

## Strålevernets mobile utstyr for måling av personer

*Kalibrering i 2012 og forbedring av beregningsmetoder*



## **Strålevernets mobile utstyr for måling av personer**

Kalibrering i 2012 og forbedring av beregningsmetoder

Lavrans Skuterud  
Jon Drefvelin  
Håvard Thørring

**Statens strålevern**  
Norwegian Radiation  
Protection Authority  
Østerås, 2013

---

**Referanse:**

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

**Emneord:**

Kalibrering. Helkroppsmåling, måling av radioaktivitet i personer.

**Resymé:**

I forbindelse med kalibrering av måleutstyret i 2012 ble det også gjort en gjennomgang av tidligere resultater og forbedring av beregningsmetoder. Det ble også identifisert videre forbedringsbehov.

---

**Reference:**

Skuterud L, Drefvelin J, Thørring H. NRPA's mobile equipment for monitoring of humans. Calibration in 2012 and improvement of calculation methods. Teknisk dokument nr. 5. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 2014. Language: Norwegian.

**Key words:**

Calibration. Whole body monitoring.

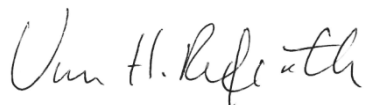
**Abstract:**

In connection with calibration of the whole body counter in 2012 a reanalysis of earlier results was carried out, which resulted in improved calculation methods. Other needs for improvement were also identified.

---

Prosjektleder: Jon Drefvelin

*Godkjent:*



Unn Hilde Refseth, avdelingsdirektør, avdeling overvåking og forskning

---

22 sider.

Publisert 2014-12-12.

Statens strålevern, Postboks 55, No-1332 Østerås, Norge.

Telefon 67 16 25 00, faks 67 14 74 07.

E-post: nrpa@nrpa.no

www.nrpa.no

---

# Innhold

---

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Material og metode</b>	<b>5</b>
2.1	IRINA-fantomet	5
2.2	Utstyrsspesifikasjon	7
	2.2.1 <i>HPGe</i>	7
	2.2.2 <i>Nal</i>	8
	2.2.3 <i>Helkroppsteller</i>	8
2.3	Innstillinger på helkroppstellersen under kalibreringen	8
2.4	Konstanskontroll	8
2.5	Målinger og beregninger	8
2.6	Tilpasninger til måling av personer	9
<b>3</b>	<b>Resultater</b>	<b>9</b>
3.1	Skjerming av bakgrunn	9
3.2	$^{137}\text{Cs}$	10
3.3	$^{60}\text{Co}$	12
<b>4</b>	<b>Referanser</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Appendiks</b>	<b>15</b>
5.1	Essensielle data for geometriene	15
	5.1.1 <i>P2</i>	15
	5.1.2 <i>P3</i>	15
	5.1.3 <i>P4</i>	15
	5.1.4 <i>P5</i>	15
5.2	Skjerming av bakgrunnsstråling	17
5.3	Enkeltresultater fra kalibreringen	19
5.4	Vurderinger rundt måling med Nal	20
5.5	Kontroll av effektivitetskurver ved hjelp av $^{152}\text{Eu}$	21

---

# 1 Innledning

Strålevernets mobile laboratorium ble anskaffet i 2005 og inneholder bl.a. utstyr for måling av radioaktivitet i personer. Personene sitter i en stol, og måleutstyret registrerer stråling som sendes ut fra hele kroppen (ikke et bestemt organ eller vev). Derfor omtales målingene som «helkroppsmålinger».

Kalibreringen i 2012 var den tredje kalibreringen av helkroppsmåleren i det mobile laboratoriet. Noe av behovet for en tredje kalibrering var at våre sammenligningsmålinger i regi av NKS-prosjektet «PIANOLIB» i 2010/2011 ga avvikende resultat. Mens tidligere kalibreringer (i 2005 og 2006) ble gjennomført med laboratoriet plassert utendørs (henholdsvis utenfor Grini Næringspark (GN) 13 og GN12), var laboratoriet i 2012 plassert i garasjen i GN13.

Kalibreringsarbeidet er meget tidkrevende, og mye tid går med til å skifte staver og stable fantomer. Også i 2012 ble arbeidet preget av dårlig tid. Strålevernet fikk ikke disponere fantomet (IRINA) mer enn 3 uker, og det ble lite med tanke på at 3 detektorer fordelt på 2 lokaliteter skulle kalibreres (dvs. både HPGe- og NaI-detektor i det mobile laboratoriet, og HPGe-detektor i lokalene på Østerås). Framfor å kalibrere for flere størrelser ble det prioritert å kalibrere en NaI-detektor for måling i stolen (i samme oppsett som HPGe), da dette kan være en viktig sikkerhetsløsning dersom HPGe-detektoren ikke er operativ i felt (tidligere har det bare blitt kalibrert for måling av NaI med én «Palmer-geometri»).

I forbindelse med tekniske utfordringer ved målinger av reindriftsutøvere i Snåsa og Røros våren 2013, ble det behov for å gå gjennom kalibreringsarbeidet på nytt. Denne rapporten er skrevet etter denne gjennomgangen, og oppsummerer derfor flere sider ved kalibreringsarbeidet i perioden 2005-2012 i stedet for å fokusere på resultatene fra 2012 alene. I skrivende stund mangler det fremdeles instruks for gjennomføring av konstanskontroll for detektoren i det mobile laboratoriet. Det må prioriteres å få på plass denne fordi historien viser at det er svært viktig å ha god kontroll på effektiviteten i detektoren.

## 2 Material og metode

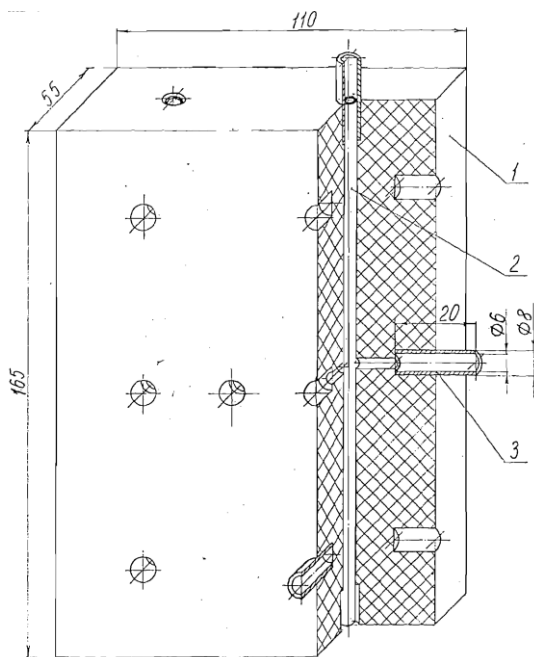
### 2.1 IRINA-fantomet

Fantomet IRINA brukes både til å kalibrere og kontrollere helkroppstellere, og kan brukes med ulike radioaktive stoffer.

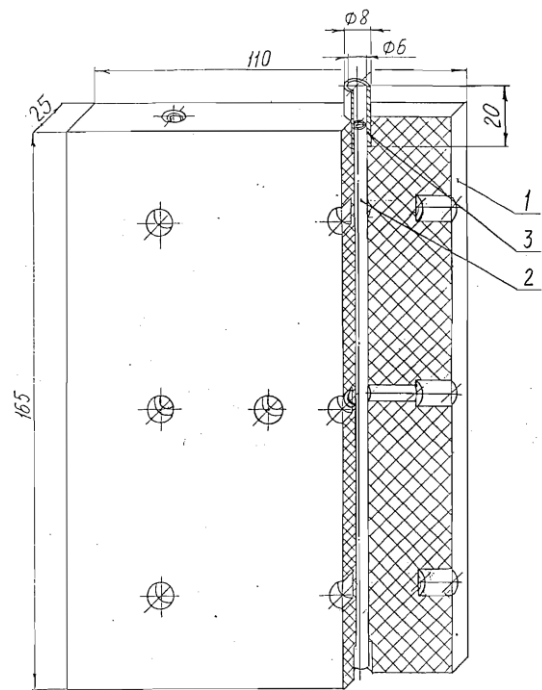
Fantomet består av mange byggeklosser i polypropylen. Disse er laget i 2 størrelser med forskjellig tykkelse (se Figur 1 og Figur 2). Ved hjelp av byggeklossene kan man fleksibelt sette sammen fantomet i ulike størrelser (høyde/vekt) og i ulike posisjoner (se Figur 3). Mer teknisk dokumentasjon finnes i Research Institute for Industrial Sea Hygiene/Scientific and Technical Centre «Protection Ltd» (1996).

Fra to hull på kortendene av hver byggekloss (dvs. i hullene på topp i Figur 1 og 2) kan man sette inn staver med radioaktivt materiale. Det er plass til 2 staver i hver kloss, og de er like

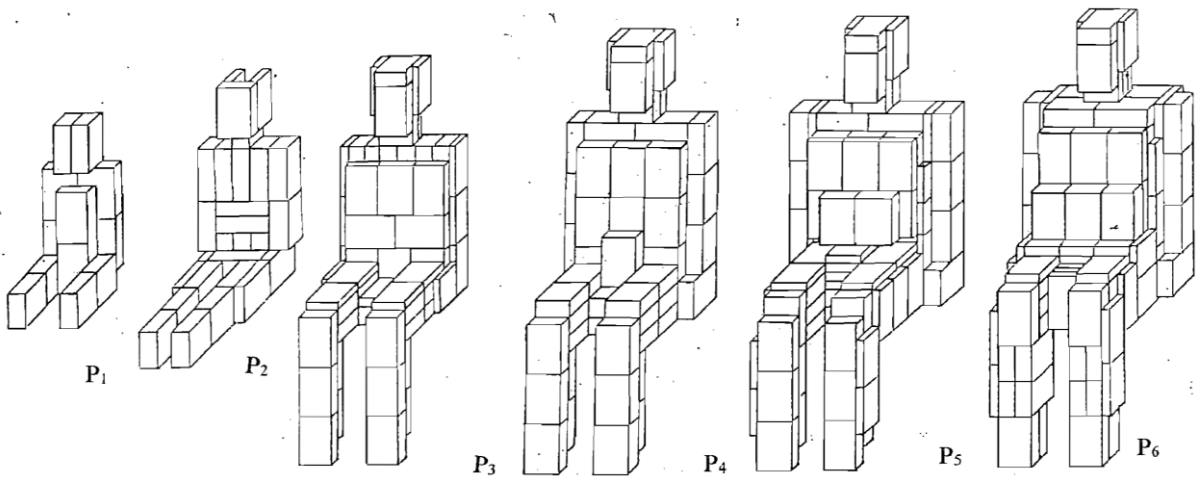
lange som klossene. Det fulgte med 4 ulike sett staver til IRINA, og disse stavene inneholdt henholdsvis  $^{40}\text{K}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  og  $^{152}\text{Eu}$ . For hvert radioaktivt stoff er det separate staver for de små og store klossene.



Figur 1: Stor byggekloss (mål i mm)



Figur 2: Liten byggekloss (mål i mm)



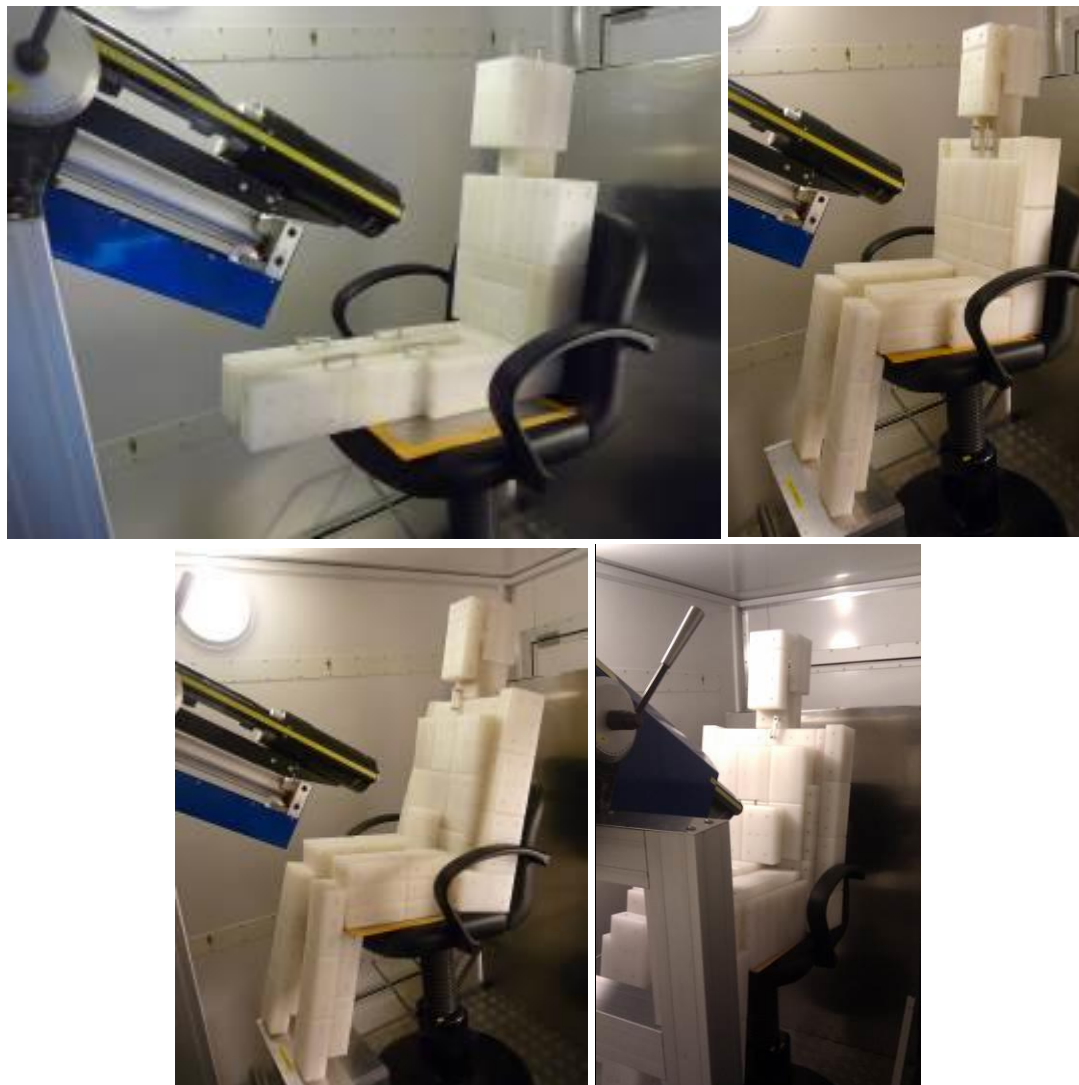
Figur 3: Eksempel på ulike størrelser som kan settes sammen av IRINA (sittende geometri)

Vi benyttet kun  $^{137}\text{Cs}$  og  $^{60}\text{Co}$  til kalibreringen i 2012. Aktiviteten i disse stavene er gitt i Tabell 1. Eu-152 ble benyttet for å kontrollere/verifisere kalibrering. Vi kalibrerte ikke for  $^{40}\text{K}$  da stavene inneholdt for lav aktivitet til at de kunne benyttes til kalibrering i det mobile laboratoriet (dvs. signalet var ikke signifikant forskjellig fra bakgrunnen).

Tabell 1: Aktivitet per stav (usikkerhet oppgitt til 5 %). Referansedato for aktivitetene: For  $^{137}\text{Cs}$  og  $^{60}\text{Co}$  1.8.1996, for  $^{152}\text{Eu}$  01.10-2004

Nuklide	Til små byggeklosser (Bq)	Til store byggeklosser (Bq)
$^{60}\text{Co}$	249	497
$^{137}\text{Cs}$	121	242
$^{152}\text{Eu}$	158	340

Geometriene som ble valgt for kalibrering i det mobile laboratoriet var P2, P3, P4 og P5 i sittende posisjon (Figur 4). Essensielle data for de ulike geometriene er gitt i tabeller i appendiks 6.1.



Figur 4: Irina i sittende størrelser P2-P5 i stolen i det mobile laboratoriet

## 2.2 Måleutstyr

### 2.2.1 HPGe

HPGe-detektoren som tilhører det mobile laboratoriet er en Ortec-detektor med serienummer 43-TP21634A. Modellen heter GEM50P og er av typen «Pop Top». Detektoren har en oppløsning på 1,9 keV ved 1,33MeV, og en «Peak-to-Compton Ratio» på 66:1.

### 2.2.2 NaI

NaI-detektoren som tilhører det mobile laboratoriet er av typen 76s76 Crismatec (Scintibloc), og har serienummer 2665.

### 2.2.3 Helkroppsteller

Helkroppstellersen i det mobile laboratoriet består av en detektorholder, stol og blyskjerming, se Figur 4. Den ytterste delen av detektorholderen inneholder en kollimator som omgir detektoren. Plasseringen av detektoren i forhold til kollimatoren kan endres etter ønske. Kollimatoren og detektoren, som en enhet, justeres i flere posisjoner via en sveiv på baksiden av holderen. I tillegg kan vinkelen på detektorholderen endres til ønsket posisjon. Høyden på stolen, målt fra gulvet på helkroppstellersen, kan også justeres.

## 2.3 Innstillinger på helkroppstellersen under kalibreringen

I og med at enkelte av delene på helkroppstellersen kan settes i ulike posisjoner, er det **meget viktig** at disse settes opp på samme måte ved ordinære målinger som da kalibreringene ble utført. Posisjonene under kalibreringen er gitt i tabellen under.

Tabell 2: Innstillinger av helkroppstellersen

Kollimering av detektor	2 cm <sup>1</sup>
Posisjon av detektorholder	155 mm
Vinkel på detektorholder <sup>2</sup>	30°
Stol-høyde	68,5 cm

<sup>1</sup> NaI-detektoren føres helt frem til den buttet mot holderen som er montert i kollimeringen.

<sup>2</sup> Bruk lasermåler for å oppnå nøyaktig samme posisjon som under kalibrering. Laseren skal holdes innenfor de merker som er på detektorholderen og lyset skal da treffe punktet markert i taket.

## 2.4 Konstanskontroll

I forbindelse med kalibreringen i 2012 ble det laget en punktkildeholder for å kunne utføre konstanskontroll for både HPGe- og NaI-detektorene. Punktkildeholderen er spesialdesignet for å passe i fronten på helkroppstellersen i det mobile laboratoriet. Umiddelbart etter at kalibreringen var fullført ble konstanskontrollen gjennomført for begge detektorene, slik at effektiviteten er sporbar. Imidlertid er det enda ikke laget noen instruks for gjennomføring av konstanskontroll for detektoren i det mobile laboratoriet (inkl. system for lagring av filer og resultater).

## 2.5 Målinger og beregninger

Måletider ble valgt slik at usikkerhet i integralene i de definerte interesseområdene (ROI) i spektrene ble mindre enn 1,5 % for måling med HPGe og 1 % for måling NaI. De valgte ROI-ene ved analyse av spekter i programvaren Maestro er vist i Tabell 3. Disse ROI skal også brukes ved målinger av personer.

Tabell 3: ROI for analyse av helkroppsmålingsspekter i Maestro

Detektor	<sup>137</sup> Cs		<sup>60</sup> Co	
	Topp i kanal	ROI	Topper i kanaler	ROI'er
HPGe	1986	1972-1996 <sup>1</sup>	3519, 3997	3509-3529, 3987-4007
NaI	440	415-470		

<sup>1</sup> Denne ROI er den samme som brukes ved konstanssjekk (er lagret i fil: QA ROI.Roi).



---

For å harmonisere beregningsmetodene ved måling med både HPGe- og NaI-detektor, er alle beregninger gjort manuelt med utgangspunkt i avlest spekterinformasjon fra måling av bakgrunn og fantom vha. Maestro<sup>1</sup>.

For å beregne detektorens effektivitet for en bestemt energilinje for et gitt fantom trengs følgende informasjon:

S: Netto areal i toppen fra målingen av fantomet

T: Måletiden (livetime, s)

Y: Energilinjens emisjonssannsynlighet (85 % for 661,65 keV fra <sup>137</sup>Cs, 100 % for 1173 keV og 100 % for 1332 keV fra <sup>60</sup>Co)

A: Aktiviteten i fantomet ved referansetidspunkt (oppgitt i dokumentasjonen til fantomet)

K: Korreksjon for fysisk omdanning av aktiviteten til måletidspunkt

Formelen for effektivitetsberegning er: 
$$E(\text{eff}) = \frac{S}{(T * Y * A * K)}$$

Eu-152 kildene ble benyttet for å verifisere at effektivitetskurven for HPGe, etablert ved hjelp av <sup>137</sup>Cs og <sup>60</sup>Co, ble korrekt (se appendiks 6.5).

## 2.6 Tilpasninger til måling av personer

I og med at det ikke er praktisk mulig å kalibrere for alle mulige kroppsfasonger, må kalibreringsresultatene tilnærmes de ulike fasongene og størrelse som reelle målte personer har. Dette kan gjøres ved at vi antar at kalibreringsresultatene (effektivitetene) gjelder for personer med omtrent samme vekt og høyde. Dette har blitt gjort ved målinger tidligere år. Alternativet er å gjøre kurvetilpasninger (funksjoner) som estimerer egne resultater for ulike personfasonger. Dette blir gjort i denne rapporten.

# 3 Resultater

## 3.1 Skjerming av bakgrunn

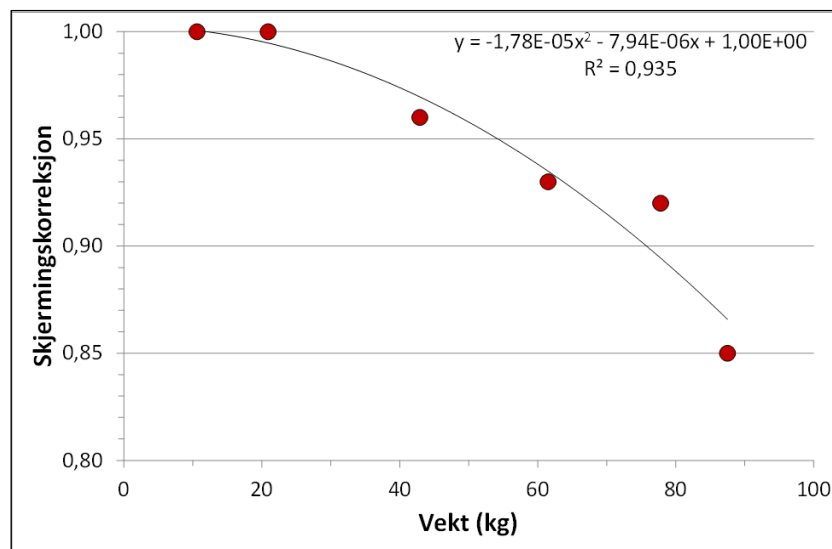
Ved kalibreringene har det tidligere ikke blitt korrigert for at fantomene skjerner bakgrunnsstrålingen, fordi fantomene inneholder så mye aktivitet at bakgrunnen blir neglisjerbar. Erfaringene fra måling av befolkningen viser imidlertid at det bør korrigeres for at en person i stolen skjerner en del av bakgrunnsstrålingen, særlig når vi gjennomfører målinger i områder med betydelig forurensning (som i Snåsa) og ved måling av personer med lite aktivitet. Etter hvert som aktivitetene i personene går ned, blir dette derfor relativt viktigere.

Det har vært en del usikkerhet rundt betydningen av skjermingen, og vi har derfor som del av denne rapporten foretatt en gjennomgang av erfaringsmaterialet vi har om skjerming ved måling av <sup>137</sup>Cs. Dette er oppsummert i appendiks 6.2. Kalibreringsresultatene for <sup>137</sup>Cs fra 2012 er beregnet med korrigert bakgrunnsstråling (med faktoren 0,97 fra målingene av sukker i Tabell 14, appendiks 6.2). Særlig for måling med NaI-detektor er det viktig å ha kontroll på bakgrunnsstråling og hvor mye skjerming fantomer/personer utgjør (fordi ROI ved NaI-målinger er bredere og derfor inkluderer flere radioaktive stoffer). I beregningene regner vi med at en person/fantom skjerner like mye, enten det blir målt med NaI- eller HPGe-detektor.

---

<sup>1</sup> Ved tidligere kalibreringer av utstyret i det mobile laboratoriet har analyser også vært gjort vha. Genie-2000. Våren 2013 ble det oppdaget at denne metoden kan medføre usikkerheter, og dessuten at definisjonen av ROI ikke var lik i Genie og Maestro.

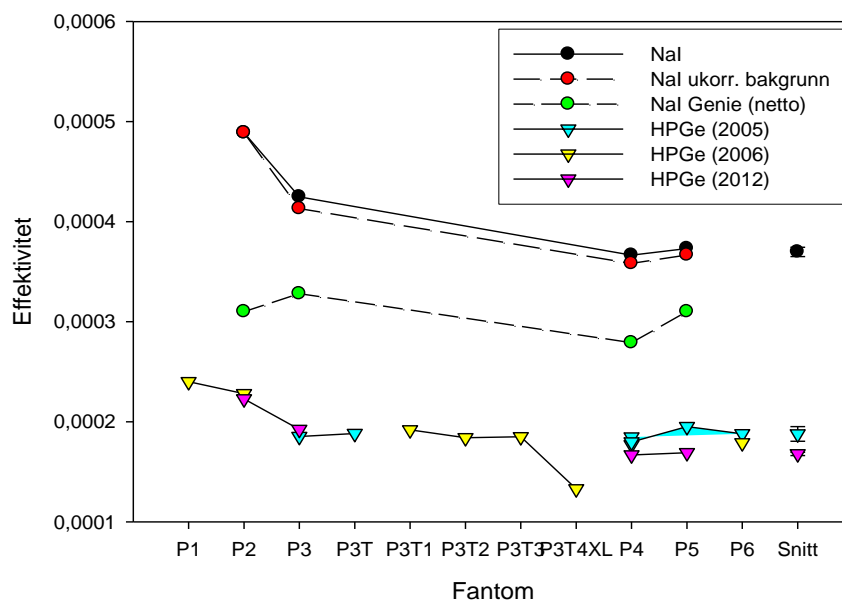
Med utgangspunkt i kalibreringene med fantomene P2-P6 utenfor GN12 og 13 i 2005 og 2006 har vi tilpasset en funksjon som kan brukes til å estimere korreksjonsfaktorer for alle personer vi måler basert på kroppsvekt. Denne er vist i Figur 5, og gjelder for måling utendørs på flat mark.



Figur 5 Korreksjonsfaktorer for bakgrunnsstråling ved måling av personer når kontaineren står utendørs i flatt terreng.

### 3.2 $^{137}\text{Cs}$

Appendiks 6.3 viser alle resultatene fra de enkelte målingene av fantomene. Resultatene er oppsummert i Figur 6, som også sammenligner resultatene fra 2012 med tidligere resultater (og andre beregningsmetoder for NaI). For en mer detaljert studie av sammenhengen mellom effektivitet og kroppsstørrelse ble det i 2006 kalibrert for tyngre varianter av fantom P3 (160 cm, 42,9 kg): P3T (48 kg), P3T1 (56 kg), P3T2 (66 kg), P3T3 (73 kg) og P3T4XL (79 kg) (se detaljer i Appendix 6.1).



Figur 6 Oppsummering av effektiviteter for beregning ved bruk av bruttointegraler, og med korrigeret bakgrunn (og med ROI'ene gitt i Tabell 3). Verdiene «Snitt» er gjennomsnitt av effektivitetene for P4-P5 eller P4-P6. Se tekst for mer forklaring.

---

For målinger med NaI-detektor illustrerer kurven «NaI ukorr. bakgrunn» i Figur 6 at effektivitetene uten korreksjon for skjerming av bakgrunn blir 2-3 % lavere, også ved kalibreringsmålingene med fantomer. Kurven «NaI Genie (netto)» viser at beregninger med programvaren Genie 2000 (med bruk av «sertifikater» og netto-arealer) gir variable resultater uten klar sammenheng med fantomstørrelse. Vi går derfor bort fra denne beregningsmåten. Se også appendiks 6.4. Kurven «NaI» gir derfor de endelige effektivitetene for måling med NaI-detektor der det regnes med brutto-integral og subtraksjon av bakgrunn (som er korrigert for skjerming). En utfordring med måling med NaI-detektor er variasjonene i bakgrunn (se Figur 11, appendiks 6.2). Dette må det også tas hensyn til i kalibreringsarbeid.

Figur 6 gir effektivitetene for måling med HPGe-detektor beregnet med brutto-integraler og med korrigerings for skjerming av bakgrunn for kalibreringen i 2012. I tillegg vises tilsvarende effektiviteter for de tidligere kalibreringene i 2005 og 2006. Effektivitetene for fantomene P2 og P3 gir godt samsvar med tidligere kalibreringer, mens effektivitetene er noe lavere for P4 og P5. Lavere effektivitet for HPGe-detektoren ble også indikert gjennom avviket i sammenligningsmåling i PIANOLIB-prosjektet<sup>2</sup> (år 2010/2011), som var noe av årsaken til at det ble gjennomført en ny kalibrering i 2012. Imidlertid indikerer det gode samsvaret med effektiviteter for P2 og P3 fra 2005-2006 at det ikke har skjedd en vesentlig effektivitetsendring i detektoren. Endringen i effektiviteter for de større fantomene antas derfor å skyldes noe endret plassering av disse fantomene i forhold til detektoren. Dette kan skyldes noe endret plassering i stol, eller endret vinkel på detektoren (pga. konstatert løst «gradskive»). Fordi de større fantomene fyller en større del av romvinkelen som detektoren «ser», vil måleresultatet være mer følsomt for plassering av store enn små fantomet. Da effektivitetene fra 2012-kalibreringen gir godt resultat for sammenligningsmålingen i «PIANOLIB», velger vi å bruke disse i videre beregninger.

Ut fra resultatene i Figur 6 konkluderer vi med at det er så lite forskjell i effektiviteter for fantomene P4-P6 at disse kan tilordnes en felles verdi (gjennomsnittsverdien «Snitt»), både for måling med NaI- og HPGe-detektor. Målingene av de ulike variantene av fantom P3 indikerer også at variasjoner i masse (ved samme høyde) har liten påvirkning på effektiviteten. Det avvikende resultatet for P3T4XL skyldes høyst sannsynlig at blokkene nærmest detektoren ikke inneholdt radioaktivitet, og dermed bare skjermet strålingen fra dypere i fantomet.

For måling med NaI-detektor er det ikke kalibrert med det minste fantomet, P1. Den sterke korrelasjonen mellom effektivitetene for P2-P5 for NaI- og HPGe-detektoren (Figur 7), sammen med det gode samsvaret i effektiviteter for P2 og P3 ved de ulike målingene (i 2005, 2006 og 2012; Figur 6), gjør imidlertid at det er mulig å ekstrapolere en effektivitet for P1 basert på effektiviteten beregnet for P1 med HPGe i 2006. Dette gir en verdi på 0,00053.

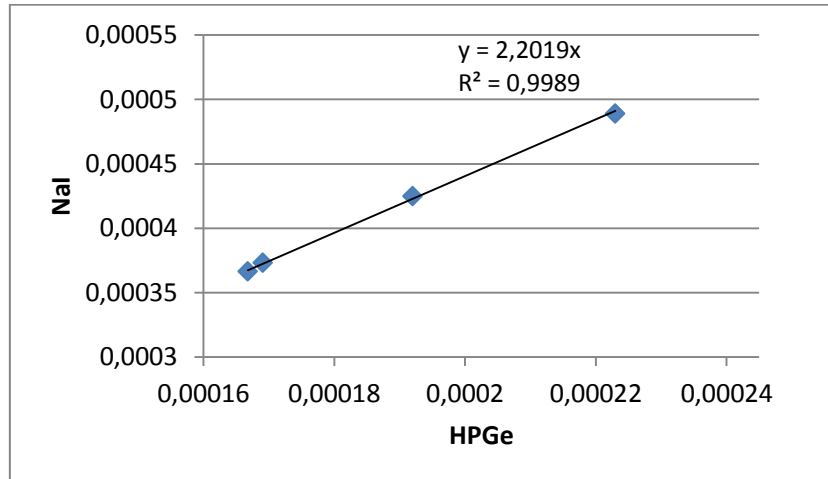
Ved måling av personer har vi behov for å tilnærme effektivitetene fra kalibreringene til ulike kroppsstørrelser. Effektivitetene er avhengige av både kroppslengde og –vekt, men vi velger å lage en tilpasning basert på kroppslengde alene da denne reflekterer hvor stor andel av detektorens «synsfelt» som dekkes av personen. Korreksjon for skjerming av bakgrunn (se ovenfor) blir gjort på grunnlag av vekt, da vekt er et bedre mål for volumet kroppen fyller mellom detektoren og bakken. Figur 8 oppsummerer effektivitetene for måling med HPGe-detektoren, og viser også den tilpassete funksjonen som vi heretter bruker til å estimere effektiviteter for målte personer.

---

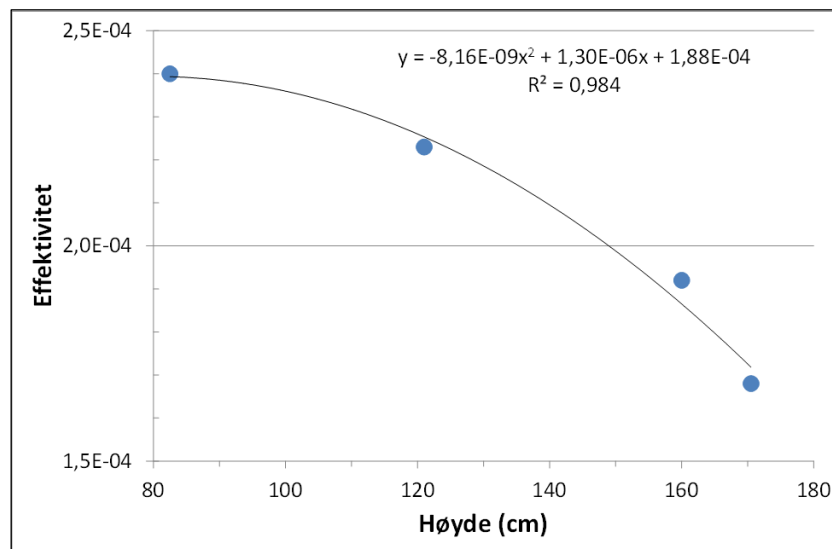
<sup>2</sup> I denne sammenligningsmålingen målte Strålevernet 14 % for lavt (se laboratorium nr. 8 i tabell 5 i: del Risco Norrlid et al. (2012)).

For måling med NaI-detektor blir formen på kurven lik den i Figur 8, bare en faktor 2,2 høyere, mens konstantleddet er endret (jf. korrelasjonen mellom NaI og HPGe i Figur 7):

$$y(\text{NaI}) = -1,80\text{E-}08x^2 + 2,86\text{E-}06 + 4,14\text{E-}04$$



Figur 7 Korrelasjon mellom effektivitetene for fantomene P2 (høyest effektivitet) til P5 (lavest effektivitet) målt med NaI- og HPGe-detektor i 2012.



Figur 8 Effektiviteter for måling av personer med HPGe-detektor. Punktene gir effektivitetene for fantomene P1, P2, P3 og gjennomsnitt for P4-P6.

### 3.3 $^{60}\text{Co}$

Målinger av fantom med  $^{60}\text{Co}$  ble gjennomført med både HPGe- og NaI-detektor, men kalibreringsarbeidet er bare slutført for HPGe<sup>3</sup>. I disse beregningene er det ikke korrigert for emisjonssannsynlighet (denne regnes som 100 %), og heller ikke for at fantom/person skjerner bakgrunnsstråling (siden vi ikke har  $^{60}\text{Co}$ -forurensning i miljøet/bakgrunnen).

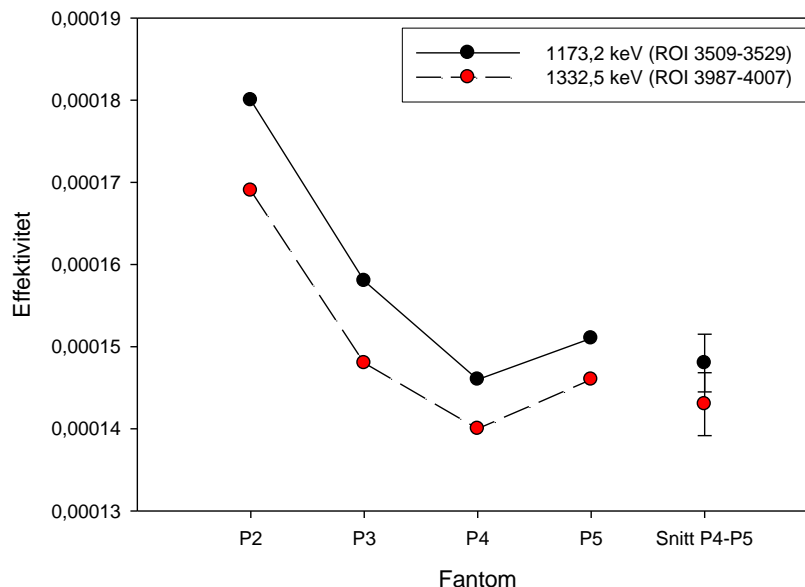
<sup>3</sup> Grunnen til at arbeidet ikke er slutført for NaI er en kombinasjon av prioritering og at spekteret med brede topper og Compton-stråling er vanskeligere å analysere. Det er lite sannsynlig at denne målemetoden kommer til å bli brukt et tilfelle med  $^{60}\text{Co}$ -forurensning.

Tabell 4 og Figur 9 oppsummerer effektivitetene beregnet for måling av de ulike fantomene. Som forventet er det stor forskjell i effektiviteter for små og store fantomer. Forskjellene mellom effektivitetene for P4 og P5 skyldes trolig at P5 bygger nærmere detektoren (se Figur 3 og Figur 4). I og med at personer varierer i størrelse i mage og lår, er det vanskelig å korrigere for dette ved praktisk måling. Vi velger derfor å beregne en gjennomsnittlig effektivitet for bruk ved måling av personer rundt størrelsen P4-P5 (usikkerheten i denne gjennomsnittsverdien er bare ca. 3 %). For måling av  $^{60}\text{Co}$  i personer kan det selvsagt tilpasses en funksjon på samme måte som for måling av  $^{137}\text{Cs}$  i Figur 8. Det er ikke gjort da det er lite sannsynlig at det blir et praktisk behov for måling av jevnt fordelt intern forurensning av  $^{60}\text{Co}$  i personer.

Tabell 4: Effektiviteter for måling av  $^{60}\text{Co}$  med HPGe-detektoren (resultater av kalibreringen i 2012). For fantomene P2-P4 er verdiene beregnet på bakgrunn av én måling per fantom, mens effektiviteten for P5 er gjennomsnitt av to målinger.

Fantom	Energi <sup>1</sup>	Effektivitet
P2	1173,2	0,000180
	1332,5	0,000169
P3	1173,2	0,000158
	1332,5	0,000148
P4	1173,2	0,000146
	1332,5	0,000140
P5	1173,2	0,000151
	1332,5	0,000146
Gjennomsnitt P4-P5	1173,2	0,000148±0,000004
	1332,5	0,000142±0,000004

<sup>1</sup> Med energi menes egentlig ROI'ene 3509-3529 og 3987-4007.



Figur 9 Effektiviteter for måling av  $^{60}\text{Co}$  med HPGe-detektoren. Se Tabell 4 for detaljer.

---

## 4 Oppsummering og videre arbeid

Helkroppsmåleren i det mobile laboratoriet brukes rutinemessig til måling av befolkningen, og det er svært viktig at disse målingene har god kvalitet. Dette bl.a. fordi mange personer blir målt flere ganger, og da må resultatene kunne sammenlignes fra gang til gang. Mye av grunnen til kalibreringsarbeidet i 2012 var et avvik i sammenligningsmålingen i NKS-regi i 2010/2011. Slike avvik må undersøkes og korrigeres, men mye av usikkerheten knyttet til dette avviket kunne vært unngått dersom vi hadde hatt et bedre internt system for kvalitetskontroll. Dette systemet må nå på plass.

Sammen med kalibreringsresultatene fra 2012 ga gjennomgang og reanalyse av tidligere kalibreringsresultater grunnlag for å forbedre utregningen av måleresultater ved måling av  $^{137}\text{Cs}$  i personer. Med de nye beregningsmåtene tar vi hensyn til at en person i stolen skjærmer bakgrunnsstråling, og vi får et bedre valg av effektiviteter etter størrelsen på hver person som blir målt (dette har tidligere blitt gjort som et subjektivt valg til antatt mest lignende fantom). Begge deler er eksempler på resultater som krever grundigere analyse enn det som tidligere har blitt gjort i forbindelse med kalibreringene. Analysen avdekket også at tidligere anvendt analysemetode ved måling av NaI var uegnet (jf. appendiks 6.4).

Selv om beregningene nå korrigerer for skjerming av bakgrunnsstråling, er datagrunnlaget for disse beregningene noe tynt. Det bør derfor gjøres en grundigere studie av skjermingen ved ulike fantomstørrelser et sted der det er betydelige mengder  $^{137}\text{Cs}$  i bakgrunnen (f.eks. i Snåsa).

Ingen av standardfasongene av Irina-fantomet er over 170 cm lange, og vi har derfor til nå ikke kalibrert for lengre personer. Imidlertid viser analysen at effektiviteten er så sterkt avhengighet av kroppslengden (Figur 8) at det også må prioriteres å kalibrere for lengre personer (en betydelig del av den norske befolkning er over 170 cm høy).

Selv om måling av radioaktiv forurensning i personer i prinsippet er enkelt, har denne gjennomgangen av våre resultater og erfaringer vist at kvalitetssikrete målinger og et operativt mobilt laboratorium krever høyere prioritering enn det hittil har fått. For både å forbedre kvalitetssystemet og å begrense personavhengigheten gjenstår det f.eks. å lage en bedre bruksanvisning for måling av personer i laboratoriet.

## 5 Referanser

del Risco Norrlid L, Halldórsson Ó, Holm S, Huikari J, Isaksson M, Lind B (2012). Nordic proficiency test for whole body counting facilities (PIANOLIB). NKS-258. Roskilde, Denmark, Nordic nuclear safety research (NKS).

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. [http://www.nks.org/en/phantom\\_library/phantom\\_view.htm?id=111010000144507](http://www.nks.org/en/phantom_library/phantom_view.htm?id=111010000144507) (20. aug. 2014)

## 6 Appendiks

### 6.1 Essensielle data for geometriene

#### 6.1.1 P2

Tabell 5: Essensielle data for geometri P2

Høyde (cm)	121	
Vekt (kg)	20,9	
Staver	Hele	Halve
Hode	2	2
Bryst	5	
Armer	4	
Buk	3	2
Lår	3	2
Legger	4	
Sum blokker	21	6
Sum staver	42	12
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	11616	23862

#### 6.1.3 P4

Tabell 7: Essensielle data for geometri P4

Høyde (cm)	170,5	
Vekt (kg)	61,5	
Staver	Hele	Halve
Hode	4	2
Bryst	20	0
Armer	8	0
Buk	13	0
Lår	14	0
Legger	10	0
Sum blokker	69	2
Sum staver	138	4
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	33880	69582

#### 6.1.2 P3

Tabell 6: Essensielle data for geometri P3

Høyde (cm)	160	
Vekt (kg)	42,9	
Staver	Hele	Halve
Hode	3	3
Bryst	12	5
Armer	0	8
Buk	6	3
Lår	9	5
Legger	6	4
Sum blokker	36	28
Sum staver	72	56
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	24200	49728

#### 6.1.4 P5

Tabell 8: Essensielle data for geometri P5

Høyde (cm)	170,5	
Vekt (kg)	77,8	
Staver	Hele	Halve
Hode	4	2
Bryst	20	12
Armer	8	0
Buk	14	8
Lår	14	10
Legger	12	4
Sum blokker	72	36
Sum staver	144	72
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	43560	89496

### 6.1.5 Varianter av P3

Tabell 9: Essensielle data for geometri P3T

Høyde (cm)	160	
Vekt (kg)	48	
Staver	Hele	Halve
Hode	3	3
Bryst	20	5
Armer	0	8
Buk	6	3
Lår	9	5
Legger	10	0
Sum blokker	48	24
Sum staver	96	48
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	29040	59664

Tabell 10: Essensielle data for geometri P3T1

Høyde (cm)	160	
Vekt (kg)	56	
Staver	Hele	Halve
Hode	3	3
Bryst	36	0
Armer	0	8
Buk	1	1
Lår	8	4
Legger	6	4
Sum blokker	54	20
Sum staver	108	40
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	24729,6	

Tabell 11: Essensielle data for geometri P3T2

Høyde (cm)	160	
Vekt (kg)	66	
Staver	Hele	Halve
Hode	3	3
Bryst	36	4
Armer	8	0
Buk	2	0
Lår	12	0
Legger	6	10
Sum blokker	67	17
Sum staver	134	34
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	29173	

Tabell 12: Essensielle data for geometri P3T3

Høyde (cm)	160	
Vekt (kg)	73	
Staver	Hele	Halve
Hode	4	2
Bryst	42	2
Armer	8	4
Buk	2	2
Lår	12	0
Legger	6	10
Sum blokker	74	20
Sum staver	148	40
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	32458	

Tabell 13: Essensielle data for geometri P3T4XL. I dette fantomet ble det brukt noen blokker uten staver, først og fremst for å simulere et lag med fett på bryst/mage/lår (fettholdig vev inneholder vesentlig mindre <sup>137</sup>Cs enn muskelvev), og delvis fordi det ikke var staver nok til absolutt alle blokker: I brystet var det 4 store blokker uten staver, og i lår og hode 2 små blokker uten staver.

Høyde (cm)	160	
Vekt (kg)	79	
Staver	Hele	Halve
Hode	4	4
Bryst	46	2
Armer	8	4
Buk	2	2
Lår	12	2
Legger	6	10
Sum blokker	78	24
Sum staver	156	48
Aktivitet (Bq)	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Pr 01.08.1996	34776	



## 6.2 Skjerming av bakgrunnsstråling

Tabell 14 nedenfor oppsummerer tellinger som registreres med tomt fantom (Irina eller sukkerblokker) i stolen, sammenlignet med tom stol. Det største Irina-fantomet skjerner altså ca. 15 % av bakgrunnsstrålingen (når kontaineren står ute på flat mark). Ut fra at P3 skjerner bare 4 % antar vi at de minste fantomene P1 og P2 skjerner ubetydelig. Det er ikke grunn til å anta at skjermingen skal være vesentlig forskjellig om det måles med NaI- eller HPGe-detektor<sup>4</sup>.

Resultatene for måling med 50 kg sukker på Røros og i garasjen på Strålevernet (GN13) er vist i Figur 11. Ved måling i garasjen i GN13 skjerner blokkene mindre, sannsynligvis fordi det kommer bakgrunnsstråling også fra tak og vegger.

Vi har gjennom årene gjort noen målinger av personer med kosthold som antas å føre til neglisjerbart inntak av radioaktivt cesium. En reanalyse av disse målingene viser f.eks. at to personer med 90 kg kroppsvekt skjernet 13-15 %, og en med kroppsvekt 76 kg skjernet rundt 7 %. Dette er i godt samsvar med resultatene i Tabell 14.

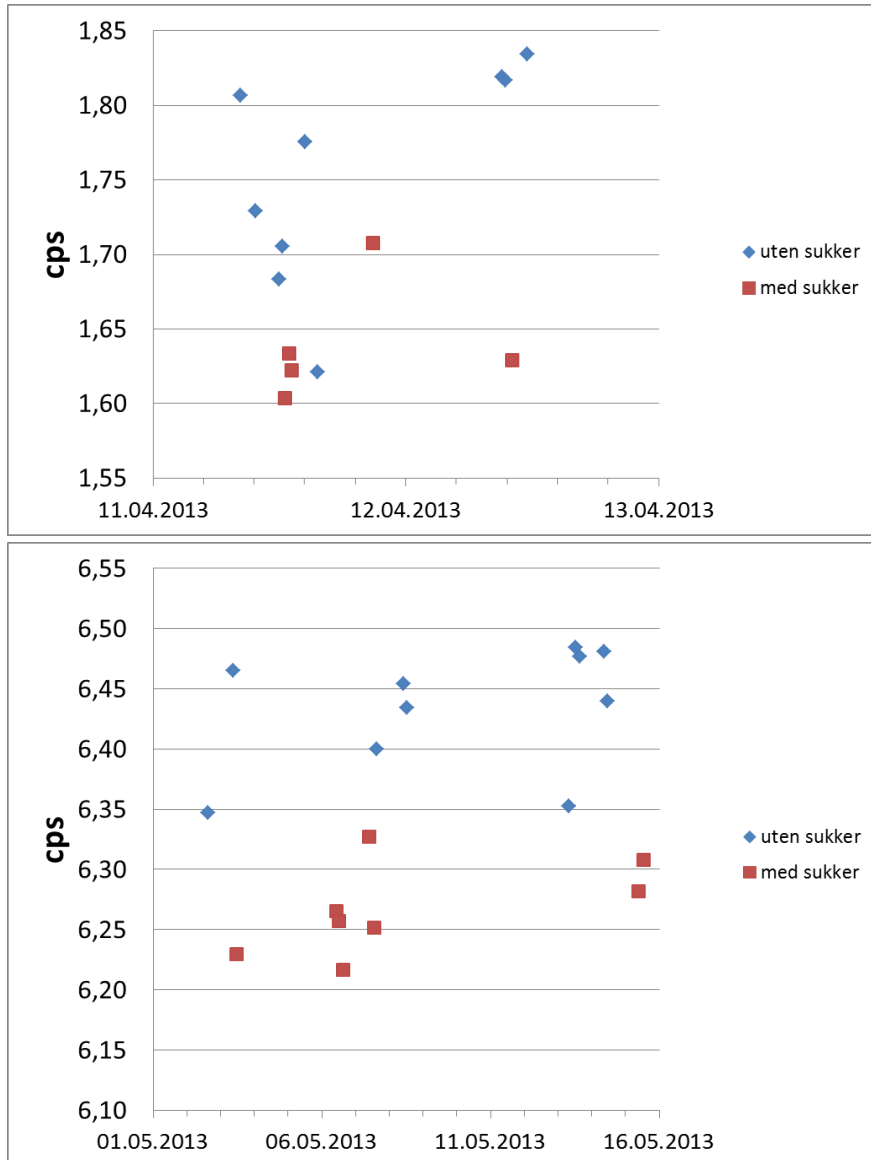
Tabell 14: Korreksjonsfaktorer for bakgrunnsstråling ved måling. Målingene av Irina-fantomet er en enkelt lang måling med god tellestatistikk, derfor er det ikke oppgitt usikkerheter.

Fantom (vekt, kg)	Målt med HPGe utenfor GN13 (2005)	Målt med HPGe utenfor GN12 (2006)	Målt med NaI ute på Røros (2013)	Målt med NaI i garasjen i GN13 (2013)
P3 (42,9)	0,960	-	-	-
P4 (61,5)	0,932	-	-	-
P5 (77,8)	0,924	-	-	-
P6	0,855	0,849	-	-
50 kg sukker	-	-	0,93±0,04	0,974±0,009



Figur 10. Bruk av 50 kg sukker til kontroll av skjerming mot bakgrunnsstråling.

<sup>4</sup> Skjermingen er energiavhengig. Derfor vil skjermingen i hele det brede interesseområdet (ROI) som brukes ved måling med NaI-detektor egentlig være avhengig av hvilke stoffer som er tilstede. Vi antar likevel at dette ville utgjøre en ubetydelig korreksjon.



Figur 11. Antall tellinger per sekund (cps) målt med NaI (ROI 415-470) på Røros (øverst) og i garasjen i GN13, med og uten 50 kg sukker i stolen. Sukkeret er stablet som vist i Figur 10.

### 6.3 Enkeltresultater fra kalibreringen

Tabell 15: Effektivitetsberegninger for HPGe for  $^{137}\text{Cs}$  (ved 661,65 keV)

Fantom	Måling nr:	Måletid	Integral	Effektivitet
<b>Bakgrunn</b>		256939,72	120724	
P2	1	6428,12	13106	0,000229
	2	6355,94	12440	0,000217
P3	1	5826,94	18702	0,000193
	2	6800,92	21795	0,000192
P4	1	4595,64	17477	0,000167
	2	4071,42	15413	0,000166
P5	1	3330,2	15951	0,000168
	2	1182,54	5702	0,000170

Tabell 16: Effektivitetsberegninger for NaI for  $^{137}\text{Cs}$

Fantom	Måling nr:	Måletid	Integral	Effektivitet
<b>Bakgrunn</b>		236896,7	1052584	
P2	1	6566,2	64253	0,000489
	2	4882,34	47736	0,000488
P3	1	62972,6	774830	0,000423
	2	4254,04	52567	0,000427
P4	1	3152,12	42940	0,000368
	2	2600,02	35269	0,000365
P5	1	1242,46	19676	0,000372
	2	1281,44	20349	0,000374

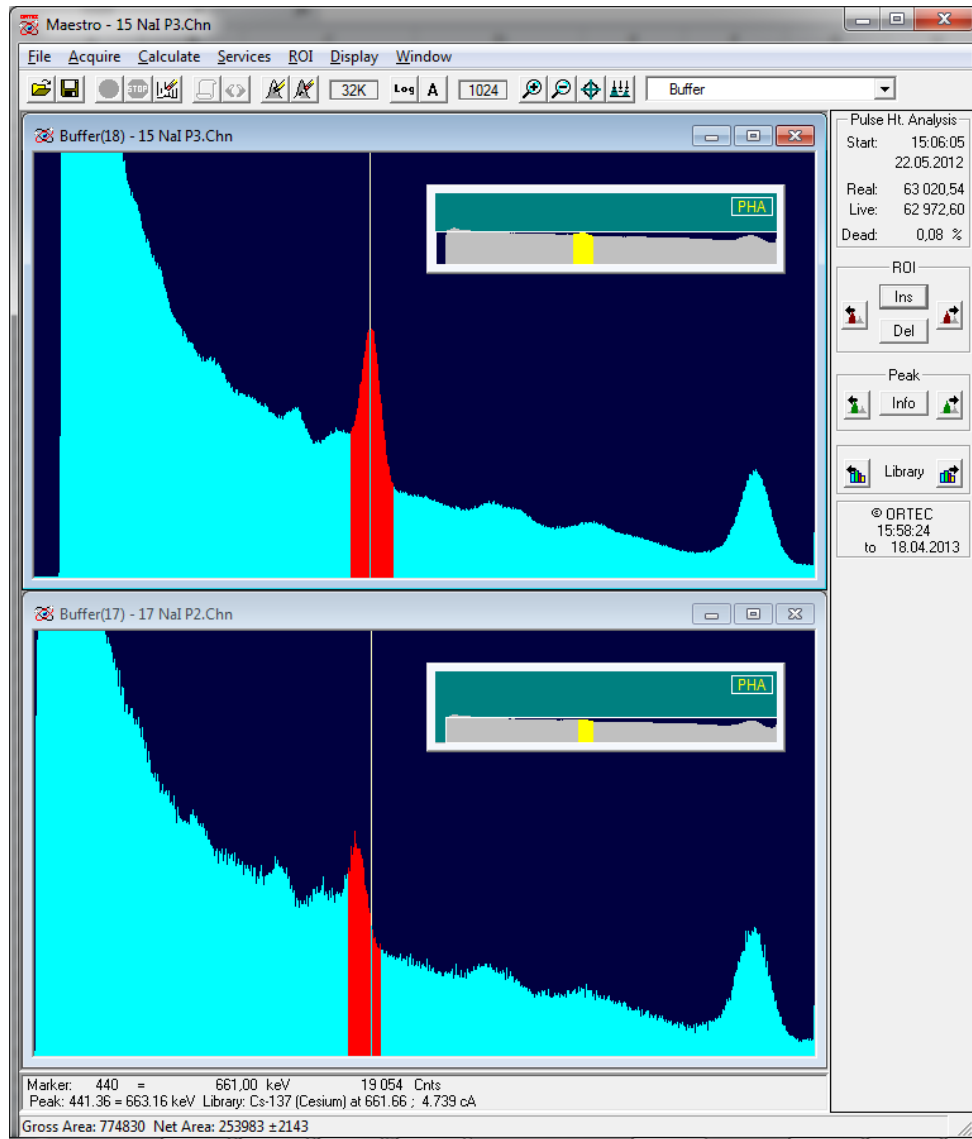
Tabell 17: Effektivitetsberegninger for HPGe for  $^{60}\text{Co}$

Fantom	Måling nr:	Energi <sup>1</sup>	Måletid	Integral	Effektivitet
<b>Bakgrunn</b>		1173,2 1332,5	256939,72	58651 32044	
P2		1173,2 1332,5	70304,62	53702 44134	0,000180 0,000169
		1173,2 1332,5	9999,92	12095 10474	0,000158 0,000148
P4		1173,2 1332,5	58863,92	88105 79228	0,000146 0,000140
	P5	1	1173,2 1332,5	9096,98	17561 15830
		2	1173,2 1332,5	5693,62	10820 10091

<sup>1</sup> Med energi menes egentlig ROI'ene 3509-3529 og 3987-4007.

## 6.4 Vurderinger rundt måling med NaI

Ved målinger med NaI kan overlappende spekter med naturlige nuklider være en utfordring. Særlig ser det ut til at 609 keV-toppen fra  $^{214}\text{Bi}$  kan være en utfordring når laboratoriet står i garasjen på Østerås. Dette er illustrert i Figur 12 som viser spekteret etter måling av de to mindre fantomene (P2 og P3) med  $^{137}\text{Cs}$ . Det er P2 og P3 som inneholdt minst aktivitet ved kalibreringen i 2012.



Figur 12 NaI-spekter etter måling av fantomene P2 og P3. Figuren viser også ROI'ene brukt i analysene i Maestro: Kanalområde 415-470 øverst, og 430-470 nederst.

Utfordringene med overlappende spekter gjorde at ulike beregningsmetoder ble forsøkt:

- Analyse med bruk av programvaren Genie-2000 til avlesing av netto integral, bruk av sertifikater osv.
- Beregninger basert på brutto integral avlest med Maestro, og med to ulike ROI-områder for å sjekke innflytelsen av Bi-214 toppen (illustrert i Figur 12).

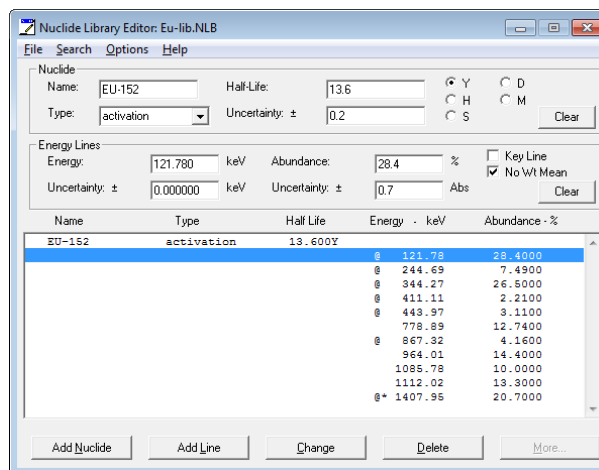
Analysene viste at de ulike automatiserte analysene i programvaren Genie-2000 ga variable resultater, og dårlig samsvar med resultatene for HPGe (der overlappende spekter ikke er en utfordring). Dette er vist i Figur 6 (s.10), som også illustrerer at det ikke er systematisk

endring i effektiviteter med fantomstørrelsen. I og med at Genie-2000 heller ikke brukes i beregninger ved måling av personer, ble det konkludert med at alle analyser og beregninger skal baseres på avlesninger av brutto integral i Maestro og subtraksjon av målt bakgrunn. Videre viste beregningene at bredden på ROI'en ikke er viktig så lenge det er gjort bakgrunnsmåling som subtraheres<sup>5</sup>. Måling og beregning bør derfor baseres på den bredeste ROI'en (da dette gir bedre tellestatistikk).

## 6.5 Kontroll av effektivitetskurver ved hjelp av <sup>152</sup>Eu

Effektivitetskurvene for HPGe for hver av geometriene er gyldige innenfor energiområdet 661 til 1332 keV. For å sjekke hvor gode disse kalibreringskurvene er, kan vi kontrollmåle med <sup>152</sup>Eu i en gitt geometri og beregne aktiviteten i fantomet. Et eksempel er gitt under:

Geometri P3 inneholder 36 hele og 28 halve klosser, dvs. 72 hele og 56 halve staver. Gitt aktiviteten i Tabell 1 tilsvarer det en totalaktivitet i fantomet på 33328 Bq pr. 1/10-2004. Før spekteret analyseres må biblioteket som skal brukes editeres slik at kun de linjer fra <sup>152</sup>Eu som er innenfor det gyldige energiområdet benyttes til beregningen, se Figur 13.



Figur 13: Eu-152 bibliotek

I dette biblioteket vil ikke linjene merket med «@» bli benyttet til aktivitetsberegningen. Med dette biblioteket og tilhørende P3 effektivitetskurve gir analysen 34712 Bq som svar. Dette svaret er 4 % for høyt, men ikke signifikant forskjellig fra fasit (Z = 1,13). For de resterende geometriene ble resultatet som følger:

Geometri	Aktivitet, Bq	Målt aktivitet, Bq	Z - score	Konklusjon
P2	16176	16563	0,66	Ikke sign. <sup>6</sup>
P4	47552	50045	1,41	Ikke sign.
P5	60336	61535	0,55	Ikke sign.

<sup>5</sup> Dette gjelder også for små fantomer/lave aktiviteter, der en kunne forvente større påvirkning av forstyrrende topper.

<sup>6</sup> Dette svaret er uten 778 keV-linjen, da denne kom vesentlig lavere ut enn de andre linjene til <sup>152</sup>Eu. Med denne linjen ble svaret 14781 Bq, som muligens er signifikant forskjellig. Ved måling av de andre geometriene ble ikke resultatet for 778 keV-linjen vesentlig lavere enn de andre linjene. Derfor ble den ikke vektlagt i beregningen av <sup>152</sup>Eu for P2.



Statens strålevern  
Norwegian Radiation Protection Authority