



Strålsäkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare:

Lilián del Risco Norrlid
Inger Östergren

2010:15

Strålsäkerhetsmyndighetens
helkroppslaboratorium

Titel: Strålsäkerhetsmyndighetens helkroppslaboratorium.
Rapportnummer: 2010:15
Författare: Lilián del Risco Norrliid och Inger Östergren
Datum: mars 2010

Abstrakt

I denna rapport har vi utvärderat de uppmätta värdenas pålitlighet i det nya helkroppslaboratoriet i Solna strand genom att jämföra resultat för bakgrunder och aktivitetsmätningar mellan det gamla laboratoriet i Karolinska sjukhusets område och nya laboratoriet. Rapporten presenterar egenskaper av den nya anläggningen och redovisar resultaten från första omgången av helkroppsmätningar i Solna strand:s laboratorium som utfördes 2007 på personer i den så kallade kontrollgruppen. Både bakgrunder och person – mätningar visade stabilt resultat, dvs. de är reproducerbara. Dock konstaterades att nya laboratoriet har relativt högre bakgrund, är mindre känsligt och mätgeometrin har försämrats. Den nya geometrin är tillräckligt god för beredskapssyften men det blir svårare att följa små förändringar vid mätning av låga aktiviteter än med den föregående geometrin.

Summary

One of the first whole body counting (WBC) facilities in the world sensitive enough for in vivo measurements was started by Rolf Sievert 1950 at the Radio-Physics Department at Karolinska Institute in Stockholm. During many years this was the WBC facility of the national regulatory authority and went through different modernisations along the years. During 2004 – 2007 the facility was rebuilt in its new location in Solna strand and the laboratory thus moved. The latter detectors, sodium iodide (NaI) scintillation detectors from the late 80's and most electronic were kept. The measurement geometry and the background conditions have changed. This report describes the new facility's characteristics and presents the results for a first round of measurements on a non-contaminated group of persons for control of Cs-137 and K-40.

The background in the new facility was monitored during 2007 – 2009 and is stable but higher than in the former location. The cause for the higher background is related to the presence of Radon progeny in the laboratory environment due to a different ventilation system. The limits of detection are 22 Bq for Cs-137 and 300 Bq for K-40, this for a half an hour measurement of a person of 75 kg weight.

Measurements were run on a control group of persons to determine the activity concentrations of Cs-137 and K-40. The control group was populated with persons who had taken part in previous control groups at the former location. The purpose was to compare the activity concentrations of K-40 at the new laboratory in Solna strand and the former laboratory at Karolinska, since it is well known that the concentration of K-40 doesn't change significantly for the same person. The comparison revealed an underestimation of K-40 for most of the cases. A correction to the acti-

vities of Cs-137 and K-40 was applied for each member of the group. The correction factor is based on the theoretical estimation of K-40, which depends on the particular length, weight, gender and age of the subject.

As the conclusion, the WBC facility at the SSM new location has been established. The background re-assessment as well as the uncertainty analysis was performed. A first round of measurements showed the need for applying a correction, which has been now implemented in the present location.

Innehåll

1. Inledning	2
1.1 Omfattning av denna rapport	2
1.2 Syftet med helkroppsmätningar av kontrollgruppen 2007	3
2. Fysikalisk bakgrund	4
2.1 Cesium-137, Cs-137	4
2.2 Kalium-40, K-40	5
2.2.1 Teoretisk uppskattning av totala kaliumhalten i människokroppen	6
3. Laboratoriets anläggningar på Karolinska sjukhusets område och Solna strand	8
3.1 Mätning geometri, bakgrundsavskärmning och ventilation	8
3.1.1 Laboratoriet på Karolinska sjukhusets område	8
3.1.2 Laboratoriet i Solna strand	9
4. Bakgrunds jämförelse mellan Karolinskas och Solna strands lab	11
5. Helkroppsmätning-procedur i Solna strand	13
5.1 Kalibrering	13
5.2 Mätprocedur	15
6. Detektionsgräns (L_D) i Solna strands laboratorium	17
7. Resultat av första kontrollgruppsomgången i Solna strand	18
7.1 Mätningresultat	18
7.2 Solna strands korrektionsfaktor, Kfaktor	19
7.3 Osäkerhetskällor i helkroppslaboratoriet i Solna strand	20
7.4 Kontrollgruppens resultat korrigerat	21
8. Dosuppskattning av kontrollgruppen i Solna strands laboratorium	24
9. Diskussion och slutsatser	26
10. Referenser	27
Förteckning över figurer	28
Tabellförteckning	29
Appendix A. Strålnivå i Solna strand 2003	30
Appendix B. Radondöttrar detekterbara i Solna strand anläggningen	31
Appendix C. Beräkningsprogrammet Kalkyl.	32

1. Inledning

Fastställandet av intern stråldos i människor kan baseras på direkta mätningar av personer. Alternativen är indirekta mätningar av exkret eller uppskattning utifrån kännedom om det radioaktiva innehållet i maten. Därifrån kan den intagna radioaktiviteten uppskattas och den interna dosen beräknas med användning av metaboliska och dosimetriska modeller.

Direkta mätningar av personer görs i en bakgrundsavskärmad laboratorium där ett antal detektorer placeras för att detektera gammastrålningen som utsändes av människokroppen. Helkroppsmätningar görs både i beredskapssituationer och i övervakningssyfte. Det har genomförts helkroppsmätningar i övervakningssyfte sedan 60-talet [1] [2]. Aktiviteten av cesium-137 och kalium-40 har följts på olika kontrollgrupper.

I många år låg SSM:s helkroppslaboratorium på Karolinska sjukhusets område och sedan 2004 ligger det i Solna strand. Det nya laboratoriet är formellt öppet och i operativ status från maj 2007. Samma detektorer från Karolinska anläggningen används nu i Solna strand men placering och mätgeometrin skiljer sig dock från tidigare.

Denna rapport presenterar egenskaper av den nya anläggningen och redovisar resultaten från första omgången av helkroppsmätningar i Solna strands laboratorium som utfördes 2007 på personer i den så kallade kontrollgruppen.

1.1 Omfattning av denna rapport

Solna strands helkroppslaboratorium innefattar tre olika mätsystem. I ett mätutrymme skärmat med bly, som ger väldigt låg bakgrundstrålning finns ett system med 3 natriumiodine detektorer (NaI) och ett andra system med en högupplösande Germanium detektor (HPGE). Det tredje systemet finns utanför mätutrymmet. Det innefattar en NaI detektor och används för bestämning av jod-131 ($I-131$) i sköldkörteln (Tyreoidea detektor).

Användningen av Tyreoidea- och HPGE systemet är inriktad mot laboratoriets beredskapsroll. Båda systemen hålls i drift för att vara redo att sättas igång vid beredskapshändelser då misstänkt jodkontaminering respektive identifiering av intagen radionuklid behövs. Beskrivningen av kalibreringsprocedurer och mätprocedurer för Tyreoidea- och HPGE detektorn inkluderas inte i den här rapporten.

Denna rapport omfattar bara systemet med 3 natriumiodine (NaI) detektorer, vilket används för bestämning av aktiviteten från identifierade radionuklider (kända a priori). Kalibreringar och beräkningsprogram finns för bestämning av cesium ($Cs-137$), kobolt ($Co-60$) och kalium ($K-40$) i kroppen. Systemet används för att följa aktiviteten i kroppen av personer i SSM:s kontrollgrupp

och andra personer där intern kontamination misstänks i samband med tillsyn eller beredskapshändelser.

1.2 Syftet med helkroppsmätningar av kontrollgruppen 2007

- Sätta igång Solna strands helkroppslaboratorium med avseende på myndighetsutövningen inom tillsyn, beredskap och miljöövervakning vad det gäller interndosimetri.
- Söka bevis på stabilitet och pålitlighet i det nya helkroppslaboratoriet genom att jämföra resultat för bakgrunder och aktivitetsmätningar mellan det nya och gamla laboratoriet.
- Fastställa bakgrunden, detektionsgränsen och osäkerhetsanalys med avseende på aktivitetsbestämningen av Cs-137 och K-40 för den nya installationen.
- Uppskatta doser för kontrollgruppen.

2. Fysikalisk bakgrund

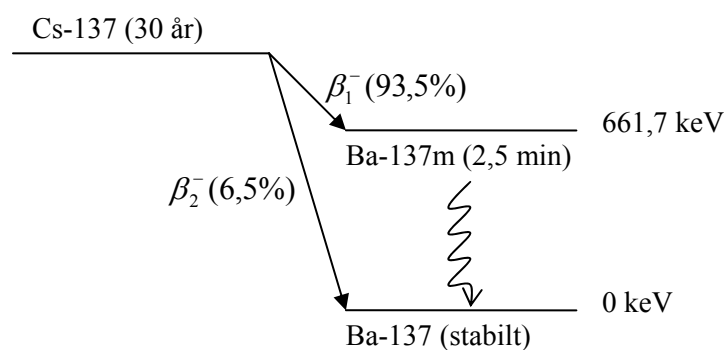
2.1 Cesium-137, Cs-137

Radioaktivt cesium-137 (Cs-137) är en fissionsprodukt av kärnvapensprängningar, kärnreaktorsdrift eller olycka. Det övervakas pga. dess förekomst sedan kärnvapensprängningar på 50-talet samt pga. Tjernobylyolyckan.

De flesta cesiumföreningar, även radioaktiva, är vattenlösliga och binder lätt ihop med fuktigt jord. De förekommer på marken och i grundvatten [4]. Ungefär 5 procent av det Cs-137 som spreds från Tjernobylyolyckan föll ner i Sverige, med ett högsta nedfall på ca 200 kBq/m² [5]. Cs-137 har en halveringstid på 30 år, vilket betyder att ungefär 70 procent av nedfallet återstår, det mesta bundet i marken och sjö- och havssedimenten.

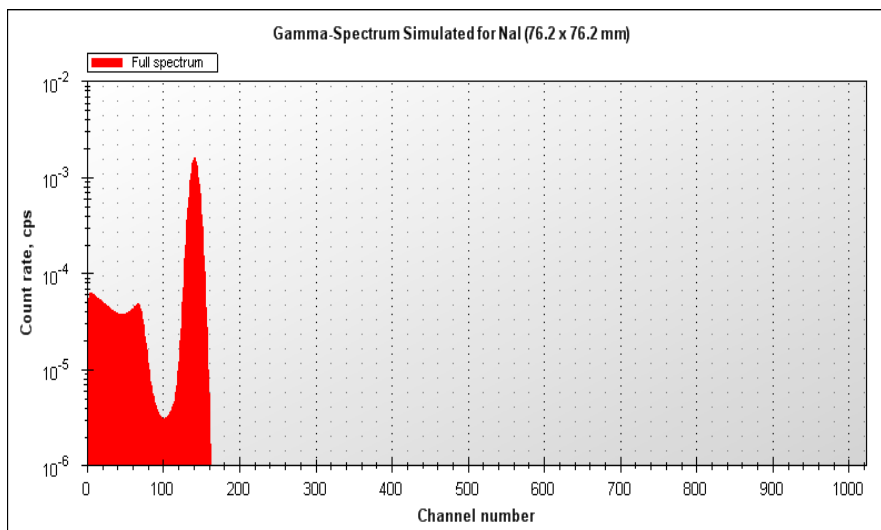
Huvudsakligen tas Cs-137 upp av korna från fodret och uppträder snabbt i mjölken. Andra källor av Cs-137 är också vilt, fisk, svamp och bär. Människor exponeras därför för Cs-137 genom intag av mjölk, fisk, kött, bär, svamp och vatten. Cs-137 absorberas i den gastrointestinala trakten. 85 procent av intaget Cs-137 deponeras i musklerna och skelettet [3].

Cs-137 sönderfaller genom att sända ut en elektron (β^- sönderfall). Antingen sker det direkt till barium, Ba-137 i grundtillstånd med 6,5 procent sannolikhet eller till metastabilt Ba-137m med 93,5 procent sannolikhet. Ba-137m utsänder gammastrålning vid 661,7 keV för att komma ner till stabilt Ba-137 med en halveringstid på 2,55 minuter. Avklingningsschemat visas i Figur 1.



Figur 1. Avklingningsschemat för Cs-137

Cesiumhalten i kroppen (Bq/kg) kan bestämmas med antalet gammasönderfall per sekund i Cs-137 intervallet av gammaspektrumet och lämpliga kalibreringsfaktorer. Ett typiskt gammaspektrum uppmätt på en Cs-137 punkt källa med högupplösande HPGe detektor (HPGe) visas i Figur 2.

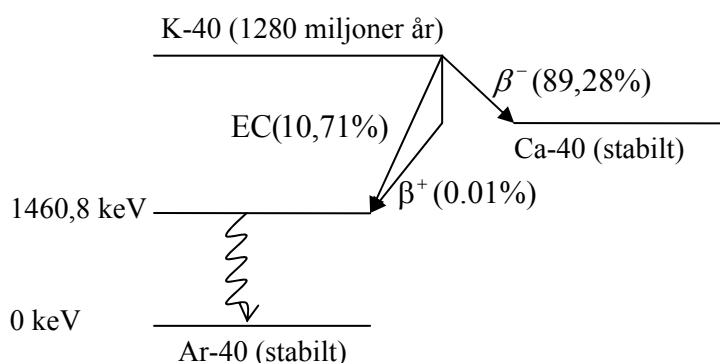


Figur 2. Spektral respons från en NaI-detektor (1024 kanaler) till en punkt preparat av Cs-137 (simulering från "The spectrum generator" i www.nucleonica.net).

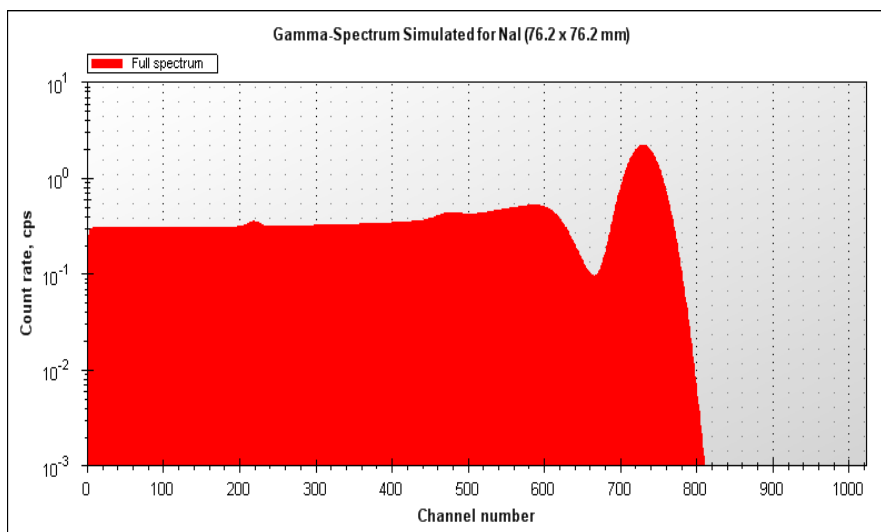
2.2 Kalium-40, K-40

Radioaktivt kalium (K-40) är naturligt förekommande och det finns jämnt fördelat i människokroppen. K-40 finns i marken, berg, jord, växter och i de flesta biologiska substanser och har en halveringstid på 1280 miljoner år. I människokroppen kommer det från intag av födan. Skillnad i medelkaliumhalt mellan olika individer beror på att de har olika fördelningar mellan olika vävnadstyper som lågaktivt fett och högaktiva muskler [1], [2].

K-40 sönderfaller antingen via β^- sönderfall till stabilt Ca-40 med 89,28 procent sannolikhet eller till ett instabilt tillstånd av Ar-40 via konkurrens av elektronisk intagande (EC) med 10,71 procent sannolikhet och β^+ sönderfall med 0,01 procent, se Figur 3. Instabilt Ar-40 utsänder gammastrålning vid 1460,8 keV. Gammalspektrum uppmätt med HPGE detektor visas i Figur 4.



Figur 3. Avklingningsschemat för K-40.



Figur 4. Spektral respons från en NaI-detektor till en punkt preparat av K-40 (simulering från www.nucleonica.net).

2.2.1 Teoretisk uppskattning av totala kaliumhalten i människokroppen

Det mest noggranna sättet för att bestämma den totala kaliumhalten (total body potassium, TBK) i människokroppen är en faktisk mätning av K-40 aktiviteten i kroppen med helkroppsmätning. TBK kan beräknas eftersom den isotopiska mängden av K-40 i naturligt kalium är känd. Förhållanden mellan halten av K-40 och TBK är: $K-40 \text{ (mmol)}/TBK \text{ (mmol)} = 0,000118$ [5], [6]. För att använda direkta uppmätta Bequerel av K-40 med syftet att beräkna TBK gäller:

$$TBK \text{ (mmol)} = \frac{K40 \text{ (Bq)} / a_{K40} \text{ (Bq/g)}}{0,0391 \text{ g/mmol}} \quad (1)$$

Där a_{K-40} är den specifika aktivitet av K-40, dvs. hur många avklingningar som sker i ett gram av K-40. Detta är lika med 285000 Bq/g gånger den isotopiska mängden av K-40, 0,000118, som är 30,4 Bq/g. Konstanten 0,0391 är antal gram av kalium som finns i ett mmol.

Det finns också teoretiska metoder för att bestämma den totala kaliumhalten i människokroppen. Den mest kända moderna studien är från 2003 som jämför uppmätt och beräknad skelett och muskelmassa på 300 friska personer [7]. Mätningar är utförda med magnetisk resonans (Magnetic Resonance Imaging, MRI) och beräkningsmodellen anger förhållandet mellan muskelmassa och den totala kaliumhalten i kroppen (total body potassium, TBK).

Resultat från studier där TBK har uppmätts via helkroppsmätningar stämmer bra överens med det teoretiska resultatet. En av dessa experimentella studier publicerades redan 1972 [8] där anges både resultat från mätningar och jämför-

förelse med en empirisk modell för beräkning av TBK med uppgifter om individens kön, vikt, längd och ålder.

Ett experiment som stämmer bra överens med denna empiriska modell är bland andra ett från Sahlgrenska sjukhuset [9] i Göteborg. Där sammanfattas TBK resultat från helkroppsmätningar på 19 olika grupper friska individer i olika perioder mellan 1962–1980. Grupperna var representativa av populationen med avseende på ålder, kön och hemtrakter.

Empiriska modellen från [8] gäller fortfarande idag. Formlerna baseras på de korrelationer som observerades mellan de oberoende variablerna (kön, vikt, längd och ålder) och TBK. Modellen anger för respektive man (*m*) och kvinnor (*k*) att:

$$TBK (mmol) = 23,96 \cdot BW + 35,15 \cdot BH - 12,09 \cdot Age - 3762 (m) \quad (2)$$

$$TBK (mmol) = 14,76 \cdot BW + 22,07 \cdot BH - 9,05 \cdot Age - 1669 (k) \quad (3)$$

Där:

BW.- individens kroppsvikt i kilogram

BH.- individens längd i centimeter

Age.- åldern

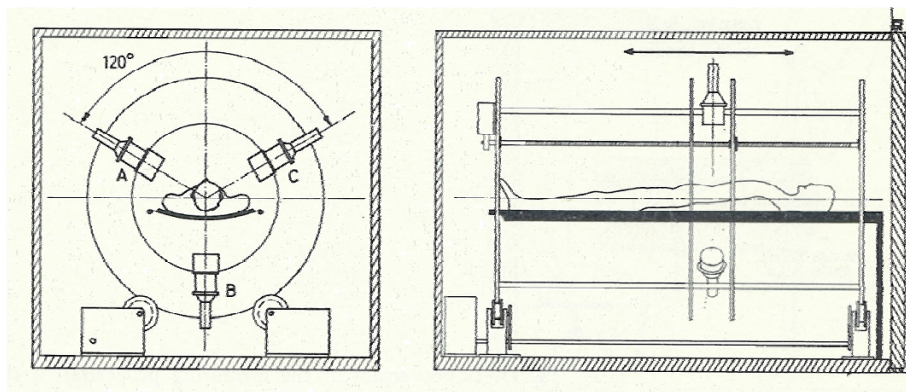
3. Laboratoriets anläggningar på Karolinska sjukhusets område och Solna strand

3.1 Mätningens geometri, bakgrundsavskärmning och ventilation

3.1.1 Laboratoriet på Karolinska sjukhusets område

Ett av de första helkroppslaboratorierna i världen startades 1964 av Rolf Sievert på Karolinska området inom gamla SSI-verksamheten. Mätgeometrin på Karolinska labbet visas i Figur 5. Ursprungligt mätsystem förnyades på 80-talet med NaI detektorer och elektronik i NIM¹-standarden som fortfarande används idag i Solna strand. På hjulet satt de 3 NaI(Tl) detektorerna (5" x 4") med ett avstånd till ryggen på 40 cm. Hjulet rörde sig längs med kroppen fram och tillbaka 4 gånger med 21 cm/min. Den rörde sig också med vridning över kroppen 2 x 120 grader, vilket tog 23 sekunder. En helkroppsmätning tog ca 40 min [1].

NaI detektorerna består av en stor kristall av natriumjod innesluten i ett fukt-tätt hölje av rostfritt stål och en genomskinlig glasskiva som ett PM²-rör är optiskt kopplad till. Glaset i PM-röret innehåller kalium.



Figur 5. Mätgeometri för helkroppslaboratoriet i Karolinska området

Mätsystemet bestod av mångkanalanalysator (MCA) typ ND 9000, 512 kanaler per spektrum (10 keV/kanal), högspänningsaggregat Oltronix gemensam för de tre detektorerna och en gemensam förstärkare. Detektorerna var försedda med avskärmning med blycylindrar runt detektorerna.

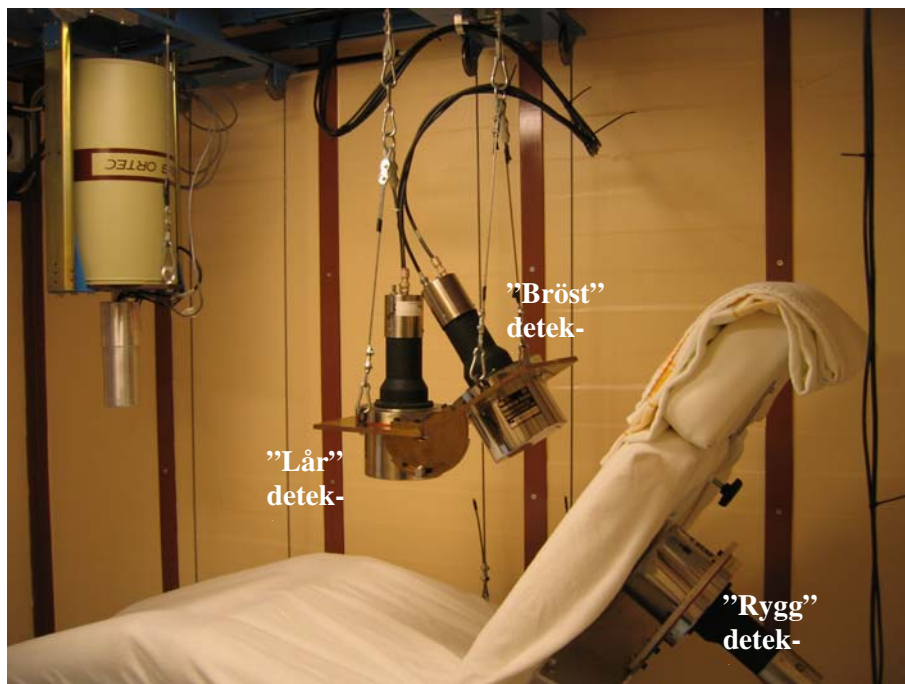
¹ Nuclear Instrumentation Module var första standard med riktlinjer för fysiska och funktionella specifikationer för 'backplane connected modules' i kärn- och strålningsfysik instrumentering som kom 1968.

² Photomultiplier.

Hela laboratoriet hade en yta på 5 x 10 m. Laboratoriet låg två våningar under entréplanet och var byggt direkt på berggrunden. Bygget var gjort av en låg aktivt cementsort med låg halt av radium, torium och kalium. Taket och golvet var 80 cm tjocka och väggarna 60 cm. Luftintaget till utrymmet befann sig 4 m över marken. Själva mätutrymmet var ett blyrum med 4 cm tjocka väggar och tak, 8 cm tjockt golv och dörr med en total vikt på 15 ton [1].

3.1.2 Laboratoriet i Solna strand

I Figur 6 visas mätgeometrin på nuvarande anläggningen i Solna strands laboratorium. Undersökningsspersonen ska sitta i en stol där NaI detektorerna är fasta i sina positioner omkring stolen; de är placerade för ”bröst”, respektive ”lår” och ”rygg” positioner. Distansen mellan personen och de två första detektorerna justeras beroende på personens vikt. Detektorerna är de samma som var på Karolinska laboratoriet. Elektroniken är också bevarad och fungerar korrekt.



Figur 6. Bild av mätgeometrin i nuvarande helkroppslaboratoriet i Solna strand.

Spektra insamling från detektorer läses in, via MCA, i mjukvaran MAESTRO från ORTEC. I Tabell 1 anges MAESTROs ingång som tillhör detektorerna ”bröst”, ”lår” och ”rygg”. Ingångarna bestäms i MAESTRO-verktyget MCB (multichannel buffers) för datainsamlingen från hårdvara, se [10] och [11].

Tabell 1: Ingång för datainsamling från varje detektor i mjukvara MAESTRO.

Detektor	Port för datainsamlingsingång i MAESTRO
"Lår"	6
"Bröst"	7
"Rygg"	8

Bakgrundsavskärmningen är inte lika kraftfull i Solna strand som den var i laboratoriet på Karolinska sjukhuset. Laboratoriet ligger en trappa ner under entréplanet. Tjockleken på väggar, tak och golv är 30 cm. Även väggar i Solna strands laboratorium är gjorda av lågaktiv betong med låg halt av radium, torium och kalium. Däremot är ventilationssystemets luftintag ganska nära berggrunden vilket gör att en viss mängd av radondöttrar alltid finns i luften. Själva mätutrymmet är ett blyrum med yta på 3 x 3 m, 4 cm tjocka väggar, tak, golv och dörr med en total vikt på ungefär 15 ton [1].

En sammanfattning av strålnivåmätningar gjorda 2003 före och efter gjutningen av väggar, tak och golv bifogas i Appendix A.

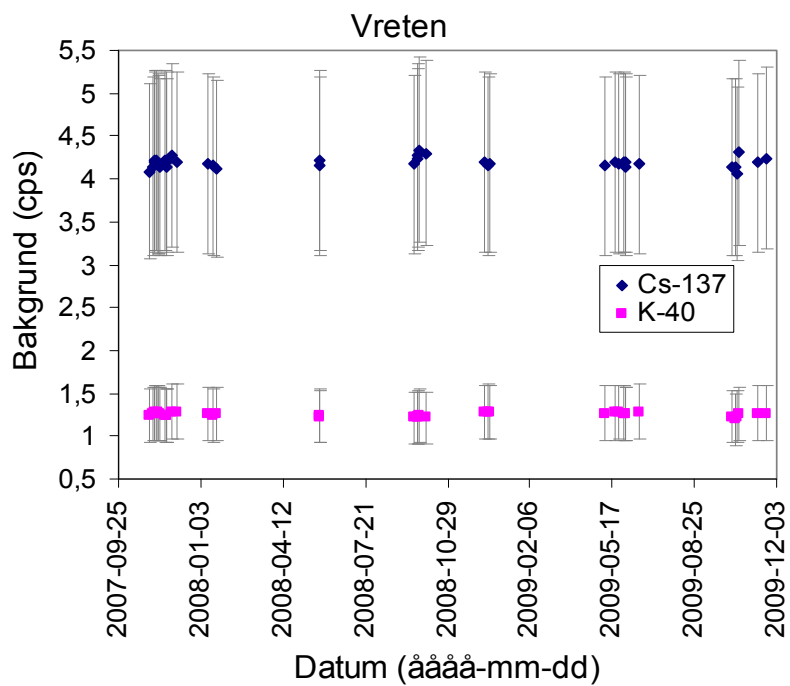
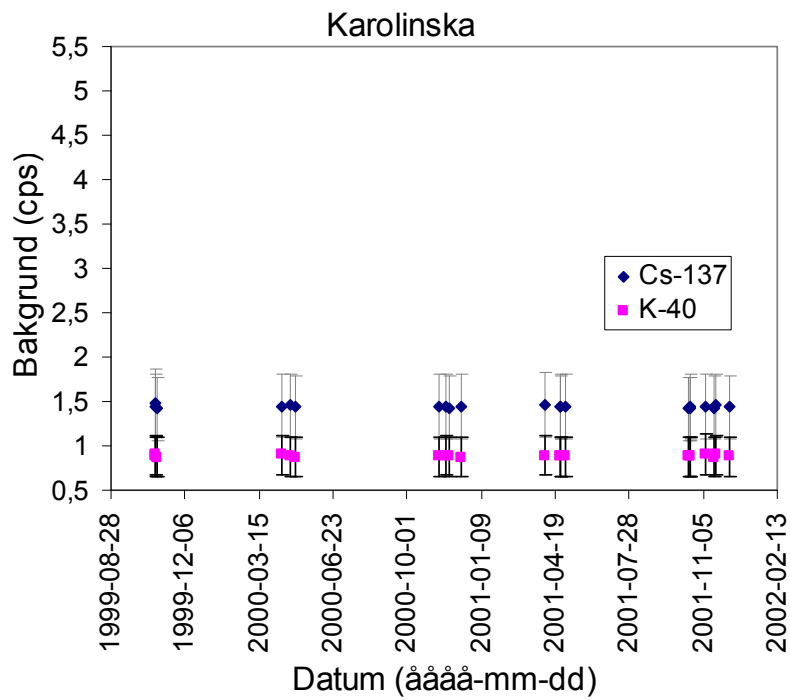
4. Bakgrundsjämförelse mellan Karolinskas och Solna strands labb

Bakgrundsstrålningen kommer från radioaktiva ämnen i omgivningen, såsom materialet i väggar, tak och golv, från den kosmiska strålningen, från radioaktiva ämnen i luften som bl.a. radon-, thorons dotterprodukter samt från detektorerna själva.

Bakgrundsmätningar i count rate (cps) på Karolinska labbet jämfört med mätningar i Solna strand visas i Figur 7. I det nya labbet är bakgrundspulserna lika stabila som förut. Det visas dock en högre gammasignal i nya labbet för alla energiintervaller av intresse. Mättid för bakgrunden är 48 000 sekunder. För Cs-137 visar sig skillnaden vara cirka 3 gånger högre pulser i Solna strand. Också osäkerheten vad gäller Cs-137 pulser är större i Solna strand.

Mindre kraftfull bakgrundsavskärmning och frånvaro av blycylindrar runt detektorerna gör att bakgrundspulserna i Solna strand är högre än vid KS. Vi ser mer förhöjning i Cs-137- intervallet än i K-40- intervallet, detta pga. radon döttrar i luften som har gammalinjer med energier under K-40 - energiintervallet. Se Appendix B för en sammanfattning om gammalinjer som förekommer pga. radon döttrar i laboratoriets luft.

För K-40 är antalet pulser också högre men skillnaden är bara 5 procent. Materialet i helkroppsrummet är nästan den samma, vilket är anledningen till det likartade kalium- "innehållet". En dosratmätning genomfördes på Karolinska labbet, med resultatet 20 nSv/h. I Solna strands labb uppskattas dosraten till cirka tre gånger högre värde, dvs., 60 nSv/h [1].



Figur 7. Bakgrundsmätning i cps för Karolinskas mätutrymme och Solna strands mätutrymme. Tidserie för Karolinska innehåller data från 1999-08-28 till 2002-09-05 och för Solna strand från 2007-09-25 till 2008-10-29.

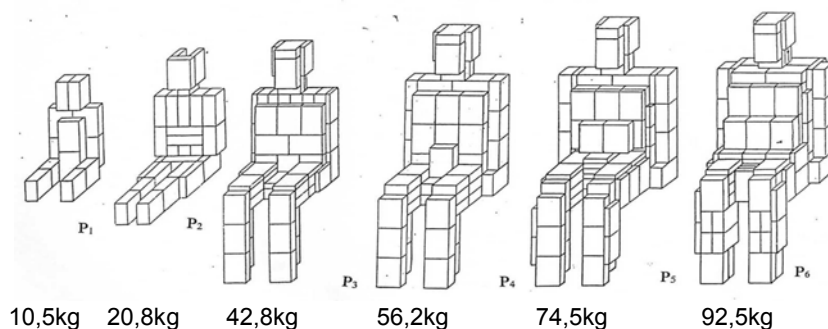
5. Helkroppsmätning- procedur i Solna strand

5.1 Kalibrering

Att kalibrera för helkroppsmätningar innebär att hitta kvoten mellan en känd aktivitet fördelat i ett phantom och motsvarande detektor respons. Den kvoten är kalibreringsfaktorn. Kalibreringsfaktorn beror på gammaspektrum, mätgeometrin, phantomsstorlek, form och material. Sedan används kalibreringsfaktorer för de intressanta energierna i kända spektrum för att beräkna aktiviteten för respektive energi vid mätning av personspektrumet.

En punktkälla av Cs-137 används för energikalibreringen. Ett exempel av en NaI detektor respons till en punktkälla av Cs-137 visas i Figur 2. Förstärkarna justeras manuellt för att Cs-137 toppen ($E = 661,5 \text{ keV}$) ska hittas på kanal 164 för varje detektorspektrum. Vid eventuell energidrift kan förstärkarna korrigeras med hjälp av Cs-137 punktkällan. Detaljerade instruktioner finns på labbet.

För kalibrering med avseende på aktivitet, effektivitetskalibreringen, använder vi stavar av K-40, Cs-137 och Co-60 med känd aktivitet som placeras jämt fördelat i ett phantom som heter Irina. En bild på de olika storlekarna som Irina kan byggas upp av visas i Figur 8.



Figur 8. Phantom Irina. Totalt kan sex olika konfigurationer av phantomet byggas för kalibrering.

I Tabell 2 anges antal block av de två olika delarna som phantomet kan byggas med. Aktivitet för varje radionuklid och phantomskonfiguration anges också. Referensaktiviteten har 3 procent total osäkerhet enligt certifikat.

Tabell 2: Kalibreringsgeometrier av fantomen Irina och motsvarande aktiviteter.

Irina geom	Byggt med		Vikt (kg)	Längd (cm)	Beräknad aktivitet (Bq)		
	små delar	stora delar			K-40	Cs-137	Co-60
P1	-	12	10,6	82,5	970	4650	3358
P2	6	21	20,9	121	1937	9300	6747
P3	28	36	40,9	160	4192	19402	14031
P4	2	69	61,5	170,5	5090	27179	19649
P5	36	72	77,8	170,5	7018	34955	25267
P6	40	90	95,2	170,5	8608	41249	29789

I Figur 9 visas geometri P4 av phantomet Irina i stolen inför insamlingen av ett kalibreringsspektrum.

Kalibreringar innebär flera timmars jobb eftersom en mätning utförs för varje radionuklid och geometri av phantomet. Sammanlagt utfördes 18 mätningar: 6 geometrier för varje radionuklid, Cs-137, Co-60 och K-40. Den första kalibreringen i Solna strand gjordes 2006 och används i dag. Vid eventuella förändringar av mätutrymme, mätförhållanden (byte av stol, detektorers positionering) eller ersättning av mätsystem antingen detektorer, elektroniken eller mjukvara måste kalibrering utföras på nytt.



Figur 9. Geometri P4 av phantomet Irina på stolen i mätutrymme.

Kalibreringsfaktorer appliceras vid mätning på en person beroende på energiintervallet (Cs-137, K-40), personens vikt och mätgeometri. I Tabell 3 anges de kalibreringsfaktorer som har använts i aktivitetsbestämningen av kontrollgruppen 2007.

Spektrumdata insamlas från de tre detektorerna i mätutrymme med hjälp av insamlingsverktyg Maestro från ORTEC.

Programmet för aktivitetsberäkningen utvecklades in-house av Rolf Falk och Leif Nyblom från Strålsäkerhetsmyndigheten. Programmet heter Kalkyl och

är utvecklat i Visual Basic; det beräknar personens aktivitet med input av uppmätt counts per sekund i energiintervallerna för K-40, Cs-137 och Co-60 från de tre NaI detektorerna, beräkningen innefattar bakgrundsdata och kalibreringsfaktorer [1], [12]. En övergripande beskrivning av programmet är given i Appendix C.

Tabell 3: Kalibreringsfaktorer vid helkroppsmätning med NaI systemet i mätutrymme i Solna strands laboratorium. Alla kontrollgrupp deltagare klassas mellan P4 – P6 vikter.

Irina geom	Kalibreringsfaktorer (cps/Bq)		
	Cs-137	Co-60	K-40
P4	0,00755	0,01372	0,00037
P5	0,00604	0,01050	0,00025
P6	0,00584	0,01032	0,00032

) .2 Mätprocedur

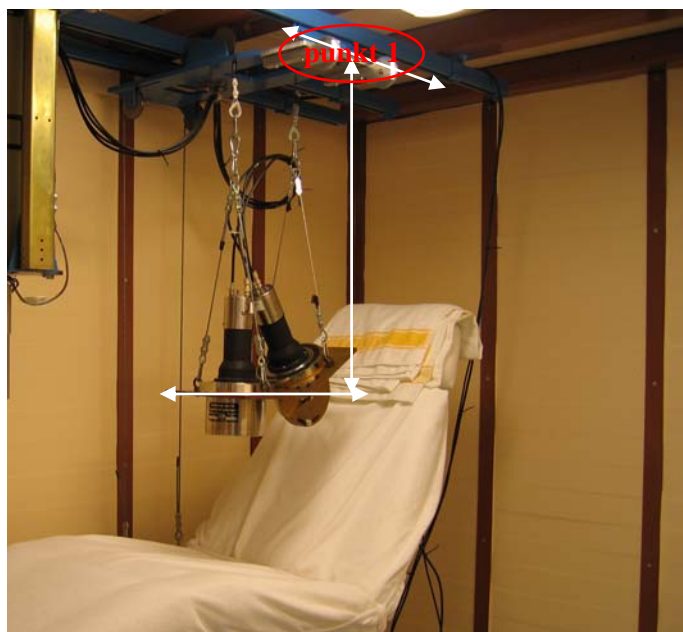
Förutsatt att korrespondensen mellan energi och kanaler stämmer bra, att effektivitetskalibrering är utförd och att en bakgrundsmätning finns registrerad är utrustningen redo för mottagning av personer för helkroppsmätning.

Datum, tid och personsvikt noteras. Beroende på personens vikt fastställs mätgeometri. Detektor ”rygg” är stationär medan detektorer ”lår” och ”bröst” kan röras vertikalt och horisontellt.

I horisontella riktningen ska detektorer ”lår” och ”bröst” alltid placeras i punkt 1, Figur 10. På labbet är punkten markerad med svart tejp. Vad det gäller den vertikala riktningen, mäts avståndet från punkt 1 till mätningpunkten, Figur 10. Måttband finns vid punkt 1 för att ställa vertikala avståndet. I Tabell 4 anges avstånd på detektorer ”lår” och ”bröst” med hänsyn till personens vikt. En mätning på en person tar en halvtimme.

Tabell 4. Avstånd för detektorer ”lår” och ”bröst” för olika gruppvikter

Personens vikt (kg)	Avstånd (Fig. 10) för detektorer bröst och lår från punkt 1 (cm)
0–15	77
15–30	77
30–50	74
50–69	70
69–85	64
> 85	64



Figur 10. För detektorerna "lår" och "bröst" fastställs mätgeometrin genom att man placerar dem på punkt 1 i den horisontella riktningen och fastställer det vertikala avståndet med måttband.

6. Detektionsgräns (L_D) i Solna strands laboratorium

L_D , "limit of detection" [13], karakteriserar mätprocessen och ger en idé om utrustningens och metodens känslighet 'a priori'. Med L_D besvaras frågan om minsta antal pulser som kan detekteras med angiven risk. Ofta accepteras risker under 5 procent (95 procents konfidens), vilket innebär Gaussian-fördelad fraktil, $k = 1,645$. Antagande om en Gaussiansk process är lämpligt även om det inte finns en radioaktiv källa utan bara bakgrund (mätning på brus) [14], [15].

För de flesta tänkbara riskerna (ner till 0,0001 procent) är k alltid mindre än 5 och L_D kan anges som [16]:

$$L_D = 2k \cdot \sqrt{\mu_B \left(1 + \frac{1}{m}\right)}, \quad (4)$$

där μ_B är medelvärdet för bakgrundspulser i cps och m är antal gånger som bakgrunden har varit uppmätt. För $k = 1,645$ och många mätningar Eq. (1) blir $L_D \cong 3 \cdot \sqrt{\mu_B}$.

Personer från kontrollgruppen har mätts under en halvtimme medan bakgrunder har mätts en hel natt. För att få rätt värde på "counting"-standardavvikelse ($\sqrt{\mu_B}$) för energiintervallerna för Cs-137 och K-40, gjordes en tom mätning under en halvtimme då aktiviteten beräknades med antaganden om vanlig bakgrunds mätning och en referensperson på 75 kg.

Detektionsgränsen på nuvarande labb/metod är 20 Bq för Cs-137 och 300 Bq för K-40, med 95 procents konfidens. För båda energiintervallerna gäller en halv timmes mätning med geometrin som motsvarar en 75 kilo tung person. Se Tabell 5.

Tabell 5. Detektionsgränsen i Solna strandlaboratoriet.

	Detektionsgräns (Bq)
Cs-137	22
K-40	300

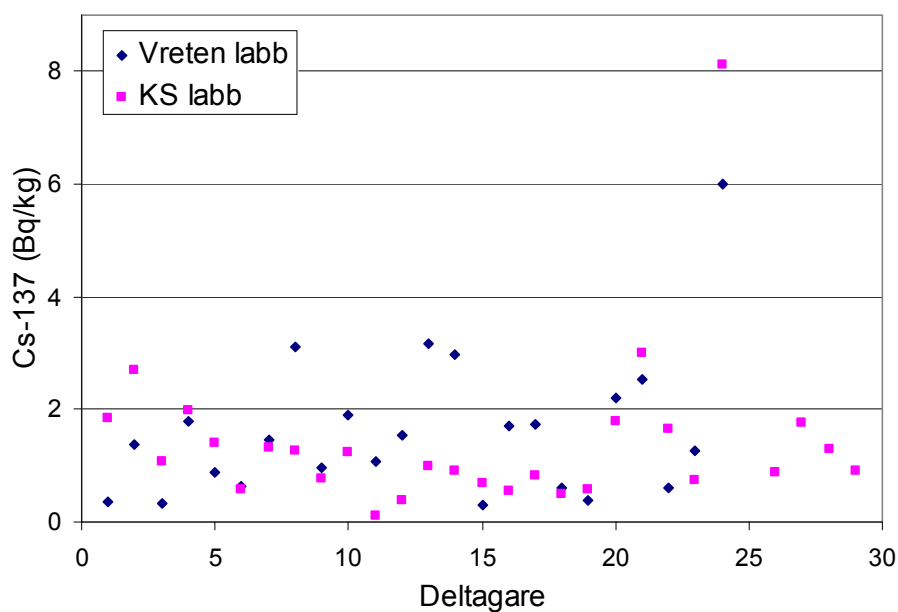
7. Resultat av första kontrollgruppsomgången i Solna strand

7.1 Mätningresultat

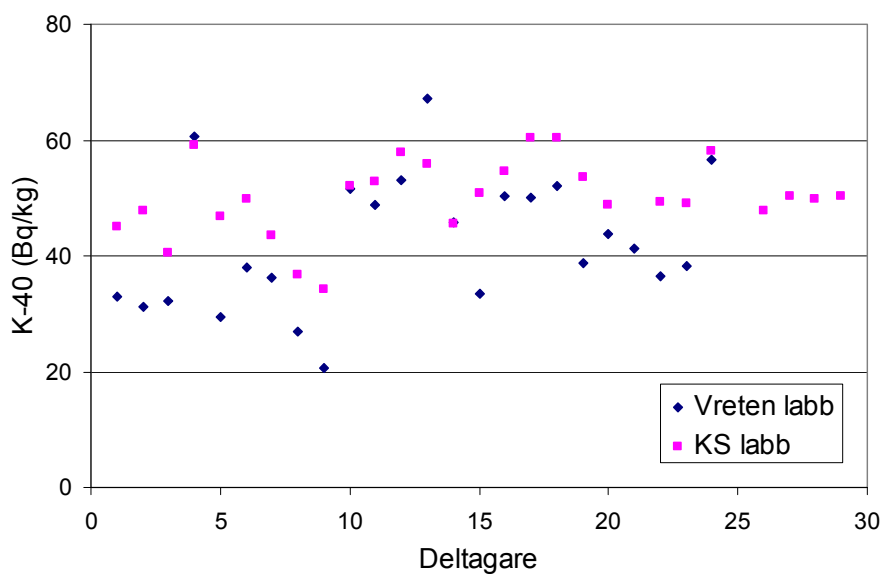
För att kunna jämföra de två laboratorierna eftersträvade vi att mäta på samma grupp människor som ingick i den sista kontrollgruppsomgången på Karolinska sjukhuset, men alla kunde inte delta. Tjugofyra personer deltog i kontrollgruppen 2007. Figur 11 och Figur 12 visar aktivitetskoncentrationer ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) för sista omgången av kontrollgruppen i Karolinska labbet jämfört med resultatet från Solna strand 2007, för respektive Cs-137 och K-40.

Cs-137-värdena kan vara både lägre och högre än vad tidigare mätresultat visat jämfört med Karolinska laboratoriet. Vi har konstaterat att den ändrade mätgeometrin i Solna strand innebär en viktig förändring. Medan radioaktiviteten i kroppen är ungefär jämnt fördelat täcker detektorerna i Solna strand mest kroppens centrala delar, vilket på Karolinska var omhändertaget av ett skanningsystem, se Figur 5. I det nya laboratoriet befinner sig detektorerna närmare kroppen än tidigare, vilket gör att systemet är mycket känsligare för avvikelser mellan mätgeometrin vid kalibrering och riktiga mätningar.

K-40-halten i gruppen är definitivt lägre i Solna strand än vad som tidigare uppmätts på Karolinska laboratoriet med undantag av två fall. Mindre K-40 pga. muskelmassa och naturlig förminskning kan inte vara orsaken eftersom förändringar i kaliumhalten hos friska personer under 70 år är väldigt små, nästan inte mätbara.



Figur 11. Cesiumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003 och Solna strand 2007.



Figur 12. Kaliumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003 och Solna strand 2007.

7.2 Solna strands korrektionsfaktor, Kfaktor

Kaliumhalterna verkar vara underskattade i det nya laboratoriet. Faktum är att vi teoretiskt kan beräkna riktiga kaliumhalten och det är därför vi har valt att jämföra resultat från tillämpning av modellen [6] som beskrivs med ekva-

tioner (2) och (3), med uppmätta värdena. En kalium-korrektionsfaktor är lika med kvoten mellan modellens kaliumhalt och uppmäts kaliumhalt. Korrektionsfaktorn är individuellt för varje person och ska också appliceras på uppmätta Cs-137-värdena.

Vi definierar en kalium-korrektionsfaktor som:

$$Kfaktor = \frac{{}^{40}K_{teori}}{{}^{40}K_{uppmätt}} \quad (5)$$

Där:

${}^{40}K_{teori}$ beräknas enligt ekvationer (1) eller (2) för respektive man eller kvinna för varje deltagare
 ${}^{40}K_{uppmätt}$ individuella värdena uppmätta i nya anläggningen i Solna strands laboratorium.

Korrigerade värden på uppmätt resultat i Solna strand är då lika med teori-värden för kalium och för cesium dessa beräknas som:

$${}^{137}Cs_{vreten} = {}^{137}Cs_{uppmätt} \cdot Kfaktor \quad (6)$$

7.3 Osäkerhetskällor i helkroppslaboratoriet i Solna strand

Vad det gäller den relativa mätosäkerheten innefattar rapporten från beräkningsprogrammet Kalkyl den statistiska osäkerheten från detektionsprocessen som också inkluderar fluktuationer i bakgrunden.

Tabell 6 anger relativa osäkerheter beträffande alla osäkerhetskällor i mätningprocessen.

Den relativa totala osäkerheten för de korrigerade aktiviteterna är summan av relativ mätosäkerhet och relativ osäkerhet i korrektionsfaktorn:

$$\left(\frac{\sigma_{vreten}}{Akt_{vreten}} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_{uppmätt}}{Uppmätt} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Kfaktor}}{Kfaktor} \right)^2 \quad (7)$$

Observera att som tidigare nämnts är den korrigerade kaliumhalten lika med den teoretiska kaliumhalten. Däremot har korrigerade kaliumhalten en relativ mätosäkerhet enligt ekvation (7).

Tabell 6. Relativa osäkerheter för alla komponenter i mätosäkerheten

Osäkerhetskälla (Typ)	Relativ osäkerhet (%) [*]		
	Lågenergiintervall (E<500 keV)	Mellanenergiintervall (500<E<1000 keV)	Högenergiintervall (E>1000 keV)
Räkningsstatistik inklusive bakgrund fluktuationer (A)	**	**	**
Kalibreringsstandard (B)	— ^{***}	3	3
Detektors positionering (B)	2	2	2
Stols positionering (B)	1	1	1

^{*} värdena i första rad är energioberoende

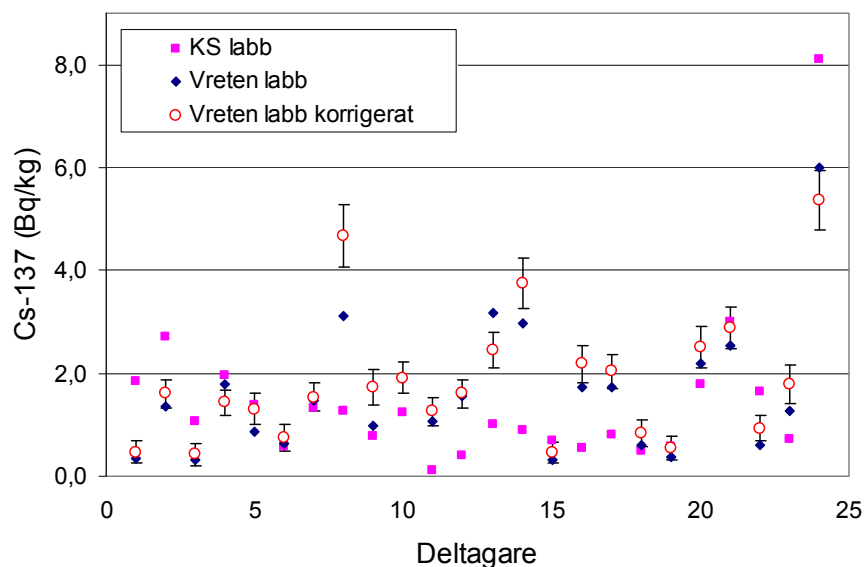
^{**} anges i mättningsprotokollen; det konstateras att de ligger mellan 3 – 20 procent och fluktuationer är större vid låga energier (dvs. för Cs-137) och för aktiviteter som är nära detektionsgränsen

^{***} för närvarande finns kalibreringspreparat bara för cesium, kobolt och kalium

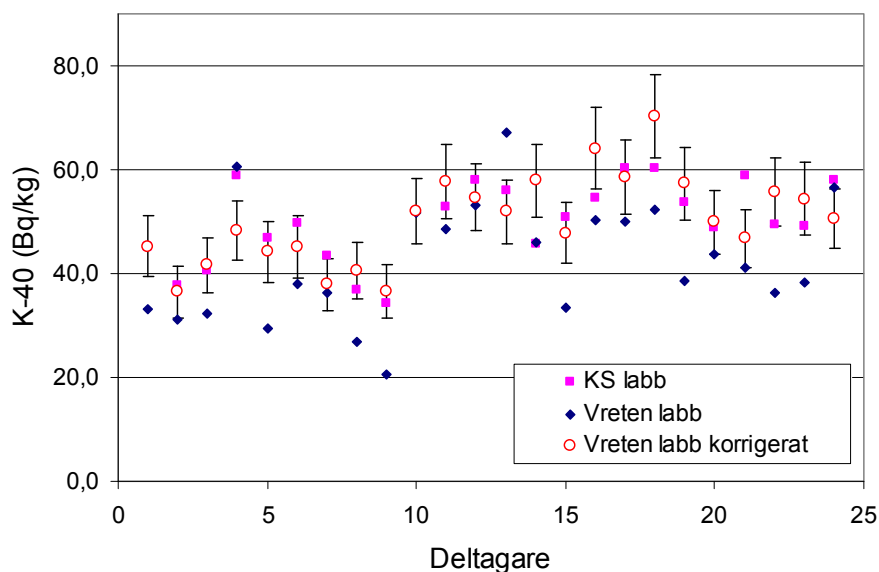
Osäkerheten i korrektionsfaktorn beror på osäkerheten i den teoretiska modellen för beräkning av kalium. Enligt modellen har teorivärden för K-40 en osäkerhet på 5 procent med 95 procents konfidens [8].

7.4 Kontrollgruppens resultat korrigerat

Korrigerade cesium- och kaliumhalter visas i Figur 13 och Figur 14. Relativ total osäkerhet inkluderades.



Figur 13. Cesiumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003, Solna strand 2007 och Solna strand:s korrigerade värden plus osäkerhetsintervall.



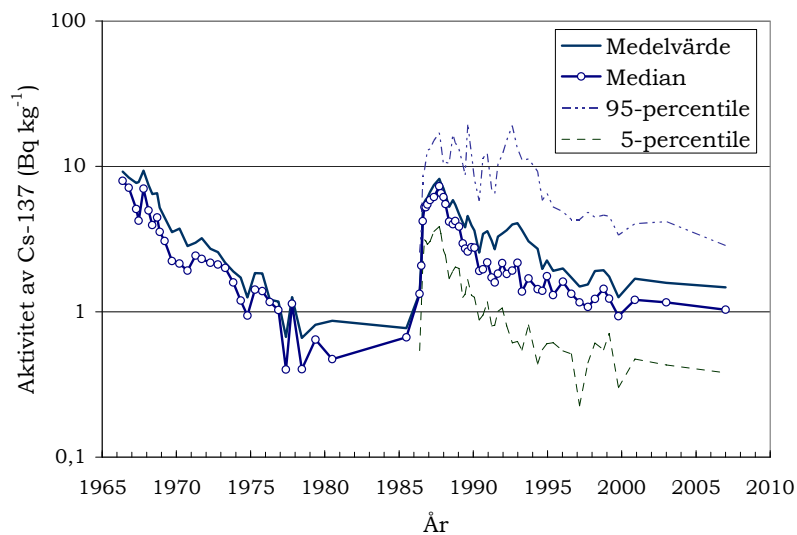
Figur 14. Kaliumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003, Solna strand 2007 och Solna strand:s korrigerade värden plus osäkerhetsintervall.

Korrigerade kaliumhalter plus osäkerhets intervall stämmer oftast bättre överens med de tidigare mätningarna från Karolinska laboratoriet än värdena utan korrektion. Korrektionen för cesium förväntas har minimerat påverkan av den nya (lite sämre) mätupställningen. Tabell 7 visar jämförelse mellan aktiviteter (Bq/kg) från sista mätningen på KS och mätningen i Solna strand utan och med korrektionen.

Tabell 7. K-40 aktiviteter från sista kontrollgruppsomgången på KS jämfört med mätresultat i Solna strand. Solna strands resultat visas med och utan korrigering.

	KS labb	Solna strand labb utan korr.	Solna strand labb med korr.
Medelvärde	50,1	42,3	50,2
Median	50,3	39,9	50,2
5-percentil	36,9	27,3	36,8
95-percentil	60,1	60,0	63,2

I Figur 15 inkluderas korrigerade resultat för Cs-137 från Solna strand 2007 samt kontrollgruppens historia sedan 60-talet. Både medelvärdet samt medianen ligger väl till i förhållande till uppskattningen för avklingning, vilket pekar på pålitliga resultat.



Figur 15. Cesiumhalten i olika kontrollgrupper sedan 1960-talet.

8. Dosuppskattning av kontrollgruppen i Solna strands laboratorium

K-40 halterna kan omräknas till effektiv dos med doskoefficienten 0,003 mSv·år⁻¹ per Bq·kg⁻¹ [17]. Figur 16 visar kontrollgruppens fördelning av individuella doser för kaliumhalt.

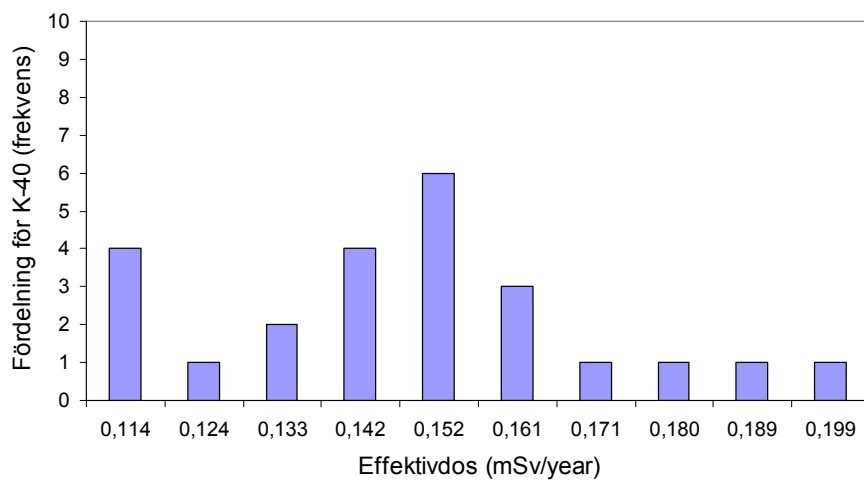
Medeldosen från kaliumhalten i kroppen för SSMS kontrollgrupp 2007 är 0,149 mSv·år⁻¹. Tidigare uppskattning på representativt urval av Sveriges befolkning som utfördes i perioden 1987–1994 (totalt 359 personer) resulterade i en medel dos på 0,15 mSv·år⁻¹ [2]. I samma studie har individuella doser uppskattats variera mellan 0,08 och 0,25 mSv·år⁻¹.

Kroppsinnehållet av Cs-137 omräknas till dos enligt ett viktberoende samband som följer [18]:

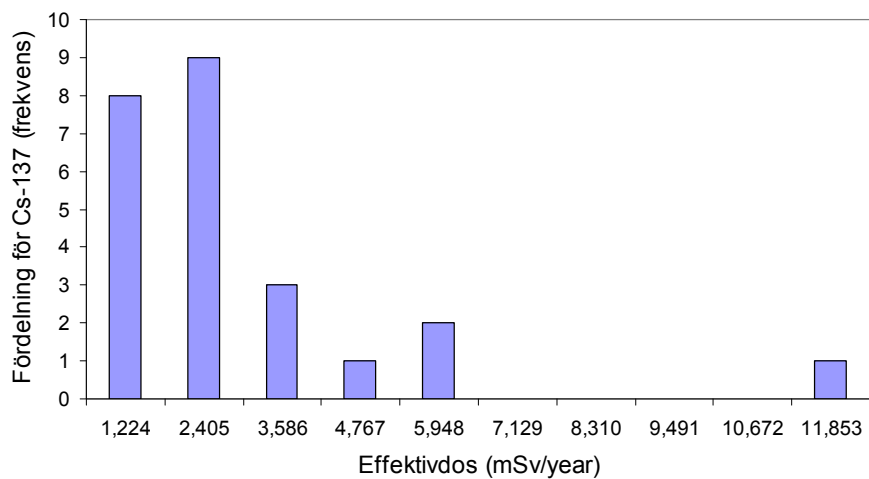
$$E = a \cdot 0,0014 \cdot m^{0,111}, \quad (5)$$

där E är effektiv dos (mSv·år⁻¹), a är aktivitetskoncentrationen (Bq·kg⁻¹) och m är kroppsvikten (kg).

I Figur 17 visas kontrollgruppens fördelning av individuella doser för cesiumhalten. Medel dos från cesiumhalten i kroppen för Strålsäkerhetsmyndighetens kontrollgrupp 2007 är 3,3 µSv·år⁻¹. I tidigare refererad studie har en interndos från Cs-137 uppskattats till 2,5 µSv·år⁻¹, med betoning på stora variationer mellan de olika befolkningsgrupperna. Variationen kan vara upp till 30 procent.



Figur 16. Fördelning av effektivdosen från K-40 uppmätt på SSM:s kontrollgrupp 2007 i Solna strands laboratorium.



Figur 17. Fördelning av effektivdosen från Cs-137 uppmätt på SSM:s kontrollgrupp 2007 i Solna strands laboratorium.

9. Diskussion och slutsatser

I denna rapport har vi utvärderat de uppmätta värdenas pålitlighet i det nya helkroppslaboratoriet genom att jämföra resultat för bakgrunder och aktivitetsmätningar mellan det gamla och nya laboratoriet. Både bakgrunder och person – mätningar visade stabilt resultat, dvs. de är reproducerbara. Dock konstaterades att nya laboratoriet har relativt högre bakgrund, är mindre känsligt och mätgeometrin har försämrats.

Bakgrunden i den nya anläggningen har övervakats under perioden 2007–2009. Vi har konstaterat att förhöjd bakgrund jämfört med tidigare beror främst på anläggningens ventilationssystem och därför förekommer radondöttrar i anläggningen. En direkt konsekvens av förhöjd bakgrund är att missta detekterbara aktiviteten är högre jämfört med den tidigare.

Mätgeometriproblemet ligger huvudsakligen i att bårn med skanningssystemet har ersatts med en stol med stationära detektorer. Nackdelen med det är att det ger större avvikelser av kalibreringsgeometrin gentemot personmätningens geometrin. På stolgeometrin är detektorerna placerade nära kroppen och därför blir positionering en känslig faktor. Detta leder till underskattade värden av kalium-40. Den nya geometrin är tillräckligt god för beredskaps-syften men det blir svårare att följa små förändringar vid mätning av låga aktiviteter än med den föregående geometrin.

Med tillämpning av korrektion har vi löst problemen med underskattningen av kalium och korrigerat cesiumvärdena. Ekvationen för korrektionsfaktorn implementerades i beräkningsprogrammet för att rapportera färdiga korrigerade värden vid varje mätningstillfälle. Även labbets osäkerhetsbudget är fastställd.

Strålsäkerhetsmyndighetens helkroppslaboratorium ska fortsätta genomföra regelbundna mätningar inom miljöövervakningsprogrammet av ^{137}Cs med Strålsäkerhetsmyndighetens kontrollgrupp. Laboratoriet ska kunna genomföra mätningar snabbt i en akut beredskapssituation vid befarad internkontaminering. Det ska dessutom kunna fungera som referenslaboratorium för landets övriga helkroppslaboratorier genom att sträva efter en internationellt hög kvalitet. Det är också viktigt att delta i eventuella jämförelsemätningar. Vi föreslår en sådan mätning för antingen Strålsäkerhetsmyndighetens beredskapslaboratoriets nätverk eller som NKS-projekt i samarbete med de nordiska systemmyndigheterna.

10. Referenser

- [1] Personligt kommunikation med Rolf Falk
- [2] Pål Andersson et al., *Strålmiljö i Sverige*, SSI Rapport 2007:02, ISSN 0282-4434.
- [3] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US, *Radioactive Caesium facts*, <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts157.html>
- [4] Leif Moberg, *Kärnkraftsolyckan i Tjernobyl -En sammanfattning femton år efter olyckan*, SSI Rapport 2001:07, ISSN 0282-4434.
- [5] Forbes GB. *Human body composition*. New York: Springer-Verlag; 1987.
- [6] Snyder WS et al., "Report of the Task Group on Reference Man", International Commission on Radiological Protection, ICRP No. 23. Oxford: Pergamon Press 1975.
- [7] ZiMian Wang et al., "Whole-body skeletal muscle mass: development and validation of total-body potassium prediction models", *Am J Clin Nutr* 2003; 77: 76–82.
- [8] K.Boddy et al., "The relation of total body potassium to height, weight, and age in normal adults", *J. clin. Path.* 25 (1972) 512-517.
- [9] Å. Bruce et al. "Body composition. Prediction of normal body potassium, body water and body fat in adults on the basis of body height, body weight and age", *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 40 (1980) 461-473.
- [10] ORTEC MAESTRO-32 MCA Emulator for Microsoft Windows 98, 2000, NT, XP, AG-B32, Software User Manual (2003).
- [11] ORTEC MCB Connections-32, Hardware Property Dialogs Manual (2003).
- [12] Personligt kommunikation med Leif Nyblom.
- [13] L.A. Currie, *Limits for qualitative detection and quantitative determination*, *Anal. Chem.* 40 (1968) 586.
- [14] Knoll, G., 2000. *Radiation Detection and Measurement*, 3rd Edition. Wiley, New York.
- [15] Gilmore, G., Hemingway, J.D., 1995. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*, Wiley, New York.
- [16] Lars-Erik De Geer, *Currie detection limits in gamma-ray spectroscopy*, *Applied Radiation and Isotopes* 61 (2004) 151–160.
- [17] UNSCEAR 1993, *Sources and effects of ionizing radiation*, UN scientific committee on the effects of atomic radiation 1998 report to the General Assembly, with scientific annexes, UN, New York.
- [18] Legget, R. et al., 1984, *Dose rates to organs as a function of age following internal exposure to radio nuclides*, Report Nureg/CR-3245 ORNL/TM-826, US Nuclear Regulatory Commission, Washington DC

Förteckning över figurer

Figur 1. Avklingningsschemat för Cs-137.....	4
Figur 2. Spektral respons från en NaI-detektor (1024 kanaler) till en punkt preparat av Cs-137 (simulering från "The spectrum generator" i www.nucleonica.net).	5
Figur 3. Avklingningsschemat för K-40.....	5
Figur 4. Spektral respons från en NaI-detektor till en punkt preparat av K-40 (simulering från www.nucleonica.net).	6
Figur 5. Mätgeometri för helkroppslaboratoriet i Karolinska området.....	8
Figur 6. Bild av mätgeometrin i nuvarande helkroppslaboratoriet i Solna strand.....	9
Figur 7. Bakgrundsmätning i cps för Karolinskas mätutrymme och Solna strands mätutrymme. Tidserie för Karolinska innehåller data från 1999-08-28 till 2002-09-05 och för Solna strand från 2007-09-25 till 2008-10-29....	12
Figur 8. Phantom Irina. Totalt kan sex olika konfigurationer av phantomet byggas för kalibrering.....	13
Figur 9. Geometri P4 av phantomet Irina på stolen i mätutrymmet.	14
Figur 10. För detektorerna "lår" och "bröst" fastställs mätgeometrin genom att man placerar dem på punkt 1 i den horisontella riktningen och fastställer det vertikala avståndet med måttband.....	16
Figur 11. Cesiumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003 och Solna strand 2007.....	19
Figur 12. Kaliumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003 och Solna strand 2007.....	19
Figur 13. Cesiumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003, Solna strand 2007 och Solna strand:s korrigerade värden plus osäkerhetsintervall.....	22
Figur 14. Kaliumhalten hos deltagare i sista omgången av kontrollgruppen på Karolinska 2003, Solna strand 2007 och Solna strand:s korrigerade värden plus osäkerhetsintervall.....	22
Figur 15. Cesiumhalten i olika kontrollgrupper sedan 1960-talet.	23
Figur 16. Fördelning av effektivdosen från K-40 uppmätt på SSM:s kontrollgrupp 2007 i Solna strands laboratorium.	25
Figur 17. Fördelning av effektivdosen från Cs-137 uppmätt på SSM:s kontrollgrupp 2007 i Solna strands laboratorium.	25

Tabellförteckning

Tabell 1. Ingång för datainsamling från varje detektor i mjukvara MAESTRO.	10
Tabell 2. Kalibreringsgeometrier av phantomet Irina och motsvarande aktiviteter.	14
Tabell 3. Avstånd för detektorer "lår" och "bröst" för olika gruppvikter...	15
Tabell 4. Relativa osäkerheter för alla komponenter i mätosäkerheten.	21
Tabell 5. K-40 aktiviteter från sista kontrollgruppsomgången på KS jämför mätresultat i Solna strand med och utan korrigering	23
Tabell B.1 Radonkedjans gammasönderfall	31

Appendix A. Strålnivå i Solna strand 2003

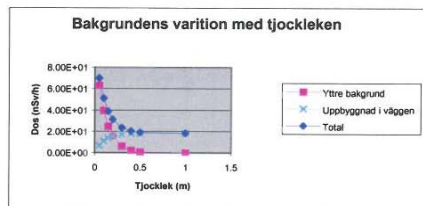
Sammanfattning av mätningar av strålnivån i SSI:s lågaktivitetslaboratorium, Solna strandväg 96.

Strålnivån i lågaktivitetslaboratoriet är låg och uppfyller SSI:s krav.

SSI den 18 december 2003

Rolf Falk

Teoretiska beräkningar av dosraten som funktion av väggjockleken i "helkroppslaboratoriet" redovisas i figuren nedan. Beräkningarna är baserade på nuklidinnehållt i den betong som användes. Tjockleken av väggar, tak och golv är 30 cm.



Teoretiskt värde vid väggjocklek 0.3 m ca	23 nSv/h
Uppmätta värden:	
Instrument SAPYRO	30 nSv/h
Instrument EXPLORANIUM GR 130	21 nSv/h

Ytterligare mätningar har genomförts för att bestämma hur mycket strålnivån reducerats. Mätningarna genomfördes dels den 16 juli 2003 och den 17 december 2003 i "helkroppslaboratoriet".

Reduktionsfaktor uppmätt med högupplösande gammaspektrometer

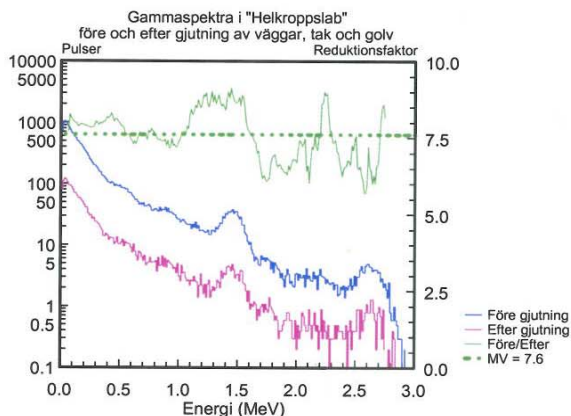
Kalium cps	6.00/0.52	11.5
Radium cps	0.24/0.19	6.5
Torium cps	0.44/0.07	6.3

Reduktionsfaktor uppmätt med dosmätare

Instrument SAPYRO nSv/h	195/30	6.5
Instrument EXPLORANIUM	150/21	7.1

Reduktionsfaktor i energiområdet 0.05 – 3 MeV

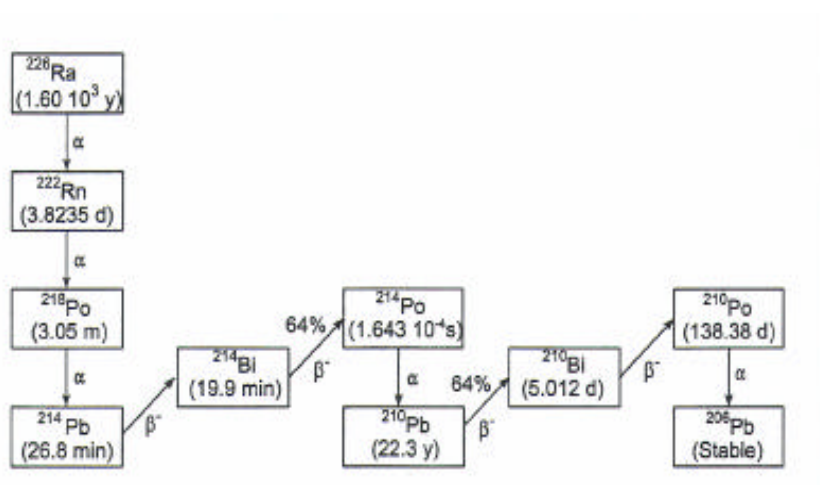
Mätt med EXPLORANIUM (BGO)	7.6
----------------------------	-----



Appendix B. Radondöttrar detekterbara i Solna strand anläggningen

Allmänt kan radon i hus komma från marken, byggnadsmaterialet eller från hushållsvattnet. I helkroppslaboratoriet i Solna strand är byggnadsmaterial av låg aktiv betong med låg halt av radium, torium och kalium. Däremot är ventilationssystemets luftintag nära berggrunden vilket gör att det alltid finns radondöttrar i luften.

Sönderfallskedjan för radon visas i figur B.1. I kedjan förekommer gammastrålningen som eventuellt kan detekteras av NaI detektorer i mätutrymme. Radonets kedja för gammastrålande sönderfall sammanfattas i tabell B.1.



Figur B.1 Radium-226 sönderfallskedjan

Tabell B.1 Radonkedjans gammasönderfall

Nuklid	Halveringstid	Sönderfall	Energi för sannolika gamma-linjer ($I_{\gamma} > 5\%$) (keV)
Pb-214	26,80 min	beta, gamma	241, 295
Bi-214	19,90 min	beta, gamma	609, 1120, 1764, 2204
Pb-210	5,01 dagar	beta, gamma	46,5

Appendix C. Beräkningsprogrammet Kalkyl.

Programmet Kalkyl används för att beräkna aktiviteter med hjälp av insamlade spektrumdata från NaI mätningssystemet och lämpliga kalibreringsfaktorer.

Spektrumdata insamlas från de tre detektorerna i mätutrymme med hjälp av insamlingsverktyg Maestro från ORTEC. Programmet är utvecklat i Visual Basic. Kalkyl läser in spektrumdata, bakgrunddata, kalibreringsdata och person uppgifter som vikt, längd, kön och ålder.

Grundläggande ekvationer för beräkning av aktivitet för K-40, Co-60 och Cs-137 är:

$$A_{K40} = \frac{p_{K40} - b_{K40}}{e_{K40}} \quad (C.1)$$

$$A_{Co60} = \frac{p_{Co60} - b_{Co60} - c_{32}(p_{K40} - b_{K40})}{e_{Co60}} \quad (C.2)$$

$$A_{Cs137} = \frac{p_{Cs137} - b_{Cs137} - c_{31}(p_{K40} - b_{K40}) - c_{21}(p_{Co60} - b_{Co60})}{e_{Cs137}} \quad (C.3)$$

A_{K-40}	aktivitet av ^{40}K i becquerel,
A_{Co-60}	aktivitet av ^{60}Co i becquerel
A_{Cs-137}	aktivitet av ^{137}Cs i becquerel
e_{K-40}	verkningsgrad för ^{40}K i cps/Bq
e_{Co-60}	verkningsgrad för ^{60}Co i cps/Bq
e_{Cs-137}	verkningsgrad för ^{137}Cs i cps/Bq
p_{K-40}	bruttopulser per sekund (cps) i intervallen för ^{40}K
p_{Co-60}	bruttopulser per sekund (cps) i intervallen för ^{60}Co
p_{Cs-137}	bruttopulser per sekund (cps) i intervallen för ^{137}Cs
b_{K-40}	bakgrundpulser per sekund (cps) i intervallet för ^{40}K
b_{Co-60}	bakgrundpulser per sekund (cps) i intervallet för ^{60}Co
b_{Cs-137}	bakgrundpulser per sekund (cps) i intervallet för ^{137}Cs
c_{31}	andel pulser i ^{137}Cs -intervallet från ^{40}K genom Comptonspridning
c_{21}	andel pulser i ^{137}Cs -intervallet från ^{60}Co genom Comptonspridning
c_{32}	andel pulser i ^{60}Co -intervallet från ^{40}K genom Comptonspridning

Då kobolt aktiviteten är noll, $A_{Co-60} = 0$, får vi för cesium aktiviteten:

$$A_{Cs137} = \frac{p_{Cs137} - b_{Cs137} - c_{31}(p_{K40} - b_{K40})}{e_{Cs137}} \quad (C.4)$$

Programmet har 6 subrutiner som beskrivs här nedan:

Subrutin kopiera: Läser in namn på mätfil och bakgrundsfil samt data om mätpersonen. Skapar arbetskopior av mät- och bakgrunds filer.

Subrutin read files: Läser värden/data från mät- och bakgrunds filer. Data från mät- och bakgrundsfilerna inkluderar spektrumdata som mca segment, realtime, livetime, startdate, starttime, kanal offset, antal kanaler. Läser in motsvarande parametrar för bakgrundspektra. MCA segment för ryggedetektor är nummer 8, för bröst detektor 7, och för lår detektor 6. Antal kanaler är 512.

Subrutin readintervall: Läser start- och stoppkanal för tre intervall från filen INTERVAL.DAT. Kanaler 135 – 187 är Cs-137-intervall, 260 – 355 Co-60-intervall och 320 – 395 K-40-intervall.

Subrutin summering: Summerar antal pulser (i alla kanaler) från de tre detektorerna både för person- och bakgrundsmätning och räknar ut nettopulser genom att korrigera för olika mättider. Brutto, bakgrund och beräknade netto summeras till ett ”summaspektrum” (för alla kanaler). Från dessa summaspektra räknas antal brutto-, bakgrund- och nettopulser för de tre intervallen

Subrutin kalib: Läser in kalibreringsdata som är i filen kalib.dat. Läser aktuell spektrum för personen som beräkningen körs på. Väljer korrekt set av kalibreringsfaktorer enligt personsvikt. Beräknar kalibreringsfaktorer.

Subrutin aktofel: Beräknar Comptonbidrag från varje radionuklid till intervallerna. Med netto cps per intervall från subrutin summering och kalibreringsfaktor från subrutin kalib, beräknar aktiviteten per intervall, dvs. för Cs-137, Co-60 och K-40 enligt ekvationer C.1, C.2, C.3. Beräknar mätosäkerhet för aktiviteterna.



2010:15

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 250 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-post: registrator@ssm.se
Webb: stralsakerhetsmyndigheten.se