



Figur A.1 Experimenthallen vid institutionen för reaktorfyisk, Chalmers Tekniska Högskola.