

FFI RAPPORT

LABORATORIETESTER AV PERSONLIG DOSEMÅLER

ENGØY Thor, GRAN Hans Christian

FFI/RAPPORT-2004/00013

FFIBM/310202

Godkjent
Kjeller 14. januar 2004

Bjørn Arne Johnsen
Forskningsjef

**LABORATORIETESTER AV PERSONLIG
DOSEMÅLER**

ENGØY Thor, GRAN Hans Christian

FFI/RAPPORT-2004/00013

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2004/00013	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 59
1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/310202	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE LABORATORIETESTER AV PERSONLIG DOSEMÅLER Laboratory testing of personal dosimeter		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) ENGØY Thor, GRAN Hans Christian		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>Dosimeter</u>	a) <u>dosimeter</u>	
b) <u>Testing</u>	b) <u>testing</u>	
c) <u>Gamma radiation</u>	c) <u>gammastråling</u>	
d) <u>Neutron radiation</u>	d) <u>nøytronstråling</u>	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT An electronic dosimeter, from MGP Instruments in France, capable of measuring gamma and neutron radiation has been tested for the Norwegian Defence Logistics Organisation / Land. Accuracy for dose response, energy response and angular response of gamma radiation were found acceptable. Dose response for neutrons was tested only for thermal neutrons and found to be slightly higher than that required, but still acceptable. The dosimeter withstood drop tests, water immersion and exposure to high/low temperatures. For a sequence of tests consistent with, but not directly required by NDLO's technical requirements, viz. drop tests, heating to 27°C above room temperature and water immersion, an increased failure rate was observed. Climatic cycling between +70°C, 80 %RH and -40°C revealed some sensitivity to condensing atmosphere, but did not generate major malfunctions of the dosimeters in non-condensing atmosphere. The dosimeter can be used by personnel in all services of the Norwegian Armed Forces to document and control exposure to gamma and neutron radiation.		
9) DATE 14. January 2004	AUTHORIZED BY This page only Bjørn Arne Johnsen	POSITION Director of Research

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	BESKRIVELSE OG FORKONTROLL AV PRØVESETT	7
2.1	Beskrivelse av dosemåler	7
2.1.1	Utseende	7
2.1.2	Funksjon	8
2.2	Forkontroll av prøvesett	8
2.2.1	Funksjonstest	8
2.2.2	Prøvesett 1	9
2.2.3	Prøvesett 2	9
2.2.4	Prøvesett 3	10
3	MEKANISKE OG KLIMATISKE UNDERSØKELSER	10
3.1	Støtbelastning	11
3.1.1	Forsøksoppsett	11
3.1.2	Tester utført med stor prøveholder	13
3.1.3	Tester utført uten prøveholder av MGPs representant	14
3.1.4	Tester utført med lett prøveholder	14
3.1.5	Oppsummering	15
3.2	Nedsenkning i vann	15
3.2.1	Forsøksoppsett	15
3.2.2	Nedsenkning av oppvarmede prøver	15
3.2.3	Nedsenkning av tempererte prøver	16
3.2.3.1	Tester utført av MGPs representant	17
3.2.3.2	Nedsenkning før støtbelastning	17
3.2.3.3	Nedsenkning etter støtbelastning	18
3.2.4	Oppsummering	18
3.3	Klimabelastning	18
3.3.1	Funksjon ved høy temperatur	18
3.3.2	Funksjon ved lav temperatur	19
3.3.3	Funksjon etter gjentatte klimasykler	19
3.3.3.1	Klimaprogram uten avfuktning	19
3.3.3.2	Klimaprogram med avfuktning	20
4	MÅLING AV STRÅLING	21
4.1	Gammastråling	22
4.1.1	Avhengighet av dose	22
4.1.2	Avhengighet av energi	22
4.1.3	Avhengighet av vinkel	22
4.1.4	Sluttkontroll	22
4.2	Nøytronstråling	23
4.2.1	Doserespons for termiske nøytroner	23
4.3	Kommentar til størrelse og enhet for stråledose	23

5	ANDRE RELEVANTE UNDERSØKELSER	24
5.1	Undersøkelser utført av DGA	24
5.2	Troppeprøver	24
5.3	Interferens med flyinstrumenter	24
6	KONKLUSJON	24
6.1	Oppsummering av prøveresultater	24
6.1.1	Termomekanisk robusthet	24
6.1.2	Nøyaktighet	24
6.1.3	Serienummer og merking	24
6.1.4	Kassasjonskriterier	25
6.2	Anbefalinger	25
6.2.1	Generelt om anvendelighet	25
6.2.2	Merking	25
6.2.3	Prosedyrer for ivaretagelse og bruk av informasjon	25
6.2.4	Størrelse og enhet for stråledose	26
APPENDIKS		
A	TEST AV SOR/T ELEKTRONISKE DOSIMETRE FOR GAMMARESPONS	27
B	TEST AV SOR/T-003 ELEKTRONISKE DOSIMETRE – EKSPONERING FOR TERMISKE NØYTRONER OG SLUTTKONTROLL	47

LABORORIETESTER AV PERSONLIG DOSEMÅLER

1 INNLEDNING

Hærens forsyningskommando (HFK), senere Forsvarets logistikkorganisasjon/ land (FLO/land), gav i 1998 Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) i oppdrag å teste nye personlige dosemålere (dosimeter i sivil fagterminologi) som skulle anskaffes til erstatning for Forsvarets penndosemåler, HFK kontrakt 58111 8002S (FFI-kontrakt P-15/98, oppdrag 310202).

FFI bidro til kravspesifisering av systemet ved anbudsinnbydelsen. Etter at tilbudene var evaluert ble det klart at det eneste tilbudet som tilfredsstilte kravene var fra MGP Instruments i Frankrike. En tidlig versjon av dosemåleren var en sivil utgave som ble tatt i bruk av norske militære mannskaper i Kosovo. De første prøvene av den aktuelle militære utgaven mottok Forsvaret for uttesting høsten 2000. TROPPEPRØVER ble først foretatt av FLO/land. Deretter mottok FFI prøvene for laboratorietesting. Det var på forhånd avtalt at testene skulle komplettere tidligere utførte tester av Det franske forsvaret (DGA) og omfatte kontroll av måleverdier for strålingsdose, klimatest ("akselerert lagring"), mekanisk støtbelastning og nedsenkning i vann.

Testingen pågikk i flere omganger bl.a. pga. kritikk fra leverandøren av resultater som ble oppnådd underveis og dermed behov for ytterligere prøver.

2 BESKRIVELSE OG FORKONTROLL AV PRØVESETT

Personlig dosemåler inngår i et system sammen med avleserenhet. I tillegg til å lese av målte verdier for å ta vare på dosehistorien til personellet, brukes også avleserenheten til å definere en rekke parametere for dosemåleren og initiere bruken. Testing er kun utført på dosemåleren. Egenskapene til avleserenheten er ikke diskutert i denne rapporten.

2.1 Beskrivelse av dosemåler

2.1.1 Utseende

Dosemålerne består av ulike sensorer med elektronikk og batteri innkapslet i et oliven-grønt plasthus (ABS-plast). På framsiden er det nedenfor bæresnoren plassert et svart plastdeksel og en liten, en-linjers LCD skjerm med en svart gummiert trykknapp ved siden av. På baksiden er det et sirkulært skrulokk i aluminium for bytte av batterier og et svart og grått skilt med typenummer, serienummer, NATO-nummer etc. angitt. Dimensjonene er 80 mm × 47mm × 9mm (h × b × t). Utformingen er avrundet og kan bæres uten ubehag innenfor bekledning. Vekten er 48 g med batteri. Foto av framsiden og baksiden er gjengitt i Figur 2.1.



Figur 2.1 Dosemåler SOR/T-033 - forside og bakside (omtrent i skala 1:1). Batteriet er vist nede til høyre.

2.1.2 Funksjon

Dosemåler SOR/T-033 skal tjene flere funksjoner iht designspesifikasjonene. Dette betyr i praksis at den er bygget opp av flere enheter (sensorer oa). De viktigste funksjonene dosemåleren skal ha er å:

- Vise akkumulert dose fra gammastråling helt ned til bakgrunnsstråling i avleservindu
- Vise aktuell doserate (strålingsintensitet) i avleservindu
- Gi lydalarm ved overskridelse av programmert dosegrense
- Gi lydalarm ved overskridelse av programmert doserategrense (strålingsintensitetsgrense)
- Registrere dosehistorie for personell i inntil 1000 perioder (programmerbar lengde)
- Fjernavleses i nærheten av avleserenhet
- Vise registrert høyintensitets dose fra gammastråling ved avlesning i avleserenhet
- Vise registrert høyintensitets dose fra nøytronstråling ved avlesning i avleserenhet

2.2 Forkontroll av prøvesett

Før utførelse av laborietestene ble prøvene kontrollert for å sikre at de var i orden og at ikke tidligere oppståtte defekter skulle tilskrives laborietestene. En forenklet prosedyre for slik forkontroll bestod i å

- se over prøvene etter ytre tegn til skader
- foreta funksjonstest (se nedenfor)

2.2.1 Funksjonstest

Prøvene ble undersøkt før/etter hver test om de funksjonerte. Ikke alle funksjonene ble testet. De antatt mest brukte funksjonene for bærer, som lesbarhet av skjerm og hørbar alarm, samt funksjoner som registrering av dose i avleserenhet, ble testet. Følgende elementer ble tatt inn i

en slik standard funksjonstest:

1. sjekke at dose, doserate og navn fremkommer i avlesningsvinduet ved gjentatte trykk på den gummierte knappen
2. foreta en fjernavlesning av dosemåleren med avlesningsenheten
3. sette dosemåleren i PAUSE/RUN modus for å høre om alarmen lyder.

2.2.2 Prøvesett 1

Det første prøvesettet bestod av 20 dosemålere som før de ankom FFI hadde gjennomgått troppeprøver i regi av HFK. De var støtsikkert pakket sammen med en avleserenhet i en solid, sort plastkoffert. På en prøve hadde det sorte dekslet over avlesningsvinduet løsnet og lå for seg i prøve kofferten. I tillegg var det av og til ikke mulig å fjernavlese en prøve. For øvrig var prøvesettet i orden. Serienummeret var vanskelig leselig; spesielt var det omtrent umulig å skille 5-tall og 6-tall i serienummer uten lupe eller mikroskop. To dosemålere hadde blitt tildelt samme serienummer. De var i tillegg nummeret med en tydelig merkelapp på forsiden fra 1 til 20. Denne nummereringen ble til dels brukt under testingen for å identifisere prøvene.

Serienummer	Prøvenr.	Tilstand	Kommentar
520263	1	OK	Display viste initielt kun navn
520435	2	OK	
520701	3	OK	
520206	4	OK	
520677	5	OK	
520512	6	OK	
520513	7	OK	
520731	8	OK	
520422	9	OK	
520381	10	OK	
520516	11	OK	
520570 a	12	OK	
520183	13	OK	
520213	14	OK	Sort deksel løst, sporadisk avlesningsproblem
520545	15	OK	
520570 b	16	OK	
520538	17	OK	
550025	18	OK	
520335	19	OK	I PAUSE modus
520384	20	OK	

Tabell 2.1 Forkontroll av prøvesett 1

2.2.3 Prøvesett 2

Prøvesett 2 ble overlevert av Bruno Clavel fra MGP Instruments under gjennomgang av testprosedyrene for støtbelastning og nedsenkning i vann. De hadde ingen ytre tegn til defekter. Prøvene ble dels brukt til støttester og klimatester.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550956	OK	
551000	OK	
551005	OK	
551009	OK	
551434	OK	

Tabell 2.2 Forkontroll av prøvesett 2

2.2.4 Prøvesett 3

Prøvesett 3 ble bestilt for å gjennomføre de modifiserte støtbelastnings- og vanntetthetstestene. De hadde betegnelsen ”Dosemåler” påført øverst til høyre på merket på baksiden (i stedet for SOR/T-033 som for første prøvesett). Alle prøvene var uten tegn til defekter og tilfredsstilte funksjonstest. Etter avtale ble fem prøver holdt i reserve i tilfelle stort frafall under testingen. De prøvene som tilfredsstilte støtbelastning og nedsenkning i vann, ble utsatt for klimabelastning.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550312	OK	
550466	OK	
550472	OK	
550475	OK	
550479	OK	
550498	OK	
550636	OK	
550672	OK	
550694	OK	
550697	OK	
550763	OK	
550772	OK	
550854	OK	
550872	OK	
550874	OK	

Tabell 2.3 Forkontroll av prøvesett 3

3 MEKANISKE OG KLIMATISKE UNDERSØKELSER

Hvor det i kravspesifikasjonene til dosemåleren er henvist til MIL-STD 810E (utkommet i ny utgave MIL-STD 810F i 1 januar 2000) er testprosedyrene laget etter de retningslinjene som der er gitt. Det er forutsatt at prosedyrene tillempes etter utstyrets funksjon, størrelse og form.

Videre er det opp til prøvelaboratoriet og kunden å finne frem til en sekvens av tester som i størst mulig grad prøver typiske eller ekstreme belastninger ved bruk. Vi har valgt å utsette et prøvesett for støtbelastning etterfulgt av nedsenkning i vann og et annet prøvesett for gjentatte klimatiske påvirkninger.

3.1 Støtbelastning

Under ulike forhold vil dosemålerne måtte tåle belastninger som bøyning, trykk og støt. Kraftige støt vil normalt ikke finne sted hvis dosemåleren bæres nær kroppen under bekledningen, men kan forekomme under omkledding ved fall mot gulv. Støtbelastninger vil kunne påføre sammenføyningene, dvs. limfugene, skader slik at enheten blir utett, men også kunne gi feil på elektronikken slik at avleste verdier blir feil.

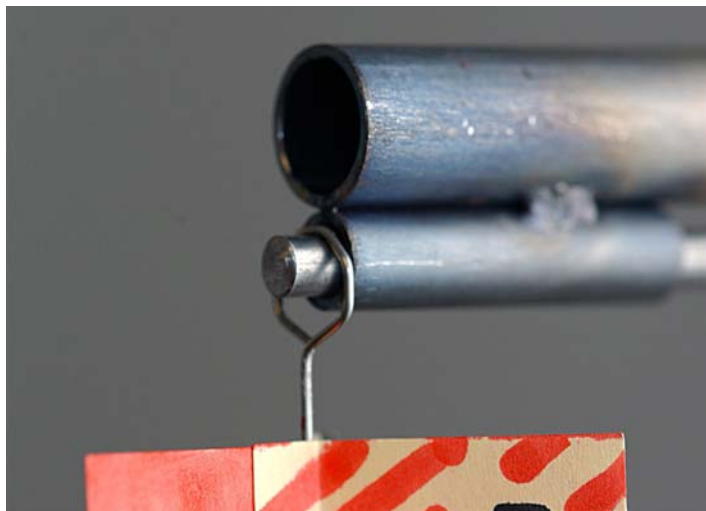
3.1.1 Forsøksoppsett

I henhold til MIL-STD 810E, avsnitt 516.4 test A4.1, skal prøver av denne størrelsen slippes fra en høyde på 122 cm ved hjelp av en rask utløsermekanisme ned på et underlag bestående av 55 mm kryssfiner. De første prøvesettene ble droppet fra denne høyden. Kravspesifikasjonen til FLO/land er en fallhøyde på 150 cm, som er nær naturlig bærehøyde. Alle droppetestene med lett prøveholder ble utført fra 150 cm. Oppsettet er illustrert i Figur 3.1.



Figur 3.1 Til høyre forsøksoppsett for støtbelastning ved fall fra høyde på 150 cm. Til venstre ses perspexrøret fylt med vann til en høyde av 100 cm som prøvene ble senket ned i.

Tre kryssfinerplater med tykkelse 18 mm ble limt sammen til en tykkelse på 55 mm. Det ble brukt en prøveholder for å styre prøven i fallet slik at anslaget mot underlaget i størst mulig grad skulle kunne defineres på forhånd og bli likt mellom de ulike prøvene. Utløsermekanismen bestod av en horisontal stang som ble trukket gjennom et påsveiset rør slik at opphenget til prøveholderen ble frigjort, se Figur 3.2.



Figur 3.2 Utløsermekanisme for støtbelastning ved fall.

Av de i alt 26 ulike flatene og kantene av et parallelepiped som kan treffe underlaget, valgte vi kun å prøve to: anslag mot nedre kant av dosemåleren (slik den vil henge etter snora) og anslag mot flaten hvor avleservinduet sitter. Hver av prøvene ble påført disse to støtbelastningen før funksjonstest. Snora ble hengt opp i prøveholderen for å unngå at den kom mellom anslagsflaten og dosemåleren.



Figur 3.3 Oppheng av lett prøveholder og utløsning for fall. Til venstre ses prøveholder for anslag mot forside (horisontalt støt.) Til høyre anvendes prøveholder for anslag mot nedkant (vertikalt støt).

Det var etter støtbelastning ulike avvik fra funksjonene til en uforstyrret prøve. Disse avvikene er kommentert direkte hvor det er relevant i tabellene nedenfor.

3.1.2 Tester utført med stor prøveholder

Av de opprinnelige 20 prøvene ble 10 utvalgt til å gjennomgå støtbelastninger. Disse første testene ble utført med en sylindrisk prøveholder av papir med styrefinner utformet som et missil. Prøveholderen hadde en totalvekt på om lag 25 g. Fallhøyden var 122 cm over en 55 mm kryssfinerplate.

Resultatene er gjengitt i Tabell 3.1 og viser at dosemålerne tålte støtbelastningen. Leverandøren påpekte at støtbelastningen var noe større enn for fall av prøven alene pga. den, i forhold til dosemålerens vekt, ikke ubetydelige vekt av prøveholderen. Denne kommentaren var ment å forklare hvorfor flere dosemålere ble utette ved nedsenkning i vann (se avsnitt 3.2.2). Til dette kan det bemerkes at fallhøyden var noe lavere enn kravet til FLO/Land slik at støtbelastningen ikke var vesentlig forskjellig fra de etterfølgende testene med en lettere prøveholder.

Serienr.	Tilstand	Kommentar
520516	OK	Noe forhøyet doserate like etter støt
520570 a	OK	
520183	OK	
520213	OK	Sort deksel løst, sporadisk avlesningsproblem
520545	OK	
520570 b	OK	
520538	OK	Noe forhøyet doserate like etter støt
550025	OK	
520335	OK	
520384	OK	

Tabell 3.1 Drogptest med stor prøveholder.

3.1.3 Tester utført uten prøveholder av MGPs representant

Leverandørens representant utførte egne dropp tester (og andre tester, se avsnitt 3.2.3.1) i FFIs laboratorium ved å slippe prøvene manuelt og uten retningsstabilisator fra 122 cm høyde, vertikalt og horisontalt. Prøvene hadde ulike anslagpunkter og til dels kom snora mellom prøven og underlaget. FFI kan ikke gå god for disse testene, men de er likevel gjengitt for fullstendighets skyld i Tabell 3.2.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
551434	OK	Ikke godt nok definert anslag
550703	OK	”
550830	OK	”
551005	OK	”
551009	OK	”

Tabell 3.2 Drogptest utførty av MGPs representant, for hånd og uten prøveholder. Ikke godkjent av FFI.

3.1.4 Tester utført med lett prøveholder

Nye urørte prøver ble levert og 10 av dem gjennomgikk tester med modifisert prøveholder av ståltråd som bestod av to deler, en øvre styrende del med finner og to ulike underdeler for å feste prøver for hhv. vertikalt og horisontalt anslag (se Figur 3.3). Underdelen var løst opphengt i overdelen. Likevel sikret overdelen tilstrekkelig styring til at anslagene var like. Innfestingen av prøvene ble foretatt med dobbeltsidig tape om lag rett over tyngdepunktet til prøven. Vekten av vertikal og horisontal prøveholder var hhv om lag 2 g og 2,5 g.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550475	OK	
550636	OK	
550854	OK	
550312	OK	
550872	OK	
550694	OK	
550763	OK	
550672	OK	
550466	FEIL	Avlesningsvindu dødt på forhånd
550874	OK	

Tabell 3.3 *Dropptest utført med lett prøveholder fra 150 cm høyde. Forut for dropptesten gjennomgikk prøvene vanntest. I den ene prøven som feilet hadde vann trengt inn.*

3.1.5 Oppsummering

Det er ikke forbundet med nevneverdig endring av funksjon for dosemålerne å la de falle fra 122 cm eller 150 cm høyde ned på 55 mm kryssfiner.

3.2 Nedsenkning i vann

3.2.1 Forsøksoppsett

Et perspex-rør, med indre diameter 63 mm, dvs. større enn bredden, men mindre enn høyden til dosemålerne, ble limt til en plastplate og stilt opp vertikalt (se til venstre i Figur 3.3). Vann fra springen med temperatur om lag 20 °C ble fylt til en høyde av 100 cm over underlaget og satt til temperering i laboratoriet i minimum to timer (temperaturen i laboratoriet var 18-19 °C).

Prøvene ble etter nedsenkning stående delvis på skrå. Enkelte prøvesett ble forvarmet til 45 °C i et Termaks varmeskap før nedsenkning i vann.

3.2.2 Nedsenkning av oppvarmede prøver

Militær standard MIL-STD 810E spesifiserer som en opsjon at prøvene varmes opp 27 °C over temperaturen til vannet før de nedsenkes under 100 cm vann ved romtemperatur i to timer.

Dette medfører et ekstra undertrykk på innsiden av prøven i forhold til vannet som tilsvarer om lag det dobbelte dyp. I tillegg vil den raske nedkjølingen av prøven generere spenninger som kan føre til at den blir utett.

Den første prøveserien på 10 ble utsatt for oppvarming og påfølgende nedsenkning i vann. Pakkingen av de 10 dosemålerne i røret var fordelt over 20 cm i høyden. Den nederste dosemåleren ble derfor påført 20 % større trykk enn den øverste, hvilket ikke kan betegnes som signifikant for denne testen. Resultatet, gjengitt i Tabell 3.4, var at 3 tok inn vann og sluttet å funksjonere og 2 andre fikk til dels alvorlig funksjonsfeil.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
520516	FEIL	Vann i avlesningsvindu
520570 a	FEIL	Vann i avlesningsvindu
520183	FEIL	Lar seg ikke nullstille
520213	OK	
520545	OK	
520570 b	FEIL	Knapp for endring av avlesningsmodus virker ikke
520538	OK	
550025	OK	
520335	OK	
520384	FEIL	Vann i avlesningsvindu

Tabell 3.4 Nedsenkning i vann av oppvarmede prøver (45 °C) . Forut for testen var prøvene påført støtbelastning vertikalt og horisontalt med stor prøveholder.

En ny testserie ble utført med prøver som ikke hadde vært utsatt for støtbelastning, se Tabell 3.5. Ved sammenligning av resultatene med og uten forutgående støt er det klart at støtene genererer en svakhet i dosemåleren.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550956	OK	
550953	OK	
550639	OK	
551065	OK	
550833	OK	
551000	OK -	Buzzer virker ikke
550838	OK	
550860	OK	
551078	OK	
550847	OK	

Tabell 3.5 Nedsenkning i vann av oppvarmede prøver (45 °C) uten forutgående støtbelastning.

3.2.3 Nedsenkning av tempererte prøver

Under tilstedeværelse i FFIs laboratorium påpekte MGPs representant at oppvarmingen av prøvene før nedsenkning i vann var et meget strengt krav og kun var en opsjon i MIL-STD 810E. Dette var heller ikke satt som spesifikt krav i anbudsdocumentene til FLO/land. I diskusjonen ble det antydnet at en mulig årsak til at dosemålerne ble utette var det ekstra undertrykket som oppstod ved nedkjøling som kunne medføre at limfugen mellom buzzeren (plassert under hullet på forsiden) og instrumenthuset åpnet seg.

FLO/land godtok at nye tester uten oppvarming skulle gjennomføres. Imidlertid skulle både urørte prøver og støtbelastede prøver gjennomgå nedsenkning i vann. Dette ble sikret gjennom først å utsette de samme prøvene for i) nedsenkning i vann, ii) dernest støtbelastning og

iii) tilslutt nedsenkning i vann.

3.2.3.1 Tester utført av MGPs representant

MGPs representant utførte en forsøksserie uten forvarming av prøvene og manuelle dropp uten retningsstabilisator (se avsnitt 3.1.3). Resultatene er gjengitt i Tabell 3.6. FFI kan ikke gå god for støtbelastningen for disse prøvene. Nedsenkning i vann av urørte prøver (forut for støtbelastning) er imidlertid som for de andre forsøksseriene.

Serienummer	Tilstand etter første vanntest	Tilstand etter dropp*	Tilstand etter avsluttende vanntest
551434	OK	OK	OK
550703	OK	OK	OK
550830	OK	OK	OK
551005	OK	OK	OK
551009	OK	OK	OK

Tabell 3.6 Nedsenkning i vann før og etter støt utført av MGPs representant. * FFI kan ikke gå god for dropptesten.

3.2.3.2 Nedsenkning før støtbelastning

Det ble valgt ut 10 nye prøver for testing. Alle 10 prøvene ble aktivert ("allocation and activation") og funksjonstestet. Batterier ble skiftet der det var nødvendig. For de prøvene hvor batterier ikke ble skiftet, ble heller ikke batterilokket etterskrudd.

Prøvene ble plassert i perspexrøret slik at den øverste prøven var 100 cm under vann og den nederste 24 cm dypere. Den ene prøven som feilet hadde et batterilokk som lot seg skru en kvart omdreining. Det ble påvist vann i batterikammeret. Sannsynligvis tettet ikke lokket tilstrekkelig mot o-ringen. Det lot seg ikke gjøre å få liv i dosemåleren hvor det var trengt inn vann selv etter tørking i varmeskap ved 40 °C over natten. Øvrige prøver hadde uforandret funksjon etter testen.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550475	OK	
550636	OK	
550854	OK	
550312	OK	
550872	OK	
550694	OK	
550763	OK	
550672	OK	
550466	FEIL	Avlesningsvindu dødt på forhånd
550874	OK	

Tabell 3.7 Nedsenkning i vann av urørte romtempererte prøver.

3.2.3.3 Nedsenkning etter støtbelastning

Prøvene ble støtbelastet som beskrevet i avsnitt 3.1.4. Deretter ble de på ny senket ned i 100 cm vannsøyle. Bortsett fra prøven som allerede hadde tatt inn vann, funksjonerte alle prøvene. Imidlertid ble det konstatert at ytterligere en prøve hadde sluttet å funksjonere etter et par dager. Det viste seg at også denne hadde tatt inn vann. Lokket til batterikammeret var godt tilskrudd. Hvorvidt svakheten var tilstede fra begynnelsen av eller om den skyldtes støtbelastninger er ikke mulig å avgjøre med sikkerhet.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550475	OK	
550636	OK	
550854	OK	
550312	FEIL	Buzzer virker ikke; senere død
550872	OK	
550694	OK	
550763	OK	
550672	OK	
550466	FEIL	Avlesningsvindu dødt på forhånd
550874	OK	

Tabell 3.8 Nedsenkning i vann av støtbelastede, romtempererte prøver.

3.2.4 Oppsummering

Nye dosemålerne tåler nedsenkning under 100 cm vannsøyle. Videre tåler de dropp fra 150 cm etterfulgt av nedsenkning i vann, kun 1 av 9 prøver feilet. Det synes imidlertid å være større ømfintlighet for lekkasje i kombinasjon med støt og rask nedkjøling.

3.3 Klimabelastning

3.3.1 Funksjon ved høy temperatur

Høy temperatur, dvs. over om lag 40 °C, vil kunne gi feil i elektroniske kretser. Kravet til dosemålerne er at de skal tåle temperaturer opp til +44 °C og likevel kunne funksjonere normalt. Imidlertid skal de i tillegg tåle akselerert lagring hvor det er angitt en enda høyere temperatur, 70 °C. Dosemålerne vil ikke funksjonere normalt ved 70 °C.

Ut fra disse to kravene ble det laget en enkel test hvor man målte avvik fra normal funksjon (angitt ved registrert dose i vanlige laboratorieomgivelser) ved den høyeste temperaturen. I tillegg ble det sjekket at dosemålerne funksjonerte normalt ved normalisering av temperaturen.

Et utvalg på fem (5) dosemålere ble utsatt for 70 °C i varmeskap i 17 timer. Etter uttak ble registrert dose avlest. Resultatet er gjengitt i Tabell 3.9. Som referanse ble fem (5) andre dosemålere liggende i laboratoriet ved romtemperatur i samme periode. Disse registrerte en dose på $1 \cdot 10^{-4}$ cGy. Innvirkningen av høy temperatur på feilregistrering er tydelig og som forventet (større elektronisk støy). Dosemålerne som ikke viste noen registrering funksjonerte normalt

etter normalisering av temperaturen. Årsaken til denne svikten er ikke kjent.

Serienummer	Registrert dose (cGy)	Kommentar
520512	0.0007	
520513	0.0048	
520731	0.0000	Display virket ikke ved uttak av varmeskap
520422	0.0029	
520381	0.0000	Display virket ikke ved uttak av varmeskap

Tabell 3.9 Funksjon ved høy temperatur: doseregistrering ved 70 °C.

Testen kan oppsummeres som godkjent.

3.3.2 Funksjon ved lav temperatur

Fem (5) dosemålere ble plassert i klimaskap ved -40 °C i 17 timer. Registrert dose ble forsøkt avlest etterpå. Resultatene er gjengitt i Tabell 3.10. Dosemålerne fungerte normalt etter om lag 5 minutter.

Serienummer	Registrert dose (cGy)	Kommentar
520263	0.0002	Til live 5 min etter uttak
520435	0.0002	”
520701	0.0001	”
520206	0.0000	Til live etter skifte av batteri
520677	0.0001	”

Tabell 3.10 Funksjon ved lav temperatur: doseregistrering ved -40 °C.

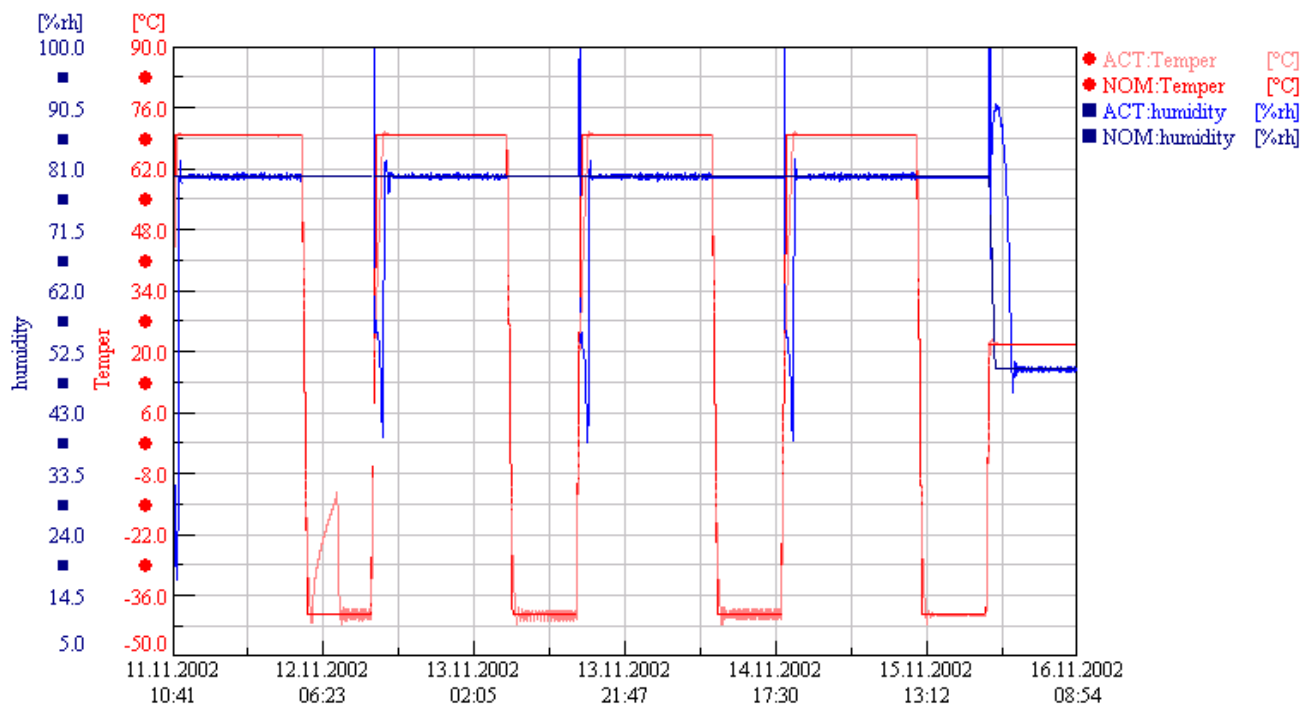
Testen kan oppsummeres som godkjent.

3.3.3 Funksjon etter gjentatte klimasykler

I spesifikasjonene til FLO/Land er det krav om at dosemålerne skal tåle akselerert lagring i betydning gjentatte temperatur-luftfuktighet variasjoner. Prosedyren brukt av FFI er fire klimasykler hvor prøvene hver gang utsettes +70 °C og 80 % relativ luftfuktighet i 16 timer og deretter -40 °C i 8 timer. Klimatestingen ble utført hos Tandberg Data, Product Qualification Laboratory, i et klimaskap VC 4150 fra Vötsch Industrietechnik. Visuell inspeksjon og funksjonstest etter kjøring ble utført av FFI.

3.3.3.1 Klimaprogram uten avfuktning

Det ble kjørt klimasykler som beskrevet ovenfor med raskest mulig nedkjøling og oppvarming mellom +70 °C og -40 °C. Dette skjedde uten kontroll av luftfuktigheten i kammeret. Det har derfor vært kondenserende atmosfære flere ganger under klimaforløpet. Klimaprogrammet (nomielle verdier, sett-punkt) og de aktuelle temperatur og luftfuktighetsverdiene er gjengitt i



Figur 3.4 Påtrykt klimaforløp uten avfuktning

Resultatene av testen, som er gjengitt i Tabell 3.11, er ikke akseptable, 3 av 5 prøver feilet. Tørking i varmeskap ved 30 °C over to døgn bedret ikke på funksjonen til de som feilet. To av de feilede prøvene var tidligere utsatt for dropptest av MGPs representant. Det var for samtlige prøver en klar reduksjon i gjennomskinneligheten til avlesningsvinduet. Plasten var blitt gråaktig.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550475	OK	
550697	OK	
551009	FEIL	Avlesningsvindu blankt
550498	FEIL	”
551005	FEIL	Ingen måleverdi i avlesningsvindu

Tabell 3.11 Funksjon etter fire klimasykler. Prøvene som feilet var uendret etter to døgnstørking ved 30 °C.

Testen kan kritiseres for at prøvene i tillegg til oppgitte krav påføres en kondenserende atmosfære i deler av forløpet. Ved uttak var det dråper og dogg på samtlige prøver. Det ble derfor gjennomført nok en klimatest hvor også luftfuktigheten ble styrt under oppvarming og nedkjøling.

3.3.3.2 Klimaprogram med avfuktning

Klimaprogrammet var som vist i

Figur 3.4, men relativ luftfuktighet ble styrt til å være under 80% under nedkjøling og oppvarming. Det var ikke flere urørte prøver igjen til denne testen. Et utvalg av 9 som tålte støtbelastning og nedsenkning i vann ble gjort. Resultatene er gjengitt i Tabell 3.12.

Alle dosemålerne bortsett fra én hadde fått en alvorlig funksjonsfeil under testen signalisert ved ulike feilmeldinger på avleserenheten. Likevel var det mulig å få de initiert pånytt slik at de funksjonerte normalt. For flere av prøvene måtte det byttes batteri etter testen. En mulig årsak til at dosemålerne fikk funksjonsfeil er svakt batteri. To av dosemålerne fikk redusert funksjon som følge av testen: feil i siffer på LCD display, knapt hørbar alarm. Gjenværende funksjonalitet i disse to ble regnet som tilstrekkelig for bruk. Plastikken over avleservindu ble gråere for samtlige.

Alt i alt greide dosemålerne testen.

Serienummer	Tilstand	Kommentar
550694	OK	“Pause” modus; “Dosimeter event minor”; “Flash detection”; “Fault: gamma dose read lower than dose from previous data read”
550872	OK	“Pause” modus, “bAt-” blinker; “Dosimeter event minor”; “Dosimeter battery fault”; “Flash detection”
550636	OK	“Pause” modus; “Flash detection”
550672	OK	“Pause” modus;
550472	OK -	batteri utladet; “Pause” modus; “Dosimeter historical fault”; “Flash detection”; feil i ett siffer i avlesningsvindu, men data kan leses av avleserenhet
550854	OK	batteri utladet; “Pause” modus; “Flash detection”
550763	OK -	batteri defekt: printkort løst fra hoveddel ; “Pause” modus; “Flash detection”; gir ikke fullt alarmsignal, bare et lite knepp
550874	OK	“Pause” modus; “Flash detection”

Tabell 3.12 Klimatest med avfukting. Funksjon etter fire klimasykler. Alle typer feilmeldinger ble registrert for dette prøvesettet.

4 MÅLING AV STRÅLING

Kravene hva gjelder egenskaper og nøyaktighet i registrering av stråledoser er:

1. kunne registrere gammadoser i området 0,001 cGy – 1000 cGy
2. registrere akkumulert gammadose med en nøyaktighet på $\pm 20\%$ under 10 cGy
3. registrere total akkumulert dose (gamma + nøytroner) med en nøyaktighet på $\pm 30\%$ over 10 cGy
4. kunne registrere gammadose med energi fra 50 keV til 12 MeV
5. være minst mulig følsom for plasseringen av dosemåleren (i forhold til strålekilden), dvs. liten variasjon i målte doser med vinkelen mellom dosemåleren og strålekilden
6. kunne registrere nøytrondoser i området 5 – 1000 cGy
7. registrere nøytrondose med en nøyaktighet på $\pm 50\%$ over 10 cGy
8. registrere nøytroner med energi opp til 14 MeV

Det er ikke gitt egne krav til nøyaktighet for doserate (intensitet) som uansett er avledet av registrert dose over en målt tid. For å utføre et utvalg tester av kravene ovenfor, ble Institutt for energiteknikk (IFE) kontrahert. Et kort utdrag av resultatene er gjengitt nedenfor. De to testrapportene fra IFE er i sin helhet vedlagt denne rapporten (Appendiks A og B).

4.1 Gammastråling

De fleste egenskapene som ble testet var knyttet til evnen til og nøyaktigheten i registrering av stråledoser med gammastråling. Gammastråling består av kvanter med elektromagnetisk stråling som stammer fra prosesser i atomkjernene og har stor gjennomtrengelighet i faste stoffer og bløtt vev. I de fleste tilfeller vil det være gammastråling som er en helsemessig risikofaktor. Tidligere dosemålere i bruk i Forsvaret har utelukkende registrert gammadose.

4.1.1 Avhengighet av dose

Det ble undersøkt hvilken nøyaktighet dosemålerne hadde ved ulike dosenivåer fra 0,0020 cGy til 200 cGy. Oppsettet bestod av eksponering i et definert strålefelt fra en kalibrert strålekilde. Det ble benyttet ulike avstander fra en cesiumkilde (^{137}Cs) og en koboltkilde (^{60}Co). Seks dosemålere ble eksponert for de fleste dosenivåene, mens 20 ble testet ved 0,04 cGy og 200 cGy.

Konklusjonen er at nøyaktigheten er 10% (eller bedre) i hele området og klart innenfor kravet på 30%.

4.1.2 Avhengighet av energi

Det ble benyttet strålefelt fra ulike kilder (gammastrålingens energi angitt i parentes): ^{241}Am (60 keV), ^{137}Cs (661 keV), ^{60}Co (1173 og 1332 keV). Tilnærmet samme doserate og dose ble benyttet for alle energiene. Fire dosemålere ble testet.

Konklusjonen er at nøyaktigheten er 15% (eller bedre) for energiene testet og innenfor kravet på 30%.

4.1.3 Avhengighet av vinkel

Dosemålerne kan orienteres i to ulike vinkelretninger relativt til en ideell oppstilling vinkelrett på stråleretningen. For et gitt horisontalt strålefelt vil den ene vinkelen vil være en rotasjon i horisontalplanet og den andre vinkelen være en rotasjon ut av horisontalplanet. En dosemåler ble testet for vinkler på 15° , 45° og 75° horisontalt og vertikalt for to ulike energier, 60 keV (^{241}Am) og 661 keV (^{137}Cs).

Vinkelavhengigheten ved 661 keV er mindre og ved 60 keV større enn fastsatt i relevante internasjonale standarder. Kravene i spesifikasjonene til FLO/Land henviser ikke til denne standarden. Det regnes ikke som særlig viktig med lav vinkelavhengighet ved lav energi.

Konklusjonen er at vinkelavhengigheten til dosemåleren er akseptabel.

4.1.4 Sluttkontroll

Dosemålerne fra prøvesett 1 ble kontrollert for evne til å registrere riktig dose etter at de hadde gjennomgått andre tester. Enkel kontroll av doserespons og doseratealarm ble utført. Av 14 dosemålere som det lot seg gjøre å sette alarmnivå på var det kun én som ikke ga alarm. Avlest dose (omkring 0,04 cGy) hadde nøyaktighet på bedre enn 10%. Kun to hadde ingen kontakt med avleserenhet.

Dosemålere som tilsynelatende funksjonerer (iht funksjonstest) registrerer også korrekt dose.

4.2 Nøytronstråling

Nøytroner er uladete partikler som har samme masse som protoner. Den kraftigste eksponering for nøytroner som personellet kan utsettes for er fra en kjernefysisk eksplosjon. Nøytronene vil i dette tilfellet være høyenergetiske. Kapslede enkeltkilder som var tilgjengelig hadde for lav intensitet til å kunne brukes i testingen av registrert nøytrondose.

4.2.1 Doserespons for termiske nøytroner

I Norge fins det to kjernereaktorer som begge har høy fluks av termiske nøytroner (kinetisk energi i likevekt med mediet). Strålingsfeltet inneholder også betydelig del gammastråling.

Forskningsreaktoren JEEP II på Kjeller ble benyttet til å bestråle dosemålere med termiske nøytroner i to omganger med hhv. fem og tre dosemålere. For høye nøytrondoser (over 200 cGy) sluttet dosemålerne å virke sannsynligvis pga. en meget høy absorbert gammadose (over 600 Gy).

Konklusjonen er at for nøytrondoser mellom 15 og 130 cGy er målenøyaktigheten for termiske nøytroner dårligere enn 50%. Nøyaktighet for disse lavenergetiske nøytronene kan ikke sies å være kritisk. For hurtige nøytroner forventes det at nøyaktigheten vil være bedre.

Det anbefales i fremtiden å bruke tilstrekkelig sterke nøytronkilder som avgir hurtige nøytroner.

4.3 Kommentar til størrelse og enhet for stråledose

Det norske forsvaret har i likhet med andre NATO-land brukt enheten Gray (Gy) for registrert dose. Denne enheten er absorbert dose målt i energi avsatt per masseenhed (J/kg). Når det gjelder skader på levende vev har imidlertid typen stråling en del å si, ikke bare energien som avsettes. For å ta hensyn til denne kvalitetsforskjellen er det introdusert en størrelse som kalles ekvivalent dose med enhet Sievert (Sv). Gammastråling har her fått en vektfaktor 1, alfa-stråling (heliumkjerner) har en vektfaktor 20 og nøytronstråling har en vektfaktor fra 5 til 20 avhengig av energien. Tidligere var denne forskjellen mellom fysisk dose og ekvivalent dose unødvendig å bringe inn fordi Forsvarets dosemålere kun registrerte gammastråling.

IFE har i sin testing bemerket at dosemåleren, så vidt man har brakt på det rene, registrerer persondoseekvivalent, (ekvivalent dose i 10 mm dybde i bløtvev). Dette indikeres i displayet ved symbolet $H_p(10)$. Dosemåleren angir, etter Forsvarets ønske, stråledose i Gy eller cGy. Det er kun for gammadose at det er en-til-en samsvar mellom Gy og Sv. Dette misforholdet bør det ryddes opp i.

5 ANDRE RELEVANTE UNDERSØKELSER

5.1 Undersøkelser utført av DGA

DGA utførte et omfattende testprogram av dosemålerne for Det franske forsvaret som FLO/Land er kjent med.

5.2 Troppeprøver

Troppeprøver ble utført av HFK for prøvesett 1.

5.3 Interferens med flyinstrumenter

I forbindelse med at dosemålerne skal brukes overalt i Forsvaret foretok FLO/Luft på FFIs anmodning en kontroll av mulig interferens med flyinstrumenter. Alt elektronisk utstyr som skal ombord i Forsvarets fly må tilfredsstille støykrav. Dosemåleren kan avleses i nærheten av avleserenhet og avgir derfor under enkelte omstendigheter radiofrekvent stråling. Under operative forhold er det lite hensiktsmessig å bruke avleserenheten. Testen ble derfor foretatt av dosemålere som var aktivert for vanlig bruk og ikke under fjernavlesning.

Konklusjonen er at dosemålerne ikke avgir støy utover FLO/Lufts krav.

6 KONKLUSJON

6.1 Oppsummering av prøveresultater

6.1.1 Termomekanisk robusthet

Dosemålerne tåler støtbelastning som angitt i kravet til FLO/Land. Etter påtrykk av høye (70° C) og lave temperaturer (-40° C) vil de funksjonere normalt når temperaturen normaliseres. Hurtige forandringer i temperatur (som i testene beskrevet i denne rapporten) kombinert med nedsenkning i vann eller kondenserende atmosfære, gir imidlertid, etter FFIs oppfatning, høyere feilprosent enn ønskelig.

6.1.2 Nøyaktighet

I stort er målenøyaktigheten bedre enn kravene. Der det er observert enkelte svakheter (i vinkelrespons ved lavenergetisk gammastråling og doserespons ved lavenergetisk nøytronstråling) er disse ikke kritiske for tiltenkt funksjon.

6.1.3 Serienummer og merking

Merkingen på dosimetrene har enkelte svakheter:

- Teksten på merket kan slites/gnis av: observert på en håndfull dosemålere som har vært i moderat bruk
- Det er observert at to ulike dosemålere har samme serienummer

- I serienummeret er det vanskelig å se forskjell på 5 og 6: man må bruke lupe eller mikroskop for å skille dem

6.1.4 Kassasjonskriterier

For et multifunksjonsinstrument som dosemåleren vil ulike funksjoner kunne feile i noen grad uavhengig av hverandre. Det bør lages en prioritet for funksjonene. Kommunikasjon med avleserenhet og evne til å definere alarmgrenser og avgi alarm er viktigere enn svakheter med avlesningsvinduet.

6.2 Anbefalinger

6.2.1 Generelt om anvendelighet

Dosemålerne er generelt sett brukbare og vil kunne være et godt hjelpemiddel for Forsvaret for å dokumentere at personell ikke har fått større stråledoser enn det som kan påregnes i vanlig sivil liv. Personell som uforvarende kommer i nærheten av en strålekilde med høy strålingsintensitet få alarm og trekke seg ut mens dosen ennå er moderat. I tillegg vil det være mulig for innsatspersonell som redningsmannskaper å begrense sin totaldose ved å gi alarm ved overskridelse av grenseverdi. Slikt personell har i dag også tilgang på mer følsomme, håndholdte instrumenter for dette formålet.

I en krigssituasjon hvor personellet har blitt utsatt for primærstråling fra en kjernefysisk eksplosjon vil instrumentet kunne si om det er mulig å få medisinsk behandling og restitueres eller om personellet skal fortsette sin aktivitet til de stupes. Denne avlesningen kan kun foretas med ekstern avleser slik at vurdering blir foretatt av avdelingsbefal.

Dosemålerne er tilstrekkelig robuste mekanisk og elektronisk til å funksjonere under de fleste forhold. Enkelte kombinasjoner av belastninger, som rask nedkjøling i vann eller kondenserende atmosfære, vil den være sårbar for. Det er ikke urimelig at slike forhold vil oppstå under kryssing av elv ol. En fremtidig forbedret sammenføyning (liming) av dosemåleren vil kunne bøte på denne svakheten.

6.2.2 Merking

De tre problemene som er påpekt ovenfor med merkingen bør påtales til leverandøren. Merkingen bør både være tydeligere å lese og mer bestandig. Alternativt bør den også foreligge inne i batterihuset hvor den ikke vil slites av. Det bør gis en god forklaring på hvordan to ulike dosemålere kan ha samme serienummer. Dette er en svikt i kvalitetssystemet som en må sikre seg mot i leveransen til Forsvaret. Både for lagerhold og registrering av korrekt dose for personell kan slik duplisering skape vanskeligheter.

6.2.3 Prosedyrer for ivaretagelse og bruk av informasjon

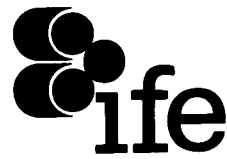
Dosemålerer gir i seg selv ingen beskyttelse, bare informasjon om strålingseksponering. Som et minimum bør akkumulert dose for personellet arkiveres. Innsamling av registreringer bør gjøres periodisk, for eksempel ukentlig. For spesielle hendelser bør all tilgjengelig informasjon tas vare på. Uten en slik minimumsoppfølging vil brukeren miste tilliten til ”systemet” og viljen til å bruke det etter intensjonen.

Videre forutsetter bruken av dosemåleren at personellet vet hva det skal gjøre hvis alarm avgis. Prosedyrer for å beskytte seg selv og sine kolleger må innarbeides og vedlikeholdes.

6.2.4 Størrelse og enhet for stråledose

Det anbefales at det foretas en tilpassning av Forsvarets størrelse for måling av stråledose for personell til det som er vanlig innenfor strålevern. Det betyr å gå over fra fysisk dose (Gy) til ekvivalentdose (Sv), se for øvrig forklaring under avsnitt 4.3.

APPENDIKS**A TEST AV SOR/T ELEKTRONISKE DOSIMETRE FOR GAMMARESPONS**



Institutt for energiteknikk
Institute for Energy Technology

Postadresse KJELLER Boks 40, N-2027 Kjeller		HALDEN Boks 173, N-1751 Halden	Tilgjengelighet Innskrenket
Telefon 63 80 60 00		69 21 22 00	
Telefax 63 81 63 56		69 21 22 01	
Rapport- type F	Rapportnummer IFE/KR/F-2001/095	Dato 31.05.01	
	Rapporttittel Test av SOR/T elektroniske dosimetre for gammarespons	Dato for siste revisjon	
	Oppdragsgiver Forsvarets forskningsinstitutt	Revisjonsnummer	
	Oppdragsgivers referanse Thor Engøy	Antall sider 18 Antall eksemplar 12	
Sammendrag <p>Det ble foretatt en kontroll av gammaresponsen til 20 elektroniske dosimetre av typen SOR/T-003 fra MGP Instruments. Doserresponsen ble kontrollert for doser i intervallet 20 μGy – 2 Gy. Energiresponsen til 4 dosimetre ble kontrollert i strålefelt fra ^{241}Am (60 keV), ^{137}Cs (661 keV) og ^{60}Co (1173 og 1332 keV). Kontroll av horisontal og vertikal angulær avhengighet for vinkler fra 0° til 75° ble foretatt for ett dosimeter i strålefelt fra ^{241}Am og ^{137}Cs.</p> <p>Dosimetrene tilfredsstillter kravene til doserespons og energirespons gitt i kravspesifikasjoner fra Forsvaret. Kravene til angulær respons er tilfredsstilt for ^{137}Cs. For ^{241}Am er responsen for lav når stråleknippet står 75° på dosimeteret i horisontal retning.</p> <p>I rapporten påpekes det at det er et misforhold mellom størrelsen som påstås målt, $H_p(10)$, og måleenhet, cGy.</p>		Distribusjon FFI (5) A. Raaum G.M. Veggeberg S. Backe G.C. Christensen Arkiv (3) Sammendrag: Direktører Prosjektledelse, Halden Avdelingsjefer	
Stikkord elektronisk dosimeter, gammastråling			
Navn		Dato	Signatur
Utarbeidet av	Aud Raaum Geir Magne Veggeberg	2001-05-31	<i>Aud Raaum</i> <i>Geir Magne Veggeberg</i>
Kontrollert av	Steinar Backe	2001-05-31	<i>Steinar Backe</i>
Godkjent av	Gordon C. Christensen	2001-05-31	<i>Gordon C. Christensen</i>

1	Innledning	2
2	Generelle bemerkninger	2
2.1	Størrelser og enheter for stråledose.....	2
3	Testmetode	3
3.1	Referansestrålefelt og referansedoser	3
3.2	Krav.....	3
3.3	Måleoppstilling	3
3.4	Testprogram	4
3.4.1	Test av doserespons.....	4
3.5	Test av energirespons.....	4
3.6	Test av angulær respons.....	5
4	Resultater	6
4.1	Test av doserespons	6
4.2	Test av energirespons.....	6
4.3	Test av angulær respons.....	6
5	Referanser	8
	Figurer	9
	Tabeller	11

1 Innledning

På oppdrag for Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) er 20 SOR/T-003 elektroniske dosimetre fra MGP Instruments kontrollert for gammadoserespons. Krav til gammarespons gitt i spesifikasjoner fra forsvaret (1) og anbefalinger om testmetoder gitt i IEC 1283 (2) er lagt til grunn ved utforming av testprogram.

2 Generelle bemerkninger

2.1 Størrelser og enheter for stråledose

I manualene som følger dosimetrene, og nederst i venstre hjørnet på displayet, er det angitt at dosimetrene måler persondoseekvivalenten, $H_p(10)$. $H_p(10)$ er definert i ICRU rapport 39 (3) som ekvivalent dose i 10 mm dybde i bløtvev. Ekvivalent dose er videre definert som $H = \omega_R \cdot D$, der D er absorbert dose og ω_R er vektfaktor for stråletype. Enheten for ekvivalent dose er Sv, mens enheten for absorbert dose er Gy. Etter ønske fra forsvaret (1) angir dosimetrene dose i enheten cGy. Det er følgelig et misforhold mellom størrelsen som påstås målt, ($H_p(10)$), og måleenheten (Gy). For gammastråling er $\omega_R=1$, slik at absorbert dose og ekvivalent dose er numerisk like. Dosimetrene skal imidlertid også kunne måle nøytrondoser, og for nøytroner varierer ω_R mellom 5 og 20 avhengig av nøytronenes energi. Det er derfor av avgjørende betydning at det går klart frem hvilken størrelse som måles.

3 Testmetode

3.1 Referansestrålefelt og referansedoser

Oppmåling av gammastrålefelt (kermarate fritt i luft) er foretatt med 600 cc kammer (NE 2511/3) og Keithley elektrometer, modell 6517A. Ionisasjonskammeret ble kalibrert ved Statens strålevern i februar 2000. Kalibreringen er sporbar til primærstandard gjennom Statens strålevern.

Som referansedose benyttes absorbert dose i 10 mm dybde i bløtvev, som er numerisk det samme som persondoseekvivalenten, Hp(10), definert i ICRU rapport nr 39 (3), for gammastråling (se kommentar til størrelser og enheter i avsnitt 2.1). Absorbert dose i 10 mm dybde er beregnet ved å benytte omregningsfaktorer fra kermarate til persondoseekvivalent, Hp(10), gitt i IEC 1283 (2).

En ^{137}Cs -kilde ble benyttet som referansekilde. For doser over 1 cGy er en ^{60}Co -kilde benyttet. Ved bruk av ^{60}Co er målingene korrigert til responsen for ^{137}Cs som anbefalt i IEC 1283 (2). I tillegg til de nevnte ^{137}Cs - og ^{60}Co -kildene er ^{241}Am benyttet ved kontroll av energirespons.

3.2 Krav

Følgende krav er gitt i systemspesifikasjoner fra forsvaret (1):

1. Dosimeter skal kunne lese gammadoser i området 0,001 cGy – 1000 cGy.
2. Total akkumulert gammadoser skal indikeres med en nøyaktighet på $\pm 20\%$ under 10 cGy.
3. Total akkumulert dose (gamma + nøytroner) skal indikeres med en nøyaktighet på $\pm 30\%$ over 10 cGy.
4. Energiresponsen for gamma skal være fra 50 keV – 12 MeV.
5. Følsomheten skal være minst mulig påvirket av plasseringen av dosimeteret (angulær respons) i henhold til IEC 1283 (2)

3.3 Måleoppstilling

Bestråling er foretatt på et PMMA 30 x 30 x 15 cm fantom. Normalt ble 4 dosimetre bestrålt samtidig. Dosimetrene ble plassert symmetrisk om frontens senter som vist i figur 1. Kun ett dosimeter ble kontrollert for angulær respons. Dosimeteret ble da plassert i senter på fantomets frontside. Når 4 dosimetre ble eksponert samtidig, ble doseraten i detektoren beregnet ved å bruke avstandsloven for en punktkilde.

Det anbefales å benytte en avstand mellom kilde og fantom på minst 2 m for å få en tilnærmet parallell strålebunt (2). I en del av eksponeringene ble det likevel benyttet

kortere avstander for å korte ned på bestrålingstiden. Vi anser likevel at referansedosen kan angis med en tilstrekkelig nøyaktighet i forhold til kravene som testes.

Dosimetrene var nummerert fra 1 – 20 fra oppdragsgiver, og dosimetrynummer angitt i tabellene henviser til denne nummereringen.

3.4 Testprogram

3.4.1 Test av doserespons

I IEC 1283 (2) anbefales at ett instrument i en serie gjennomgår en typetest der det testes for doser på ca. 20, 40 og 80 % av hver dekad. I tillegg anbefales det at det foretas en rutinetest på alle instrumentene, der det testes for to doseverdier, en i den mest følsomme dekad, og en i ca. 50% av maksimal verdi i måleområdet.

Fire instrumenter gjennomgikk en nesten fullstendig typetest, der det ble kontrollert for doser på ca. 20, 40 og 80 % av hver dekad for doser opp til 8 cGy, og for ca. 20 cGy og ca. 2 Gy. Fire ulike måleoppstillinger ble benyttet for å dekke hele doseintervallet. Det går frem av resultattabellen hvilken kilde og avstand til kilde som er benyttet. Dosimetrene ble nullstilt mellom hver måleoppstilling. Innenfor hver måleoppstilling ble dosene avlest uten at dosimetrene ble tatt ned fra fantomet, eller at måleoppstillingen ble endret på annet vis.

Alle 20 instrumentene ble kontrollert for ca 400 µGy, og 11 instrumenter ble kontrollert for 2 Gy. Kilde og avstand til kilde er oppgitt i resultattabellene.

Relativt avvik, I , i forhold til referanseverdi ble beregnet som følger:

$$I = [(H_i - H_r) / H_r] \cdot 100\% \quad (1)$$

der

H_i er avlest verdi

H_r er beste estimat av verdien (referanseverdi)

Kravet til nøyaktighet forutsettes å være oppfylt dersom I ligger innenfor de gitte prosentverdiene.

Når ^{60}Co -kilde ble benyttet er responsen korrigert til responsen for ^{137}Cs som anbefalt i IEC 1283 (ref). Korreksjonsfaktoren ble beregnet ut fra resultatet av kontroll av energirespons (se avsnitt 4.2) til 1,155. Relativt avvik fra referansedosen er beregnet ut fra den korrigerede dosen.

3.5 Test av energirespons

I IEC 1283 kreves det at responsen til gammastråling med energi mellom 50 keV og 1,5 MeV ikke skal avvike mer enn 30 % fra responsen til ^{137}Cs . Fire dosimetry ble kontrollert i strålefelt fra ^{241}Am (60 keV), ^{137}Cs (661 keV) og ^{60}Co (1173 og 1332 keV). Testen ble

utført med tilnærmet samme doserate og dose for alle energiene. Det var ikke mulig å kontrollere energiresponsen for høyere energier enn fra ^{60}Co .

3.6 Test av angulær respons

Følgende krav er gitt i IEC 1283 (2):

For to plan, et horisontalt og et vertikalt, gjennom fronten til dosimeteret, skal forholdet mellom avlesning ved vinkel α og avlesning ved $\alpha=0$, R, for vinkler fra 0° til $+75^\circ$ og fra 0° til -75° være innenfor $\pm 20\%$ av forholdene gitt i tabell 1 for ^{137}Cs , og innenfor $\pm 50\%$ av forholdene for ^{241}Am . Produsenten skal angi responsen ved $\pm 90^\circ$.

Ett dosimeter ble testet for vinkler på 15° , 45° og 75° om et horisontalt og et vertikalt plan gjennom fronten til monitoren for ^{241}Am og ^{137}Cs . Testen ble utført med samme doserate og dose for alle vinklene. Figur 2 viser testoppstilling.

4 Resultater

4.1 Test av doserespons

Tabell 2 viser resultatene når 4 dosimetre ble testet for doser fra 20 μGy til 2 Gy. Resultatet av testen av alle 20 dosimetre for 400 μGy er gitt i tabell 3, mens tabell 4 viser resultatene av testen av 11 dosimetre for 2 Gy. Relativt avvik i % fra referansedosen, beregnet med formel (1), er gitt i kolonne 7 i tabell 2, i kolonne 4 i tabell 3 og i kolonne 5 i tabell 4.

Relativt avvik fra referansedosen var mindre enn 10 % for alle dosimetrene for doser under 0,1 Gy (kravet er mindre enn 20%), og mindre enn 20 % for alle dosimetrene for doser over 0,1 Gy (kravet er mindre enn 30 %).

Konklusjon: Doserespons O.K.

4.2 Test av energirespons

Resultat av test av energirespons er gitt i tabell 5. Kolonne 6 viser forholdet mellom avlest dose og referansedose for hver energi. Kolonne 7 viser relativt avvik fra responsen til ^{137}Cs . I henhold til IEC 1283 (2) skal avviket være innenfor $\pm 30\%$. Dette kravet er oppfylt for alle testede dosimetre og energier.

Konklusjon: Energirespons O.K.

Forholdet mellom respons for ^{60}Co og ^{137}Cs , $R_{\text{Cs-137/Co-60}}$, er beregnet ut fra gjennomsnittlig respons for de fire dosimetrene til:

$$R_{\text{Cs-137/Co-60}} = 1,155$$

Dette forholdstallet ble benyttet for å korrigere avlest dose til respons for ^{137}Cs når ^{60}Co -kilde er benyttet ved test av doserespons.

4.3 Test av angulær respons

Tabell 6 viser resultatet av test av angulær respons i horisontal retning, og tabell 7 viser resultatet for vertikal retning for dosimeter nr 17. Kolonne 4 viser avviket fra R gitt i tabell 1, i forhold mellom avlest dose ved vinkel α og $\alpha=0$. Avviket skal i henhold til IEC 1283 ligge innenfor $\pm 20\%$ for ^{137}Cs og $\pm 50\%$ for ^{241}Am .

I tabell 6a går det frem at responsen for ^{137}Cs ved 75° i horisontal retning er for høy i henhold til kravet gitt i IEC 1283 (2). Siden forholdet mellom responsen ved α og $\alpha=0$ er tilnærmet lik 1 ser vi det likevel slik at dosimeteret har en angulær respons for ^{137}Cs som er bedre enn kravet gitt i IEC 1283 (2).

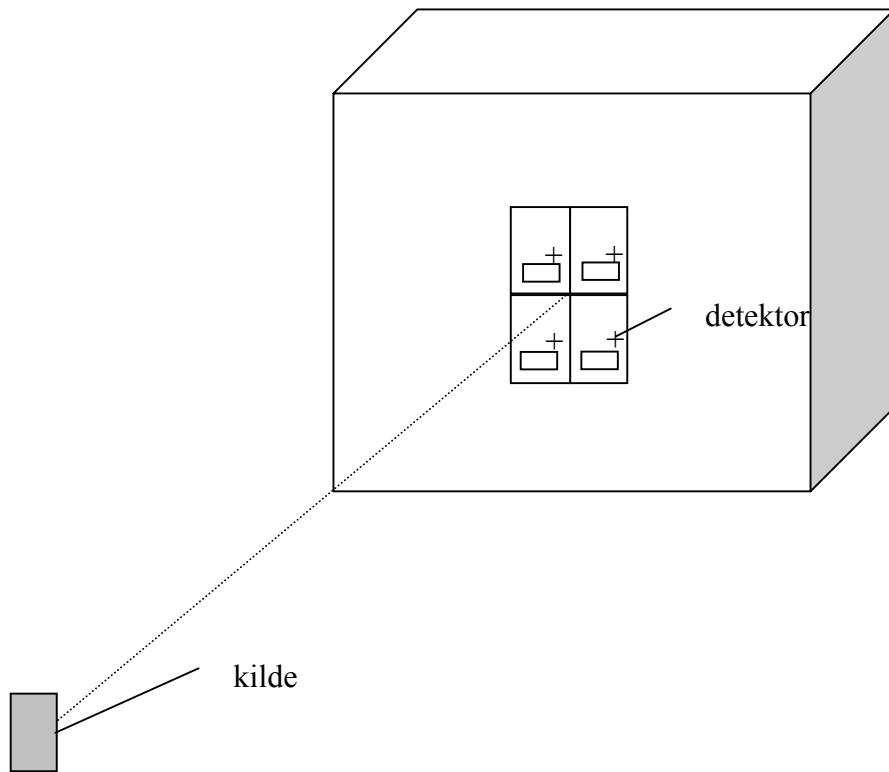
Responser for ^{241}Am ved $\alpha=75^\circ$ i horisontal retning (tabell 6b) er imidlertid altfor lav, med et avvik fra R i tabell 1 på $-66,8\%$. For å forsikre om at den lave avlesningen ikke skyldtes feil i testoppstilling ble testen gjentatt. Responser var da enda litt lavere enn ved den første testen. Det ble også testet for $\alpha=-75^\circ$, dvs 75° i motsatt retning av det som er vist i figur 1. Forholdet mellom avlest dose ved α og $\alpha=0$ var da 0,81, som er bedre enn kravet gitt i IEC 1283 (2).

I vertikal retning var responser innenfor kravene for alle kontrollerte vinkler og strålekilder.

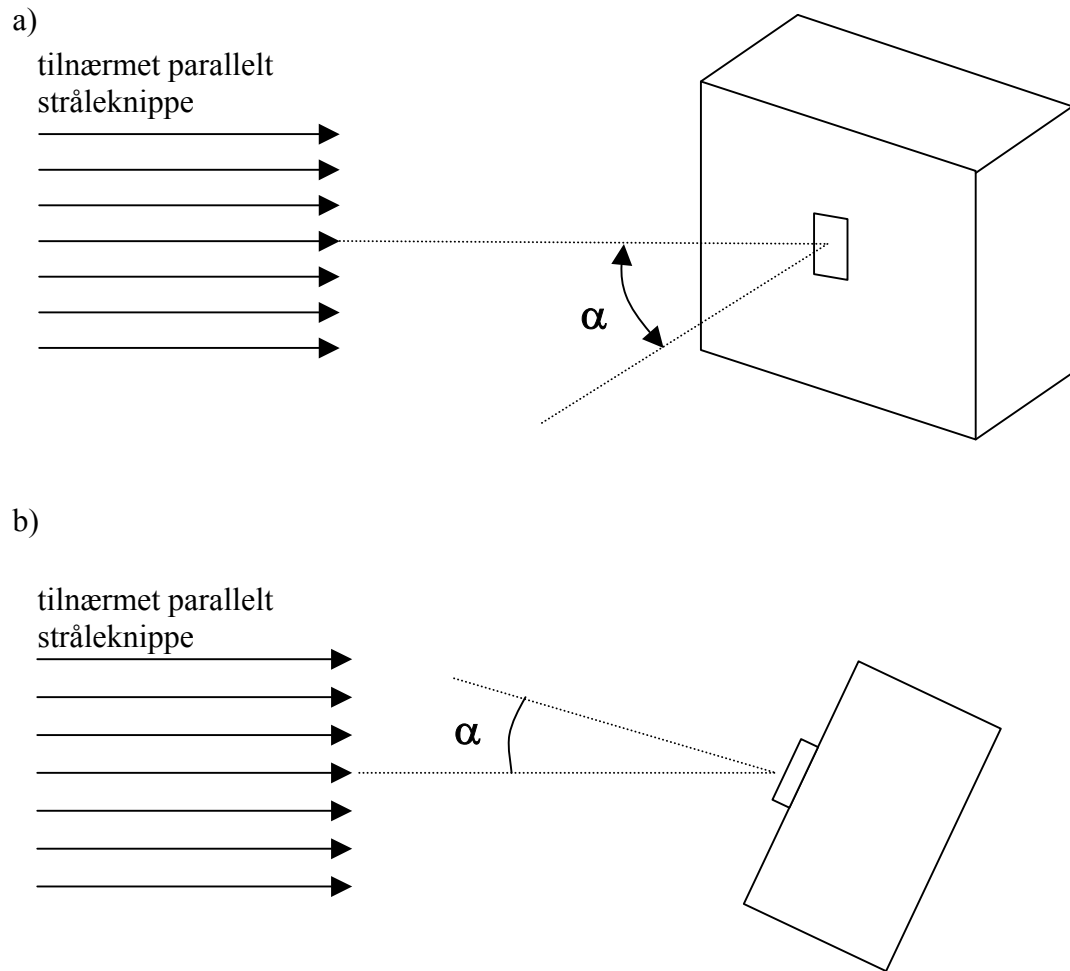
Konklusjon: Angulær respons O.K. for ^{137}Cs , for lav respons for ^{241}Am ved 75° i horisontal retning.

5 Referanser

1. Norwegian Army Material Command
System Spesification Individual Dosimetry System, Annex B
Norwegian Army Procurement Project 5811, 1999
2. CEI/IEC 1283
Radiation protection instrumentation – Direct reading personal dose equivalent (rate) monitors – X, gamma and high energy beta radiation
Genève, 1995
3. ICRU 51
Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry
Bethesda, 1993

Figurer

Figur 1 Måleoppstilling ved test av 4 dosimetre



Figur 2 Oppstilling ved test av angulær respons i a) horisontal retning og b) vertikal retning

Tabeller

Tabell 1 *Krav gitt i IEC 1283 til forhold mellom avlesning ved vinkel α og avlesning ved $\alpha=0^\circ$.*

Kilde	R=avlesning ved α /avlesning ved 0°				
	$\alpha=15^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=75^\circ$
^{241}Am	0,99	0,97	0,90	0,77	0,51
^{137}Cs	1,0	1,0	0,98	0,95	0,80

Tabell 2 Test av doserespons.

Dosimeter nr	Kilde/avstand	Dose-rate [cGy/h]	Referanse-dose [cGy]	Avlest dose [cGy]	Avlest dose korrigert til resp. for ^{137}Cs [cGy]	Relativt avvik [%]
2	$^{137}\text{Cs}/2\text{ m}$	0,0064	0,00202	0,0021	-	8,9
			0,00404	0,0043	-	6,5
			0,00808	0,0086	-	7,7
			0,0201	0,0214	-	8,0
			0,0402	0,0427	-	7,5
			0,0804	0,0857	-	7,3
	$^{137}\text{Cs}/1\text{ m}$	0,0233	0,1865	0,1985	-	6,5
			0,3730	0,4008	-	7,5
			0,7458	0,7934	-	6,4
7*	$^{60}\text{Co}/1\text{ m}$	0,85	1,889	1,7623	2,04	7,7
			3,813	3,5253	4,07	6,8
			7,571	6,9787	8,06	6,5
2	$^{60}\text{Co}/1\text{ m}$	0,85	19,119	17,633	20,4	6,5
	$^{60}\text{Co}/0,5\text{ m}$	3,07	218,6	199,99	231	5,7
8	$^{137}\text{Cs}/2\text{ m}$	0,0064	0,00202	0,0022	-	8,9
			0,00404	0,0043	-	6,5
			0,00808	0,0086	-	6,5
			0,0201	0,0216	-	7,5
			0,0402	0,0429	-	6,8
			0,0804	0,0860	-	7,0
	$^{137}\text{Cs}/1\text{ m}$	0,0233	0,187	0,1973	-	5,8
			0,373	0,3969	-	6,4
			0,746	0,7900	-	5,9
	$^{60}\text{Co}/1\text{ m}$	0,85	1,89	1,7818	2,06	8,9
			3,81	3,5617	4,11	7,9
			7,57	7,0546	8,15	7,6
	$^{60}\text{Co}/1\text{ m}$	0,85	19,2	17,641	20,4	6,6
	$^{60}\text{Co}/0,5\text{ m}$	3,07	219	200,31	231	6,1

*Dosimeter nr 2 ble byttet ut med dosimeter nr 7 fordi dosimeter nr 2 var defekt pga vannskade.

Dosimeter nr	Kilde/avstand	Dose-rate [cGy/h]	Referanse-dose [cGy]	Avlest dose [cGy]	Avlest dose korrigert til resp. for ¹³⁷ Cs [cGy]	Relativt avvik [%]
13	¹³⁷ Cs/2 m	0,0064	0,00202	0,0022	-	8,9
			0,00404	0,0043	-	6,5
			0,00808	0,0087	-	7,7
			0,0201	0,0217	-	8,0
			0,0402	0,0432	-	7,5
			0,0804	0,0862	-	7,3
	¹³⁷ Cs/1 m	0,0233	0,1869	0,1985	-	6,2
			0,3737	0,4009	-	7,3
			0,7473	0,7952	-	6,4
17*	⁶⁰ Co/1 m	0,85	1,893	1,7185	1,99	4,9
			3,821	3,4385	3,97	4,0
			7,586	6,8067	7,86	3,6
13	⁶⁰ Co/1 m	0,85	19,157	18,345	21,3	10,6
	⁶⁰ Co/0,5 m	3,07	225,8	215,55	249	10,3
18	¹³⁷ Cs/2 m	0,0064	0,00202	0,0021	-	4,0
			0,00404	0,0043	-	6,5
			0,00808	0,0085	-	5,2
			0,0201	0,0211	-	5,0
			0,0402	0,0422	-	5,0
			0,0804	0,0842	-	4,8
	¹³⁷ Cs/1 m	0,0233	0,187	0,1954	-	4,5
			0,374	0,3935	-	5,3
			0,747	0,7821	-	4,7
	⁶⁰ Co/1 m	0,85	1,89	1,7873	2,06	9,0
			3,82	3,5716	4,13	8,0
			7,59	7,0702	8,17	7,6
	⁶⁰ Co/1 m	0,85	19,2	18,184	21,0	9,6
	⁶⁰ Co/0,5 m	3,07	225	216,18	250	10,6

*Dosimeter nr 13 ble byttet ut med dosimeter nr 17 fordi dosimeter nr 13 var defekt pga vannskade.

Tabell 3 *Doserespons for 400 µGy, rutinetest*

Kilde: ¹³⁷Cs

Avstand: 2 m

Doserate: 64 µGy/h

Dosimeter nr	Referansedose [µGy]	Avlest dose [µGy]	Relativt avvik [%]
1	404	423	4,7
2	404	429	6,2
3	404	427	5,7
4	404	423	4,7
5	404	432	6,9
6	404	425	5,2
7	404	442	9,4
8	404	429	6,2
9	404	422	4,5
10	404	423	4,7
11	404	426	5,5
12	404	429	6,2
13	404	422	4,5
14	404	423	4,7
15	404	426	5,4
16	404	429	6,2
17	404	423	4,7
18	404	413	2,2
19	404	425	5,2
20	404	424	5,0

Tabell 4 Doserespons for ca 2 Gy, rutinetest**Kilde:** ^{60}Co **Avstand:** 0,5 m**Doserate:** 30,7 mGy/h

Dosimeter nr	Referansedose [cGy]	Avlest dose [cGy]	Avlest dose, korrigeret til respons for ^{137}Cs [cGy]	Relativt avvik [%]
1	218	199,73	231	6,3
2	219	199,99	231	5,7
7	217	203,26	235	8,2
8	219	200,31	231	6,1
12	227	211,83	245	7,7
13	226	215,55	249	10,3
14	226	208,13	240	6,5
15	226	207,27	239	6,1
17	227	208,91	241	6,2
18	226	216,18	250	10,6
19	217	200,65	232	6,8

Tabell 5 *Test av energirespons*

a) dosimeter nr 2

Kilde /Energi [keV]	Avstand [m]	Doserate [$\mu\text{Gy/h}$]	Referanse -dose [μGy]	Avlest dose [μGy]	Avlest dose/referansedose	Avvik fra resp. til ^{137}Cs [%]
^{137}Cs / 661	1	230	384	418	1,09	-
^{241}Am / 60	1	330	385	389	1,01	-7,3
^{60}Co / 1173, 1332	4	570	428	409	0,96	-12,2

b) dosimeter nr 7

Kilde /Energi [keV]	Avstand [m]	Doserate [$\mu\text{Gy/h}$]	Referanse -dose [μGy]	Avlest dose [μGy]	Avlest dose/referansedose	Avvik fra resp. til ^{137}Cs [%]
^{137}Cs / 661	1	230	384	424	1,10	-
^{241}Am / 60	1	330	385	417	1,08	-1,9
^{60}Co / 1173,1332	4	570	428	402	0,94	-14,9

c) dosimeter nr 12

Kilde /Energi [keV]	Avstand [m]	Doserate [$\mu\text{Gy/h}$]	Referanse -dose [μGy]	Avlest dose [μGy]	Avlest dose/referansedose	Avvik fra resp. til ^{137}Cs [%]
^{137}Cs / 661	1	230	384	412	1,07	-
^{241}Am / 60	1	330	385	391	1,02	-5,3
^{60}Co / 1173,1332	4	570	428	399	0,93	-13,1

d) dosimeter nr 17

Kilde /Energi [keV]	Avstand [m]	Doserate [$\mu\text{Gy/h}$]	Referanse -dose [μGy]	Avlest dose [μGy]	Avlest dose/referansedose	Avvik fra resp. til ^{137}Cs [%]
^{137}Cs / 661	1	230	384	408	1,06	-
^{241}Am / 60	1	330	385	396	1,03	-3,2
^{60}Co / 1173,1332	4	570	428	394	0,92	-13,4

Tabell 6 Test av angulær respons i horisontal retninga) ^{137}Cs **Doserate:** 233 $\mu\text{Gy/h}$ **Referansedose:** 376 μGy

α	Avlest dose [μGy]	Dose ved α / dose ved 0°	Avvik fra R i tabell 1 [%]
0	400	1	
15	390	0,98	-2,5
45	389	0,97	-0,8
75	404	1,01	26,0

b) ^{241}Am **Doserate:** 330 $\mu\text{Gy/h}$ **Referansedose:** 413 μGy

α	Avlest dose [μGy]	Dose ved α / dose ved 0°	Avvik fra R i tabell 1 [%]
0	420	1	
15	390	0,93	-6,2
45	291	0,69	-23,0
75	71	0,17	-66,8
75*	59	0,14	-0,73
-75*	343	0,82	0,60

*Test foretatt i etterkant for å kontrollere det opprinnelige resultatet ved 75°

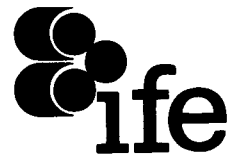
Tabell 7 *Kontroll av angulær respons i vertikal retning*a) ^{137}Cs **Doserate:** 233 $\mu\text{Gy/h}$ **Referansedose:** 376 μGy ,

α	Avlest dose [μGy]	Dose ved α / dose ved 0°	Avvik fra R i tabell 1 [%]
0	400	1	
15	383	0,96	-4,3
45	367	0,92	-6,4
75	334	0,84	4,4

b) ^{241}Am **Doserate:** 330 $\mu\text{Gy/h}$ **Referansedose:** 413 μGy

α	Avlest dose [μGy]	Dose ved α / dose ved 0°	Avvik fra R i tabell 1 [%]
0	420	1	
15	396	0,94	-4,8
45	350	0,83	-7,4
75	291	0,69	35,9

**B TEST AV SOR/T-003 ELEKTRONISKE DOSIMETRE – EKSPONERING FOR
TERMISKE NØYTRONER OG SLUTTKONTROLL**



Institutt for energiteknikk
Institute for Energy Technology

Postadresse KJELLER Boks 40, N-2027 Kjeller		HALDEN Boks 173, N-1751 Halden	Tilgjengelighet Innskrenket
Telefon 63 80 60 00		69 21 22 00	
Telefax 63 81 63 56		69 21 22 01	
Rapport- type F	Rapportnummer IFE/KR/F-2001/159	Dato 30.11.01	
	Rapporttittel Test av SOR/T-003 elektroniske dosimetre – eksponering for termiske nøytroner og sluttkontroll	Dato for siste revisjon	
	Oppdragsgiver Forsvarets forskningsinstitutt	Revisjonsnummer	
	Oppdragsgivers referanse Thor Engøy	Antall sider 11	
		Antall eksemplar 12	
Sammendrag <p>SOR/T-dosimetrene er utstyrt med en elektronisk gammadetektor (aktiv detektor) og passive detektorer for måling av høye gamma- og nøytrondoser (5 cGy – 1000 cGy). Instrumentenes aktive gammafunksjon er tidligere testet av IFE under kontrollerte laboriebetingelser (1). For å teste dosimetrenes passive funksjoner ble et utvalg dosimetre eksponert for gammastråling og termiske nøytroner fra forskningsreaktoren Jeep II. Testprogrammet ble først og fremst lagt opp med tanke på å teste dosimetrenes nøytronrespons. Avleste doser fra SOR/T-dosimetrene ble sammenlignet med doser målt ved hjelp av aktiveringsanalyse av kopper (nøytrondoser) og termoluminescensdosimetri (gammadoser). Totalt ble 8 dosimetre testet. For alle dosimetrene unntatt ett var gammadosene over 1000 cGy. Tre av dosimetrene var defekte etter eksponeringen, noe som kan skyldes de høye gammadosene. Responsen til SOR/T-dosimetrene for termiske nøytroner var fra en fjerdedel til halvparten av dosen målt med aktiveringsanalyse.</p> <p>Det ble foretatt en enkel funksjonskontroll av 20 dosimetre som hadde vært gjennom et omfattende testprogram hos FFI, blant annet ved mekanisk og miljømessig påvirkning. Seks av dosimetrene var helt eller delvis defekte.</p>		Distribusjon FFI (5) A. Raaum S. Backe G.C. Christensen Arkiv (3) Sammendrag: Direktører Prosjektledelse, Halden Avdelingssjefer	
Stikkord elektronisk dosimeter, gammastråling			
Navn		Dato	Signatur
Utarbeidet av	Aud Raaum	2001-11-30	<i>Aud Raaum</i>
Kontrollert av	Steinar Backe	2001-11-30	<i>Steinar Backe</i>
Godkjent av	Gordon C. Christensen	2001-11-30	<i>G.C. Christensen</i>

Innhold

1	Innledning	2
2	Eksponering i nøytron- og gammastrålefelt fra Jeep II.....	3
2.1	Krav.....	3
2.2	Testmetode.....	3
2.3	Måling av dose fra nøytroner ved hjelp av aktiveringsanalyse.....	4
2.4	Måling av gammadose ved hjelp av TLD.....	5
2.5	Resultater og diskusjon.....	5
2.6	Sluttbemerkninger	6
3	Sluttkontroll av SOR/T-dosimetre	7
3.1	Testmetode.....	7
3.2	Resultater	7
4	Referanser	8
5	Tabeller.....	9

1 Innledning

Dette arbeidet er foretatt på oppdrag fra Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), og er en del av en omfattende test av SOR/T-003 elektroniske dosimetre fra MGP Instruments til militært bruk.

Instrumentene benytter en aktiv detektor for måling av ”normale” gammadoser, i instrumentmanualen kalt ”residual” dose. I tillegg benyttes to passive detektorer for måling av høye stråledoser (> 5 cGy) ved høye doserater, såkalt ”initial” dose, en for måling av gammadoser og en for måling av nøytrondoser. Den passive gammadetektoren består av en MOS transistor, mens en silisiumdiode benyttes som nøytrondetektor. Instrumentenes gammarespons ved ”normale” doserater (aktiv detektor) er tidligere kontrollert av IFE under kontrollerte laboratoriebetingelser (1). For å teste dosimetrenes passive funksjoner ble et utvalg dosimetre eksponert for gammastråling og termiske nøytroner fra forskningsreaktoren Jeep II. Testprogrammet ble først og fremst lagt opp med tanke på å teste dosimetrenes nøytronrespons.

Det ble i tillegg foretatt en enkel funksjonskontroll av 20 dosimetre som hadde vært gjennom et omfattende testprogram hos FFI, blant annet ved mekanisk og miljømessig påvirkning.

SOR/T-dosimetrene angir alle doser i enheten cGy (1/100 Gy). Denne enheten er derfor benyttet ved angivelser av doser i denne rapporten.

2 Eksponering i nøytron- og gammastrålefelt fra Jeep II

2.1 Krav

I systemspesifikasjoner fra forsvaret (2) er det oppgitt følgende krav til nøytronrespons:

1. Dosimeteret skal kunne lese nøytrondoser i området 5 – 1000 cGy.
2. Absorbert nøytrondose ved dosimeterets plassering skal indikeres med en nøyaktighet på $\pm 50\%$ ved doser over 10 cGy (Det er ikke angitt krav til nøyaktighet for doser mellom 5 cGy og 10 cGy).
3. Energiresponsen for dosimeteret for nøytroner skal være opp til 10^{17} n/cm² per sekund for energier opp til 14 MeV (Det er ikke angitt en nedre grense for energien i spesifikasjonene).

For måling av ”initiell” gammadose (passiv detektor) er følgende krav oppgitt (2):

1. Dosimeteret skal kunne lese ”initielle” gammadoser i området 5 – 1000 cGy.
2. Absorbert gammadose ved dosimeterets plassering skal indikeres med en nøyaktighet på $\pm 30\%$ over 10 cGy
3. Energiresponsen til dosimeteret for gammastråling skal være fra 50 keV til 12 MeV.

2.2 Testmetode

Det var ikke mulig å foreta en fullstendig kontroll av nøytronrespons i henhold til gitte krav. Fordi Jeep II er tungtvannsmoderert, består nøytronspekteret vesentlig av termiske nøytroner. Andre nøytronkilder som IFE disponerer er for små til å levere doser i ønsket størrelsesorden i løpet av en rimelig tid. Dosimetrene ble derfor kun testet for termiske nøytroner.

Dosimetrene ble bestrålt i vannbassenget i tilknytning til reaktoren. Hvert dosimeter ble pakket i en aluminiumsboks og plassert i et vanntett plastrør beregnet for bestråling. Røret ble så senket ned foran en kanal mellom vannbassenget og reaktoren (mellomtanken), i ca 20 cm avstand fra tankens luke. Nøytronfluksen var i størrelsesorden 10^8 s⁻¹cm⁻². Omtrent samme posisjon ble benyttet for alle dosimetrene. Dosen ble variert ved å variere eksponeringstiden. På grunn av inhomogent strålefelt og liten presisjon i plassering av dosimeteret ga eksponeringstiden kun et grovt estimat av dosen. Nøytron- og gammadoser i dosimeterets posisjon ble henholdsvis bestemt ved hjelp av aktiveringsanalyse av koppermynter og termoluminescens i LiF-krystaller som var festet til dosimeteret under eksponeringen.

Etter eksponering ble absorbert dose avlest ved hjelp av XOM/T-leser tilhørende dosimetersystemet. Nøytron- og gammadose oppgis separat. For gammastråling er total

dose gitt ved summen av ”residual” og ”initial” gammadose (se kap. 1). Avleste doser ble sammenlignet med dosene beregnet ved hjelp av aktiveringsanalyse og termoluminescensdosimetri.

Forholdet mellom gamma- og nøytrondoserate var slik at det ikke var mulig å eksponere for nøytroner innenfor det ønskede doseintervallet (5-1000 cGy), uten at gammadosene overstiger 1000 cGy, som er grensen for hva dosimetrene er beregnet for å måle. Det ble vurdert å skjerme av for gammastrålingen, men det var ikke mulig innenfor tidsrammene for prosjektet.

Bestråling av dosimetre ble foretatt i to omganger. I første omgang ble det valgt ut fem dosimetre fra et opprinnelig utvalg på 20 testdosimetre, som alle hadde vært gjenstand for mer eller mindre omfattende testing, blant annet mekanisk og miljømessig påvirkning. Dosimetrene fungerte tilsynelatende normalt og hadde ingen synlige skader før eksponeringen. Dosimetrene ble eksponert for nøytrondoser fra ca 5 cGy - 1000 cGy.

To av dosimetrene fra første testomgang var defekte etter eksponeringen. Det ble antatt at dosimetrene ikke hadde tålt de høye gammadosene. Tre nye dosimetre ble derfor testet i det laveste nøytrondoseområdet.

2.3 Måling av dose fra nøytroner ved hjelp av aktiveringsanalyse

Absorbert dose fra nøytroner ble beregnet ved hjelp av aktiveringsanalyse av Cu-folier. Dette er en standard metode for måling av nøytron-fluks/fluens for termiske nøytroner. På forsiden av hvert dosimeter ble det festet tre Cu-mynter som vist i figur 1. Fluens ble beregnet ved å måle aktiviteten til ^{64}Cu som dannes ved nøytroninnfangning i ^{63}Cu . Bestrålingstiden ved alle eksponeringene var vesentlig kortere enn halveringstiden til ^{64}Cu . Gjennomsnittlig fluens i myntens utstrekning kunne derfor beregnes fra formelen:

$$\Phi = \frac{Q \cdot A_m \cdot T_{1/2}}{m \cdot f \cdot N_A \cdot \sigma \cdot \ln 2} \quad \text{der}$$

$$\Phi = \text{fluens i cm}^{-2}$$

$$Q = \text{aktivitet til } ^{64}\text{Cu i Bq}$$

$$A_m = \text{molvekt for Cu} = 63,55$$

$$T_{1/2} = \text{halveringstiden til } ^{64}\text{Cu i s} = 45720 \text{ s}$$

$$m = \text{massen til koppermynten i g}$$

$$f = \text{andel } ^{63}\text{Cu i naturlig kopper} = 0,69$$

$$N_A = \text{avogadros tall} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\sigma = \text{reaksjonstverrsnitt for } ^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu} = 4,5 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Da plasseringen av nøytrondetektoren i dosimeteret ikke var kjent, ble dosen beregnet på bakgrunn av gjennomsnittlig fluens for de tre myntene på dosimeterets forside. Det var opp til 20 % avvik mellom største eller minste fluensverdi og gjennomsnittsverdien for ett dosimeter, noe som viser at nøytronfeltet var forholdsvis inhomogent.

ICRU (3) oppgir en omregningsfaktor fra fluens til miljødoseekvivalent ($H^*(10)$) på $10,6 \cdot 10^{-12} \text{ Sv}\cdot\text{cm}^2$ for termiske nøytroner. Sammenhengen mellom absorbert dose (D) og ekvivalent dose (H) er gitt ved $D = H/\omega_r$ der ω_r er en strålingsvektfaktor. For termiske nøytroner er $\omega_r = 5$. Absorbert dose ble derved beregnet fra:

$$D = 2 \cdot 10^{-12} \cdot \Phi$$

Total usikkerhet i beregnet absorbert dose anslås til å være innenfor $\pm 40\%$ (95 % konfidensintervall). Det største bidraget til usikkerheten er inhomogeniteten i nøytronfeltet og manglende viten om detektorens plassering i SOR/T-dosimeteret.

2.4 Måling av gammadose ved hjelp av TLD

Doser fra gammastråling ble målt ved hjelp av termoluminescensdosimetri (TLD). Til hvert SOR/T-dosimeter ble det festet en dosimeterholder beregnet for persondosimetri, ladet med tre LiF-krystaller. To tilsvarende dosimetre ble benyttet til kalibrering. Kalibrering ble foretatt i ^{60}Co -felt med kermarate $7,2 \text{ cGy/h}$. Kalibreringsdosimetrene ble gitt en absorbert dose på 762 cGy . Total usikkerhet i absorbert dose er innenfor $\pm 30\%$ for doser opp til 1000 cGy (95 % konfidensintervall). Det antas at usikkerheten er høyere for doser over 1000 cGy pga ikke lineære responser, noe som sannsynligvis fører til en overestimering av dosen i området $1000 \text{ cGy} - 10.000 \text{ cGy}$. Våre dosimetre er imidlertid ikke tidligere testet for så høye doser.

2.5 Resultater og diskusjon

Resultatene av eksponering i vannbassenget til forskningsreaktoren Jeep II er gitt i tabell 1. De fem første dosimetrene var merket med nummer fra FFI, og denne nummereringen er benyttet i tabellen. De tre siste dosimetrene er angitt med serienummer. Doser estimert fra aktiveringsanalyse (nøytroner) og TLD-dosimetri (gamma) er angitt som referansedoser i tabellen til tross for den relativt høye usikkerheten i doseestimering. Avviket i tabellen er det prosentvise avviket i avlest SOR/T-dose i forhold til referansedosen.

2.5.1 Defekte dosimetre

Totalt var tre av dosimetrene defekte etter eksponeringen. To av disse hadde blankt display, og kommuniserte ikke med leseren. Det gjaldt også etter at det ble byttet batteri. På det tredje dosimeteret blinket displayet mellom dF og Eet. Ved forsøk på avlesning av dose fra dette dosimeteret ga leseren følgende feilmeldinger: "Dosimeter in malfunction", "Dosimeter detector fault", "Dosimeter calibration fault" og "Dosimeter memory fault". De tre defekte dosimetrene var de som hadde blitt eksponert for de

høyeste dosene. Det er rimelig å anta dosimetrene ikke tålte de høye gammadosene som de ble utsatt for.

2.5.2 Nøytronrespons

Av de fem dosimetrene som fungerte etter eksponeringen fikk ett en nøytrondose som var under den oppgitte deteksjonsgrensen på 5 cGy (referansedosen var 4,5 cGy). Avlest nøytrondose for dette dosimeteret var 0 cGy. Avlest nøytrondose for de fire andre dosimetrene var fra halvparten til en fjerdedel av referansedosen (målt ved hjelp av nøytronaktivering). Det kan se ut som om avviket øker med dosen. Dosimetrene er kalibrert i nøytronfelt fra ^{242}Cf , med gjennomsnittsenergi på 2,3 MeV (hurtige nøytroner). Det kan forventes at responsen for termiske nøytroner avviker fra responsen for hurtige nøytroner. Det er naturlig å knytte kravet til nøyaktighet på $\pm 50\%$ til hurtige nøytroner, selv om dette ikke er spesifisert (2), og derved akseptere et større avvik for termiske nøytroner.

2.5.3 Gammarespons

Kun ett av dosimetrene (nr 4) ble eksponert for gammadoser innenfor dosimeterets måleområde. For dette dosimeteret var nøyaktigheten innenfor kravet på $\pm 30\%$. Dosimetrene angir også gammadoser over 1000 cGy. Vi har imidlertid ikke angitt avvik for doser over 1000 cGy, både pga stor usikkerhet i dosen målt med TLD og fordi det er utenfor dosimetrenes måleområde.

2.6 Sluttbemerkninger

Problem med høye gammadoser kunne vært løst ved hjelp av riktig tilpasset avskjerming av dosimetrene. For eksempel kan det benyttes zirconium, som er nesten "gjennomsiktig" for nøytroner, men skjerner for gammastråling. Dette krever imidlertid en del planlegging og forberedelser, og var ikke mulig å få til innenfor dette prosjektets tidsramme. Ideelt sett burde dosimetrenes nøytronrespons vært testet for hurtige nøytroner under kontrollerte laboratoriebetingelser.

3 Sluttkontroll av SOR/T-dosimetre

3.1 Testmetode

For å kontrollere dosimetrenes tilstand etter at dosimetrene hadde blitt utsatt for mekanisk test og test av vanntetthet, ble det foretatt en enkel kontroll av doserespons. Videre ble det foretatt en enkel kontroll av doseratealarm.

Doseresponsen ble kontrollert i ^{137}Cs -strålefelt i 1 m avstand fra strålekilden, ved at dosimetrene ble plassert på PMMA-fantom i grupper à 10 dosimetre. Det ble skiftet batteri på samtlige instrumenter, og samtlige ble forsøkt nullstilt før kontrollen.

For å teste doseratealarmen ble denne satt ned fra 9,999 cGy/h til 0,999 cGy/h. Alarmen ble testet ved at ett og ett dosimeter ble plassert på målebenken i ca 50 cm avstand fra kildebrønn. En ^{60}Co -kilde ble så heist opp til uskjermet posisjon. Doseraten til instrumentet var da ca 3 cGy/h. Lydalarmeren ble kontrollert.

3.2 Resultater

Resultatene av kontrollen er gitt i tabell 2. Dosimeter nr 18 og 20 var defekte. Displayet var blankt og det var ingen kontakt med leseren. Dosimeter nr 7, 13 og 16 kommuniserte ikke med leseren, og ble derfor ikke nullstilt. Alle dosimetrene unntatt nr 18 og 20 viste korrekt doserespons.

Da alarmen skulle settes var det problemer med kommunikasjonen med leseren for dosimeter nr 12 i tillegg til nr 7, 13 og 16. Det var derfor ikke mulig å kontrollere alarmen på disse fire dosimetrene. Dosimeter nr 4 ga ingen alarm. De øvrige 13 kontrollerte dosimetrene ga alarm umiddelbart etter at strålekilden ble heist opp.

4 Referanser

1. A. Raaum, G. M. Veggeberg
Test av SOR/T elektroniske dosimetre for gammarespons
IFE/KR/F-2001/095 (2001)
2. Norwegian Army Material Command
System Spesification Individual Dosimetry System, Annex B
Norwegian Army Procurement Project 5811, 1999
3. ICRU 57
Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation
Bethesda, 1998

5 Tabeller

Tabell 1 Eksponering for termiske nøytroner og gammastråling fra forskningsreaktoren Jeep II

Dosimeter nr/ serie nr	Referanse-dose nøytroner (målt vha nøytronaktivering) [cGy]	Avlest dose fra nøytroner [cGy]	Avvik nøytrondose [%]	Referanse-dose γ -stråling (målt med TLD) [cGy]	Avlest γ -dose, aktiv detektor [cGy]	Avlest γ -dose, passiv detektor [cGy]	Totalt avlest γ -dose [cGy]	Avvik γ -dose [%]
19	4,5	0	-	1000	1,3	755	756	-24
15	128	31	-76	13900	26	2966	2992	-
18	1280	defekt dosimeter	-	ikke målt	defekt dosimeter	defekt dosimeter	-	-
9	15	8	-46	2700	2,4	2028	2030	-
10	478	defekt dosimeter	-	135000	defekt dosimeter	defekt dosimeter	-	-
551005	87	42	-52	17500	11,5	3215	3223	-
551009	63	24	-62	7700	20,2	2860	2880	-
551434	281	defekt dosimeter	-	64600	defekt dosimeter	defekt dosimeter	-	-

Tabell 2 Sluttkontroll av SOR/T-dosimetre

Dosimeter nr	Referanse-dose [μGy]	Avlest dose [μGy]	Relativt avvik [%]	Alarm	Kommentarer
1	348	355	2	OK	
2	348	364	5	OK	
3	348	362	4	OK	
4	348	353	1	Ingen alarm	
5	348	348	0	OK	
6	348	354	2	OK	
7	348	372	7	-	Kommuniserer ikke med leser. Får ikke satt alarm.
8	348	363	4	OK	
9	348	362	4	OK	
10	348	365	5	OK	
11	414	416	0	OK	
12	414	432	4	-	Uklart display pga vannskade, usikker avlesning av siste desimal. Får ikke satt alarm
13	414	428	3	-	Kommuniserer ikke med leser. Får ikke satt alarm.
14	414	424	2	OK	
15	414	404	-2	OK	
16	414	440	6	-	Kommuniserer ikke med leser. Får ikke satt alarm.
17	414	432	4	OK	
18	414	-	-	-	Defekt; Blankt display, ingen kontakt med leser
19	414	428	3	OK	
20	414	-	-	-	Defekt; Blankt display, ingen kontakt med leser