

Ulrika Nygren, Petra Appelblad

## Metodutveckling för bestämning av $^{90}\text{Sr}$ i kalciumrika material



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

NBC-skydd  
901 82 Umeå

FOI-R--0903--SE

November 2003

ISSN 1650-1942

**Metodrapport**

Ulrika Nygren, Petra Appelblad

Metodutveckling för bestämning av  $^{90}\text{Sr}$  i kalciumrika material

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI NBC-skydd 901 82 Umeå	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0903--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport	
	<b>Forskningsområde</b> 3. Skydd mot massförstörelsevapen		
	<b>Månad, år</b> November 2003	<b>Projektnummer</b> E4997	
	<b>Verksamhetsgren</b> 2. NBC skyddsforskning		
	<b>Delområde</b> 31 N-forskning		
<b>Författare/redaktör</b> Ulrika Nygren Petra Appelblad	<b>Projektledare</b> Ulrika Nygren		
	<b>Godkänd av</b>		
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Statens Strålskyddsinstitut		
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Ulrika Nygren, Petra Appelblad		
<b>Rapportens titel</b> Metodutveckling för bestämning av <sup>90</sup> Sr i kalciumrika material			
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> Syftet med projektet var att ta fram en analysmetod för bestämning av <sup>90</sup> Sr i kalciumrika material som t.ex. tänder och mjölk. Målsättningen var också att använda extraktionskromatografi för separation av strontium. En initial undersökning visade att höga halter kalcium stör separationen av Sr, och utifrån den kunskapen testades tre olika metoder för att minimera den störningen. Två av metoderna baserades på en initial Ca-Sr separation med hjälp av nitrat- respektive fosfat/oxalat fällning, medan den tredje metoden baserades på en större mängd av det extraktionskromatografiska materialet. Resultaten visar att Metod III ger ett bra resultat med jämna utbyten kring 67% och en fullgod precision vid bestämning av <sup>90</sup> Sr. Metoden har validerats dels genom applikation på tormjölk som spikats med <sup>90</sup> Sr och dels genom analys av tormjölk som använts vid en jämförelsemätning arrangerad av Nordisk kärnsäkerhetsforskning (NKS).			
<b>Nyckelord</b> Strontium, kalcium, extraktionskromatografi, mjölk			
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska		
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 11 s.		
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista		

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0903--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Programme Areas</b> 3. Protection against Weapons of Mass Destruction	
	<b>Month year</b> November 2003	<b>Project no.</b> E4997
	<b>General Research Areas</b> 2. NBC Defence Research	
	<b>Subcategories</b> 31 Nuclear Defence Research	
<b>Author/s (editor/s)</b> Ulrika Nygren Petra Appelblad	<b>Project manager</b> Ulrika Nygren	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Radiation Protection Authority	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Ulrika Nygren, Petra Appelblad	
<b>Report title (In translation)</b> Determination of <sup>90</sup> Sr in calcium-rich materials		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>The aim of this project was to develop an analytical procedure for the determination of <sup>90</sup>Sr in calcium-rich materials such as teeth and milk. The aim was also to use extraction chromatography for separation of Strontium. An initial investigation showed that high concentrations of Calcium interferes with the separation of Sr, and based on that knowledge, three different methods designed to reduce this interference were tested. Two of these methods are based on an initial Ca-Sr separation by nitrate- or phosphate/oxalate precipitation, while the third method utilises an increased amount of the extraction chromatographic material. The best results were achieved with Method III, which provided chemical yields of approximately 67% and a good precision in the determination of <sup>90</sup>Sr. This method has been validated by analysis of milkpowder spiked with <sup>90</sup>Sr and milkpowder from an intercomparison test arranged by Nordic nuclear safety research (NKS).</p>		
<b>Keywords</b> Strontium, calcium, extraction chromatography, milk		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 11 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

# Innehållsförteckning

Inledning	5
Genomförande	5
Material och instrumentering	6
Förstudie	6
Applicering av tre olika metoder på tormjolk	6
<i>Metod I – kalciumfosfat- och oxalatutfällning följt av separation med Sr resin</i>	7
<i>Metod II - strontiumnitratutfällning följt av separation med Sr resin</i>	7
<i>Metod III – utökad mängd Sr resin</i>	7
Resultat och diskussion	8
Förstudie	8
Applicering av tre olika metoder på tormjolk	9
Slutsatser	10
Referenser	11

# Inledning

Radionukliderna  $^{89}\text{Sr}$  och  $^{90}\text{Sr}$  ger ett väsentligt bidrag till den interna stråldosen från det radioaktiva nedfallet efter en kärnvapensprängning och bidrar även till stråldosen efter ett reaktorhaveri. Strontium liknar kalcium kemiskt och återfinns i kalciumrika organ som t.ex. benvävnad och tänder. Eftersom dessa strontiumisotoper är betastrålare uppkommer stråldosen i huvudsak genom radioaktiva sönderfall som sker i mänsk kroppen. På grund av att Sr tas upp i benvävnad är den biologiska halveringstiden för Sr i människa mycket lång. Kombinerat med den långa fysikaliska halveringstiden för  $^{90}\text{Sr}$  och den höga tillgängligheten för upptag i livsmedel ger detta en mycket utdragen exposition som pågår under årtionden efter ett nedfall. Strontium-90 inventariet i Sverige härstammar från de atmosfäriska kärnvapenprovsprängningarna på 60-talet samt nedfallet från Tjernobyl. Bidraget från kärnvapen dominerar förmodligen i de flesta områdena i Sverige förutom vissa våt-depositionsområden som Gävle och möjligen Västernorrland. En viss geografisk variation kombinerat med regionala och lokala variationer i upptag kan ha medfört en variation i befolkningen. Någon bra extern mätmetod för att bestämma de låga nivåer av radioaktivt Sr som kan förväntas 15-40 år efter nedfallet existerar inte utan man får förlita sig till humanprover som exempelvis tänder. En viktig källa för upptag av Sr till människa är mjölk och det är därför även intressant att kunna bestämma halten av radioaktivt strontium i mjölk och mjölkprodukter.

Den metod som FOI utvecklat för analys av radioaktivt strontium (*Nygren, 1998 och 2001*) är baserad på separation av strontium med extraktionskromatografi. Fördelarna med den existerande metoden är att hög selektivitet erhålls, samt att förbrukningen av starka syror och organiska lösningsmedel minskas i jämförelse med nitratfällning och vätske-vätske extraktion (*Horwitz, 1992*). Metoden är designad för vatten, vegetation och jord vilka alla har avsevärt lägre koncentration av Ca än vad t.ex. tänder och mjölk har. Eftersom Ca och Sr har, som nämnts ovan, stora kemiska likheter är det troligt att den kemiska separationen av Sr är problematisk när provet innehåller höga halter kalcium. Tester med den nuvarande metoden har utförts på både tänder och mjölk, och varken det kemiska utbytet eller separation från interfererande nuklider har legat på en godkänd nivå.

I detta arbete har målsättningen varit att utveckla en enkel och robust metod baserad på extraktionskromatografi för bestämning av  $^{90}\text{Sr}$  i kalciumrika material. Metoden skulle även vara användbar såväl i beredskapssituationer som i rutinanalyser av t.ex. mjölk och tänder och ge FOI en möjlighet att utöva nuklidspecifik dosimetri av  $^{90}\text{Sr}$ .

## Genomförande

Arbetet inleddes med en förstudie för att undersöka påverkan av Ca på separationen av Sr med Sr-resin. Efter förstudien undersöktes tre olika metoder för separation av Sr från torrmjölk. De metoder som testades var; I) kalciumfosfat- och oxalatutfällning följt av separation av Sr med Sr resin (*Shaw, 2001*); II) strontiumnitratutfällning följt av separation av Sr med Sr resin (*Helsingfors, 1999*); III) enbart extraktion av Sr med utökad mängd Sr resin. Syftet med fällningsstegen i metod I och II var att minska halten Ca i förhållande till Sr. Standardmängden av Sr-resin vid analys av miljöprover är 2 ml vilket dubblerades i metod III.

## Material och instrumentering

De kemikalier som användes var konc.  $\text{HNO}_3$  (65%, VWR), rykande  $\text{HNO}_3$  (100%, Merck),  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%, Scharlan Chemie SA),  $\text{NH}_3$  (25%, Merck),  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%, Merck),  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  (Kebolab),  $\text{SrNO}_3$  (Kebolab),  $\text{NaCl}$  (Kebolab) och  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (99,99%, Aldrich Chem Co). Alla kemikalier utom  $\text{Y}_2\text{O}_3$  var av p.a.-renhet. En standardlösning av  $^{90}\text{Sr}$  (Amersham P33476) användes för att spika prover och för kalibrering. Torrmjolk (Torkad skummjolk, Semper mjolk) användes som testmatris för de olika metoderna. Filterpapper (0,65  $\mu\text{m}$  DVPP, Millipore) användes för filtrering av fällningar. Det extraktionskromatografiska materialet Sr-resin (Eichrom) är baserat på extraktion av Sr med en kroneter (4,4'(5')-di-t-butylcyclohexano-18-crown-6) och hade en kornstorlek på 100-150  $\mu\text{m}$ . Vid separation med Sr-resin användes plastkolonner (BioRad) med 8 respektive 10 mm innerdiameter. När 1 eller 2 ml resin användes fylldes 8 mm kolonnen till en höjd av ca 19 och 37 mm, och när 4 ml resin användes fylldes 10 mm kolonnen till 50 mm.

Analyser av stabilt Sr gjordes med flam-atomabsorptionsspektroskopi (AAS) (Aanalyst300, Perkin Elmer) och bestämningen av  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  gjordes med vätskeskintillation (Quantulus, Wallac).

## Förstudie

Provlösningar bestående av 5 ml 8M  $\text{HNO}_3$  innehållande 2,5 mg Sr med varierande kalciummängd (0 – 1,1 g) separerades med extraktionskromatografi enl. följande:

1. Bered en kolonn med 1 ml Sr resin.
2. Konditionera resinerna med 2,5 ml 8M  $\text{HNO}_3$ .
3. Ladda provet (5 ml) på resinerna.
4. Skölj probägare med 2,5 ml 8M  $\text{HNO}_3$  –därefter hålls lösningen på resinerna.
5. Skölj resinerna med 2,5 ml 8M  $\text{HNO}_3$ , 2,5 ml 3M  $\text{HNO}_3$  – 0,05M  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  och 2,5 ml 8M  $\text{HNO}_3$ .
6. Eluera Sr med exakt 7,5 ml 0,05M  $\text{HNO}_3$ .

För bestämning av Sr-utbytet med AAS späddes eluatet till 10 ml varav 0,2 ml pipetterades till en 25 ml kolv. 0,5 ml Na-lösning (100 mg  $\text{ml}^{-1}$ ) tillsattes för att förhindra jonisering av Sr och provet späddes till 25 ml.

För att kontrollera elueringen av Sr separerades en lösning bestående av 10 ml 8 M  $\text{HNO}_3$  och 5 mg Sr med 2 ml Sr resin. Separationen utfördes enligt ovan förutom att alla volymer dubblerades p.g.a. den större mängden Sr-resin samt att elueringen av Sr gjordes med fem stycken 5 ml fraktioner. Sedan analyserades mängden Sr i varje fraktion med AAS.

## Applicering av tre olika metoder på torrmjolk

Gemensamt för alla metoder var att inaskad torrmjolk användes som provmatris. Följande inaskningsprogram användes:

1,66°C per  $\text{min}^{-1}$  till 300°C i 180 min, 1,67°C per  $\text{min}^{-1}$  till 500°C i 720 min

För inaskningen användes en porslinskål som klarar 800°C.

Enligt tillverkaren innehåller torrmjölken 1250mg Ca per 100 g torrmjolk och 480 g ger en liter mjolk. Efter inaskning av 100g torrmjolk var vikten på askan 7,86g.

För alla tre metoderna gjordes initialt tre replikat och en blank. För metod tre spikades proverna med  $^{90}\text{Sr}$  innan analys. Metod tre testades även på torrmjolk från en jämförelsemätning

arrangerad av NKS (Bok-1.1), och ytterligare tre kemikalieblanker gjordes för bestämning av detektionsgränsen.

### **Metod I – kalciumfosfat- och oxalatutfällning följt av separation med Sr resin**

6 g inaskad torrmjök löstes upp i 50 ml 8M HNO<sub>3</sub>. 1 ml (5mg ml<sup>-1</sup>) Sr-bärare tillsattes. Före separationen togs 0.1 ml lösning ut och späddes till 50 ml för utbytesbestämning.

5 ml H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> tillsattes och en magnetloppa placerades i bägaren. pH justerades till 4,8-5,2 med NH<sub>3</sub>. Fällningen fick stå ca 1 h och därefter sugfiltrerades den med ett 0,65 µm DVPP filter. Till filtratet tillsattes 3,5 g oxalsyra per 100 ml lösning. 200 mg Ca tillsattes till lösningen och därefter justerades pH till 5,5-6,0. Sedan sugfiltrerades lösningen med ett 0,65 µm DVPP filter och fällningen tvättades med 0,1 M NH<sub>4</sub>HC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Fällningen löstes därefter upp med 8M HNO<sub>3</sub> och dunstades in till torrhet. Sedan behandlades provet med värme med konc. HNO<sub>3</sub> och H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> för våtförbränning av oxalysran. Därefter löstes den kvarvarande saltkakan upp i 10 ml 8M HNO<sub>3</sub> och separation av Sr gjordes enligt följande:

1. Bered en kolonn med 2 ml Sr resin.
2. Konditionera resinerna med 5 ml 8M HNO<sub>3</sub>.
3. Ladda provet (10 ml) på resinerna.
4. Skölj provbägare med 5 ml 8M HNO<sub>3</sub> –häll därefter lösningen på resinerna.
5. Skölj resinerna med 5 ml 8M HNO<sub>3</sub>, 5 ml 3M HNO<sub>3</sub> – 0.05M H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> och 5 ml 8M HNO<sub>3</sub>.
6. Eluera Sr med exakt 25 ml 0,05M HNO<sub>3</sub>.

För bestämning av Sr-utbytet med AAS pipetterades 0,1 ml av Sr-fraktionen till en 20 ml kolv. 0,4 ml Na-lösning (100 mg ml<sup>-1</sup>) tillsattes och provet späddes till 20 ml.

### **Metod II - strontiumnitratutfällning följt av separation med Sr resin**

6 g inaskad torrmjök löstes upp i 50 ml 8M HNO<sub>3</sub>. 1 ml (5mg ml<sup>-1</sup>) Sr-bärare tillsattes. Före separationen togs 0.1 ml lösning ut och späddes till 50 ml för utbytesbestämning.

10 ml rykande HNO<sub>3</sub> tillsattes till provet, vilket sattes på isbad under 30 minuter. Därefter filtrerades provet och fällningen omhändertogs. Fällningen löstes därefter upp med 10 ml 8M HNO<sub>3</sub> och separation av Sr gjordes på samma sätt som i Metod I.

### **Metod III – utökad mängd Sr resin**

5 g inaskad torrmjök löstes upp i 50 ml 8M HNO<sub>3</sub>. 1 ml (5mg ml<sup>-1</sup>) Sr-bärare tillsattes och proverna spikades med 720 mBq <sup>90</sup>Sr. Före separationen togs 0.1 ml lösning ut och späddes till 50 ml för utbytesbestämning. Separation av Sr gjordes enligt följande:

1. Bered en kolonn med 4 ml Sr resin.
2. Konditionera resinerna med 10 ml 8M HNO<sub>3</sub>.
3. Ladda provet (50 ml) på resinerna.
4. Skölj provbägare med 10 ml 8M HNO<sub>3</sub> –därefter hålls lösningen på resinerna.
5. Skölj resinerna med 10 ml 8M HNO<sub>3</sub>, 10 ml 3M HNO<sub>3</sub> – 0.05M H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> och 10 ml 8M HNO<sub>3</sub>.
6. Eluera Sr med exakt 50 ml 0,05M HNO<sub>3</sub> till en 50 ml bägare
7. Tillsätt 0,2 ml yttrium lösning (10 mg ml<sup>-1</sup>) och indunsta till < 10 ml
8. Späd på 10 ml kolv, ta ut 0,1 ml till en 25 ml kolv för utbytesbestämning. Tillsätt 0,5 ml Na (100 mg ml<sup>-1</sup>) och späd till vol.
9. Häll över provet på en 20 ml scintburk, skölj bägaren med 2×2,5 ml H<sub>2</sub>O och häll över det till scintburken.



10. Invänta  $^{90}\text{Y}$ -tillväxt (14 dagar) och mät Cerenkov-strålningen med LSC.

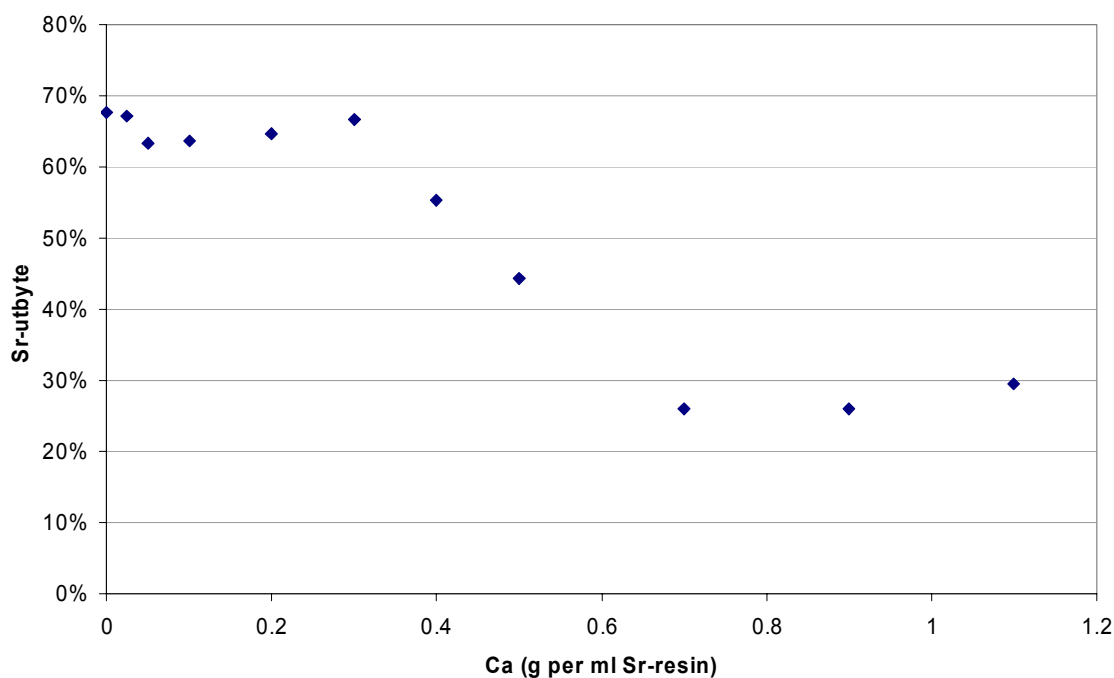
Detaljer kring kalibrering och mätning av Cerenkov-strålning från  $^{90}\text{Y}$  med Quantulus finns i FOI-R—0039—SE (Nygren, 2001).

## Resultat och diskussion

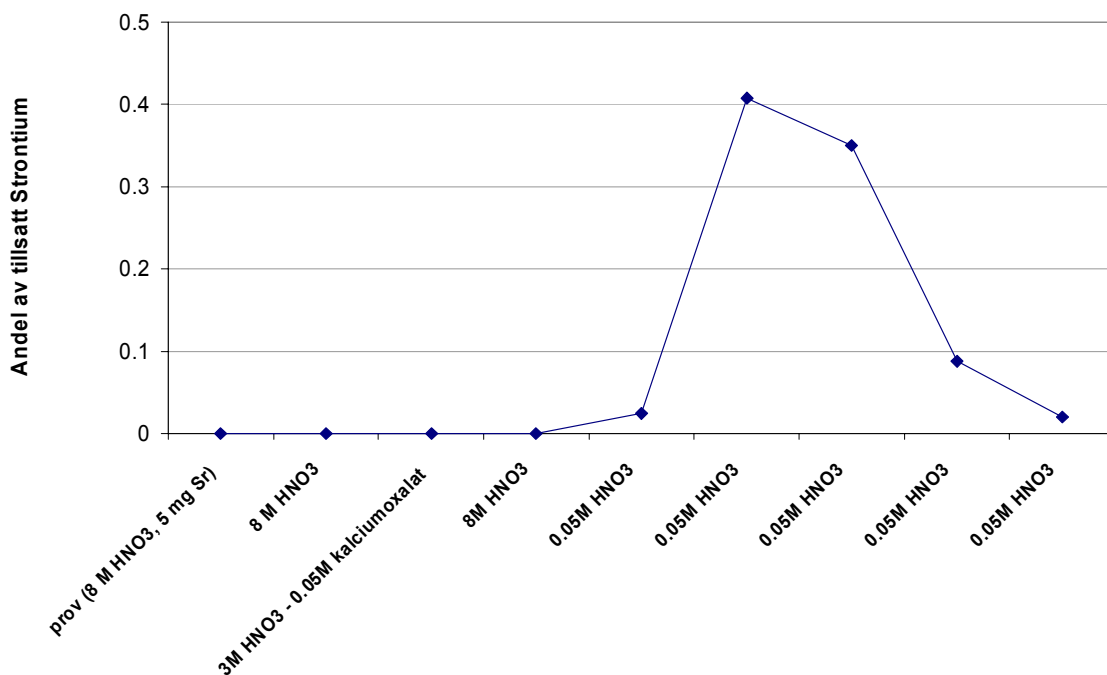
Följande resultat har erhållits under förstudien samt från de tre metoder som har testats.

### Förstudie

I förstudien kontrollerades påverkan av Ca vid separation av Sr med Sr-resin enligt den metod som idag används vid FOI (Nygren, 2001) och rekommenderas av Eichrom (Eichrom, 2003). Resultatet från den undersökningen kan ses i figur 1. Figuren visar ett stabilt utbyte fram till 0,3 g Ca per ml Sr-resin. Därefter sjunker utbytet med ökande kalciumkoncentration. Eftersom utbytet inte når 100% även när inget kalcium tillsatts gjordes en kontroll av elueringen av Sr från Sr-resin, och resultatet av den undersökningen visas i figur 2. Resultaten visar att Sr finns kvar på kolonnen under laddning av prov och sköljning, men att 15 ml 0,05M  $\text{HNO}_3$  inte är tillräckligt för att helt eluera Sr. Först vid 25 ml har elueringskurvan närmast sig baslinjen igen. Rekommendationerna från förstudien blir därför att utöka elueringsvolymen till 25 ml 0,05M  $\text{HNO}_3$  för en 2 ml kolonn och att upptill 0,2 g Ca per ml Sr-resin kan användas utan störningar för Sr-separationen.



**Fig. 1** Påverkan av Ca vid separation av Sr med Sr-resin. 1 ml Sr-resin användes vid försöket.



**Fig. 2** Eluering av Sr från Sr-resin. 2 ml resin användes och varje fraktion representerar 5 ml utom provfraktionen som var 10 ml.

### Applicering av tre olika metoder på torrmjölk

Metod I, II och III som finns beskrivna ovan användes för tre inaskade torrmjölkprover och en blank per metod. För varje metod bestämdes utbytet av Sr, och resultaten finns i tabell 1. Resultaten för Metod I visar en stor spridning, och det låga utbytet (~30%) medförde dessutom att metoden inte undersöktes vidare.

För metod II är utbytet mycket lågt. Ytterligare försök med att fälla Sr med en starkare HNO<sub>3</sub> koncentration gjordes men detta ger ingen förbättring av resultaten. En förklaring till det låga utbytet kan vara att en mindre mängd Sr än vad som normalt sett används vid Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-fällning har satts till proverna. Mängden Sr begränsas av kapaciteten för Sr-resin, och därför gjordes inga ytterligare test av denna metod med större mängder av Sr.

För metod III ligger utbytet på en relativt jämn och fullt godtagbar nivå,  $67 \pm 4,7$  %. Detta utbyte är i samma storleksordning som utbyten för provmatriser som jord, vegetation och luftfilter (Nygren, 2001). Mjölkkaskan spikades med <sup>90</sup>Sr innan separation enl. Metod III, och utbytet för <sup>90</sup>Sr visas också i tabell 1. Utbytet är  $101 \pm 3$  % vilket tyder på att metoden ger en Sr-fraktion fri från nuklider som kan interferera vid bestämningen av <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y. Ännu en fördel med metod III är att inget fällningssteg används vilket förenklar provbehandlingen.

**Tabell 1** Utbyte av Sr för de tre metoder som testats för separation av Sr i torrmjölk (n=3, 1  $\sigma$ ).

Metod	Beskrivning	Sr utbyte / %	<sup>90</sup> Sr utbyte / %
I	Fosfat-/oxalatfällning + 2 ml Sr-resin	34 ± 36	Ej analyserat
II	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -fällning + 2 ml Sr-resin	2,2 ± 0,1	Ej analyserat
III	4 ml Sr-resin	67,0 ± 4,7	101 ± 3

För att bestämma en detektionsgräns och testa separationsförmågan ytterligare analyserades tre kemikalieblanker och ett mjölkpulver som fanns kvar från en jämförelsemätning arrangerad av Nordisk kärnsäkerhetsforskning, NKS. Jämförelsemätningen gick under namnet Bok-1.1 och anordnades under 1999 (Fogh, 2000). Mjölkpulvret som användes vid jämförelsemätningen innehåller en relativt låg halt  $^{90}\text{Sr}$  i jämförelse med det kommersiella referensmaterial som finns tillgängliga vid FOI. Eftersom en låg halt  $^{90}\text{Sr}$  ställer högre och mer realistiska krav på analysmetoden valdes att testa den nya metoden på detta material, trots att aktivitetskoncentrationen inte är lika noggrant bestämd som i kommersiella referensmaterial.

91,7 g mjölkpulver inaskades, löstes i 40 ml 8M  $\text{HNO}_3$  och späddes till 50 ml med 8M  $\text{HNO}_3$ . Efter upplösningen av askan gjordes en AAS-analys av Ca och Sr vilket visade att provet innehöll 0,36 mg Sr och 570 mg Ca. Enligt förstudien är 4 ml Sr-resin tillräckligt för den mängden Ca, och Metod III användes därför utan ändringar. Innan separationen tillsattes 1 ml Sr-bärare (5 mg  $\text{ml}^{-1}$ ).

Resultatet av analysen blev 0,247 Bq  $^{90}\text{Sr}$   $\text{kg}^{-1}$  torrmjök ( $s = 0,041$ ). Detta värde kan jämföras med de resultat som rapporterades under Bok-1.1. Det är dock en stor spridning bland dessa resultat, från 0,19 (SSI) till 0,86 Bq  $\text{kg}^{-1}$  (FOI), vilket gör jämförelsen svår. Medianvärdet ligger på 0,33 Bq  $\text{kg}^{-1}$  och ett flertal värden är centrerade kring dessa. Eftersom det högsta värdet erhöles med FOI:s tidigare metod som senare visats ge för höga resultat är det inte ett tillförlitligt värde. Bedömningen blir därför att det nya resultatet stämmer överens med dom värden som rapporterats tidigare. Det är naturligtvis även värt att notera förbättringen av FOI:s resultat från den gamla till den nya metoden. Det kemiska utbytet vid bestämningen blev 68%.

I försöket analyserades även tre kemikalieblanker, och en detektionsgräns beräknades enligt Currie (Currie, 1968) till 6,1 mBq. Vid beräkningen användes ett utbyte på 67% och en mäteffektivitet på 64,7%.

## Slutsatser

Av de tre metoder som testats visade sig Metod III ge ett bra resultat med stabila utbyten kring 67%. Tester med spikade prover och material från en jämförelsemätning anordnad av NKS gav också tillförlitliga resultat. Metoden är relativt lättarbetad i och med att inget fällningssteg behövs innan den extraktionskromatografiska separationen. Upplösning av det askade provet och separation av Sr kan utföras på ca 3 h, och användande av organiska lösningsmedel och rykande salpetersyra undviks helt.

## Referenser

- Nygren, 1998 U. Nygren, *Determination of <sup>90</sup>Sr in soil and sediment using lithium-borate fusion and extraction chromatography*, J. Radioanal. Nucl. Chem., 241 (1998) 549-551
- Horwitz, 1992 E. P. Horwitz, R. Chiarizia, M. L. Dietz, *A novel strontium-selective extraction chromatographic resin*, Solvent Extr. Ion Exch., 10 (1992) 313-336
- Nygren, 2001 U. Nygren, Å. Tjärnhage, I. Bergman, *Radiokemiska analysmetoder vid FOI NBC-skydd*, FOI-R—0039—SE, December 2001
- Eichrom, 2003 *Strontium 89,90 in water*, SRW01, Eichrom Technologies, Inc. Analytical Procedures, February 2003
- Shaw, 2001 S. Shaw, N. Green, *Determination of <sup>90</sup>Sr in Calcium Rich Environmental Samples using Extraction Chromatography*, National Radiological Protection Board, NRPB-M1284, July 2001
- Helsingfors, 1999 *Course of analytical chemistry and radionuclides, laboratory works*, Laboratory of Radiochemistry, Department of Chemistry, University of Helsinki, May 1999
- Fogh, 2000 C. L. Fogh, *NKS 1999 intercomparison of measurements of radioactivity*, NKS-19, December 2000
- Currie, 1968 L. Currie, *Limits for qualitative detection and quantitative determination*, Anal. Chem. 40 (1968) 586-593