



r

SSI Rapport

SSI report

2003:07 INGER ÖSTERGREN, ROLF FALK,
LARS MJÖNES OCH BRITT-MARIE EK

*Mätning av naturlig
radioaktivitet i dricksvatten*

*Test av mätmetoder och
resultat av en pilotundersökning*



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

FÖRFATTARE/ AUTHOR: Inger Östergren, Rolf Falk, Lars Mjönes
och Britt-Marie Ek¹
1. Sveriges geologiska undersökning

AVDELNING/ DEPARTMENT: Avdelning för beredskap och miljöövervakning/
Department of Emergency preparedness & Environmental Assessment,

TITEL/TITLE: Mätning av naturlig radioaktivitet i dricksvatten. Test av mätmetoder
och resultat av en pilotundersökning / Measurement of natural radioactivity in drink-
ing water. Test of measurement methods and result from a pilot study

SAMMANFATTNING: I EU:s dricksvattendirektiv, 98/83/EC finns ett referensvärde
för Total Indikativ Dos, TID, på 0,1 millisievert per år. En första indikation på att
TID kan vara för hög är att den totala alfaaktiviteten (förutom radon) överstiger
0,1 Bq/l eller att den totala betaaktiviteten överstiger 1 Bq/l.

Syftet med undersökningen har varit dels att testa de mätmetoder som krävs för att
verifiera att referensvärdet för TID är uppfyllt, dels att genom mätning av ett antal
prover från grundvattenverk och privata brunnar få en indikation på vilka nivåer på
TID som konsumtion av dricksvatten i Sverige kan ge.

Resultaten av studien visar att den använda mätmetoden är tillräcklig i de flesta fal-
len och att fåtal vattenverk troligen måste vidta åtgärder för att uppfylla referensvär-
det för TID.

SUMMARY: In the European Drinking Water Directive, 98/83/EC, a reference value of
0.1 mSv/year for Total Indicative Dose, TID, from consumption of drinking water
is given. A first indication of that TID might exceed 0.1 mSv is that the gross alpha
activity concentration exceeds 0.1 Bq/l or that the gross beta activity concentration
exceeds 1 Bq/l.

The objective of this study has primarily been to test the measurement methods
needed to verify compliance with the reference value of 0.1 mSv per year, and se-
condly to get an indication of what kind of levels of dose that consumption of water
from waterworks using groundwater could cause in Sweden.

The results from the study show that the measurement method used works well and
indicate that a few of Swedish waterworks will have to take remedial action in order
to comply with the reference value for TID

SSI rapport: 2003:07

maj 2003

ISSN 0282-4434



Innehållsförteckning

Inledning.....	3
Undersökningens syfte och omfattning.....	3
Provtagning och mätmetoder	4
Provtagning.....	4
Mätmetoder.....	4
Mätning av radon i vatten.....	5
Mätning och bestämning av total alfa- och betaaktivitet, uran, ²²⁶ Ra och ²¹⁰ Pb.....	5
Resultat och analys av undersökningen	5
Mätresultat.....	7
Sammanställning av mätresultaten från denna studie	7
Tidigare undersökningar gjorda vid SSI (1977-1983), i Finland samt mätningar gjorda av Uppsala kommun 1997	7
Tack.....	8
Referenser.....	8
Bilaga 1a. Instruktion och protokoll för provtagning vid vattenverk	10
Bilaga 1b. Instruktion och protokoll för provtagning i privata brunnar	12
Bilaga 2. Beskrivning av kalibrerings- mät- och beräkningsprocedurerna	14
Bilaga 3. Mätresultat från vattenverk.....	19
Bilaga 4. Mätresultat från privata brunnar	20
Bilaga 5. Mätresultat från tidigare undersökningar gjorda vid SSI.....	21

Inledning

Naturligt förekommande radioaktiva ämnen finns allmänt i dricksvatten, särskilt i vatten från grundvattentäkter. Grundvatten i berg kan innehålla relativt höga halter av naturligt radioaktiva ämnen, i synnerhet i områden med uranrika graniter och pegmatiter. Sverige har förhållandevis höga halter av naturligt radioaktiva ämnen i grundvattnet. I den här undersökningen har vi gjort mätningar på dricksvattenprover för att uppskatta halten av naturligt förekommande radioaktiva ämnen som avger alfa- och betastrålning. Alfaaktiviteten kommer främst från uran-238 (^{238}U), uran-234 (^{234}U), radium-226 (^{226}Ra) och polonium-210 (^{210}Po) och betaaktiviteten från bly-210 (^{210}Pb), vismut-210 (^{210}Bi) och radium-228 (^{228}Ra). När prov tagits från privata brunnar har även radon-222 (^{222}Rn) analyserats.

I EU:s dricksvattendirektiv, 98/83/EC finns ett referensvärde för Total Indikativ Dos, TID, på 0,1 millisievert per år. TID omfattar alla radioaktiva ämnen, både artificiella och naturligt förekommande i dricksvatten med undantag för radon, radonets sönderfallsprodukter, ^{40}K och tritium. En första indikation på att TID kan vara för hög är att den totala alfaaktiviteten (förutom radon) överstiger 0,1 Bq/l eller att den totala betaaktiviteten överstiger 1 Bq/l. Den nya svenska dricksvattenföreskriften baserad på EU:s dricksvattendirektiv har trätt i kraft, men kommer inte att börja tillämpas förrän i december 2003, [1]. I den svenska föreskriften är TID på 0,1 mSv/år gränsvärde för bedömningen "tjänligt med anmärkning". Gränsvärden för radon i dricksvatten finns i Sverige sedan 1997 i Livsmedelsverkets Dricksvattenkungörelse [2]. Över 100 Bq/l betecknas vattnet som "tjänligt med hälsomässig anmärkning" och över 1000 Bq/l som "otjänligt". Man kan säga att det utformats en praxis att 100 Bq/l är ett gränsvärde för allmänt (oftast kommunalt) vatten, medan 1000 Bq/l ses som en rekommendation för enskilt vatten.

I Sverige finns det ca 2100 allmänna vattenverk. Ungefär hälften av befolkningen använder vatten från ytvattenverk. 1,2 miljoner personer försörjs permanent med vatten från egen brunn [3]. SGU:s Brunnsarkiv har uppgifter om ca 200 000 brunnar.

Tabell 1 Produktion av dricksvatten i Sverige 1997 [3].

Vatten	Antal allmänna vattenverk	Antal anslutna personer	Produktion %
Grundvattenverk utan konstgjord infiltration	1712	2 034 000	26
Grundvattenverk med konstgjord infiltration	134	1 830 000	23
Ytvattenverk	197	4 036 000	51

Den genomsnittliga vattenförbrukningen per person och dygn i Sverige är ungefär 350 liter. Av detta använder hushållen cirka 200 liter per person. [3]. Den direkta förtäringen av dricksvatten beräknas vara ca 2 l per person och dygn [4].

Undersökningens syfte och omfattning

Syftet med undersökningen har varit dels att testa de mätmetoder som krävs för att verifiera att referensvärdet för TID är uppfyllt, dels att genom mätning av ett antal prover

från grundvattenverk få en indikation på vilka nivåer på TID som konsumtion av dricksvatten i Sverige kan ge. Mätningar har också gjorts på prover från ett antal privata brunnar. Dricksvattenföreskriften gäller visserligen bara för allmänt vatten, men det är ofrånkomligt att även ägare till privata brunnar kommer att bedöma kvaliteten på sitt vatten utifrån de referensvärden som finns i föreskriften.

Ett 30-tal slumpmässigt utvalda vattenverk som i huvudsak utnyttjar grundvatten tillfrågades om de ville delta i undersökningen. 24 vattenverk tackade ja och skickade in totalt 41 prover. En del vattenverk har skickat in prov från flera vattentäkter och ibland också både råvatten och dricksvatten. 6 vattenverk ingår sedan tidigare i SSI:s miljöövervakningsprogram med regelbunden rapportering till EU avseende ^{137}Cs och ^{90}Sr . Enstaka analyser på radon har gjorts på vatten från vattenverk. Dessutom tillfrågades personalen på Statens strålskyddsinstitut om prover från privata brunnar. Prov från åtta brunnar har tagits i samarbete med SGU. Ett 30-tal vattenprover från brunnar, huvudsakligen från Mälardalen, har analyserats. På alla dessa har en radonmätning gjorts.

Provtagning och mätmetoder

Provtagning

För provtagning är det viktigt att vattnet är ordentligt omsatt. En ren glasflaska ska användas och provplats och provtid ska anges, se bilaga 1a. På vatten där även radonmätning gjordes, var metodiken vid provtagningen extra viktig, se bilaga 1b.

Mätmetoder

Alla mätningar av total alfa- och betaaktivitet, radon liksom de nuklidspecifika bestämningarna av uran, radium och bly har gjorts med en vätskescintillationsspektrometer (LSC) med låg bakgrund och med möjlighet att samtidigt separat bestämma alfa- och betaaktiviteten i provet (Wallac Quantulus 1220). Figur 1 och 2 är exempel på alfa- och betaspektra från mätning av vattenprov som innehåller uran, ^{226}Ra och ^{210}Pb . Alla mätningarna har gjorts i mätkärl som rymmer 22 ml.

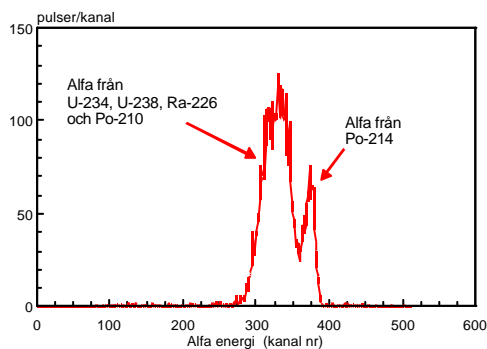


Fig 1 Exempel på ett alfaspektrum från ett vattenprov.

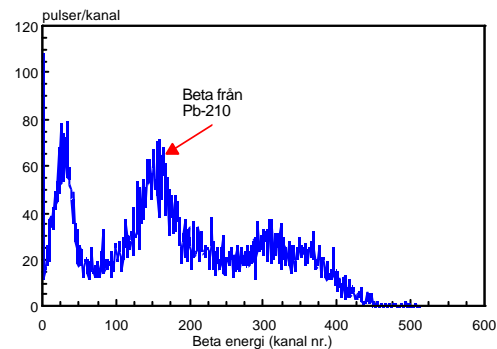


Fig 2 Exempel på ett betaspektrum från ett vattenprov.

Mätning av radon i vatten

För mätning av radon i vatten använder vi ett mätkärl av borsilikatglas med låg halt av kalium. Som scintillator (cocktail) användes Ultima Gold XR. Provberedningen är okomplicerad. 10 ml av vattenprovet pipetterades försiktigt direkt i mätkärlet som innan var fyllt med 12 ml cocktail. Provet mättes sedan (mättid 30-60 min) efter någon timme då radon och de kortlivade radondöttrarna kommit i "jämvikt". Provet mättes 2 gånger med några timmars mellanrum för att kontrollera eventuellt läckage av radon. Alla pulser i alfa-spektrat används för bestämning av radonkoncentrationen. För en utförligare beskrivning av kalibrerings- mät- och beräkningsprocedureerna, se bilaga 2.

Mätning och bestämning av total alfa- och betaaktivitet, uran, ^{226}Ra och ^{210}Pb .

För dessa mätningar användes ett mätkärl av polyetylen med en ytbeläggning av teflon och som cocktail "Optiphase HiSafe 2". 19 ml av vattenprovet frystorkas i mätkärlet varefter ytterligare 19 ml av provet frystorkas i samma mätkärl. Därefter löses de kvarvarande torra resterna i 1 ml 0,1 M HCl vattenlösning och 21 ml cocktail tillsätts. Provet mäts efter ca 1 månad då ^{222}Rn och de kortlivade radondöttrarna kommit i jämvikt med ^{226}Ra . Resultat från mätning under 5 timmar används sedan för beräkningarna. För en utförligare beskrivning av kalibrerings- mät- och beräkningsprocedureerna, se bilaga 2.

Resultat och analys av undersökningen

Studien visar att de relativt enkla provtagnings- och mätmetoderna som använts i studien är tillräckliga i de allra flesta fall. I några fall kan kemisk separation av enskilda nuklider bli nödvändig för att bestämma TID.

Vattenprover från 24 vattenverk har undersökts, en del av verken skickade prover både på råvatten och utgående vatten. Några verk har skickat prover från flera råvattentäkter. Totalt har 41 prover analyserats. Dessutom har ett trettiootal prover från privata borrhade brunnar, de flesta i Mälardalen, analyserats. Mätresultaten visar att 8 av de 27 vattenverken hade värden på den totala alfaaktiviteten som låg över screeningvärdet 0,1 Bq/l, medan inget av verken låg över motsvarande värde för betaaktivitet, 1 Bq/l. För att kunna verifiera TID-värdet för dricksvattnet för de 8 verken måste man alltså gå vidare och göra nuklidspecifika analyser. Dessa analyser visade dock att TID-värdet inte översteg 0,1 mSv per år för något av verken.

Förhöjda halter av uran fanns i dricksvattnet från några av verken, det högsta värdet var 0,55 Bq/l motsvarande 0,016 mg per liter (mg/l). Det finns idag inget gränsvärde i Sverige för uran i dricksvatten. Hälsoriskerna med uran i dricksvatten orsakas i första hand av uranets tungmetallegenskaper, dvs. dess kemiska giftighet. Risken att få cancer från uran i dricksvatten är liten, eftersom stråldoserna är relativt låga.

Från privata brunnar analyserades 28 vattenprover, 22 av dem var vatten från bergborrade brunnar, Av dessa låg 19 över screeningvärdet för total alfaaktivitet och 11 låg över screeningvärdet för total betaaktivitet. Vattenprover från 4 av brunnarna hamnade över riktvärdet för TID. Åtta brunnar hade uranhalter överstigande 1 Bq/l (0,03 mg/l), det högsta värdet var 6 Bq/l (0,18 mg/l). I några fall har också förhöjda halter av radium-226 uppmätts, upp till 2,5 Bq/l.

Förhöjda halter av uran i vatten kan sänkas genom att vattnet filtreras med aktivt kol eller behandlas med jonbytare.

Resultaten av vattenanalyserna visar också att det kan bli nödvändigt för något enstaka vattenverk att vidta åtgärder för att sänka halten av alfastrålare. Detta för att inte överskrida referensvärdet 0,1 mSv/år för TID. Något fler vattenverk förväntas dock behöva vidta åtgärder för att sänka uranhalten för att inte överskrida eventuellt kommande hygieniska gränsvärde för dess kemiska giftighet. En översikt av uranets kemiska hälsorisker redovisas i en rapport från Institutet för miljömedicin vid Karolinska institutet [5]. Världshälsoorganisationen, WHO, har angivit ett preliminärt riktvärde på 0,002 mg/l för uran i dricksvatten. USA har ett riktvärde på 0,03 mg/l. I en omfattande finsk epidemiologisk studie har man sett effekter på njurarnas funktion, men inga allvarliga njurskador vid de nivåer som finns i dricksvatten. I studien föreslås ett gränsvärde mellan 0,002 och 0,03 mg/l [6]. Resultaten från de relativt få vattenverk som denna studie omfattar visar att det är önskvärt att genomföra en landsomfattande kartläggning. En sådan studie planeras i samarbete med Livsmedelsverket och Sveriges geologiska undersökning.

TID som omfattar alla radioaktiva ämnen (med vissa undantag) som förekommer i dricksvatten beräknas som summan av doserna från dessa radionuklider. Om den totala alfaaktiviteten är >0,1 Bq/l eller den totala betaaktiviteten är >1,0 Bq/l bör en noggrannare nuklidspecifik analys göras. Från mätresultaten av denna analys beräknas sedan TID som summan av koncentrationerna gånger tillhörande dosfaktor.

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i(obs)}{C_i(ref)} \leq 1$$

där

$C_i(obs)$ = uppmätt koncentration av radionuklid i

$C_i(ref)$ = referensaktivitetskoncentration av radionuklid i (tabell 2)

n = antalet radionuklider som detekterats

Tabell 2 Referensaktiviteter för olika nuklider.

Nuklidspecifik koncentration i dricksvatten som ger en dos av 0,1 mSv/år (TID) enligt dricksvattendirektiv.

Nuklid	Bq/l	Nuklid	Bq/l	Nuklid	Bq/l
²³⁸ U	3	¹⁴ C	240	⁶⁰ Co	40
²³⁴ U	3	⁹⁰ Sr	5	¹³⁴ Cs	7
²²⁶ Ra	0,5	^{239/240} Pu	0,6	¹³⁷ Cs	11
²²⁸ Ra	0,2	²⁴¹ Am	0,7	¹³¹ I	6

Mätresultat

Sammanställning av mätresultaten från denna studie

Detaljerade mätresultat redovisas i bilagorna 3 och 4.

Tabell 3 Antal av de undersökta vattentäkterna där TID kan överskridas.

Vattenverk	Antal vattenverk och privata brunnar där TID kan överskridas från mätning av			
	totalalfa	totalbeta	²²⁶ Ra	Uran
Grundvatten utan konstgjord infiltration (15 prover)	4 (27%)	0	0	0
Grundvatten med konstgjord infiltration (12 prover)	4 (33%)	0	0	0
Ytvatten (5 prover)	0	0	0	0
Privata borrade brunnar (22 prover)	19 (90%)	11 (52%)	3 (14%)	1 (5%)

Som framgår av tabellen ger mätningen av totalalfa och totalbeta en indikation att TID kan överskridas i 25-30 % av grundvattenverken. Nuklidspecifik utvärdering av mätningarna visar dock att ingen av de undersökta vattenverken överskrider TID. Trots det kan urankoncentrationen (mg/l) i ett fåtal vattenverk förväntas vara i närheten av eller överskrida eventuellt kommande gränsvärde för dess kemiska giftighet. Ett fåtal prover har tagits både på råvatten och dricksvatten och visar att den normala behandlingen av råvattnet ofta också minskar koncentrationen av alfa- och betastrålande nuklider.

Det är vanligare att grundvatten innehåller förhöjda halter av uran än av ²¹⁰Po och ²²⁶Ra. Typiskt för grundvatten är också att aktiviteten av ²³⁴U är högre än ²³⁸U. Förhållandet ²³⁴U/²³⁸U i dricksvatten varierar beroende på berg- och jordarter samt om brunnen är borrade eller grävd. I en undersökning som gjordes i Sverige på 80-talet [7] var förhållandet ²³⁴U/²³⁸U i borrade brunnar (54 st.) ca 2,4 (bilaga 5), i borrade brunnar i Finland (652 st.) var förhållandet 2,0 och i grävda brunnar 1,4 (139 st) [8]. För att få exakta värden på ²³⁸U-, ²³⁴U-, ²²⁶Ra-, ²¹⁰Po- och ²¹⁰Pb-aktiviteterna måste en kemisk separation av de olika ämnena göras. Men en grov beräkning av uranhalt går att göra utifrån totalalfa och ²²⁶Ra innehållet. I Finland (STUK) där man har använt bägge metoderna har man visat att resultaten från de båda metoderna överensstämmer bra under nämnda förutsättningar.

Tidigare undersökningar gjorda vid SSI (1977-1983), i Finland samt mätningar gjorda av Uppsala kommun 1997

Mätningar av koncentrationen av radon och radium i grundvatten har tidigare gjorts i Sverige på 171 stora vattenverk, 204 små vattenverk och 499 privata borrade brunnar [7]. På 54 av proverna från privata brunnar gjordes, senare efter kemisk separation, mätning av ²³⁴U- och ²³⁸U-aktiviteten, se bilaga 5.

Miljökontoret i Uppsala genomförde mätningar av vattenprover från 282 privata borrade brunnar där radon och uranhalt bestämdes [9]. En sammanställning av dessa mätningar

redovisas i nedanstående tabell 4. Som jämförelse redovisas också resultat från mätningar i borrhade brunnar i Finland [8].

Tabell 4 Sammanställning av resultat från tidigare vattenmätningar.

Typ av vattentäkt		²²⁶ Ra Bq/l	U Bq/l	Rn Bq/l
Stora vattenverk (Sverige)	Median	0,004		12
	Max	0,29		150
Små vattenverk (Sverige)	Median	0,004		20
	Max	0,29		1008
Privata borrhade brunnar (Sverige)	Median	0,012	0,087	84
	Max	2,45	9,67	8855
Borrhade brunnar (Finland)	Median	0,02	1,98	260
			U mg/l	Rn Bq/l
Bergborrade brunnar i Uppsala kommun	Median		0,012	222
	Max		0,246	2363

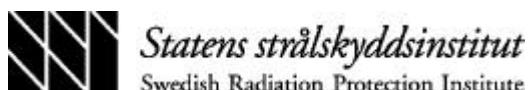
Tack

Författarna vill tacka Pia Westerbacka, Strålsäkerhetscentralen, STUK, Finland, för information om analysmetoder och utvärdering, samt för hjälp med jämförelseprover och kalibreringslösningar.

Referenser

1. Livsmedelsverket, Statens livsmedelsverks föreskrifter om dricksvatten, SLVFS 2001:30.
2. Livsmedelsverket, Statens livsmedelsverks kungörelse om ändring i kungörelsen (SLV FS 1989:30) med föreskrifter och allmänna råd om dricksvatten, SLVFS 1997:32.
3. Hult A. Dricksvattensituationen i Sverige. VAV AB, VA-FORSK RAPPORT 1998-15.
4. ICRP 23. Report of the Task Group on Reference Man. 1974.
5. Dock L. Kemisk toxicitet av uran och utarmat uran. IMM-rapport 1 /02, Institutet för miljömedicin, Karolinska institutet, Stockholm, 2002.
6. Auvinen A. et.al, Uranium and other natural radionuclides in drinking water and risk of leukemia: a case-cohort study in Finland. Cancer Causes and Control, 13: 825-829, 2002.
7. Kulich J. et.al, Radon och radium i hushållsvatten. SSI-rapport 88-11, 1988.
8. Salonen L. and Huikuri P.: Elevated levels of uranium-series radionuclides in private water supplies in Finland. Paper presented in 5th international conference on high levels of natural radiation and radon areas: Radiation Dose and Health Effects, 2000 Munich, Germany.

9. Lewin L. och Simeonidis A.: Kartläggning av radon, fluorid och tungmetaller i bergborrade brunnar inom Uppsala kommun. Uppsala kommun, Miljökontoret, 1998.
10. Salonen L.: Measurement of low levels of ^{222}Rn in water with different commercial liquid scintillation counters and pulse-shape analysis. In *Liquid Scintillation Spectrometry 1992*, edited by J.E. Noakes, F. Schönhofer and H.A. Polach. RADIO-CARBON 1993, pp 361-372.
11. Salonen L. and Hukkanen H.: Advantages of low-background liquid scintillation alpha-spectrometry and pulse shape analysis in measuring ^{222}Rn , uranium and ^{226}Ra in groundwater samples. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol 226, Nos 1-2, pp. 67-74, 1997.



Miljöövervakning och mätberedskap

En undersökning för att kartlägga halten av naturlig radioaktivitet i dricksvatten

Naturligt radioaktiva ämnen förekommer i dricksvatten, särskilt från grundvattentäkter. Grundvatten i berg kan innehålla relativt stora mängder radioaktiva ämnen, i synnerhet i områden med uranhaltig granit. I den här undersökningen ska vi mäta och uppskatta mängden av aktivitet från alfa- och betastrålning.

Alfaaktiviteten kommer från uran-234, uran-238, radium-226 och polonium-210 och betaaktiviteten från kalium-40, bly-210 och radium-228.

Analyserna tar 1- 2 månader att utvärdera, resultat kommer att skickas efter avslutad undersökning.

PROVTAGNING

Provet tas direkt från kranen på det utgående vattnet i en ren glasflaska med en bra skruvkork (saftflaska, spritflaska eller dylikt). Provmängd 0,5 – 1,0 liter. Var vänlig att svara på frågorna i det medföljande formuläret och skicka prov och formulär till nedanstående adress.

Med vänlig hälsning
Statens strålskyddsinstitut

Inger Östergren
Lab.ing

Telefon och e-post

08 – 729 72 12, inger.ostergren@ssi.se

RADIOAKTIVITETSUNDERSÖKNING AV VATTENPROV

UPPGIFTER OM VATTENTÄKTEN

Kommun: _____	Anläggning: _____
Vattentäkt: _____	Kontaktperson: _____
Telefonnummer och fax: _____	
Antal anslutna personer: _____	Total vattenproduktion: _____
Provtagningsdatum: _____	Klockan: _____

Provet taget på:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Grundvatten | <input type="checkbox"/> Med konstgjord infiltration |
| | <input type="checkbox"/> Utan konstgjord infiltration |
| <input type="checkbox"/> Ytvatten | |
| <input type="checkbox"/> Inkommande vatten | <input type="checkbox"/> Utgående vatten |

När gjordes senaste radonmätningen på dricksvattnet? _____

Vilket var resultatet _____ Bq/l

Har vattnets egenskaper gällande annan naturlig radioaktivitet än radon undersökts tidigare?

Ja Nej

Annan information: _____

En undersökning för att kartlägga halten av naturlig radioaktivitet i dricksvatten

Naturligt radioaktiva ämnen förekommer i dricksvatten, särskilt från grundvattentäkter. Grundvatten i berg kan innehålla relativt stora mängder radioaktiva ämnen, i synnerhet i områden med uranhaltig granit. I den här undersökningen ska vi mäta och uppskatta mängden av aktivitet från radon-222 och annan alfa- och betastrålning.

Alfaaktiviteten kommer från uran-234, uran-238, radium-226, polonium-210 och radon-222, betaaktiviteten från kalium-40, bly-210 och radium-228.

Analyserna tar 1- 2 månader att utvärdera, resultat kommer att skickas efter avslutad undersökning.

Provtagning

Vattnet som skall provtas bör vara omsatt och inte stått i hydroforen, rörsystemet eller brunnen mer än någon dag. Låt vattnet rinna en stund med låg hastighet innan provet tas. Placera provflaskan tätt under kranen och låt vattnet rinna in i flaskan med så låg hastighet att allt vatten kommer in i flaskan utan att stänka, annars försvinner radongasen ut ur vattnet. I kranar med luftblandare används ett så litet tryck att blandaren inte fungerar. Fyll flaskan men lämna 2-3 cm längst upp så att vattnet kan utvidgas om det värms upp. Provet tas direkt från kranen på det utgående vattnet i en ren glasflaska med en bra skruvkork (saftflaska, spritflaska eller dylikt). Provmängd 0,5 – 1,0 liter. Var vänlig att svara på frågorna i det medföljande formuläret och skicka provet snabbt och formulär till nedanstående adress.

Med vänlig hälsning
Statens strålskyddsinstitut

Inger Östergren
Lab.ing

Telefon och e-post

08 – 729 7212, inger.ostergren@ssi.se



Miljöövervakning och mätberedskap

RADIOAKTIVITETSUNDERSÖKNING AV VATTENPROV

UPPGIFTER OM BRUNNEN

Ägare eller kontaktperson: _____

Adress: _____

Kommun: _____ Fastighetskod: _____

Telefonnummer och fax _____

Brunnstyp: Borrbrunn Ringbrunn Källbrunn
Rörbrunn Annat

Djup _____

Provet taget: Datum _____ Klockan _____

Från kranen Från brunnen

Annat varifrån _____

VATTENANVÄNDNINGSUPPGIFTER

Bostadens typ: Stadigvarande Fritidsbostad

Antal förbrukare: _____ Brunnen används _____ månader per år

Vattenförbrukning: _____ liter/dygn

Har vattnets radonhalt undersökts tidigare? Ja Nej

Om ja: När _____ Vilket resultat _____ Bq/l

ANDRA UPPGIFTER

Vattenbehandling:

Ja Nej

<input type="checkbox"/> Avjärning	Metod/apparatur _____
<input type="checkbox"/> Avmanganisering	Metod/apparatur _____
<input type="checkbox"/> Humusrening	Metod/apparatur _____
<input type="checkbox"/> pH-justering	Metod/apparatur _____
<input type="checkbox"/> Radonavskiljare	Metod/apparatur _____
<input type="checkbox"/> Annan	Vilken _____

Beskrivning av kalibrerings- mät och beräkningsprocedurerna

Kort beskrivning av vätskescintillationsspektrometer Wallac 1220 Quantulus

Ljuspulsen från en alfapartikel är längre än från en beta-partikel i de scintillationsvätskor som används. Denna egenskap gör det möjligt att skilja alfa- och beta- strålningen åt i ett prov. Detta görs elektroniskt genom pulsformsanalys (PSA) av signalerna från fotomultiplikatorerna som omger provbehållaren med scintillationsvätskan. Inställningen av elektroniken för bästa uppdelning av alfa- och betapulserna sker med hjälp av nukliderna ^{241}Am , som är en ren alfastrålare och ^{36}Cl som är en ren betastrålare. Denna inställning är specifik för varje typ av scintillationsvätska och måste kontrolleras regelbundet. Vid korrekt inställning är störningen från alfaskiktet till betaskiktet och vice versa mindre än 0,5 %.

Ljuspulsens styrka (pulshöjden) är ett mått på den energi som absorberats i scintillationsvätskan vilket gör att man med pulshöjdsanalys får ett energispektrum av alfa eller betastrålningen.

Pulshöjden från ett prov påverkas av hur färgat provet är (quenching). Både energispektra och verkningsgrad påverkas. Ett mått på provets ljustransmission, "S(Q)P", görs genom extern gammabestrålning av provet med en radiumkälla. Detta sker inför varje mätcykel.

Radonmätning

Bestämning av verkningsgraden för radonmätningar

En känd mängd av ^{226}Ra (ca 50-100 Bq) från en standardlösning samt 5-7 ml avjoniserat vatten tillsätts till ett mätkärl av bor-silikat-glas med låg kaliumhalt. Provet luftas under minst 4 timmar för att ta bort radonet och låta de kortlivade radondöttrarna avklinga. Därefter fylls provet upp till 10 ml med avjoniserat vatten och 12 ml Ultima Gold XR (scintillationsvätskan) tillsätts. I provet finns då endast ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Bi och ^{210}Po kvar i lösningen. Ett skruvlock klätt med aluminiumfolie gör mätkäret radontätt. Mätningar direkt efter att provet tillverkats används sedan som bakgrundsmätning. Den långlivade ^{210}Pb och dess sönderfallsprodukter ^{210}Po och ^{210}Bi går inte att undvika då de byggs upp i ^{226}Ra standardlösningen.

Provet mäts sedan flera gånger för att följa uppbyggnaden av radon och som kontroll på att mätkäret är radontätt. Mätningar efter en månad, då radonaktiviteten i provet är i jämvikt med ^{226}Ra , används för beräkning av verkningsgraden (h).

$$h = \frac{(N_s - N_b)}{A}$$

där

A = tillsatt ^{226}Ra aktivitet (Bq)

N_s = pulser/s för provet med standard efter 1 månad ($^{226}\text{Ra} + ^{222}\text{Rn} + ^{218}\text{Po} + ^{214}\text{Po} + ^{210}\text{Po}$)

N_b = pulser/s för provet med standard direkt efter tillverkning ($^{226}\text{Ra} + ^{210}\text{Po}$)

Mätning och beräkning av radonhalt i vatten

För mätning av radonhalt i vatten använder vi samma slags mätkärl av bor-silikat-glas med låg halt av kalium. Som scintillator (cocktail) använder vi Ultima Gold XR. 10 ml av vattenprovet pipetteras försiktigt direkt i mätkärlet som innan ska vara fyllt med 12 ml cocktail. Påfyllningen av vattenprovet ska göras sakta och försiktigt för att undvika förluster av radon. Provet tillslutes med ett skruvlock med aluminiumfolie. Därefter skakas mätkärlet för en noggrann blandning av vatten och scintillationsvätska.

Provet mäts sedan efter någon timme då radon och de kortlivade radondöttrarna kommit i "jämvikt" (mättid: 30-60 min). Provet mäts 2 gånger med flera timmars mellanrum för att kontrollera eventuellt läckage av radon. Alla pulser i alfaspекtrat används för bestämning av radonkoncentrationen.

Vid varje preparationstillfälle tillverkas ett "blankt" prov av avjoniserat vatten som sedan används som bakgrund till mätningarna.

Vid mycket låga radonhalter krävs ytterligare mätningar för att skilja radonets alfaaktivitet från övrig eventuell alfaaktivitet i provet.

Radonhalten C (Bq/l) beräknas ur:

$$C = \frac{R_s - R_b}{h * V * (1 - e^{-\lambda t})} \text{ (Bq/l)}$$

där

C = radonhalt (Bq / l)

R_s = provets pulser (cps)

R_b = bakgrundspulser (cps)

h = verkningsgraden för ($^{222}\text{Rn} + ^{218}\text{Po} + ^{214}\text{Po}$) tillsammans = 2,71

V = provmängd i liter (typiskt 0,01)

λ = sönderfallskonstant för ^{222}Rn , (0,2618 dagar⁻¹)

t = tid (dagar) som förflutit mellan provtagning och mittpunkten av mättiden.

Minsta detekterbara aktivitetskoncentration av radon i vatten är då ca 1 Bq/l.

Mätning och bestämning av total alfa och betaaktivitet, uran, ^{226}Ra och ^{210}Pb .

För dessa mätningar använder vi ett mätkärl av polyetylen med en ytbeläggning av teflon och som cocktail "Optiphase HiSafe 2". 19 ml av vattenprovet frystorkas i mätkärlet varefter ytterligare 19 ml av provet frystorkas i samma mätkärl. Därefter löses de kvarvarande torra resterna i 1 ml 0,1 M HCl i vattenlösning och 21 ml cocktail tillsätts. Provet

skakas för att prov och cocktail ska blandas väl. Provet ska sedan förvaras mörkt och kallt i ca 1 månad för att ^{222}Rn och de kortlivade radondöttrarna ska komma i jämvikt med ^{226}Ra . Mätning under 5 timmar används sedan för beräkningarna.

Bestämning av verkningsgraden för totalalfa, totalbeta och ^{226}Ra aktivitet

Verkningsgraden för detektion av alfapartiklar är nästan 100 %. Med ^{241}Am som är en ren alfastrålarare fås en verkningsgrad på 0,99 men för alfaenergi över ca 6 MeV minskar verkningsgraden. Verkningsgraden för betapartiklar är något lägre och något beroende på betaenergin. Den har bestämts till 0,98 med hjälp av ^{36}Cl som är en ren betastrålarare. I de prover som undersöks kan man förvänta sig en blandning av olika nuklider. Nedanstående tabell 5 sammanfattar de nuklider som kan förväntas i dricksvattenproverna och de nuklider som ingår i beräkningen av totalalfa, totalbeta och TID.

Tabell 5 Radionuklider som kan förekomma i dricksvatten.

Radionuklid	Alfa-strålarare	Beta-strålarare	Ingår i beräkning av		
			Totalalfa	Totalbeta	TID
^{238}U	X		X		X
^{234}U	X		X		X
^{226}Ra	X		X		X
^{222}Rn	X				
^{218}Po	X				
^{214}Pb		X			
^{214}Bi		X			
^{214}Po	X				
^{210}Pb		X		X	
^{210}Bi		X		X	
^{210}Po	X		X		
^{228}Ra		X		X	X
^{40}K		X			
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$		X		X	X
^{137}Cs		X		X	X
^3H		X			
^{14}C		X			

Kalibreringsprocedur

En känd mängd av ^{226}Ra (ca 50-100 Bq) från en standardlösning (1 ml) tillsätts i ett mätkärl av polyetylen klädd med teflon och skruvlock med aluminiumfolie, och därefter 21 ml cocktail (Optiphase HiSafe 2). Provet mättes några gånger direkt efter produktion. Denna mätning är en bakgrundsmätning. Den långlivade ^{210}Pb och dess sönderfallsprodukter ^{210}Po och ^{210}Bi går inte att undvika då de byggs upp i ^{226}Ra standardlösningen.

Efter 1 månad när ^{222}Rn och dess kortlivade sönderfallsprodukter kommit i jämvikt med ^{226}Ra mäts provet på nytt. I provet finns då ^{222}Rn , ^{218}Po samt ^{214}Po i jämvikt med ^{226}Ra . ^{214}Po har en högre alfaenergi än de övriga och kan särskiljas i energispektrat, se fig. 1. Pulserna i denna topp används för beräkning av ^{226}Ra -innehållet i provet. Verkningsgraden för ^{214}Po är 79 %. Verkningsgraden för övriga alfa-energies är 99 %.

Beräkning av totalalfa, totalbeta, ^{226}Ra och uran-aktivitet

Provets alfa-spektra kan nu innehålla alla de nuklider som ska ingå i totalalfa, men innehåller också ^{222}Rn och de kortlivade radondöttrarna som inte ska ingå i totalalfaberäkning om provet innehåller ^{226}Ra . [11] Så först beräknas ^{226}Ra -aktiviteten från pulserna i ^{214}Po -toppen.

^{226}Ra koncentrationen i provet: C_{Ra} (Bq/l) beräknas ur:

$$C_{\text{Ra}} = \frac{R_{sPo} - R_{bPo}}{h_{Po} * V} \text{ (Bq/l)}$$

där

$$C_{\text{Ra}} = ^{226}\text{Ra} \text{ (Bq / l)}$$

$$R_{sPo} = \text{provets pulser i } ^{214}\text{Po} \text{ toppen (cps)}$$

$$R_{bPo} = \text{bakgrundspulser i } ^{214}\text{Po} \text{ toppen (cps)}$$

$$h_{Po} = \text{verkningsgraden för detektion av } ^{214}\text{Po} \text{ alfapartiklar, (typiskt = 0,79)}$$

$$V = \text{provmängd i liter (typiskt 0,038)}$$

Minsta detekterbara aktivitetskoncentration av ^{226}Ra i vatten är då ca 0,02 Bq/l.

Totalalfa beräknas som all kvarvarande alfa-aktivitet sedan bidragen från ^{222}Rn , ^{218}Po och ^{214}Po tagits bort.

Totalalfa i provet: C_{To} (Bq/l) beräknas ur:

$$C_{\text{To}} = \frac{(R_{sT} - R_{bT}) - (R_{sPo} - R_{bPo}) - 2 * (R_{sPo} - R_{bPo}) * \frac{h_T}{h_{Po}}}{h_T * V} \text{ (Bq/l)}$$

där

$$C_{\text{To}} = \text{totalalfa (Bq / l)}$$

$$R_{sPo} = \text{provets pulser i } ^{214}\text{Po} \text{ toppen (cps)}$$

$$R_{bPo} = \text{bakgrundspulser i } ^{214}\text{Po} \text{ toppen (cps)}$$

$$h_{Po} = \text{verkningsgraden för detektion av } ^{214}\text{Po} \text{ alfapartiklar, (typiskt = 0,79)}$$

$$R_{sT} = \text{provets alla pulser (cps)}$$

$$R_{bT} = \text{bakgrundspulser (cps)}$$

$$h_T = \text{verkningsgraden för detektion av övriga alfapartiklar, (typiskt = 0,99)}$$

$$V = \text{provmängd i liter (typiskt 0,038)}$$

Minsta detekterbara aktivitetskoncentration för totalalfa är då ca 0,04 Bq/l.

Den beräknade totalalfaaktiviteten består huvudsakligen av alfa från uran, ^{226}Ra samt ^{210}Po . Vanligtvis innehåller grundvatten högre aktivitet av uran än ^{210}Po . Högre halter av

^{210}Po påverkar alfa och beta-energispektrats form synbart. Om så inte är fallet kan man beräkna urankoncentrationen i provet som

$$C_U = C_{To} - C_{Ra} \text{ (Bq/l)}$$

Detta blir ett ungefärligt värde eftersom provet även kan innehålla något ^{210}Po . För att verifiera denna metod har noggranna analyser av tre vattenprover gjorts. Resultaten från de två metoderna överensstämmer väl och redovisas i tabell 6 nedan.

Tabell 6 Jämförelse mellan kemiska separationsmetoder och enkel mätning med vätskescintillator.

	Kemisk analys			Vätske- Scint.
	^{238}U Bq/l	^{234}U Bq/l	Summa	Bq/l
Prov 1	0,29	0,66	0,95	0,95
Prov 2	0,36	0,73	1,08	1,47
Prov 3	0,53	0,86	1,4	1,3

innehåller något ^{210}Po

Nukliderna som ingår i totalbeta är: ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{137}Cs och ^{90}Sr , men inte beta från de kortlivade radondöttrarna. Om det finns ^{226}Ra i provet måste bidraget från de kortlivade radondöttrarna subtraheras från den totalt uppmätta betaaktiviteten. Energispektrat från betamätning av ett vattenprov tillåter inte analys av enskilda nuklider, så bidraget från de kortlivade radondöttrarna beräknas från alfamätningen av ^{226}Ra .

Bidraget till betapulser från ^{226}Ra har beräknats ur kalibreringsmätningen där verkningsgraden för alfastrålning från ^{214}Po bestämdes.

Totalbeta i provet: C_{To} (Bq/l) beräknas ur:

$$C_{To} = \frac{(R_{sT} - R_{bT}) - K_{ab} * (R_{sPo} - R_{bPo})}{h_T * V}$$

där

C_{To} = totalbeta (Bq / l)

R_{sPo} = provets alfapulser i ^{214}Po toppen (cps)

R_{bPo} = bakgrundspulser(alfa) i ^{214}Po toppen (cps)

K_{ab} = 2,4 , bidragsfaktor (pulser i betafönster/alfapulser i ^{214}Po toppen)

R_{sT} = provets alla pulser i betafönstret (cps)

R_{bT} = bakgrundspulser betafönstret (cps)

h_T = verkningsgraden för detektion av beta partiklar, (typiskt = 0,98)

V = provmängd i liter (typiskt 0,038)

Minsta detekterbara aktivitetskoncentration för totalbeta är då ca 0,3 Bq/l.

Endast några enstaka prov från vattenverk har något synbart innehåll av ^{210}Pb medan flera prover från de privata brunnarna innehåller små mängder av ^{210}Pb . Höga halter av ^{222}Rn i vatten kan vara en indikering av ökade halter av ^{210}Pb . Kemiska analyser gjordes av ett vattenprov från en privat brunn med synligt ^{210}Pb innehåll. Provet innehöll 1,5 Bq/l ^{210}Pb och 3200 Bq/l ^{222}Rn .

Mätresultat från vattenverk

Bilaga 3

Anläggning	Kommun	Vattentäkt	produktion m ³ /dgn	Anslutna personer	Total alfa Bq/l	Total beta Bq/l	Ra-226 Bq/l	U Bq/l	Uran *) mg/l	Rn **) Bq/l	Cs-137 Bq/l	Sr-90 Bq/l
Vattenverk som deltagit i undersökningen. Grundvatten utan konstgjord infiltration												
Arvidsbo vv	Tierp	Frebro, Arvidsbo	2 685	7 100	0,21	<0,3	<0,02	0,21	0,006			
Arvidsjaur v v	Arvidsjaur	Arvidsjaur		5 300	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	90		
Edvalla	Tierp	Edvalla	15	75	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	94		
Forslunda v v	Umeå	Vindelåvsåsen	23 014	93 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	<50		
Graningebbruk vv	Sollefteå		7	27	0,19	0,36	<0,02	0,19	0,006	29		
Grönsta	Sundsvall	Grönsta B10	18 000	43 500	0,049	<0,3	<0,02	0,049	0,001	32		
Kalix VA	Kalix	Kalix	4 384	13 600	<0,04	<0,3	0,039	<0,02	<0,001	<100		
Kolbäck v v	Hallstahammar	Rv 1 Kolbäck	1 500	3 000	0,94	0,92	0,041	0,90	0,027	53		
Lockörn	Lidköping	Råda källor	877		<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002			
Perstorp 33:9	Halmstads	Perstorp	1 494	2000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002			
Tjärna	Borlänge	Badelundaåsen	13 784	43 500	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	59		
Undrom vv	Sollefteå		49	168	0,077	0,31	<0,02	0,077	0,002	52		
Västlands vv	Tierp	Västland	630	2 400	0,24	<0,3	<0,02	0,24	0,007			
Öjervik	Sunne	Öjervik	1 918	5 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	<50		
Österforsse vv	Sollefteå		1 180	1 833	0,055	<0,3	<0,02	0,055	0,002	3		
Vattenverk som deltagit i undersökningen. Grundvatten med konstgjord infiltration												
Bälqvikens VV	Eskilstuna				0,32	<0,3	0,075	0,25	0,007	4		
Fredriksberg	Ludvika		650	2 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	35		
Galbacken	Uppsala	Storvad	34 247	146 000	0,59	0,84	0,043	0,55	0,016	50		
Granvåg vv	Sollefteå		2 800	9 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	8		
Hyndevadsverket	Eskilstuna		25 000	90 000	0,047	<0,3	0,023	0,024	0,001			
Olofström	Olofström		3 836	11 000	0,16	0,48	0,036	0,12	0,004			
Sättraverket	Gävle	Valboåsen	24000	69 000	0,20	0,34	<0,02	0,20	0,006	70	< 1	
Skälby utgående	Kalmar	Skälby utgående	15 616	48 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	48		
Skälby Ölvingstorp	Kalmar	Ölvingstorp	1 260		<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002			
Skälby Vassmolösa	Kalmar	Vassmolösa	767		<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002			
Skälby Råsbäck	Kalmar	Råsbäck	2 219		<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002			
Östansbo	Ludvika		6 000	20 000	0,050	<0,3	<0,02	0,050	0,002	61		
Gäddvik	Luleå	V.100	20 548	65 000	<0,04	<0,3	0,022	<0,02	<0,001		<0,002	0,005
Vattenverk Ytvatten												
Sörmon v v	Karlstad	Vänern	22 726	60 411	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002			
Alelyckan	Göteborg	Göta älv	4 200	450 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	<30	<0,004	0,007
Minnesgården	Östersund	Storsjön	17 500	52 500	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002		0,006	0,004
Rökebo vv	Sandviken	Öjaren	13 699	29 000	<0,04	0,30	<0,02	<0,04	<0,002	0,2	0,23	0,009
Stockholm Vatten AB	Botkyka	Mälaren	356 164	1 100 000	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	<10	0,006	0,007
Östby	Kramfors	Sjöbysjön	4 120	8880	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002		0,01	0,003
Vattenverk , Råvatten												
Edvalla					0,62	1,0	0,15	0,47	0,014	220		
Västlands VV					0,19	0,31	0,033	0,16	0,005	69		
Bälqvikens VV					2,25	1,24	0,34	1,91	0,057	781		
Fredriksberg					0,17	<0,3	<0,02	0,17	0,005	112		
Östansbo					<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	85		
Minnesgården					<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002		0,005	
Stockholm vatten AB					<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002		0,007	

*) Under antagandet att aktivitetskvoten ²³⁴U/²³⁸U i vatten är 2 så kan mängden uran beräknas ur : 1Bq/l uran är = ca 0,03 mg uran..

**) Mätningar utförda tidigare eller i samband med studien.

Mätresultat från privata brunnar

Bilaga 4

Ort	Kommun	Djup	Bostadstyp	Anslutna personer	Vatten-förbrukning	Total alfa Bq/l	Total beta Bq/l	Ra-226 Bq/l	U Bq/l	Uran *) mg/l	Rn Bq/l	Rn **) Bq/l	Anm.
Privata brunnar, Borrbrunn													
Boda	Grästorp	47	Stadigv.	2		<0,04	<0,3	0,026	<0,02	<0,001	53		
Bonsta	Sala	70	Fritid	1	10 l/dygn	2,33	1,34	0,062	2,27	0,068	59		
Degerhamn	Mörbylånga	ca 30	Fritid	2	150 l/dygn	<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	5		
Edsbro	Norrtälje	ca 40	Stadigv.	5		0,40	0,91	0,063	0,34	0,010	148		
Elingbo	Surahammar	70	Stadigv.	3		1,88	2,60	0,19	1,69	0,051	3227	3200	
Finntorpet	Hallstahammar	67	Stadigv.	5		3,28	3,03	2,31	0,97	0,029	4203		före filter o hydrofor
Finntorpet	Hallstahammar	67	Stadigv.	5		0,14	1,55	<0,02	0,14	0,004	3746		efter filter i kök
Fiskartorp	Surahammar	99	Stadigv.	3		1,64	1,35	0,051	1,59	0,048	697		
Grisslehamn	Norrtälje	47	Fritid	5		0,23	0,32	0,021	0,21	0,006	343		
Gällstaö	Ekerö		Fritid	10		0,78	0,45	0,17	0,61	0,018	16		
Hammersta	Gnesta	38	S + F	65		0,12	<0,3	<0,02	0,12	0,004	192	200	avjäm+avmangan
Knivsbrunna	Uppsala	65	Stadigv.	3	600 l/dygn	0,046	<0,3	0,021	0,03	0,001	83		
Kälsta	Enköping		Stadigv.	2		1,39	1,23	<0,02	1,39	0,042	691		
Ljusterö	Österåker	30	Stadigv.	6		0,87	<0,3	0,090	0,78	0,023	142	2300	Radonavskijare
Läby	Uppsala	80	Stadigv.	3		0,11	<0,3	<0,02	0,11	0,003	105	63	
Olberga	Surahammar		Stadigv.	5		2,76	2,98	0,19	2,57	0,077	1007	1220	
Tiby	Uppsala	40	Stadigv.	4		0,88	1,04	0,11	0,77	0,023	644	700	
Vallby-Sycklinge	Enköping	70	Stadigv.	4		2,20	1,96	0,66	1,55	0,046	1813	2570	
Vibyholm, Viltungla	Örebro					8,48	5,99	2,53	5,95	0,179	2102		
Akersberga	Österåker	ca 80	Stadigv.	2	50 - 400	0,38	<0,3	<0,02	0,38	0,011	115		
Akersberga	Österåker	ca 65	Stadigv.	4	300 - 400	0,52	0,50	<0,02	0,52	0,016	72		
Alem	Mönsterås	110	Stadigv.	4	80-300	0,63	1,06	0,24	0,39	0,012	169		
Privata brunnar, Källbrunn													
Byxelkrok	Borgholm	3,5	Fritid	3	200 l/dygn	0,24	0,24	<0,02	0,24	0,007	56		
Degerhamn	Mörbylånga	7	Fritid	4	350 l/dygn	0,40	0,39	<0,02	0,40	0,012	11		
Gyttorp	Nora skog	10	Stadigv.	2		<0,04	<0,3	<0,02	<0,04	<0,002	115		
Privata brunnar, Ringbrunn													
Klinton	Eskilstuna	ca 6	Fritid	2 familjer	ca 40-50	0,16	<0,3	<0,02	0,16	0,005	<1		
Norra Råda	Norrtälje	4,5	Fritid	2	50	0,17	<0,3	<0,02	0,17	0,005	<1		
Stånga	Visby	5	Stadigv.	2	150	0,09	0,52	<0,02	0,09	0,003	6		
Privata brunnar, Diverse brunnar och andra prover													
Bålinge	Uppsala	16	Stadigv.	2	600 l/dygn	0,16	1,89	0,043	0,11	0,003	45		Rörbrunn
Kvarntorp	Kumla					1,94	5,96	0,53	1,41	0,042			Kalkkälla
Latorp	Örebro					0,83	0,98	0,034	0,80	0,024	6		Bäck
Latorp	Örebro					5,17	7,91	0,21	4,95	0,149	407		Kalkkälla
Latorp	Örebro					1,04	1,62	0,079	0,96	0,029	2		Bäck
Odensbacken	Örebro					0,05	<0,3	<0,02	0,05	0,002	34		Grävd brunn
<p>*) Under antagandet att aktivitetskvoten $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ i vatten är 2 så kan mängden uran beräknas ur : 1Bq/l uran är = ca 0,03 mg uran.</p> <p>**) Mätningar utförda tidigare eller i samband med studien.</p>													

Bilaga 5

Resultat från 54 borrade brunnar, 1980 kemisk analys

ORT	U-238 Bq/l	U-234 Bq/l	Uran Bq/l	Uran mg/l	Ra-226 Bq/l	Totalalfa *) Bq/l	Rn-222 Bq/l
Bergsjö 21/3	0,016	0,054	0,070	0,0013	0,003	0,073	187
Bjuv 12/7	0,010	0,022	0,032	0,0008	0,011	0,043	26
Degerfors 18/5	0,057	0,395	0,452	0,0046	0,021	0,473	78
Ed 15/1	0,107	0,242	0,349	0,0087	0,082	0,431	175
Falkenberg 13/12	0,026	0,039	0,065	0,0021	0,010	0,075	21
Falköping 16/27	0,014	0,053	0,067	0,0011	0,018	0,085	21
Gislaved 6/5	0,001	0,001	0,002	0,0001	0,057	0,059	178
Henån 14/12	0,017	0,064	0,081	0,0014	0,011	0,092	117
Hudiksvall 21/18	0,002	0,003	0,005	0,0002	0,002	0,007	388
Jönköping 6/10	0,014	0,029	0,043	0,0011	0,017	0,060	38
Karlshamn 10/8	1,810	2,520	4,330	0,1472	0,333	4,663	978
Karlstad 17/16	0,044	0,087	0,131	0,0036	0,112	0,243	462
Kinna 15/16	0,002	0,002	0,004	0,0002	0,035	0,039	41
Kungsbacka 13/20	0,045	0,080	0,125	0,0037	0,082	0,207	163
Kungsängen 1/11	0,085	0,247	0,332	0,0069	0,044	0,376	332
Köping 19/14	0,074	0,086	0,160	0,0060	0,016	0,176	327
Ljungby 7/15	0,004	0,009	0,013	0,0003	0,220	0,233	57
Ljusdal 21/5	0,329	0,971	1,300	0,0267	0,003	1,303	84
Mariestad 16/12	0,046	0,037	0,083	0,0037	0,002	0,085	22
Mellerud 15/13	0,012	0,029	0,041	0,0010	0,272	0,313	192
Motala 5/19	0,001	0,005	0,006	0,0001	0,035	0,041	32
Munkedal 14/18	0,008	0,015	0,023	0,0007	0,009	0,032	29
Mölnlycke 14/5	0,001	0,002	0,003	0,0001	0,013	0,016	42
Mörbylånga 8/7	0,055	0,084	0,139	0,0045	0,032	0,171	186
Norrhälje 1/18	0,291	0,568	0,859	0,0237	0,058	0,917	888
Olofström 10/2	0,048	0,081	0,129	0,0039	0,018	0,147	160
Rättvik 20/6	0,750	2,334	3,084	0,0610	0,159	3,243	899
Sandviken 21/10	0,010	0,049	0,059	0,0008	0,017	0,076	149
Skellefteå 24/15	0,004	0,020	0,024	0,0003	0,010	0,034	36
Strängnäs 4/13	0,379	0,899	1,278	0,0308	0,219	1,497	610
Strängnäs 4/15	0,266	0,524	0,790	0,0216	0,053	0,843	143
Strömstad 14/35	0,159	0,480	0,639	0,0129	0,015	0,654	814
Sundsvall 22/11	0,835	3,106	3,941	0,0679	0,191	4,132	1798
Svalöv 12/2	0,011	0,014	0,025	0,0009	0,015	0,040	4
Svenljunga 15/20	0,001	0,002	0,003	0,0001	0,005	0,008	49
Svenstavik 23/9	0,191	0,399	0,590	0,0155	0,445	1,035	30
Sälen 20/15	0,023	0,068	0,091	0,0019	0,031	0,122	93
Söderhamn 21/11	0,037	0,086	0,123	0,0030	0,001	0,124	463
Södertälje 1/13	0,001	0,003	0,004	0,0001	0,001	0,005	20
Tanumshede 14/19	0,056	0,096	0,152	0,0046	0,035	0,187	393
Timrå 22/2	0,008	0,020	0,028	0,0007	0,016	0,044	142
Torsås 8/5	0,005	0,008	0,013	0,0004	0,015	0,028	7
Tranemo 15/10	0,004	0,006	0,010	0,0003	0,006	0,016	104
Uppsala 3/15	0,654	1,944	2,598	0,0532	0,352	2,950	877
Uppsala 3/6	0,131	0,203	0,334	0,0107	0,031	0,365	1530
Visby 9/2	0,093	0,242	0,335	0,0076	0,006	0,341	15
Visby 9/7	0,010	0,015	0,025	0,0008	0,072	0,097	13
Vä-borg 15/25	0,044	0,117	0,161	0,0036	0,201	0,362	495
Västerås 19/10	0,821	1,873	2,694	0,0667	0,136	2,830	339
Ärjäng 17/9	0,001	0,003	0,004	0,0001	0,024	0,028	175
Åseda 7/1	0,002	0,029	0,031	0,0002	0,015	0,046	57
Åtvidaberg 5/4	0,131	0,466	0,597	0,0107	0,132	0,729	127
Örebro 18/13	2,781	6,884	9,665	0,2261	0,163	9,828	1382
Östersund 23/15	0,018	0,027	0,045	0,0015	0,004	0,049	16
Medelvärde	0,195	0,475	0,670	0,0159	0,072	0,742	296
Median	0,032	0,066	0,087	0,0026	0,022	0,136	143
Max	2,781	6,884	9,665	0,2261	0,445	9,828	1798
Min	0,001	0,001	0,002	0,0001	0,001	0,005	4

*) Totalalfa beräknat under antagandet att endast uran och radium har bidragit till alfaaktiviteten.

2003:01 Avfall och miljö vid de kärntekniska anläggningarna; tillsynsrapport 2001

Avdelningen för avfall och miljö.

Monica Persson et.al.

2003:02 Stråldoser vid användning av torvbränsle i stora anläggningar

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.

Hans Möre och Lynn Marie Hubbard. 80 SEK

2003:03 UV-strålning och underlag för bedömning av befolkningsdos från solarier i en storstadsregion

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.

Björn Nilsson, Björn Närlundh och Ulf Wester. 70 SEK

2003:04 Enkätundersökning av entreprenörers inställning till strålning och strålskyddsutbildning vid de svenska kärnkraftverken

Avdelning för personal- och patientstrålskydd

Ingela Thimgren 60 SEK

2003:05 Radiofarmakaterapier i Sverige – kartläggning över metoder

Avdelning för personal- och patientstrålskydd

Helene Jönsson 60 SEK

2003:06 Säkerhets och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken 2002

2003:07 Mätning av naturlig radioaktivitet i dricksvatten. Test av mätmetoder och resultat av en pilotundersökning

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.

Inger Östergren, Rolf Falk, Lars Mjönes och Britt-Marie Ek 70 SEK



STATENS STRÅLSKYDDSIKSTITUT, SSI, är central tillsynsmyndighet på strålskyddsområdet. Myndighetens verksamhetsidé är att verka för ett gott strålskydd för människor och miljö nu och i framtiden.

SSI är ansvarig myndighet för det av riksdagen beslutade miljömålet *Säker strålmiljö*.

SSI sätter gränser för stråldoser till allmänheten och för dem som arbetar med strålning, utfärdar föreskrifter och kontrollerar att de efterlevs. Myndigheten inspekterar, informerar, utbildar och ger råd för att öka kunskaperna om strålning. SSI bedriver också egen forskning och stöder forskning vid universitet och högskolor.

SSI håller beredskap dygnet runt mot olyckor med strålning. En tidig varning om olyckor fås genom svenska och utländska mätstationer och genom internationella varnings- och informationssystem.

SSI medverkar i det internationella strålskydssamarbetet och bidrar därigenom till förbättringar av strålskyddet i främst Baltikum och Ryssland.

Myndigheten har idag ca 110 anställda och är beläget i Stockholm.

THE SWEDISH RADIATION PROTECTION AUTHORITY (SSI) is the government regulatory authority for radiation protection. Its task is to secure good radiation protection for people and the environment both today and in the future.

The Swedish parliament has appointed SSI to be in charge of the implementation of its environmental quality objective *Säker strålmiljö* ("A Safe Radiation Environment").

SSI sets radiation dose limits for the public and for workers exposed to radiation and regulates many other matters dealing with radiation. Compliance with the regulations is ensured through inspections.

SSI also provides information, education, and advice, carries out its own research and administers external research projects.

SSI maintains an around-the-clock preparedness for radiation accidents. Early warning is provided by Swedish and foreign monitoring stations and by international alarm and information systems.

The Authority collaborates with many national and international radiation protection endeavours. It actively supports the on-going improvements of radiation protection in Estonia, Latvia, Lithuania, and Russia.

SSI has about 110 employees and is located in Stockholm.



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

Adress: Statens strålskyddsinstitut; S-17116 Stockholm;

Besöksadress: Karolinska sjukhusets område, Hus Z 5.

Telefon: 08-729 71 00, Fax: 08-729 71 08

Address: Swedish Radiation Protection Authority;

SE-17116 Stockholm; Sweden

Telephone: + 46 8-729 71 00, Fax: + 46 8-729 71 08

www.ssi.se