

# DSA sitt mobile utstyr for måling av personar

## Forbetringar etter kalibrering i 2015

**Referanse**

Skuterud L, Møller B, Thørring H, Drefvelin J. DSA sitt mobile utstyr for måling av personar. Forbetringar etter kalibrering i 2015. Teknisk dokument nr. 21. Østerås: Direktoratet for strålevern og atomtryggleik, 2021.

Publisert  
Sider

16.12.2021  
18

DSA,  
Postboks 55,  
No-1332 Østerås,  
Norge.

**Emneord**

Kalibrering. Heilkroppsmåling, måling av radioaktivitet i personar.

Telefon  
Faks  
E-post

67 16 25 00  
67 14 74 07  
dsa@dsa.no  
dsa.no

**Resymé**

Rapporten presenterer forbetringar i kalibreringar og analysemetodar i samband med målingane av radioaktivitet i personar i DSA sitt mobile laboratorium.

ISSN 2387-5240

**Reference**

Skuterud L, Møller B, Thørring H, Drefvelin J. DSA's mobile equipment for monitoring of humans. Improvements following calibration in 2015. Technical Document no. 21. Østerås: Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority, 2021. Language: Norwegian.

**Key words**

Calibration. Whole body monitoring.

**Abstract**

The report presents improvements in calibration and analytical methods related to measurements of radioactivity in humans in DSA's mobile laboratory.

Prosjektleder: Lavrans Skuterud

Godkjend:



Astrid Liland, avdelingsdirektør, avdeling beredskap

# DSA sitt mobile utstyr for måling av personar

## Forbetringar etter kalibrering i 2015

Lavrans Skuterud, Bredo Møller, Håvard Thørring og  
Jon Drefvelin

fra Direktoratet for strålevern  
og atomtryggleik (DSA)

Østerås, 2018,  
Norway

# Innhald

<b>1</b>	<b>Innleiing</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Material og metode</b>	<b>6</b>
2.1	Fantom	6
2.2	Måleutstyr	7
2.3	Innstillingar på heilkroppsmålaren	8
2.4	Analyse av spekter og utrekning av effektivitet	8
2.5	Måling av skjermingsfaktor	8
<b>3</b>	<b>Resultat og diskusjon</b>	<b>9</b>
3.1	Effektivitetar for måling av $^{137}\text{Cs}$	9
3.2	Skjerming av bakgrunn	10
<b>4</b>	<b>Oppsummering og vidare arbeid</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Referansar</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>17</b>
6.1	Oversikt over fantomane, effektivitetar og skjerming	17

# 1 Innleiing

DSA sitt mobile laboratorium vart skaffa i 2005 og inneheld bl.a. utstyr for måling av radioaktivitet i personar. Personane sitt i ein stol, og måleutstyret registrerer stråling som blir sendt ut frå heile kroppen (ikkje eit bestemt organ eller vev). Derfor blir målingane ofte kalla «heilkroppsmålingar».

Heilkroppsmålaren i det mobile laboratoriet blir jamleg brukt til måling av personar, og det er svært viktig at disse målingane har god kvalitet. Dette bl.a. fordi mange personar blir målt fleire gonger over år, og da må resultatata kunne samanliknast fra gong til gong. Teknisk dokument nr. 5 omtala tidlegare kalibrerings- og kvalitetsarbeid og målemetodar for heilkroppsmålaren, og peika på behov for:

- godt system for kvalitetskontroll (konstanskontroll) for å sjekke at detektorane måler det same over tid
- fleire studiar for å forbetre «skjermingsfaktoren», dvs. korreksjonen for at personar som blir målt også skjermar for stråling frå bakken der det mobile laboratoriet er plassert
- kalibrering for fleire storleikar av personar, særleg fordi det tom. 2014 ikkje var kalibrert for måling av personar høgare enn 170 cm

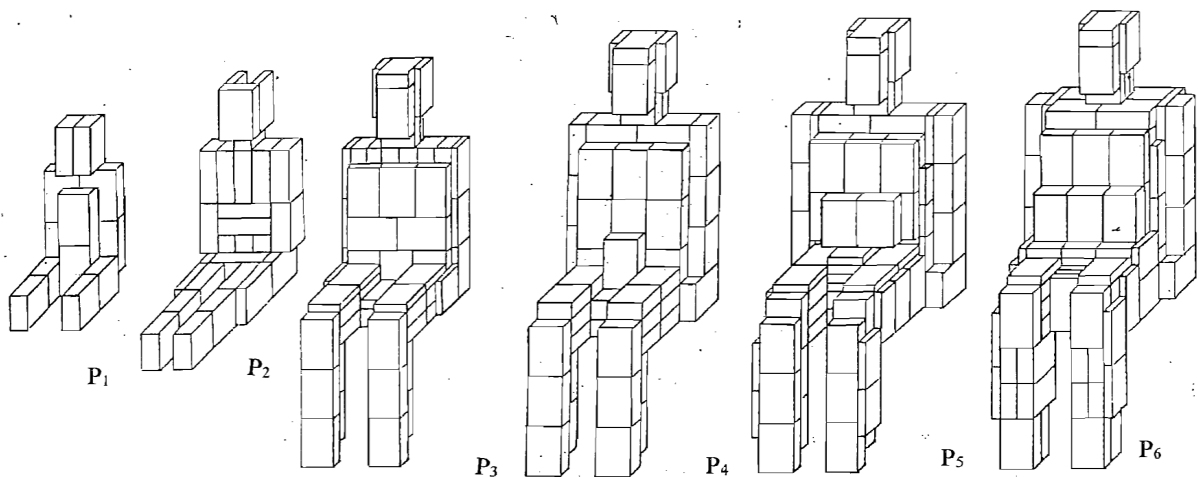
Den rapporten du no les presenterer resultat av utviklingsarbeidet som er gjort etter 2014. Mykje av dette vart gjort i 2015 på Røros (utrekning av effektivitetar; 13.-14. mars) og i Snåsa (måling av skjerming; 16.-17. mars) i samband med målingar av reindrifstøvarar (DSA-rapport 2021:6).

## 2 Material og metode

Til kalibrering av måleutstyret brukar vi «fantom», dvs. etterlikningar av menneskekroppen som inneheld kjende mengder radioaktive stoff. Måling av desse gir ein respons i detektoren som vi omtalar som detektoren sin *effektivitet*, og denne varierer med storleiken på fantomet.

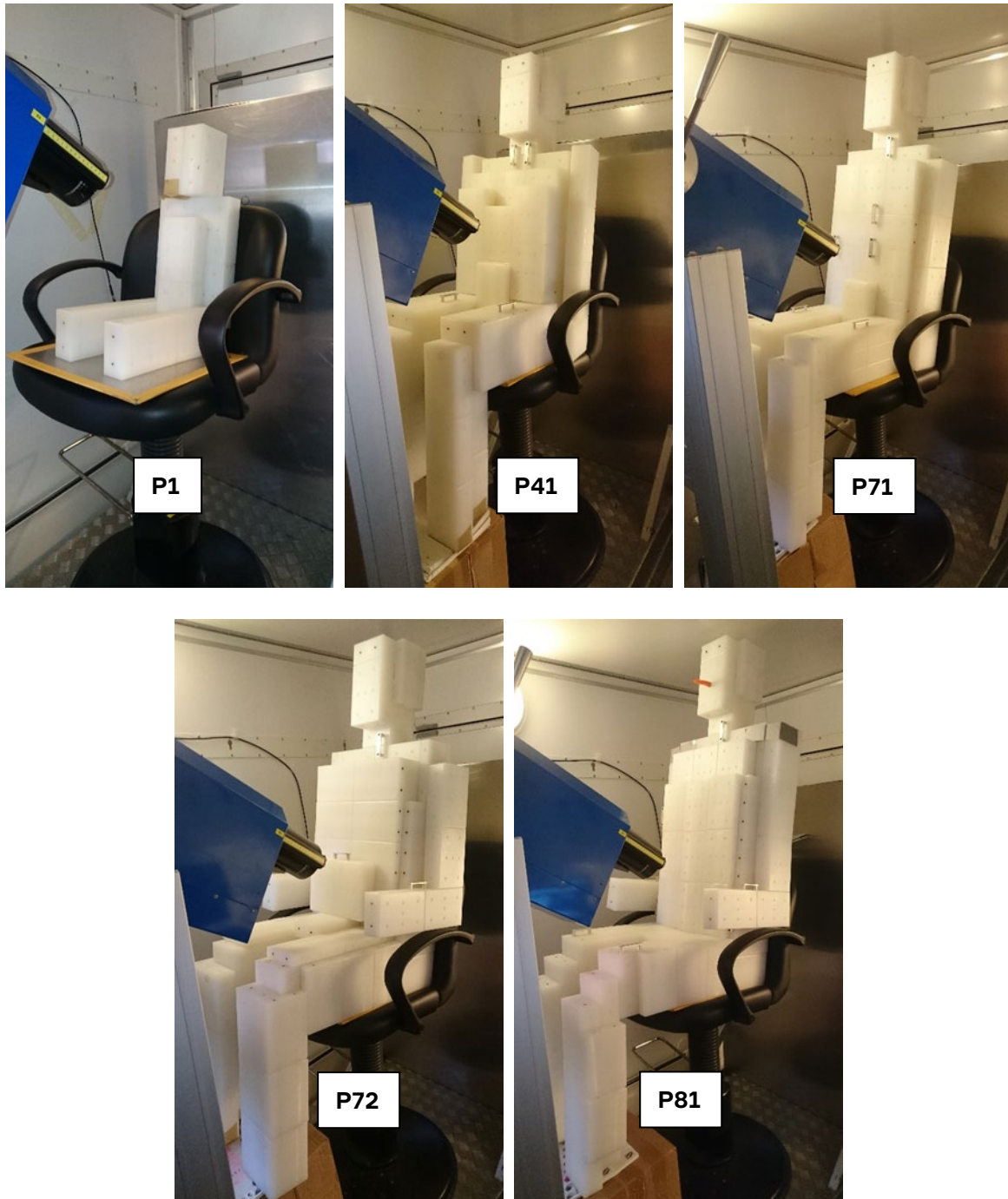
### 2.1 Fantom

Ved kalibreringane av heilkroppsmålaren har vi brukt fantoma «Irina» og «Anja», som er to like fantom laga av klossar i polypropylen. Ved hjelp av byggeklossane kan vi fleksibelt sette saman fantom i ulike storleikar, sjå eksempel i Figur 1. Meir detaljar om fantoma er gitt i Teknisk dokument nr. 5 og i dokumentasjonen frå Research Institute for Industrial Sea Hygiene/Scientific and Technical Centre «Protection Ltd» (1996).



**Figur 1:** Eksempel på ulike etterlikningar av kroppar sett saman av Irina/Anja. Fantoma P1-P6 er standard geometriar foreslått av produsenten.

Polypropylen-klossane har gjennomgåande hol der vi sett inn stavar med kjend mengde radioaktivt stoff. Kalibreringsarbeidet i 2015 fokuserte på  $^{137}\text{Cs}$  i kroppar lengre enn standard-geometriane i Figur 1, men inkluderte også det minste fantomet (P1) som det ikkje var kalibrert for tidlegare. Fysiske mål og detaljar om fantoma er gitt i avsnitt 6.1.



Figur 2: Bilde av Anja stabla i dei fasongane som vart kalibrert i 2015: P1 (sjå også **Figur 1**), P41, P71, P72, og P81.

## 2.2 Måleutstyr

Detektorane som blir brukt i heilkroppsmålaren er dei same som omtala i Teknisk dokument nr. 5<sup>1</sup>. Ved kalibreringa i 2015 vart NaI-detektoren brukt, da HPGe dessverre ikkje fungerte.

<sup>1</sup> HPGe-detektor: Ortec-detektor med 54 % effektivitet, serienummer 43-TP21634A; NaI-detektor: 76s76 Crismatec (Scintibloc), serienummer 2665.

## 2.3 Innstillingar på heilkroppsmålaren

Det er mange justeringsmoglegheiter for stol og detektor i heilkroppsmålaren, og det er viktig at innstillingane er dei same ved kalibrering som ved ordinær måling av personar. Ved kalibreringane i 2015 brukte vi dei same innstillingane som i Teknisk dokument nr. 5:

Tabell 1: Innstilling av heilkroppsmålaren

Kollimering av detektor:	2 cm
Posisjon av detektorhaldar:	155 mm
Vinkel på detektorhaldar:	30°
Stol-høgde (når ingen sitt i den <sup>*)</sup> ):	68,5 cm

\*) Stolen har fjøring

## 2.4 Analyse av spekter og utrekning av effektivitet

Vi brukte same *Regions of interest* (ROI-ar) og manuelle metode for analyse av spekter i programvara Maestro som omtala i Teknisk dokument nr. 5, dvs. kanal 415-470.

Formelen for utrekning av detektoren sin effektivitet er:

$$E_{eff} = \frac{N}{T * Y * A * D} \quad (1)$$

der:

$N$  = netto areal i toppen fra målinga av fantom

$T$  = måletid («livetime», s)

$Y$  = emisjonssannsyn (85 % for 661,65 keV fra  $^{137}\text{Cs}$ )

$A$  = aktivitet i fantomet ved referansetidspunkt (oppgitt i dokumentasjonen til fantomet)

$D$  = korreksjon for fysisk omdanning av aktiviteten til måletidspunkt

## 2.5 Måling av skjermingsfaktor

I eit laboratorium som blir flytta, og står på bakken, vil strålinga frå bakken og omgivnaden kunne påverke måleresultata ulikt frå stad til stad. Teknisk dokument nr. 5 presenterte kunnskapen vi til da hadde om dette, og identifiserte behov for fleire undersøkingar. Det vart gjennomført målingar av skjerming med tomme fantom i Snåsa i 2015. Skjermingsfaktoren for kvart fantom blir estimert frå måling av bakgrunn og måling av tomme fantom (dvs. utan radioaktive stavar):

$$S = \frac{N_f/T_f}{N_b/T_b} \quad (2)$$

der:

$N$  = areal i toppen fra målinga av bakgrunn (b) og med fantom (f)

$T$  = måletid (livetime, s) ved måling av bakgrunn (b) og fantom (f)

Da skjermingsfaktorar basert på resultatata frå Snåsa i 2015 vart brukt ved målingane på Røros i 2019 resulterte det i overestimering av konsentrasjonane i personar på 10-20 Bq/kg (avhengig av storleik og innhald). Det må derfor gjerast fleire korreksjonar der det ikkje er mykje  $^{137}\text{Cs}$  i bakgrunnen. Desse blir omtala i kap. 3.3.



## 3 Resultat og diskusjon

### 3.1 Effektivitetar for måling av $^{137}\text{Cs}$

Det er tidkrevjande å bygge og måle fantom (kvart fantom blir målt fleire gonger), og gjennom ei helg med måling på Røros måtte vi kompromisse på nokre område. Måletidene vart bl.a. justert noko, slik at usikkerheita i integrala i de definerte interesseområda (ROI) i spektera vart gjennomsnittleg 0,9 %, med 1,4 % som den største usikkerheita for den eine målinga av det minste fantomet (P1; som også hadde minst aktivitet). Fantom P1 vart målt to gonger, mens dei andre (Figur 2) vart målt 3 gonger kvar. Effektivitetane gitt i avsnitt 6.1 er gjennomsnittsverdiar rekna ut frå desse 2 – 3 målingane. Tabellane i avsnitt 6.1 viser at vi verken har kalibrert HPGe- eller NaI-detektoren for alle geometriar, men som vist i Teknisk dokument nr. 5 er det så godt samsvar mellom effektivitetane for HPGe- og NaI-detektorane (forskjellen er ein faktor 2,2) at vi kan bruke effektivitetar for éin detektor til å estimere effektivitetar for den andre. Til saman har vi dermed effektivitetar for alle geometriane.

For å kunne rekne ut effektivitetar for kvar enkelt person som blir målt, gjorde vi ulike regresjonsanalysar for å studere samanhengen mellom effektivitet og ulike variablar. Analysane vart gjennomført både med enkeltverdiar for effektivitetar og for gjennomsnitt av ulike fantomstorleikar, da det er gjort flest målingar av fantomstorleikar av vaksen storleik (desse vil derfor få relativt stor statistisk vekt i regresjonsanalysane). Variablar som vart undersøkt var: Høgde, vekt, vekt/høgde, kroppsmasseindeks (BMI) og tjukklikeken på fantomet (brukt som indikasjon på avstanden frå detektoren). Den einaste faktoren som kjem ut som statistisk signifikant i desse analysane er høgde, og høgda aleine gir ein  $R^2$  på 0,96. Ei mogleg forklaring på at vekt ikkje er signifikant, er at det i hovudsak er stråler frå cesium-137 i dei ytre cm av kroppen som når fram til detektoren (pga. sjølvabsorpsjon i fantomet). Derfor er det storleiken på overflata av fantomet som detektoren "ser" som er viktigast. For å sjekke at det ikkje berre er dei små og store storleikane som "dreg" analysen, vart det også gjort analyser berre med fantoma over 150 cm. Framleis var det berre høgde som var signifikant variabel. Det er verd å merke seg at effektivitetane, særleg for HPGe, varierer over eit relativt lite område (i absoluttverdiar).

I og med at forskjellar i vekt gir liten forskjell i effektivitet for fantom av same lengde, kan vi gruppere resultatata etter høgde. Tabell 2 og Figur 3 gir oversikt over effektivitetane for baa detektorane for alle fantom. Regresjonsanalysane gir følgjande modellar for dei to detektorane sine effektivitetar:

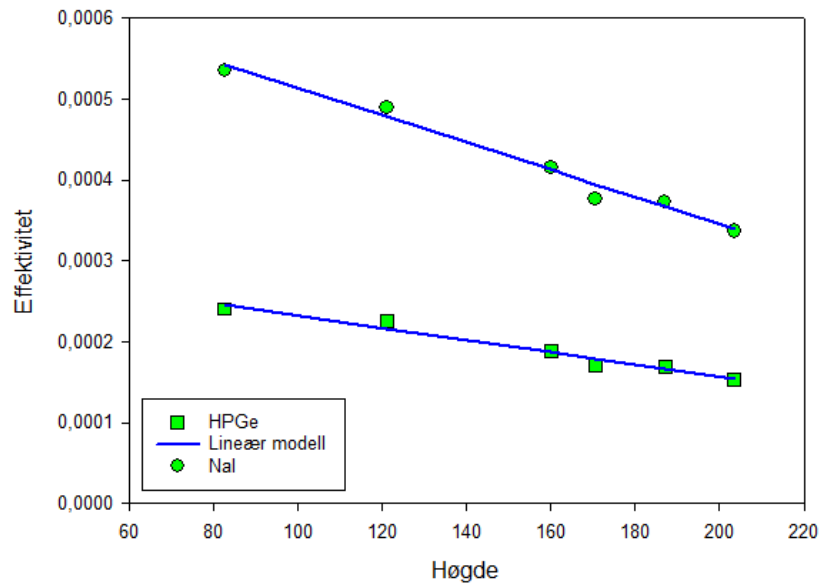
$$E_{\text{eff,HPGe}} = 0,000307(\pm 0,000011) - 7,52\text{E-}7 (\pm 7,0\text{E-}8) * \text{høgde}, R^2 = 0,96 \quad (3)$$

$$E_{\text{eff,NaI}} = 0,000681 (\pm 0,000021) - 1,68\text{E-}6 (\pm 1,3\text{E-}7) * \text{høgde}, R^2 = 0,97 \quad (4)$$

Sjølv om lineære modellar med høgde gir ei god tilpassing til dei fantomstorleikane som vi har målt, er det lite truleg at effektiviteten vil endre seg lineært for høgder mindre og større enn dei vi har undersøkt. Særleg for måling av mindre born (80 cm er ca. høgde på toåringar) kan ein vurdere å gjere undersøkingar av effektiviteten. Figur 3 indikerer uansett at det ikkje er snakk om mange prosent feil dersom vi estimerer effektivitetar ved å bruke regresjonsmodellane ovanfor.

**Tabell 2:** Effektivitetane til detektorane avhengig av høgde på fantom.

Geometri	Høgde (cm)	$E_{\text{eff,HPGe}}$	$E_{\text{eff,Nal}}$
P1	82,5	2,40E-04	5,35E-04
P2	121	2,25E-04	4,89E-04
P3	160	1,88E-04	4,15E-04
P4-P6	170,5	1,70E-04	3,77E-04
P7	187	1,70E-04	3,73E-04
P8	203,5	1,53E-04	3,36E-04



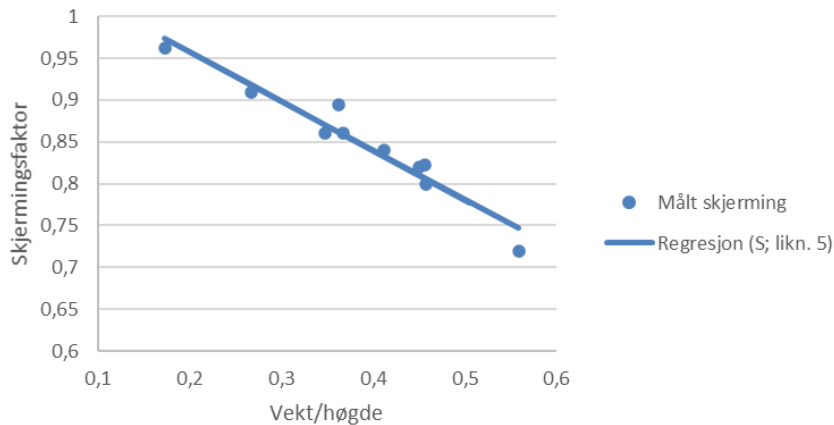
**Figur 3:** Effektivitetane til HPGe- og NaI-detektorane avhengig av høgde på fantom (cm). Linene er tilpassa lineære regresjonsmodellar.

### 3.2 Skjerming av bakgrunn

Undersøkingar av kor mykje dei ulike fantoma skjermar mot stråling frå bakken og omgivnaden vart gjennomført med NaI-detektor på Snåsa i 2015 (der det er relativt mykje cesium-137 i bakgrunnen) ved å måle fantom utan radioaktive stavar. Dei utrekna skjermingsfaktorane for kvart fantom er gitt i **Tabell 5** i avsnitt 6.1.

I håp om å lage ein generell modell for utrekning av skjermingsfaktor for kvar enkelt person som blir målt, vart det undersøkt korleis skjermingsfaktoren er avhengig av fantomstorleikar som høgde og vekt. Regresjonsanalysar av skjermingsfaktorar mot høgde, vekt, BMI og vekt/høgde viste at ein lineær modell med vekt/høgde aleine gir ein modell med  $R^2=0,97$ . For utrekning av skjermingsfaktorar får vi likninga:

$$S_{\text{fantom}} = 1,076(\pm 0,021) - 0,590(\pm 0,054) * \text{vekt/høgde} \quad (5)$$



Figur 4: Skjermingsfaktorar for dei ulike fantoma, og tilpassa lineær regresjonsmodell. Vekt/høgde er oppgitt i kg/cm.

### 3.3 Korleksjon for bidrag frå $^{40}\text{K}$

Ved undersøkingane av personar med NaI-detektor på Røros i 2019 viste det seg at bruk av skjermingsfaktor frå likning 5 resulterte i overestimering av konsentrasjonane i målte personar med 10–20 Bq/kg. Grunnen til det er ein kombinasjon av:

- lite radioaktivt cesium i bakgrunnspekteret (frå bakken). Når det er lite  $^{137}\text{Cs}$  i bakgrunnen vil bakgrunnsmåling ved bruk av NaI-detektor vere variabel og inkludere bl.a. radon-døtrer (sjå Teknisk dokument nr.5). Korleksjon for skjerming slik som i område med mykje  $^{137}\text{Cs}$ , kan derfor introdusere feil.
- at alle personar inneheld ein del radioaktivt  $^{40}\text{K}$ . Når vi målar personar med NaI-detektor vil  $^{40}\text{K}$ -innhaldet i kroppen gjere at det blir registrert fleire foton (Compton-spreidde foton) også i ROI for  $^{137}\text{Cs}$ . Dette vart studert i detalj i StrålevernRapport 1996:6 (for anna geometri og større NaI-detektor vart det der konkludert med at teljetalet pga. Compton-spreidde foton i ROI for  $^{137}\text{Cs}$  var rundt 33% av teljetalet i ROI for  $^{40}\text{K}$ ).

Truleg er bidraget frå  $^{40}\text{K}$  den viktigaste årsaka til overestimeringa. Vi har ikkje kalibrert detektorane i det mobile laboratoriet for måling av  $^{40}\text{K}$ . Ulike tilnærmingar vart prøvd for å omgå problemet:

1. Fyrst vurderte vi om vi kunne estimere bidraget frå  $^{40}\text{K}$  basert på måling av personar (tilsvarande vurderinga i StrålevernRapport 1996:6). Dette fungerte ikkje pga. manglande kalibrering og veldig lite bidrag frå  $^{40}\text{K}$  i personar samanlikna med bakgrunn.
2. Deretter studerte vi om vi kunne bruke netto-areal (dvs. arealet over Compton-ryggen) i  $^{137}\text{Cs}$ -toppen i spekteret for å rekne ut konsentrasjonar i personar. Men, målingane både av tomme fantom og personar viste seg å vere såpass korte at utrekningane blir svært usikre (dårleg teljestatistikk og usikkerheit i bestemming av kanalar for å rekne ut netto-topp).
3. Konklusjon: Den beste løysninga vi har funne per no, er å korrigere likning 5 med målingar av skjermingsfaktorar i utvalde referansepersonar på ein gitt stad eit gitt år. Referansepersonane er t.d. DSA-tilsette med urban diett, som vi veit inneheld så lite  $^{137}\text{Cs}$  at det kan neglisjerast. Det betyr i praksis at vi introduserer ein variabel,  $K$  («kaliumkorleksjon»), i likning 5 som justerer «stigningstalet» 0,590:

$$S_{\text{person}} = 1,076 - 0,590 * K * \text{vekt/høgde} \quad (6)$$

Vi må løyse likning 5 for  $K$  på kvar stad vi gjer undersøkingar:

$$K = (1,076 - S_{\text{person}}) / (0,590 * \text{vekt/høgde}) \quad (7)$$

**Tabell 3** viser eksempel på gjennomsnittsverdiar for 3-4 personar med neglisjerbart  $^{137}\text{Cs}$ -innhald ved ulike måletidspunkt. Skjermingsfaktoren er basert på måling av kvar person (rekna ut med likning 2). Kaliumkorreksjonen er rekna ut med likning 7.

**Tabell 3:** Gjennomsnittlege verdiar for 3-4 personar som vi på bakgrunn av kosthald veit inneheld neglisjerbere mengder  $^{137}\text{Cs}$ : Vekt/høgde-forhold, målte skjermingsfaktorar (av personane) og estimerte kaliumkorreksjonar.

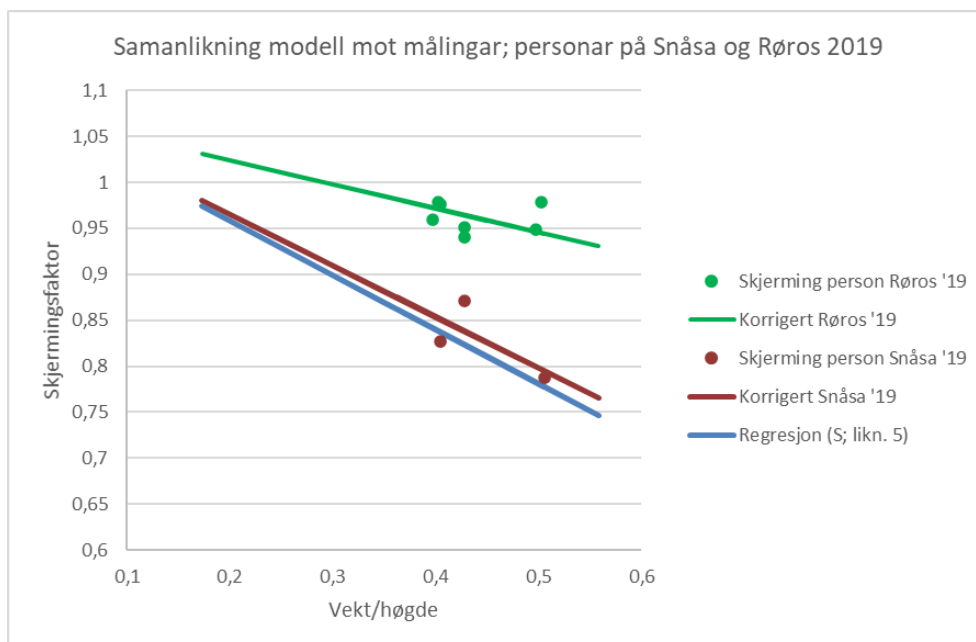
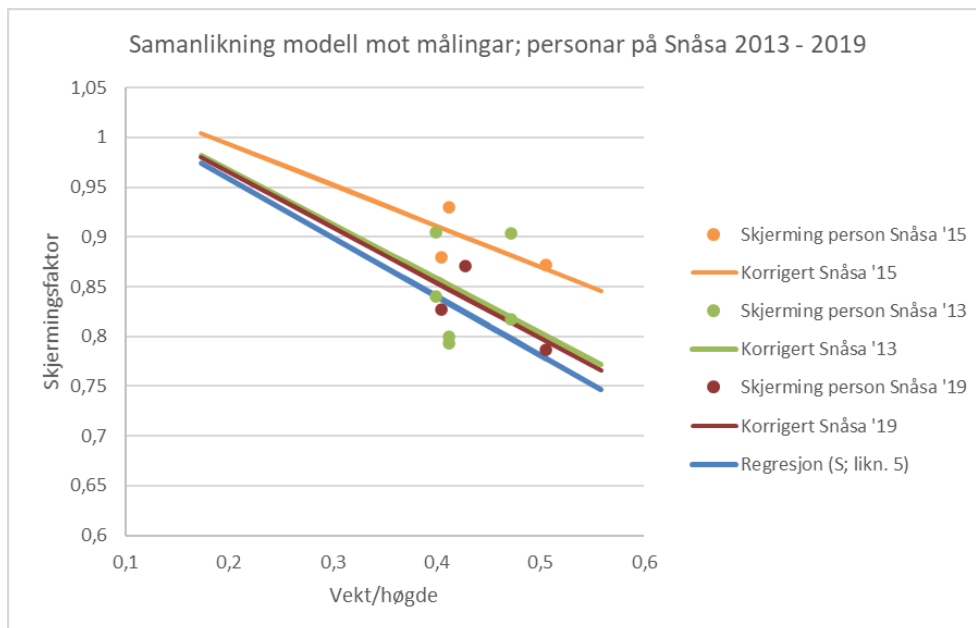
Målestad	År	Vekt/høgde	Målt skjermingsfaktor, S	Kaliumkorreksjon, K
Snåsa	2013	0,428	0,843	0,923
	2015	0,441	0,894	0,699
	2019	0,446	0,828	0,942
Røros	2013	0,409	0,944	0,547
	2015	0,435	0,945	0,510
	2019	0,437	0,962	0,442
Heia	2017	0,430	0,876	0,788

Som eksempel på bruk kan vi ta tala frå Snåsa i 2013: Måling av personane med neglisjerbere  $^{137}\text{Cs}$ -innhald ga ein gjennomsnittleg skjermingsfaktor (likning 2) på 0,843. Gjennomsnittleg vekt/høgde-forhold for desse personane var 0,428. Sett inn i likning 7 gir dette:

$$K = (1,076 - 0,843) / (0,590 * 0,428) = 0,923$$

**Figur 5** viser dei resulterande skjermingsfaktorane ( $S_{\text{person}}$ ) for målingar i Snåsa i åra 2013 – 2019 og samanliknar resultatata i 2019 på Røros og i Snåsa. Figurane viser fornuftige tilpassingar til observerte skjermingar i personar med neglisjerbere  $^{137}\text{Cs}$ , men vi må sette ei grense for  $S_{\text{person}}$  slik at verdiane blir maks. 1 ved låge vekt/høgde-forhold. Den store forskjellen i skjerming på Røros og i Snåsa illustrerer korfor resultatata på Røros i 2019 vart overestimerte da vi brukte modellen basert på fantom-målingane (likning 5).

I og med at ROI for  $^{137}\text{Cs}$  ved måling med HPGe ikkje er særleg påverka av bakgrunnsstråling, går vi ut frå at korreksjon av skjermingsfaktoren ikkje er nødvendig når vi måler med HPGe. Dette det bør undersøkjast (måling av kjende personar med låg aktivitet bør gi resultat under deteksjonsgrensa).



**Figur 5:** Skjermingsfaktorar i Snåsa og på Røros. Punkta gir faktorane utrekna for personar med negligierbare <sup>137</sup>Cs-mengder, og linene gir dei tilpassa linene (likning 6). Blå line indikerer skjerminga basert på målingar av fantom frå **Figur 4** (likning 5) for samanlikning.

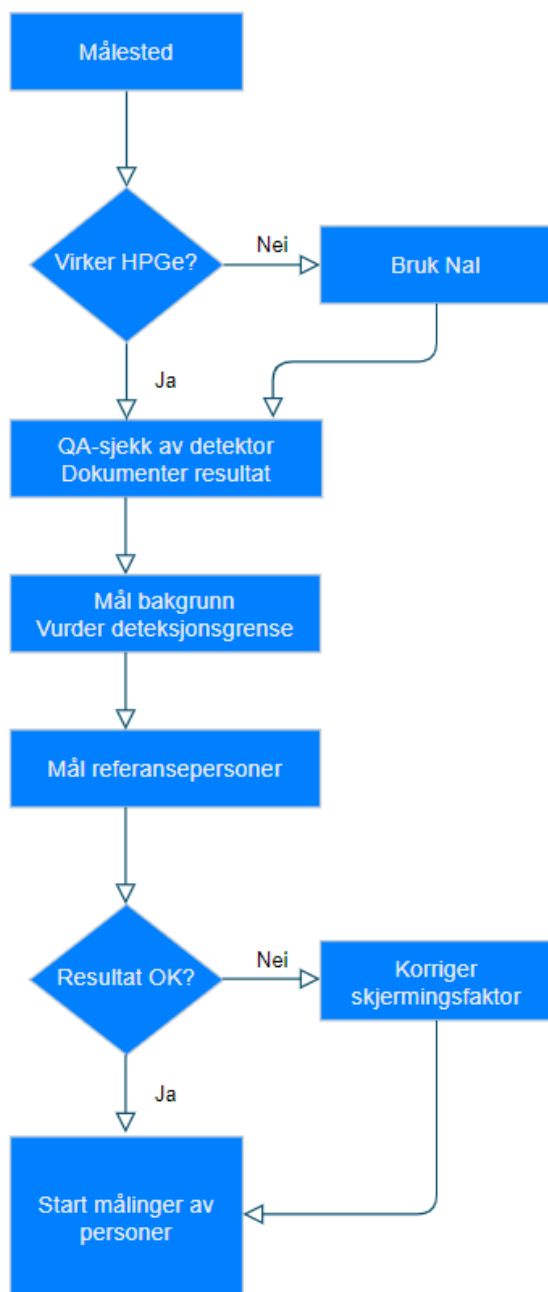
## 4 Konklusjon og tilråding

Denne rapporten har presentert forbetringar i måleteknikken tilrådd i Teknisk dokument nr. 5, og DSA har no kalibrert heilkroppsmålaren i det mobile laboratoriet for betre målingar av personar frå 80 cm (ca. eitt-åringar) til over 200 cm høgde. Vi har også eit godt opplegg for å korrigere for  $^{137}\text{Cs}$  i bakken på målestadene.

Målingane på Røros i 2019 viste at vi framleis har nokre måletekniske utfordringar, og det er uheldig når vi opplyser om feil verdiar til personane vi måler. For DSA sjølv er det spesielt viktig at måleresultata er rett når vi bruker dei til studiar av tidsutvikling. Vi har i ettertid korrigert resultata, som truleg skuldast at vi ikkje har kalibrert for  $^{40}\text{K}$  i personar. Dette gjeld særleg ved måling med NaI-detektor. Det er fleire utfordringar med NaI som gjer at vi burde finne ei sikrere løysing for HPGe-detektor. Dersom vi framleis skal vere avhengige av NaI, bør vi også kalibrere for  $^{40}\text{K}$  (inkl. undersøking av korleis  $^{40}\text{K}$  påverkar teljetal i ROI for  $^{137}\text{Cs}$ ).

Etter kvart som forureiningsnivåa blir lågare, blir det viktigare å vite kor låge aktivitetar i personar vi kan måle. Det bør derfor utviklast ei prosedyre for å bestemme deteksjonsgrenser for måleutstyret på kvar plass vi måler. Denne vil vere spesifikk for kvar detektor, og avhenge mellom anna av måletid og størrelsen til personen som blir målt.

Figur 6 summerer tilrådd prosedyre før måling av personar kvar gong DSA sitt mobile laboratorium kjem til ein målestad.



Figur 6 Flytskjema for oppsett og testing av utstyr før kvar måling

## 5 Referansar

Thørring H, Skuterud L, Komperød M. Stråledoser til reindriftsutøvere i Midt-Norge etter Tsjernobyl-ulykken. DSA-rapport 2021:6. Østerås, Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet, 2021.

Research Institute for Industrial Sea Hygiene/Scientific and Technical Centre «Protection Ltd» (1996). Technical documents for human whole body phantom with reference samples of radionuclides potassium-40, cobalt-60, caesium-137; Set UPH-08T, Saint Petersburg, Russia. Detaljar for kvart fantom er tilgjengeleg her: [http://www.nks.org/en/phantom\\_library/](http://www.nks.org/en/phantom_library/)

Teknisk dokument nr. 5. Strålevernets mobile utstyr for måling av personer. Kalibrering i 2012 og forbedring av beregningsmetoder. Teknisk dokument nr. 5. Østerås: Statens strålevern, 2014.



## 6 Vedlegg

### 6.1 Oversikt over fantoma, effektivitetar og skjerming

**Tabell 4:** Oversikt over fysiske mål på fantoma og tilhøyrande utrekna effektivitetar ( $\pm$  standardavvik) for kvart fantom. Kalibrering er gjort over fleire år, og tabellen gir oversikt over utrekna effektivitetar dei ulike åra.

Detektor	Geometri	Høgde (cm)	Vekt (kg)	Tal på blokker		Effektivitet, $E_{\text{eff}}$ ( $\cdot 10^{-4}$ )			
				Heile	Halve	2005	2006	2012	2015
HPGe	P1	82,5	10,6	12	0		2,40 $\pm$ 0,004		
HPGe	P2	121,0	20,9	21	6		2,28 $\pm$ 0,02	2,23 $\pm$ 0,08	
HPGe	P3	160,0	42,9	36	28	1,85		1,92 $\pm$ 0,002	
HPGe	P31	160,0	51,8	48	24	1,88			
HPGe	P32	160,0	55,5	54	20		1,92 $\pm$ 0,01		
HPGe	P33	160,0	65,8	67	17		1,84 $\pm$ 0,01		
HPGe	P34	160,0	73,1	74	20		1,85 $\pm$ 0,007		
HPGe	P4	170,5	61,5	69	2			1,67 $\pm$ 0,006	
HPGe	P41	170,5	68,7	74	9				
HPGe	P5	170,5	77,8	72	36			1,69 $\pm$ 0,009	
HPGe	P6	170,5	95,2	90	40				
HPGe	P71	187,0	68,6	77	2				
HPGe	P72	187,0	86,0	80	39				
HPGe	P81	203,5	91,4	88	35				
Nal	P1	82,5	10,6	12	0				5,35 $\pm$ 0,15
Nal	P2	121,0	20,9	21	6			4,89 $\pm$ 0,008	
Nal	P3	160,0	42,9	36	28			4,25 $\pm$ 0,03	
Nal	P31	160,0	51,8	48	24				
Nal	P32	160,0	55,5	54	20				
Nal	P33	160,0	65,8	67	17				
Nal	P34	160,0	73,1	74	20				
Nal	P4	170,5	61,5	69	2			3,67 $\pm$ 0,02	3,75 $\pm$ 0,03
Nal	P41	170,5	68,7	74	9				3,86 $\pm$ 0,08
Nal	P5	170,5	77,8	72	36			3,73 $\pm$ 0,01	
Nal	P6	170,5	95,2	90	40				
Nal	P71	187,0	68,6	77	2				3,68 $\pm$ 0,06
Nal	P72	187,0	86,0	80	39				3,77 $\pm$ 0,03
Nal	P81	203,5	91,4	88	35				3,36 $\pm$ 0,06

**Tabell 5:** Oversikt over effektivitetar og skjermingsfaktorar for dei ulike fantoma. **Raude tal** er effektivitetar estimert frå den andre detektortypen (forskjellen er ein faktor 2,2, sjå Teknisk dokument nr. 5).

Geometri	Høgde (cm)	Vekt (kg)	Effektivitet ( $\cdot 10^{-4}$ )		Skjermingsfaktor	
			$E_{\text{eff,HPGe}}$	$E_{\text{eff,Nal}}$	$S_{\text{Nal}}$	$\pm$ SD
P1	82,5	10,6	2,40	5,35		
P2	121	20,9	2,25	4,89	0,9622	$\pm$ 0,0066
P3	160	42,9	1,89	4,25	0,9102	$\pm$ 0,0040
P31	160	51,8	1,88	4,14		
P32	160	55,5	1,92	4,23	0,8602	$\pm$ 0,0196
P33	160	65,8	1,84	4,05	0,8415	$\pm$ 0,0039
P34	160	73,1	1,85	4,06	0,7954	$\pm$ 0,0235
P4	170,5	61,5	1,67	3,71	0,8943	$\pm$ 0,0160
P41	170,5	68,7	1,75	3,86		
P5	170,5	77,8	1,69	3,73	0,8218	$\pm$ 0,0158
P6	170,5	95,2			0,7194	$\pm$ 0,0056
P71	187	68,6	1,67	3,68	0,8636	$\pm$ 0,0056
P72	187	86,0	1,72	3,77		
P81	203,5	91,4	1,53	3,36	0,8199	$\pm$ 0,0011

ISSN 2387-5240

[dsa@dsa.no](mailto:dsa@dsa.no)  
+47 67 16 25 00  
[dsa.no](http://dsa.no)



Direktoratet for  
strålevern og atomtryggleik