

# **Regionala radonundersökningar Lilla Edets kommun**



**Sven Erik Sundevall  
Göteborg 2002**



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<i>ALLMÄN DEL</i>	1
INLEDNING	1
DEFINITIONER	2
RADIOAKTIVT SÖNDERFALL	4
GRÄNSVÄRDEN OCH RIKTVÄRDEN FÖR RADON	10
RADIOAKTIVA ÄMNEN I BERGGRUNDEN	13
RADON I JORD	15
RADON OCH RADIUM I VATTEN	20
RADONPROBLEM I BOSTÄDER	22
UNDERLAG TILL RADONRISKKARTOR	24
MÄTMETODER	25
 <i>SPECIELL DEL</i>	 31
INLEDNING	31
ARBETSMETODIK	31
UNDERLAGSMATERIAL	31
GEOKEMISKA UNDERSÖKNINGAR	32
RADON I GRUNDVATTEN	33
BERGRUNDSGEOLOGI	33
JORDARTSGEOLOGI	37
RESULTAT AV FÄLTUNDERSÖKNINGARNA	38
Bergarternas innehåll av radioaktiva ämnen	39
Jordarternas innehåll av radium och markradonhalt	47
Radon i grundvatten	48
BEDÖMNING AV MARKRADONRISKER	48
REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	49
LITTERATUR	51
KARTBILAGOR	53



## ALLMÄN DEL

### INLEDNING

Sveriges riksdag har fastställt 15 miljö kvalitetsmål. Miljö målen *God Bebyggd Miljö* och *Säker Strålmiljö* handlar bland annat om radon. Miljö kvalitetsmålen innebär: Att stråldoser begränsas så långt det är rimligt möjligt och att människor inte utsätts för skadliga radonhalter.

Radonhalten i skolor och förskolor år 2010 skall vara lägre än 200 Bq/m<sup>3</sup> luft och att radonhalten i alla bostäder år 2020 skall var lägre än 200 Bq/m<sup>3</sup> luft.

I berggrunden och i jordlagren finns de naturliga radioaktiva ämnena uran (radium) och torium, samt den radioaktiva isotopen kalium-40. Normala halter för uran är 1–5 ppm (parts per million), vilket motsvarar radiumhalter mellan 12 till 60 Bq/kg. Normala halter för torium är 1–30 ppm, vilket motsvarar 4–120 Bq/kg, samt kaliumhalten är mellan 0,1 till 5 % (30–1560 Bq/kg). Av kalium, som är ett av de vanligast förekommande grundämnena på vår jord, utgör kalium-40 en bråkdel. På grund av atombombsprov och kärnkraftshaveriet i Tjernobyl har vi även fått en beläggning av andra radioaktiva ämnen, främst cesium-137. Radioaktiva ämnen eller isotoper ger upphov till så kallad joniserande strålning.

Radon-222 produceras i berg- och jordarterna genom radioaktivt sönderfall av radium-226.

Radon i bostäder är en dominerande källa till exponering för joniserande strålning i många länder. Baserat på nationella mätprogram har det beräknats att den genomsnittliga radonhalten i bostäder i Sverige är ca 100 Bq/m<sup>3</sup>, vilket motsvarar en stråldos av ca 2 mSv per år eller ca 60% av kollektivdosen till befolkningen.

I marknära bostäder är radon från marken den vanligaste orsaken till förhöjda radonhalter inomhus. Bidraget från marken bestäms huvudsakligen av radonhalten i jordluft, markens permeabilitet, tätheten hos byggnadsdelar mot marken och skillnader i lufttryck mellan jordluft och inomhusluft. Byggnadsmaterial är också en vanlig källa till höga radonhalter i byggnader i Sverige, främst på grund av att uranrik så kallad blåbetong användes som byggnadsmaterial från 1930-talet och fram till 1978.

Radon i hushållsvatten, främst från bergbore brunnar, kan också bidra till radonhalten i inomhusluften. Socialstyrelsen har i Allmänna råd 1990:5 skrivit "I varje kommun behövs en översiktlig kartläggning av radonrisken från mark och grundvatten. Kartläggningen behövs dels för att kunna spåra hus med höga halter i den befintliga bebyggelsen, dels för att kunna avgöra om radonsäkert eller radonskyddande byggnadssätt behövs vid nybyggnad".

Texten i den allmänna delen är i stor del hämtad från (Ek1997).

## DEFINITIONER

### Absorberad dos

Den mängd energi per massenhet som en kropp tagit upp (absorberat).  
SI-enheten för absorberad dos är gray (Gy).  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

### Aktivitet

Antalet atomkärnor som sönderfaller per tidsenhet. Aktivitet anges i SI-enheten becquerel (Bq).  $1 \text{ Bq} = \text{ett sönderfall per sekund}$ .

- **kBq/m<sup>3</sup>** används för aktivitetskoncentrationen i luft. En koncentration av 1 Bq radon per kubikmeter luft innebär att det sker ett sönderfall av en radonatom per sekund i varje kubikmeter luft. (t.ex. radon i jordluft eller radon i bostäder).
- **Bq/l** används för aktivitetskoncentrationen i vätskor (t.ex. radon i vatten).
- **Bq/kg** används för aktivitetskoncentrationen i fast material (t.ex. radium i berg- och jordarter).
- **kBq/m<sup>2</sup>** används för aktivitetskoncentrationen i markens ytskikt (t.ex. beläggning av cesium-137).

Ett sätt att ange halter är viktsprocent, eller ppm (parts per million).  
Omvandling från procent eller ppm till Bq/kg görs enligt följande:

- 1 % K är ekvivalent med 313 Bq/kg
- 1 ppm U är ekvivalent med 12.35 Bq/kg
- 1 ppm Th är ekvivalent med 4.06 Bq/kg

### Alfastrålning

Strålning som utgörs av positivt laddade partiklar, alfapartiklar. En alfapartikel består av två protoner och två neutroner. Alfastrålning uppkommer vid radioaktivt sönderfall av vissa tunga atomkärnor. Alfastrålningen har kort räckvidd och stoppas i allmänhet av hudens yttersta skikt.

### Betastrålning

Strålning som utgörs av snabba elektroner eller positroner, så kallade betapartiklar. Betastrålning avges från atomkärnan när vissa radioaktiva ämnen sönderfaller. Betastrålning har längre räckvidd än alfastrålning, dock påverkas normalt enbart huden och de närmaste millimetrarna därunder.

### Gammastrålning

Elektromagnetisk strålning med hög energi och kort våglängd. Gammastrålning avges normalt från atomkärnan när vissa radioaktiva ämnen sönderfaller. Gammastrålning har i allmänhet stor genomträngningsförmåga och lång räckvidd. I luft kan gammastrålningen nå ett par hundra meter, i sten eller betong ca en halv meter. Gammastrålning anges i  $\mu\text{R/h}$  eller  $\mu\text{Sv/h}$ .  $0,01 \mu\text{Sv/h} \cong 1 \mu\text{R/h}$ . Gammastrålning är nära besläktad med röntgenstrålning.

**Effektiv dos**

Tar hänsyn till den biologiska verkan olika typer av strålning har på olika organ. Alfastrålningens biologiska effekt på människan är exempelvis 20 ggr större än motsvarande dos betastrålning. Den absorberade dosen i gray (Gy) multiplicerad med en kvalitetsfaktor (det aktuella strålslagets verkan) ger dosekvivalenten i sievert (Sv). För naturlig strålning används enheten sievert (Sv).  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  motsvarar en stråldos av  $1 \text{ mSv/år}$ . För gammastrålning gäller sambandet  $1 \text{ R} = 0,01 \text{ Sv}$ . SI-enheten är joule per kilo (J/kg).

**Exposition**

Förmågan hos gamma- och röntgenstrålning att jonisera luft. Anges av tradition i röntgen (R). Motsvarande SI- enhet är coulomb per kilo (C/kg).  $1 \text{ R} = 0,258 \text{ mC/kg}$ .

**Expositionsrat**

Exposition per tidsenhet, anges i geologiska sammanhang i mikroröntgen per timme ( $\mu\text{R/h}$ ). Används bl.a. vid mätning av gammastrålning i bostäder och utomhus.

**Isotop**

Atom som har samma atomnummer och antal protoner men olika antal neutroner. Radon-222 och radon-220 är exempel på radioaktiva isotoper (nuklider).

**Joniserande strålning**

Strålning som ger upphov till joner när den passerar genom materia. Alfa-, beta- och gammastrålning är exempel på joniserande strålning.

**Gammaindex**

Ett mått på det totala innehållet av radioaktiva ämnen i ett (byggnads-) material. Gammaindex 1.0 motsvaras av ett material som inomhus ger upphov till en gammastrålning av cirka  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  om det används i golv, tak och väggar.

Enligt tidigare rekommendation av Boverket skall det färdiga byggnadsmaterial ha lägre gammaindex än 1,0 (BFS 1990).

**Halveringstid**

Den tid det tar för hälften av atomerna i ett radioaktivt ämne att sönderfalla. Efter en halveringstid återstår 50% av det ursprungliga antalet, efter två halveringstider 25% osv. Halveringstiden är ett mått på hur länge ämnet består, inte hur farligt det är. Ibland bildas nya radioaktiva ämnen som i sin tur sönderfaller. Slutligen bildas ett stabilt ämne.

**Radon-222**

Radioaktiv ädelgas som bildas vid sönderfall av radium-226. Radon-222 har en halveringstid på 3,8 dygn. Radon sönderfaller i radondöttrar.

**Toron = radon-220**

Radioaktiv ädelgas som bildas vid sönderfall av radium-224. Toron har en halveringstid på 55 sekunder. Toron sönderfaller i torondöttrar.

### Radon- och torondöttrar

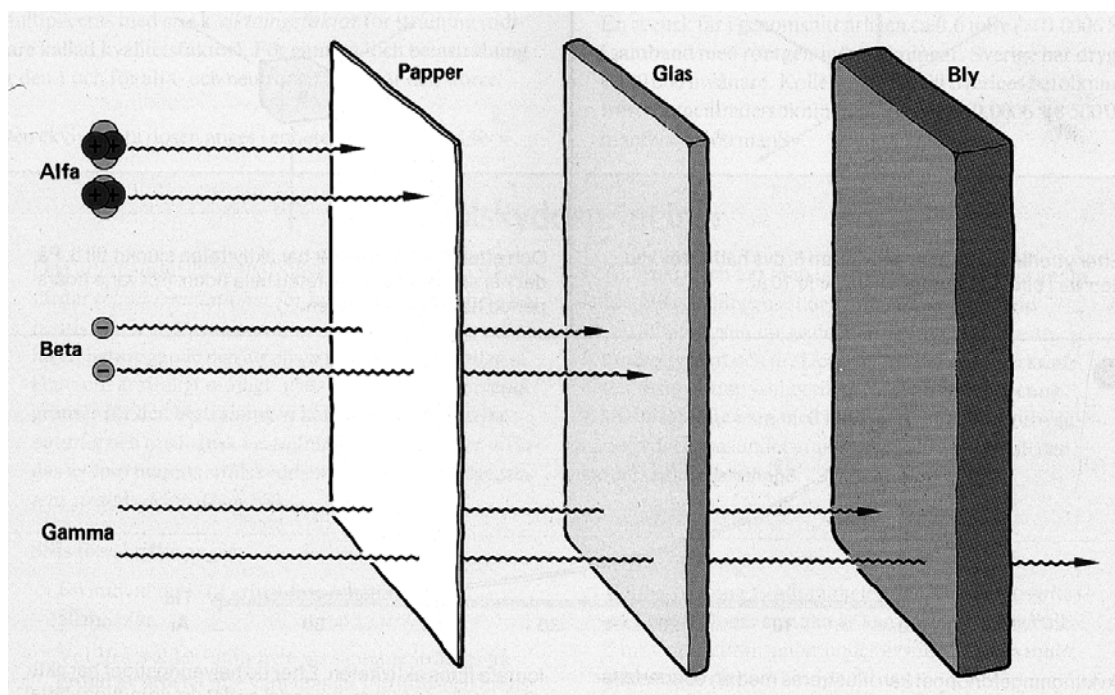
De radioaktiva ämnen som bildas när radon-222 och radon-220 sönderfaller.

### Radikaler

Radikaler bildas när cellerna utsätts för joniserande strålning. Våra celler består till 60–70 % av vatten. Vattnet joniseras och mycket reaktiva vattenradikaler bildas. De bildade radikalerna kan reagera med kroppens biomolekyler, t.ex. DNA, och orsaka sekundära strålskador.

## RADIOAKTIVT SÖNDERFALL

De radioaktiva grundämnena har en instabil atomkärna som sönderfaller spontant och därvid bildar nya grundämnen. Vid sönderfallet avges strålning av olika slag: alfa- ( $\alpha$ ), beta- ( $\beta$ ) och gamma- ( $\gamma$ ) strålning. Alfastrålning utgörs av positivt laddade partiklar (två protoner och två neutroner) med mycket kort räckvidd. Betastrålningen utgörs av negativt laddade partiklar (elektroner). Den har längre räckvidd än alfastrålningen men betydligt kortare än gammastrålningen. Gammastrålningen är en elektromagnetisk strålning av samma typ som röntgenstrålning och synligt ljus. Gammastrålningen har dock kortare våglängder och blir därmed energirikare och betydligt mer genomträngande än synligt ljus. Räckvidden i luft är flera hundra meter, i sten eller betong ca 50 cm.



Figur 1. Jämförelse av genomträngningsförmågan hos alfa- ( $\alpha$ ), beta- ( $\beta$ ) och gamma- ( $\gamma$ ) strålning. (Joniserande strålning, Kärnkraft, säkerhet och utbildning, Februari 1992).

I geologiska undersökningar intresserar man sig för den strålning som härrör från isotoper som förekommer naturligt i berggrunden. Tre isotoper är helt dominerande.

Kalium-40, vilken utgör 0,012 % av naturligt förekommande kalium.

Uran-238

Torium-232

Uran och torium sönderfaller i dotterisotoper vilka i sin tur också är radioaktiva. Dessa bildar en sönderfallskedja, där många olika typer av sönderfall är representerade (tabellerna 1 och 2).

Tabell 1. Sönderfallsserien för uran-238. Endast de huvudsakliga sönderfallen redovisas.

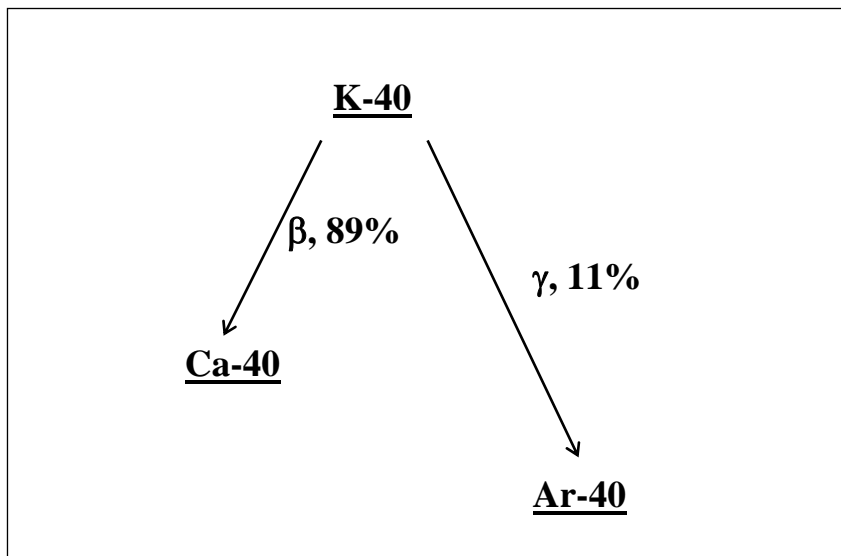
Isotop	Halveringstid	Huvudsaklig Strålning	Anmärkning
<b>Uran-238 (U)</b>	4,5*10 <sup>9</sup> år	α	
<b>Torium-234 (Th)</b>	24,1 dygn	β och γ	
<b>Protaktinium-234 (Pa)</b>	1,2 minuter	β och γ	
<b>Uran-234 (U)</b>	2,47*10 <sup>5</sup> år	α	
<b>Torium-230 (Th)</b>	8,0*10 <sup>4</sup> år	α och γ	
<b>Radium-226 (Ra)</b>	1,6*10 <sup>3</sup> år	α och γ	
<b>Radon-222 (Rn)</b>	3,8 dygn	α	Radongas
<b>Polonium-218 (Po)</b>	3,1 minuter	α	Radondotter
<b>Bly-214 (Pb)</b>	26,8 minuter	β och γ	”
<b>Vismut-214 (Bi)</b>	19,7 minuter	β och γ	”
<b>Polonium-214 (Po)</b>	1,6*10 <sup>-4</sup> sekunder	α	”
<b>Bly-210 (Pb)</b>	21 år	α	
<b>Vismut-210</b>	5,0 dygn	β	
<b>Polonium-210</b>	138 dygn	α	
<b>Bly-206</b>	-		Stabil isotop

Tabell 2. Sönderfallsserien för torium-232.

Isotop	Halveringstid	Huvudsaklig strålning	Anmärkning
<b>Torium-232 (Th)</b>	1,4*10 <sup>10</sup> år	α	
<b>Radium-228 (Ra)</b>	5,8 år	β	
<b>Aktinium-228 (Ac)</b>	6,1 timmar	β och γ	
<b>Torium-228 (Th)</b>	1,9 år	α och γ	
<b>Radium-224 (Ra)</b>	3,7 dygn	α och γ	
<b>Radon-220 (Rn)</b>	55 sekunder	α	Torongas
<b>Polonium-216 (Po)</b>	0,15 sekunder	α	Torondotter
<b>Bly-212 (Pb)</b>	10,6 timmar	β och γ	”
<b>Vismut-212 (Bi)</b>	61 minuter	α, β och γ	”
<b>Polonium-212 (Po)</b>	3*10 <sup>-7</sup> sekunder	α	”
<b>Tallium-208 (Tl)</b>	3,05 minuter	β och γ	
<b>Bly-208 (Pb)</b>	-		Stabil isotop

Förutsatt att jämvikt råder i en sönderfallskedja kan sönderfallet från en godtycklig dotterisotop användas för bestämning av de övriga isotoperna. Då mängden uran-238 skall bestämmas mäts i allmänhet gammastrålning från vismut-214, medan mängden torium-232 bestäms med hjälp av sönderfallet av tallium-208.

Kalium-40 sönderfaller under avgivande av beta- och gammastrålning till de stabila isotoperna, kalcium-40 respektive argon-40. Halveringstiden för kalium-40 är 1 250 miljoner år ( $1,25 \cdot 10^9$  år)

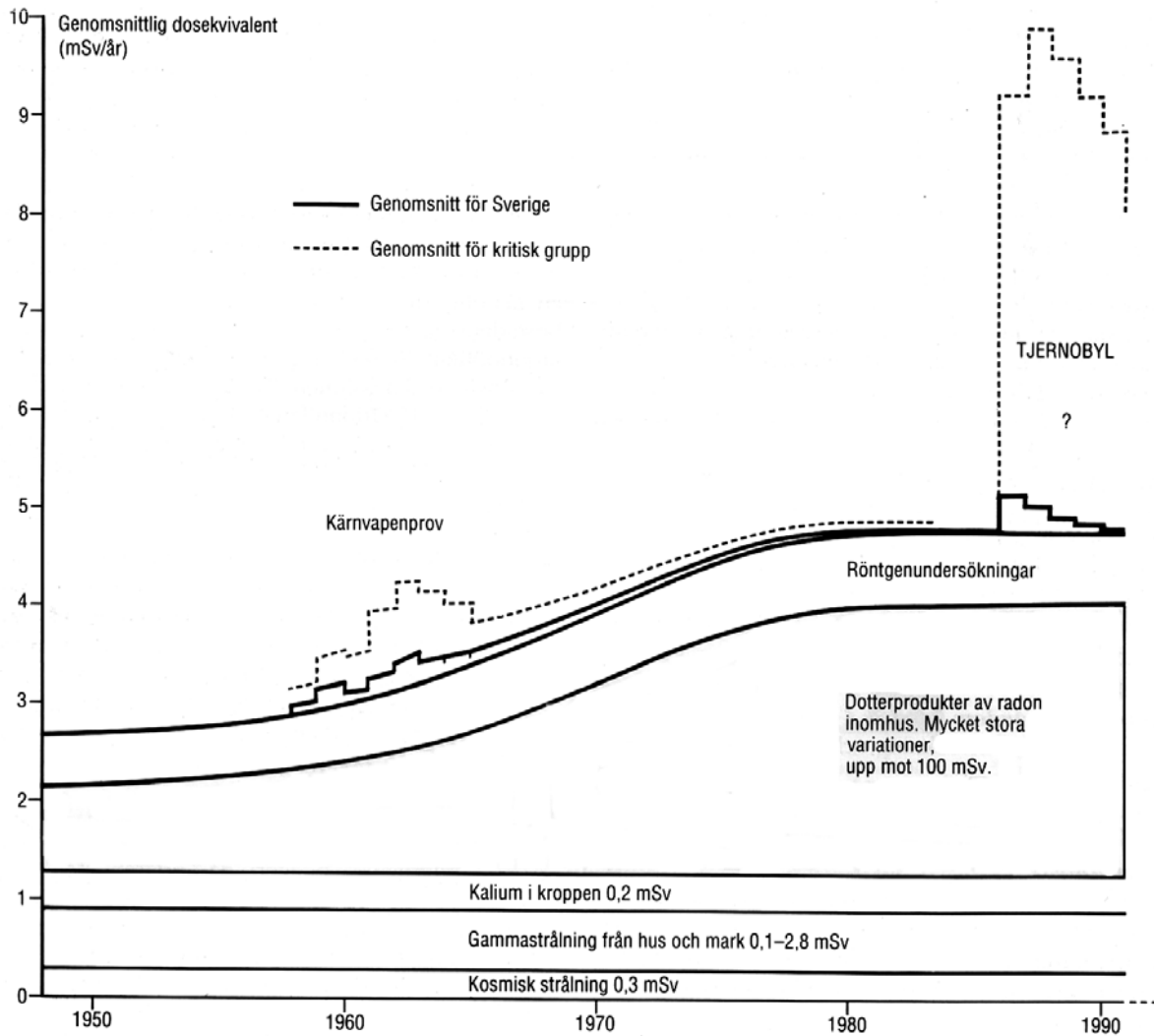


Figur 2. Kalium-40 sönderfaller till kalcium och argon. Vid sönderfallet till argon avges gammastrålning.

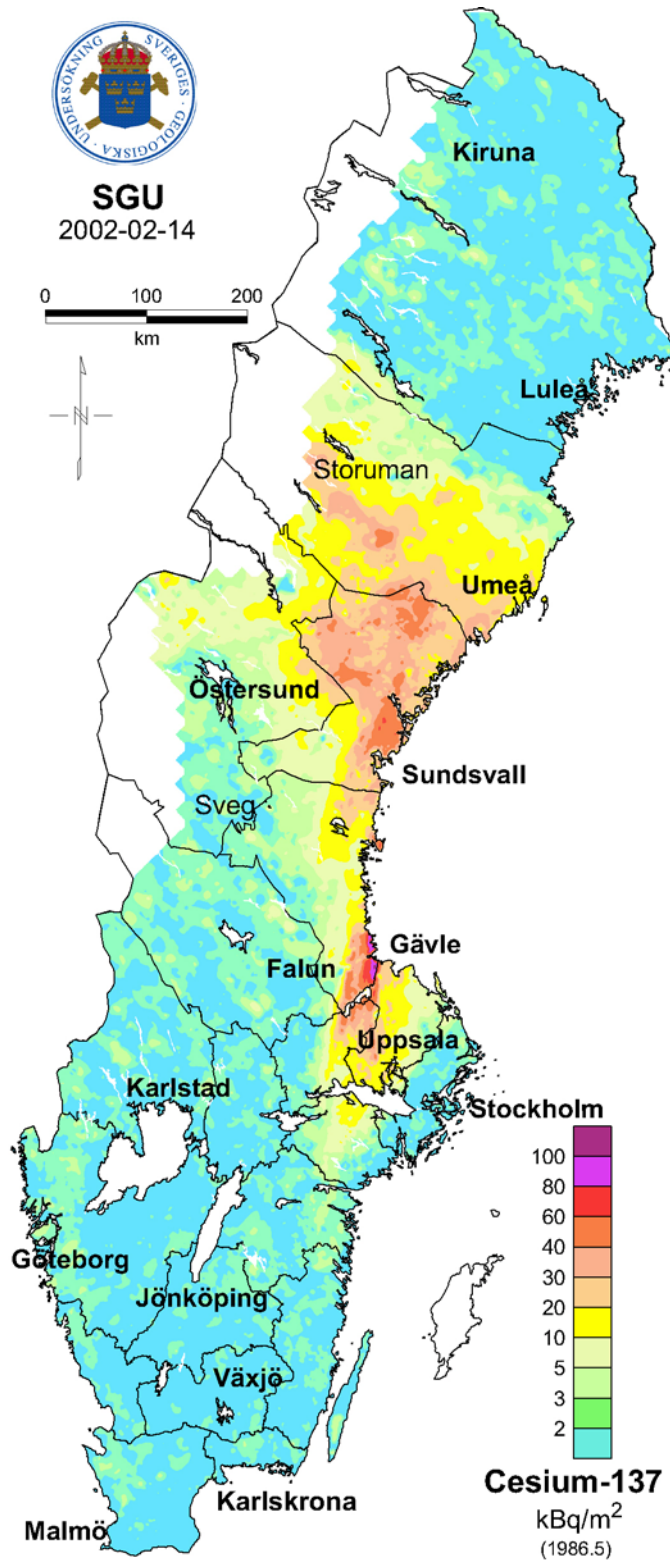
### Strålningsmiljön

Människan utsätts ständigt för joniserande strålning. Huvuddelen av strålningen kommer från naturliga strålkällor. Nedanstående diagram (figur 3) visar grovt källorna till de stråldoser svenskar exponeras för varje år. Radondotterhalten har ökat inomhus under de senaste decennierna på grund av att man minskat ventilationen av energisparskäl. Bidraget från marken härrör i huvudsak från sönderfallen av de naturligt förekommande isotoperna kalium, uran och torium. Halterna av dessa ämnen varierar i berggrunden och jordlagren vilket medför att strålningen varierar från plats till plats.

I samband med Tjernobykhaveriet utsattes Sverige för ett visst nedfall som ytterligare bidrar till den årliga dosen. Kontamineringen av cesium-137 från Tjernobyl år 1986 framgår av (figur 4).



Figur 3. Grov jämförelse mellan de genomsnittliga stråldoserna från olika strålkällor. (Clavensjö & Åkerblom, 1992).



Figur 4. Markbeläggning av cesium-137 över Sverige 1986.

Det största nedfallet kom i de områden där det regnade när det radioaktiva målet passerade. Den geografiska fördelningen är densamma idag men strålningsnivåerna har sjunkit, dels på grund av att strålningsnivåerna har minskat, dels till följd av att återstående radioaktivt cesium trängt ned i marken.

## Riskbedömningar och biologiska effekter

Radon och radondöttrar i bostäder är idag den dominerande källan till exponering för joniserande strålning för den svenska befolkningen. Det är näst efter rökning den vanligaste orsaken till lungcancer. Statens strålskyddsinstitut bedömer att omkring 500 lungcancerfall per år orsakas av radon i bostäder (SSI 2001). Sannolikheten att antalet radonrelaterade fall överstiger 1000 bedöms som liten. I en stor epidemiologisk undersökning (Pershagen m.fl. 1993) konstaterades sambandet mellan radon i bostäder och lungcancer. För den svenska befolkningen beräknades antalet förväntade lungcancerfall för radonexponering till 400 per år med ett osäkerhetsintervall mellan 200 och 800 fall per år. Resultaten tydde också på en stark samverkans effekt mellan tobaksrökning och radon för utveckling av lungcancer.

Då en organism utsätts för joniserande strålning överförs energin helt eller delvis till de berörda cellerna. Detta förlopp ger upphov till skador. Man skiljer på de skador som orsakas av att strålningen träffar biomolekyler, såsom cellens DNA, och på kemiska skador orsakade av radikaler bildade ur det vatten som cellen innehåller. Graden av skada är beroende av strålningstyp.

Gammastrålning har stor genomträngningsförmåga, men ger i gengäld upphov till ett begränsat antal skador per längdenhet.

Alfastrålning har en räckvidd på  $< 0,1$  mm i kroppsvävnad och strålningen förmår därför inte att tränga igenom hudens yttre lager av döda celler. Situationen är en helt annan om det alfastrålände ämnet kommit in i organismen. Radon sönderfaller till så kallade radondöttrar. Radondöttrarna är metalljoner som lätt fastnar på dammpartiklar och följer med inandningsluften till lungorna.

Radon i vatten avgår till luft t.ex. vid disk och tvätt. Det är även skadligt att dricka vatten med höga radonhalter. Vid inandning får luftvägar och lungor störst stråldos, vid intag via munnen får mag- tarmkanalen den största stråldosen. Jämfört med alfastrålning ger beta- och gammastrålning förhållandevis lägre stråldos till de organ som träffas.

## GRÄNSVÄRDEN OCH RIKTVÄRDEN FÖR RADON

Syftet med gränsvärden är att människor inte ska utsättas för hälsofarliga stråldoser. Socialstyrelsen ansvarar för gränsvärden avseende radonhalter i befintliga byggnader och Boverket för nybyggnad och ombyggnad. Vidare ska byggnadsnämnden i en kommun kontrollera att åtgärder vidtagits när det gäller radon innan bygglov beviljas.

Gränsvärdet för **radongas** i befintliga bostäder och arbetslokaler är **400 Bq/m<sup>3</sup>** (SOSFS 1999:22). Radongashalter över **400 Bq/m<sup>3</sup>** klassas som sanitär olägenhet. För nyproducerade bostäder och lokaler är gränsvärdet **200 Bq/m<sup>3</sup>** (BFS 1993:57). Båda gränsvärdena sammanfaller med av EU rekommenderade värden. Enligt Propositionen för vissa inomhusmiljöfrågor (Prop. 2001/02:28), som presenterades i mars 2002, skall radongashalten understiga **200 Bq/m<sup>3</sup>** i alla bostäder senast år 2020. För förskolor och skolor skall radonhalten understiga **200 Bq/m<sup>3</sup>** senast år 2010.

Högsta exponering för radon i gruvor och underjordsanläggningar under utförande är **2,5MBqh/år**, vilket motsvarar **ca 1500 Bq/m<sup>3</sup>** i radongas vid en arbetstid av 1650 timmar per år (AFS1996:2)

Dricksvatten från enskild vattentäkt med radonhalter över **100 Bq/l** bedöms som tjänligt med anmärkning och radonhalter över **1000 Bq/l** som otjänligt. Tillsynsmyndigheten bör verka för att mätning av radonhalten i inomhusluften görs i byggnader på fastigheter med enskild brunnar, om radonhalten i dricksvattnet uppgår till ca **1000 Bq/l** eller mer (SOSFS 1999:22).

Nya föreskrifter för dricksvatten har antagits som en anpassning till EUs direktiv (SLVFS 2001:30). Dessa föreskrifter som träder i kraft den 25 december 2003 kommer att innebära vissa förändringar av nuvarande regler kring naturlig radioaktivitet och radon i vatten. För att begränsa risken att människor utsätts för förhöjd stråldos på grund av gammastrålning föreskrivs i Boverkets byggregler (BFS 1993:57) att strålningsnivån i nya byggnader inte får vara högre än 0,50 mikrosievert per timme (**0,50 µSv/h**). **Det färdiga byggnadsmaterialet bör ha gamma- eller radiumindex mindre än 1**. På ofta använd uteplats, t.ex. lekplats, bör gammastrålningen inte överstiga **1,0 µSv/h** enligt rekommendation från SSI, SoS och BoV.

## Klassificering av mark

Alla kommuner är ålagda att översiktligt kartlägga radonsituationen i sin kommun enligt Plan- och bygglagen (PBL). Vid nybyggnation bör en detaljerad radonundersökning utföras om det inte klart framgår att aktuell mark består av lågradonmark eller om marken ska bebyggas med hus som har en radonsäker konstruktion.

För **översiktlig kartläggning** av markradonrisker har (Statens Planverk 1982) rekommenderat klassning av den orörda marken i högriskområde, normalriskområde eller lågriskområde.

### Högriskområde

Högriskområde består huvudsakligen av högradonmark. Mindre områden av normal- och lågradonmark kan förekomma. Till högradonmark räknas:

- berggrund med uranrika bergarter som alunskiffer, uranrika graniter, pegmatiter och uranmineraliseringar över ca **100 Bq/kg**. Gammastrålningen ligger inom intervallet **0,15-0,50 µSv/h** och högre.
- morän som innehåller uranrika bergarter.
- jordarter med stor permeabilitet t.ex. grus, grovkornig morän och sand, med radiumhalter över **50 Bq/kg**. Radonhalten i jordluften är ofta högre än **50 000 Bq/m<sup>3</sup>**.
- sand, silt och moränlera som innehåller fragment av alunskiffer.
- vissa öppna sprick- eller krosszoner.

### Normalriskområde

Normalriskområde består i huvudsak av normalradonmark, dvs. merparten av all mark i Sverige. Enstaka små områden av högradon- och/eller lågradonmark kan ingå.

### Lågriskområde

Lågriskområde består huvudsakligen av lågradonmark. Mindre områden av normalradonmark kan förekomma. Till lågradonmark räknas:

- berggrund med mycket låg uranhalt, som kalksten, sandsten, skiffer (ej alunskiffer), kvartsit, grönsten, gnejser och graniter vars radiumhalt är mindre än **35 Bq/kg**. Gammastrålningen är mindre än **0,10 µSv/h**.
- sand och morän vars radonhalt i jordluften är mindre än **10 000 Bq/m<sup>3</sup>**.
- lera och silt i mäktiga lager under grundläggningsdjup, utan torrsprickor, och som inte innehåller t.ex. alunskifferfragment.

Vid **detaljerad planläggning** delas området in i hög-, normal- och lågradonmark. Nedanstående tabeller visar klassificeringsgrunder för denna indelning. Informationen i tabellerna är hämtad från (Clavensjö & Åkerblom 1992) samt uppdaterade med opublicerade uppgifter från Åkerblom.

Tabell 3. Högradonmark

<b>Berg- eller jordart</b>	<b>Radiumhalt, Bq/kg</b>	<b>Gammastrålning, µSv/h</b>	<b>Radonhalt i jordluft, 1 m under markytan Bq/m<sup>3</sup></b>
Utsprängd berggrund med sprängbottenskärv	> ca 200	> ca 0,20–0,30	
Sprängsten (fyllning och sprängbottenskärv) <sup>1)</sup>	> ca 80	> 0,15–0,25	
Grus och grovkornig morän <sup>2)</sup>	> ca 50	> 0,10–0,15	> 50 000
Sand – grovsilt <sup>2)</sup>	> ca 50	> 0,10–0,15	> 50 000
Silt <sup>2)</sup>	> ca 70	> 0,10–0,15	> 60 000
Lera, lerig morän <sup>2)</sup>	> ca 100	> 0,12–0,20	> 100 000

Not: 1) Berggrund av uranrika graniter, pegmatiter och alunskiffer.

2) Jordarter som innehåller fragment av alunskiffer klassas som högradonmark.

Tabell 4. Lågradonmark

<b>Berg- eller jordart</b>	<b>Radiumhalt, Bq/kg</b>	<b>Gammastrålning, µSv/h</b>	<b>Radonhalt i jordluft, 1 m under markytan, Bq/m<sup>3</sup></b>
Berggrund (inkl. tunt lager sprängbottenskärv) <sup>1)</sup>	< ca 60	< 0,08–0,12	
Sprängsten, morän, grus, sand <sup>2,3)</sup>	< ca 25	< 0,05–0,08	< 10 000
Fuktig silt > 2 m <sup>3)</sup>	< ca 50	< 0,10–0,15	< 20 000
Fuktig lera > 2 m <sup>3)</sup>	< ca 80	< 0,12–0,16	< 60 000

Not: 1) Berggrund med låg uranhalt som kalksten, sandsten, kvartsiter och uranfatta graniter, gnejser och vulkaniter.

2) Jordarter från bergarter enligt not 1.

3) Jordarter som innehåller fragment av alunskiffer klassas som högradonmark.

## RADIOAKTIVA ÄMNEN I BERGGRUNDEN

Halten kalium, uran och torium varierar i olika typer av bergarter på grund av olika bildningssätt och mineralogisk sammansättning.

Tabell 5. Vanliga halter av kalium, uran och torium i svenska graniter.

Element	Halt	Ekvivalent halt
K	3- 6 %	900-1800 Bq/kg ( <sup>40</sup> K)
U	2-10 ppm	25- 125 Bq/kg ( <sup>226</sup> Ra)
Th	5-20 ppm	20- 80 Bq/kg ( <sup>232</sup> Th)

Kalium är det sjunde vanligaste elementet på jordens yta, men av detta utgörs endast 0.012 % av kalium-40. Kaliumhalten varierar mycket lite inom en och samma bergart. Den ingår ofta i något av bergartens huvudmineral. Stora skillnader finns dock mellan olika bergarter. Graniter har t.ex. genomgående relativt höga halter medan t.ex. kvartssandstenar och så kallade grönstenar alltid har låga halter kalium.

Halten uran i berggrunden är i allmänhet låg. Vanliga halter är 3–8 gram per ton berg (1 ppm = 1 gram per ton) vilket motsvarar 40–100 Bq/kg. Uran förekommer alltså normalt enbart som ett spårämne i berggrunden. Dock bör poängteras att redan 16 ppm uran (200 Bq/kg radium), innebär att bergarten betraktas som olämplig som byggnadsmaterial.

Toriumhalten är genomsnittligt ca tre gånger högre än uranhalten, men stora variationer kan förekomma.

Normalt är uran- och även toriumhalterna låga för sedimentära bergarter som innehåller mycket kvarts, som i kvartssandstenar, eller för bergarter med hög halt av kalciumkarbonat, som i kalkstenar. Likaså är uran- och toriumhalterna oftast låga i basiska bergarter som gabbro, diorit, och basalt. Dessa basiska bergarter brukar allmänt kallas för grönstenar.

Djup- och gångbergarter som är rika på kiselsyra, SiO<sub>2</sub>, t.ex. graniter och pegmatiter har ofta betydligt högre halter av uran, och i många fall även torium, än andra bergarter.

Tidigare ansågs det att det var främst yngre, ofta pegmatitförande, graniter som innehöll höga halter av uran. Senare undersökningar har dock visat att även äldre granitiska bergarter också kan innehålla höga halter.



Figur 5. Uranrika bergarters utbredning i Sverige (Clavensjö & Åkerblom 1992)

Alunskiffer, som är en svart lerskiffer med hög halt av organiskt material (bitumen), har nästan genomgående höga uranhalter och låga toriumhalter. Alunskiffer har använts för tillverkning av lättbetong, så kallad blåbetong.

På kartan (figur 5) ovan redovisas översiktligt var i Sverige de största förekomsterna av alunskiffer finns och inom vilka områden som uranrika bergarter i övrigt är vanliga.

Sprick- och förkastningszoner i berggrunden kan förorsaka förhöjda radonhalter i jordluft och i grundvatten. Vid grundläggning på berg beror radonrisken inte enbart på bergartens uranhalt utan även på kornstorlek och grad av uppkrossning.

## **RADON I JORD**

Jordlagren i Sverige är i förhållande till berggrunden mycket unga. De har huvudsakligen bildats under och efter den senaste istiden vilket är en av orsakerna till att det råder radioaktiv ojämvikt i jordarterna.

Under de ca 2,5 miljoner år som gått sedan kvartärtidens början har istider avbrutits av isfria skeden. Djupgående vittring av berggrunden under isfria perioder har varit begränsad då jämförelsevis kallt klimat har dominerat. När berggrunden bryts ned eller vittrar sker en mekanisk och kemisk borttransport av uran, radium och torium. Därigenom kommer halterna av dessa ämnen att gradvis minska ju mer materialet bryts ned. De lägsta halterna har finsand som i stort sett enbart består av kvarts och fältspat. Det uran, radium och torium som blivit löst i vattnet eller som finns som små korn av uranförande mineral adsorberas på lerpartiklar eller fälls på sådana. Därför har leror och leriga sediment vanligen förhöjda halter av uran, radium och torium.

I en alunskiffer förekommer uranet som ytterst små korn jämnt fördelade i bergarten. Någon större urlakning av uran sker inte, varför uranhalten i t.ex. alunskiffersand i stort sett är densamma som i bergarten. Härav följer att radonhalten är förhöjd om en jordart innehåller alunskifferfragment.

Vid beskrivning av jordarterna indelas de efter bildningssätt och kornstorleksfördelning. I (tabell 6) presenteras de två system som används vid beskrivning av kornstorlek.

Tabell 6. Kornstorleksindelning av jord.

<b>Enligt Svenska geotekniska föreningen (SGF 1984)</b>				
Block	> 600			mm
Sten	60	-	600	mm
Grus	2	-	60	mm
Sand	0,06	-	2	mm
Silt	0,002	-	0.06	mm
Ler		<	0,002	mm

## **Kalt berg och jordmättighet**

Utbredningen av kalt berg inom ett område kan utläsas från berggrundskartan. Jordartskartan ger möjlighet att bedöma förekomsten av små jorddjup. Vid kalt berg och jordmättigheter mindre än 1–2 m, är det berggrunden som helt bestämmer radonrisken. Vid grundläggningsarbeten schaktas vanligen jord bort och ibland måste man spränga bort berg. Därför bör radonrisken bedömas för de jordlager och/eller den berggrund som finns under och omkring huset.

## **Morän**

Inlandsisen plockade under sin rörelse upp material från berggrunden eller från tidigare avsatta jordlager. Materialet transporterades och avlastades närmare iskanten som en osorterad jordart – morän. Under transporten i och under isen krossades och nöttes materialet. Morän innehåller alla kornstorlekar, från ler till block. Vid beskrivning av morän anges även blockigheten i ytan. Sandig-moig morän är utan jämförelse Sveriges vanligaste jordart, den täcker drygt 2/3 av landets yta.

Moränens bergarts- och mineralsammansättning avspeglar vanligen den under- och kringliggande berggrunden men kan även innehålla betydande mängder långtransporterat material. Normalt innebär sandig-moig morän inga höga radonrisker. Grov morän, grusig-sandig, har vanligen stor porositet och räknas därför som riskjordart för radon, speciellt om ingående bergartsmaterial är uranrikt. Moiga och leriga moräner har låg porositet och högre vattenhalt vilket försvårar transporten av radongas och ger därmed lägre radonrisk.

## **Isälvssediment**

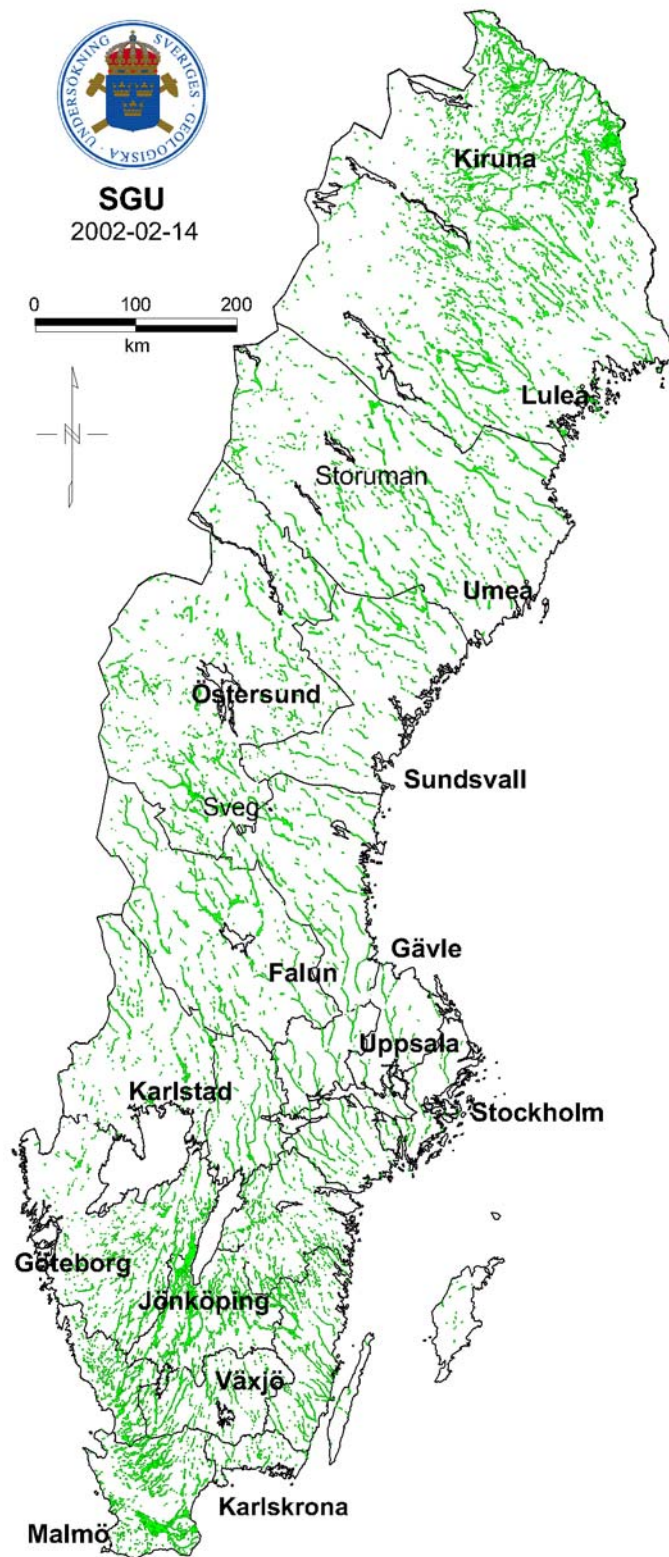
Isälvssediment utgörs av sorterade jordarter som transporterats, sorterats och avsatts av smältvatten från inlandsisen. Transportlängden av isälvssedimenten är mycket varierande, från något tiotal meter till många mil. Isälvssedimenten kännetecknas av att materialet är sorterat i olika skikt och lager med endast en eller ett fåtal kornstorlekar samt att partiklarna i allmänhet är avrundade. Övergångstyper till morän förekommer.

Grovkorniga isälvssediment i rullstensåsarna kan ge upphov till höga radonhalter i hus. Orsaken till detta förhållande är bl.a. jordartens stora porositet vilken underlättar radontransporten. Dessutom sker en lakning, transport och utfällning av uran/radium.

## **Svallsediment / Grovkorniga sediment**

Jordlager avsatta i havet utsattes under landhöjningen för vågornas bearbetning (svallning) med en omlagring som följd. Det utsvallade materialet avlagrades vid och närmast utanför stränderna som klapper, svallgrus och svallsand. Det grövre materialet avsattes vid stränderna och det finare längre ut. Högsta kustlinjen, HK, är den högsta nivå i terrängen till vilken havet har nått sedan inlandsisen lämnade området. Svallsedimentens mäktighet är därmed starkt växlande beroende på läge i terrängen. Grovkorniga sediment kan även påträffas vid nuvarande och tidigare älvar.

Sand består nästan enbart av kvarts och fältspat med vanligtvis låga uran-/radiumhalter och innebär sällan någon större radonrisk. Svallsediment som innehåller fragment av alunskiffer eller andra bergarter med höga uranhalter kan dock innebära höga radonrisker vid alla kornstorlekar.



Figur 6. Isälvsedimentens utbredning i Sverige.

## **Finkorniga sediment**

De finkorniga sedimenten är avsatta på större vattendjup och består av silt (finmo, mjäla) och lera. De har avsatts under och efter isavsmältningen.

Silt innehåller normalt låga halter av uran/radium varför de sällan ger upphov till höga radonhalter. Leror kan innehålla höga halter av uran/radium men innebär sällan någon radonrisk på grund av deras höga vattenhalt och täthet vilket försvårar radongasens transport. Om leran torkar och spricker upp kan transporten av radon förändras.

## **Radonavgång i och från jordarter.**

Nedanstående faktorer kan i mer eller mindre grad påverka radonhalten i jordluft och radonavgång från markytan.

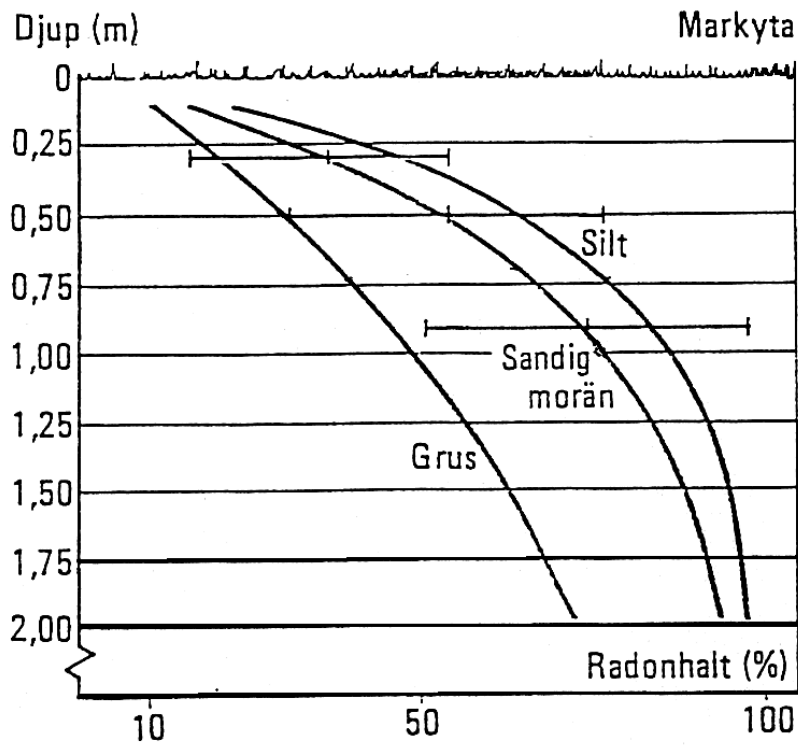
- Uranhalt i mineralkornet
- Uran–radiumhalt på mineralkornets yta
- Genomsläpplighet
- Porositet
- Kornstorlek/jordart
- Vattenhalt
- Temperatur
- Lufttrycksförändringar
- Vind
- Nederbörd

I jordarternas mineralkorn sönderfaller uran till radium, som i sin tur sönderfaller till radon. Befinner sig radiumatomen tillräckligt nära, eller på mineralkornets yta, kan radon avgå till porluften eller till vattnet i porerna. Detta innebär att i en finkornig jordart som lera avgår en större andel av bildat radon till porerna än i en grovkornig jordart.

Enligt Åkerblom m.fl. (1990) kan radonet förflytta sig genom diffusion ca två meter i en normalfuktig jord men bara ca 5 cm i vatten innan det sönderfaller till radondöttrar. Eftersom finkorniga jordarter, som leror, har hög vattenhalt sönderfaller radonatomerna därmed innan de har hunnit förflytta sig till markytan. Trots den högre radonavgången från lermineralen ger de därför vanligtvis inga radonproblem. Eftersom vattenhalten i jordarterna kan variera kraftigt med årstiderna varierar även radonavgången med årstiderna.

Vindar och förändringar av lufttryck kan påverka radonhalten ned till ett djup av 1–2 m, i genomsläppliga grovkorniga jordarter sannolikt betydligt mer.

Hur mycket radonhalten varierar beror till stor del på jordartens genomsläpplighet för gastransport och dess porositet. Radonhaltens variation är störst i grovkorniga jordarter och minst i finkorniga leror. Figur 7 visar radonhaltens variationer med mätdjupet i olika jordarter.



Figur 7. Radonhaltens variationer med mätdjupet i olika jordarter enligt (Lindmark & Rosén 1984). Av figuren framgår att radonmätning i jord bör genomföras på ett djup av omkring 1 m. (Rosén & Åkerblom 1989).

Tabell 7. Normala halter av radium-226 och radon-222 uppmätta på 1 meters djup i svenska jordarter (Clavensjö & Åkerblom 1992).

Jordart	Radiuminnehåll (Bq/kg)	Radonhalt i jordluft (kBq/m <sup>3</sup> )
Morän, normal	15 - 65	10 - 40
Morän med graniter	30 - 75	20 - 60
Morän med uranrika graniter	75 - 360	40 - 200
Åsgrus	30 - 75	10 - 150
Sand, silt	6 - 75	4 - 50
Lera	25 - 100	10 - 120
Jordarter med alunskiffer	175 - 2500	50 > 1 miljon

## **RADON OCH RADIUM I VATTEN**

### **Radon i vatten**

Radonhalten i ytvatten, sjöar och floder är generellt låg, under 2 Bq/l. I grundvattnet däremot är halterna högre och varierar avsevärt med jordlagrens och berggrundens uran/radiuminnehåll. I brunnar som erhåller sitt vatten från omgivande jordlager bestäms radonhalten av radiumkoncentrationen i jorden. En bidragande orsak till de lägre radonhalterna i grävda brunnar är att vattenvolymen är så stor att en betydande del av radonet hinner sönderfalla. Däremot kan vatten i så kallade rörspetsbrunnar innehålla höga radonhalter då den täckande leran försvårar radonavgången. I en rörspetsbrunn drivs ett rör ned genom finsediment, vanligen lera, till underliggande vattenförande grus- och sandlager.

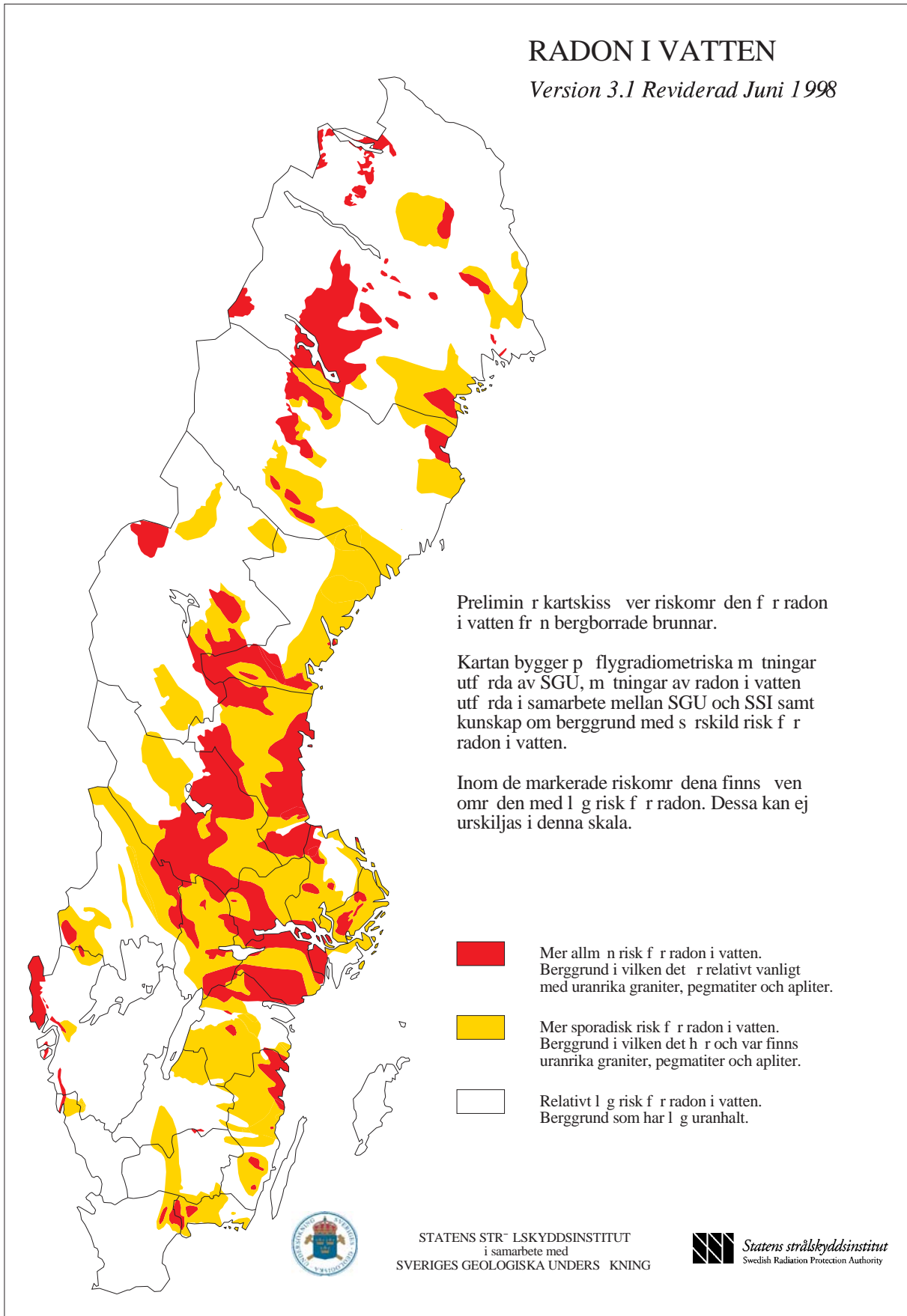
De största problemen med radon i vatten finns i bergborrade brunnar. Detta beror på att radium fälls ut på sprickytor som grundvattnet transporteras i. Radonet kan därigenom avgå direkt från ytbeläggningen till vattnet och radonkoncentrationen kan bli mycket hög. I brunnar som borrar i berggrund med förhöjda uranhalter och stor lakbarhet för uran är risken störst (Åkerblom m.fl. 1988). Sådana bergarter är t.ex. vissa graniter, pegmatiter, syeniter och porfyryr. Variationen inom ett område med likartad berggrund kan dock vara mycket stor. Närliggande brunnar kan variera från 100 till flera tusen Bq/l. Figur 8 visar de områden i Sverige där risken är stor för höga radonhalter i vatten från bergborrade brunnar. Enligt Åkerblom m.fl. (1988) är höga radonhalter i grundvattnet dock sällsynta i alunskifferområden. Enligt muntlig uppgift från Åkerblom beror detta på lösligheten är lägre i dessa skiffrar. Vattenreservoarer lokaliseras sällan till alunskiffrar då bergarten kan ge dåligt vatten på grund av att den ofta innehåller relativt höga halter svavel.

För att minska radonhalten i vatten används s.k. radonavsiljare. (Lindén 1997) har utvärderat funktion och reningsgraden hos 32 utrustningar från nio tillverkare. I undersökta radonavsiljare har radonhalten reducerats med 95-99 %. Den tekniska funktionen bör dock förbättras för många utrustningar.

Figur 8 visar riskområden för radon i brunnar. Även utanför de markerade områdena förekommer det uranrik berggrund som kan orsaka höga radonhalter i brunnsvattnet.

### **Radium i grundvatten**

Radium förekommer endast i mycket begränsade mängder i grundvatten. Dock har det konstaterats att förhöjda radiumhalter bland annat förekommer i Blekinge, Bergslagen och Uppland vilka samtliga har uranrik berggrund (Kulich m.fl. 1988).

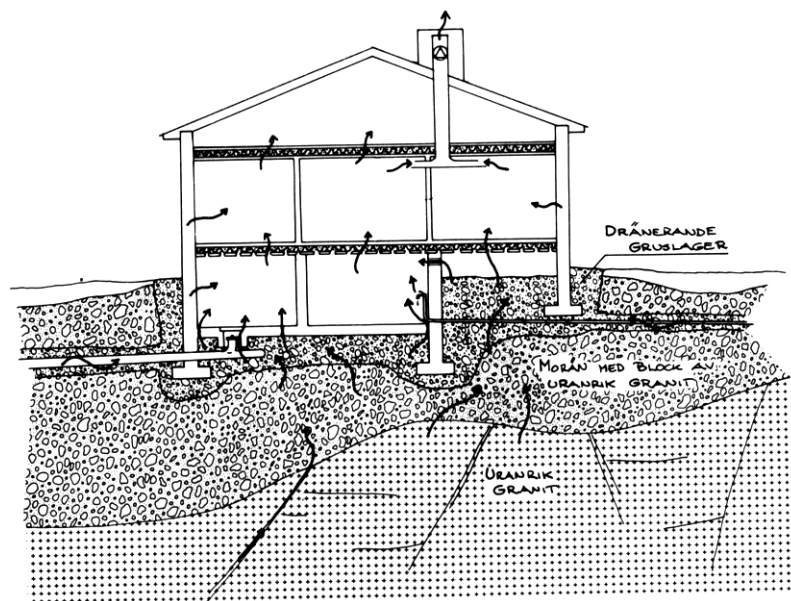


Figur 8. Riskområdena för radon i brunnar. I Sverige finns stora områden med uranrik berggrund som kan ge höga radonhalter i bergborrade brunnar. Även utanför de här markerade områdena förekommer det uranrik berggrund som kan orsaka höga radonhalter i brunnsvattnet.

## RADONPROBLEM I BOSTÄDER

Det radon som vi har i våra bostäder kommer från en eller flera av nedanstående källor:

- marken under och/eller runt huset
- byggnadsmaterialen, t.ex. blåbetong
- hushållsvattnet



Figur 9. Exempel på tillförselvägar för radon in i hus. Radonet kan komma från marken, byggnadsmaterialet och/eller från hushållsvattnet. (Åkerblom m.fl. 1990).

Radon från marken den vanligaste orsaken till radonproblem i byggnader. Radon från marken transporteras in i byggnaden med jordluft genom otätheter i grundkonstruktionen. Detta gäller i synnerhet under den kalla årstiden när fönster och dörrar hålls stängda och ventilationsfläkten är igång. Undertrycket, som skapas på grund av detta, gör att jordluft lätt kommer in i huset.

Radonhalten i jordluften är alltid så hög att radonhalten i en byggnad kan bli högre än 400 Bq/m<sup>3</sup>. Detta även när radonhalten är som lägst, ca 5 000 Bq/m<sup>3</sup> i sand. För att radonhalten i byggnaden skall bli högre än 400 Bq/m<sup>3</sup> fodras dock:

- Att marken eller del av marken under byggnaden är luftgenomsläpplig.
- Att tillräcklig mängd jordluft kan läcka in i byggnaden.
- Att den för transport tillgängliga luftvolymen i marken är tillräckligt stor för att radonhalten i jordluften skall upprätthållas även om delar av denna borttransporteras.

Hus med källare eller bottenplatta byggda på rullstensåsar har i många fall höga radonhalter. Detta beror på att genomsläppligheten eller permeabiliteten i åsar är mycket hög och att stenmaterialet i stor utsträckning utgörs av granitiska bergarter. Dessa har genom sin högre slitstyrka bevarats i större grad än andra, mindre uranrika, bergarter. Står huset däremot på

lera, en under normala förhållanden mycket impermeabel jordart, är risken för markradon vanligtvis liten.

Hur huset är byggt är i många fall avgörande för radonhalterna inomhus. Ju större markkontakt ett småhus har desto större risk är det att radonhaltig luft kommer in i huset. För att minska riskerna tillämpas olika byggnadssätt beroende på vilken typ av mark huset står på. Är marken klassad som högradonmark måste grundkonstruktionen byggas radonsäkert. Är marken klassad som lågradonmark tillämpas konventionellt byggnadssätt. I övriga fall utförs grundkonstruktionen radonskyddande. Mer om kriterierna för klassning av mark i hög-, normal eller lågradonmark återfinns under avsnittet GRÄNSVÄRDEN.

Tillräckligt inläckage av jordluft för att radonhalten inomhus genomsnittligt skall bli högre än  $400 \text{ Bq/m}^3$  är ca  $5 \text{ m}^3$  luft per timme om läckaget sker till ett enplanshus med  $120 \text{ m}^2$  bottenyta och en luftomsättning av 0,2 omsättningar per timme och radonhalten på den inläckande jordluften är ca  $5\,000 \text{ Bq/m}^3$ . Om radonhalten i stället är  $50\,000 \text{ Bq/m}^3$ , räcker det med  $0,5 \text{ m}^3$  luft per timme från marken

Byggnadsmaterialet kan också betyda en hel del för radonhalterna inomhus. Generellt gäller att alla byggnadsmaterial som tillverkats av berg- eller jordarter innehåller radioaktiva ämnen. Ett byggnadsmaterial som innehåller mycket uran och därmed också radium är alunskifferbaserad lättbetong. Den kallas blåbetong på grund av att den vanligtvis är blågrå till färgen. I Sverige var blåbetong ett vanligt byggnadsmaterial från 30-talet och fram till 1978, då tillverkningen upphörde. För att minska radonhalterna inomhus i ett så kallat blåbetonghus måste ventilationen förbättras. Dock bör riskerna med att öka markradoninströmningen beaktas.

Bergborrade brunnar i områden med uranrika bergarter kan genom hushållsvattnet föranleda förhöjda radonhalter i bostäder. Tidigare riskbedömningar har fokuserats på radon som avgår till inomhusluften i samband med duschning eller dylikt. Nyare rön pekar emellertid på att det även kan vara hälsofarligt att dricka radonhaltigt vatten.

Vad beträffar åtgärder för att minska radonhalterna i bostäder hänvisas till (Clavensjö & Åkerblom 1992).

Toron är en radonisotop ( $\text{Rn-220}$ ) som bildas vid sönderfall i toriums sönderfallskedja (tabell 2). Den orsakar normalt inga problem i bostäder tack vare dess korta halveringstid, enbart 55 sekunder. Huvuddelen av toronet hinner sönderfalla innan torongasen kommer in i bostaden. Toron kan däremot orsaka problem i underjordsanläggningar som bergrum och gruvor.

## UNDERLAG TILL RADONRISKKARTOR

En översiktlig sammanställning av markradonförhållanden inom en kommun kan göras med ledning av befintligt geofysiskt och geologiskt material. Dessutom är det ofta nödvändigt att göra översiktliga undersökningar av markens radioaktivitet, speciellt dess radium- (uran-) halt.

Översikten bör tas fram i samråd med geologisk–geofysisk expertis och helst baseras på nedanstående underlag. Föreslaget underlag överensstämmer i stort sett med (Åkerblom m.fl. 1988).

- Flygradiometriska kartor (data)
- Jordartskartor
- Berggrundskartor
- Markradiometriska data
- Petrofysiska data
- Grusinventeringar
- Geotekniska undersökningar
- Geokemiska kartor (data)
- Radon i brunnsvatten
- I förekommande fall redan utförda markradonundersökningar
- Radonundersökningar i hus

Basmaterialen för radonriskkartor utgörs av utförda geologiska och geofysiska karteringar. Resultaten av dessa föreligger främst i form av kartor och numera i relativt stor utsträckning i digital form lämpliga för Geografiska Informations System (GIS). GEO-strålningskartorna, som gavs ut under 70-talet, bör idag anses som ett föråldrat material.

För att utgöra ett tillräckligt detaljerat underlag för radonriskkartor behöver de geologiska kartorna vara i skala 1:50 000 eller större. Med mindre skalor, t.ex. 1: 200 000 som används för länskartorna eller 1: 250 000 som används för de av SGU utgivna Provisoriska översiktliga berggrundskartorna (PÖB-kartorna), är det viktigt att markkontroller i större utsträckning utförs i samband med upprättandet av en radonriskkarta.

Behovet av markmätningar är givetvis större ju sämre underlagskartorna är. Saknas flygradiometriska mätningar, vilket tyvärr fortfarande är fallet för många tätbebyggda områden i Sverige, är det i många fall inte möjligt att ta fram radonriskkartor utan omfattande markkontroller.

## MÄTMETODER

De strålningsmätningar som utförs av SGU inom ramen för den normala karteringsverksamheten syftar bl.a. till att klarlägga sambanden mellan strålning och geologi. Vidare syftar verksamheten till att tillhandahålla underlag för att bedöma olika områdens radonrisk.

Kartläggningen av strålningen sker främst genom SGUs flygburna mätningar. Vidare används olika bärbara instrument för mätning av gammastrålning, såsom scintillometer och gammaspektrometer.

Radonmätningarna utförs dels som momentana mätningar, dvs. mätningar av rådande halter i ett givet ögonblick, och dels som integrerande mätningar, vilket ger ett medelvärde för aktuell mätperioden.

### Flygburna mätningar

Den enda praktiskt möjliga vägen att få relativt detaljerad kunskap om markens radioaktivitet för större områden är genom flygmätningar. SGUs flygmätningar utfördes tidigare på ca 30 meters höjd över markytan och med ett profilavstånd på 200 meter. Enligt Åkerblom m.fl. (1988) ger mätförfarandet en täckningsgrad på ungefär 60 % av den totala markytan. På grund av flygtekniska problem är det verkliga profilavståndet inte alltid ca 200 meter. I undantagsfall kan profilavståndet uppgå till 400 meter, vilket medför att områden med förhöjd radioaktivitet måste ha en diameter över 150 meter för att med säkerhet upptäckas. I de flesta fall räcker det dock att områdena har en större diameter än 80 meter. Från och med mätsäsongen 1995 utförs mätningarna på 60 meters höjd. Detta innebär att täckningsgraden ökar men detaljeringsgraden minskar. Som stöd för navigeringen används dGPS-utrustning.

På grund av att gammastrålningen avskärmas av vatten, jord och berg kommer ungefär 80 % av den uppmätta strålningen från markens översta två decimetrar (Åkerblom m.fl. 1988). Det betyder att strålningen även från starkt radioaktiv berggrund eller jord under detta två decimeter tjocka överliggande lager till större del är avskärmad. Vidare avskärmas gammastrålningen totalt av enbart några decimeter vatten liksom av torvmåktigheter över 0,5 m (Ek 1987). Detta innebär att den flygradiometriska informationen enbart ska ses som ett komplement till annan information i samband med radonriskartering.



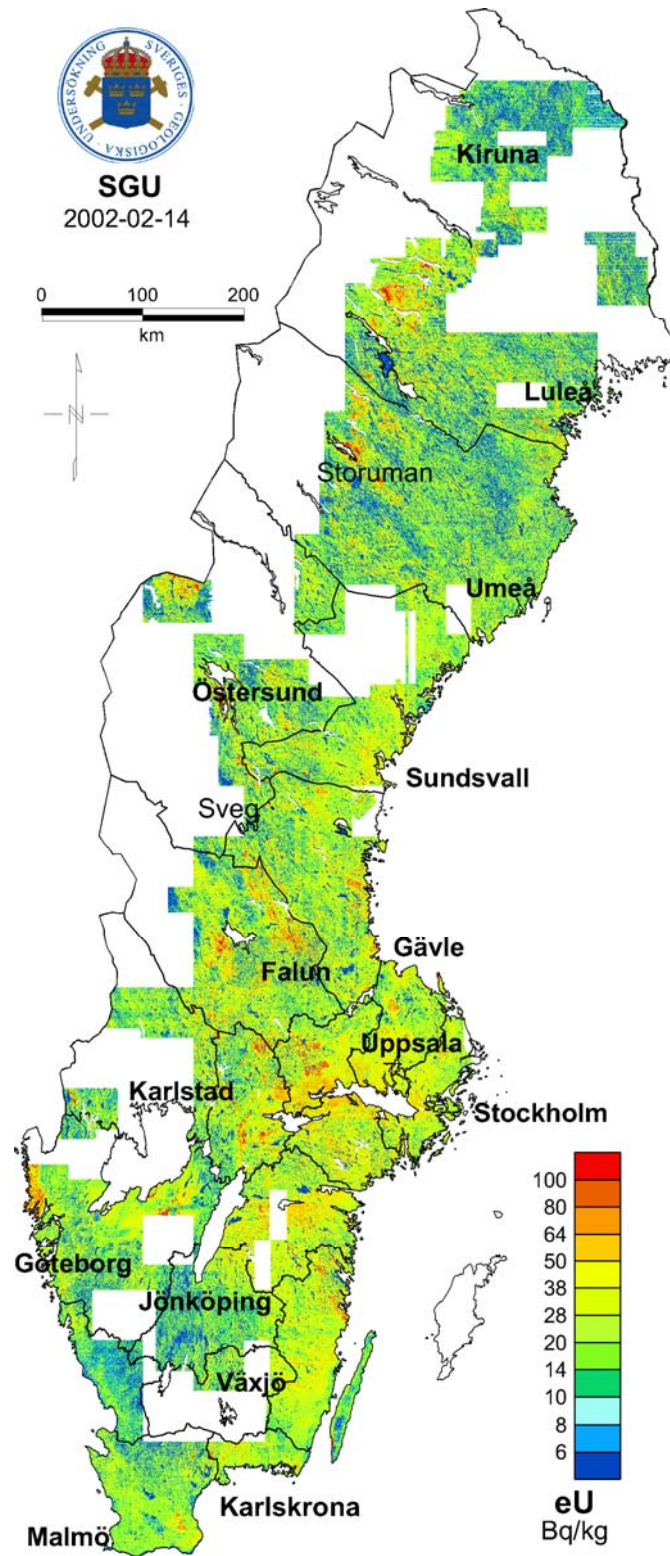
Figur 10. Flyggeofysiska mätningar utförs numera på ca 60 meters höjd över markytan och med ett flyglinjeavstånd av ca 200 meter. Hittills har ca 75 % av landets yta kartlagts.

För att erhålla likvärdiga mättningsresultat från gång till gång och för att kunna översätta de enskilda mätpunkternas strålningsspektrum till halter så kalibreras flygspektrometern. Kalibreringen, som görs före och efter varje säsong, utförs på för ändamålet speciellt konstruerade plattor vid Borlänge flygplats. Plattorna, som har en diameter av 10 m, kan också användas för kalibrering av handburna instrument.

Mätdata korrigeras alltid för bakgrundsstrålningen. Data för korrigeringen erhålls vid överflygning av vattenytor. Bakgrundsstrålningen förorsakas av kosmisk strålning, radon i luften och flygplanets och mätsystemets radioaktivitet. Radon i luften kan variera kraftigt beroende på väderleken. Från och med mätsäsongen 1995 används ett nytt mätsystem. Korrekationer för luftburen radon görs med större noggrannhet tack vare att systemet även har en uppåtriktad kristall.

Flygradiometriska mätningar som utförts efter 1986 innehåller även detaljerad information om cesiumbeläggning ( $^{137}\text{Cs}$ ).

Radiometriska flygmätningar har utförts mellan 1967 och 1982 av SGU. 1982–1992 utfördes de av Sveriges Geologiska AB (SGAB). Idag utför SGU återigen mätningarna i egen regi. Flygmätning av markens gammastrålning har även utförts av andra organisationer bl.a. av LKABs prospekteringsorganisation. Deras mätsystem var i stort sett likartat med SGUs system. Deras mätningar, liksom mätningar utförda av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och Nämnden för Statens Gruvegendom (NSG), finns tillgängliga i SGUs strålningsdatabas.



Figur 11. Markytans uranhalt från flygmätningar 1969–2001.  
Kartan visar fördelningen av uran i den översta delen av berggrunden och jordarterna.

## Total gammastrålning

Scintillometern (figur 12) mäter den totala gammastrålningen inom ett brett energiintervall. En natriumjodidkristall omvandlar infallande gammastrålning till ljusblixtar. Blixterna räknas av en fotomultiplikator och omvandlas till ett mätvärde. Instrumentet lämpar sig väl för detektering av gammastrålande objekt, såsom blåbetonghus, men också för att ge en bild av den lokala variationen i strålningsnivå vid ett observationsställe. En inledande rekognoscering med scintillometer är viktig för att kunna välja ut representativa platser för de mer tidskrävande gammaspektrometermätningarna.

Scintillometermätningar kan också ge en första indikation på om det finns risk för att ett material överskrider tillåtna värden för radium- och gammaindex.

## Gammaspektrometri

Den detaljerade mätningen av ett objekt sker med gammaspektrometer (figur 13). Till skillnad från scintillometern kan gammaspektrometern särskilja gammastrålning med olika energier. Halter av olika radioaktiva isotoper, exempelvis kalium, uran och torium, i det uppmätta materialet kan då bestämmas. Gammaindex, exposition och dosrat kan därmed beräknas. En spektrometermätning kan även ge en bild av förekomsten av radioaktivt cesium.



Figur 12. Med hjälp av scintillometer får man snabbt en uppfattning om strålnings-situationen i ett område. Scintillometern ger ett mått på den totala gammastrålningen men kan inte skilja på strålningen från de olika förekommande isotoperna.



Figur 13. Mätning med gammaspektrometer. Gammaspektrometern ger en detaljerad bild av gammastrålningen från de olika isotoperna.

## Markradon

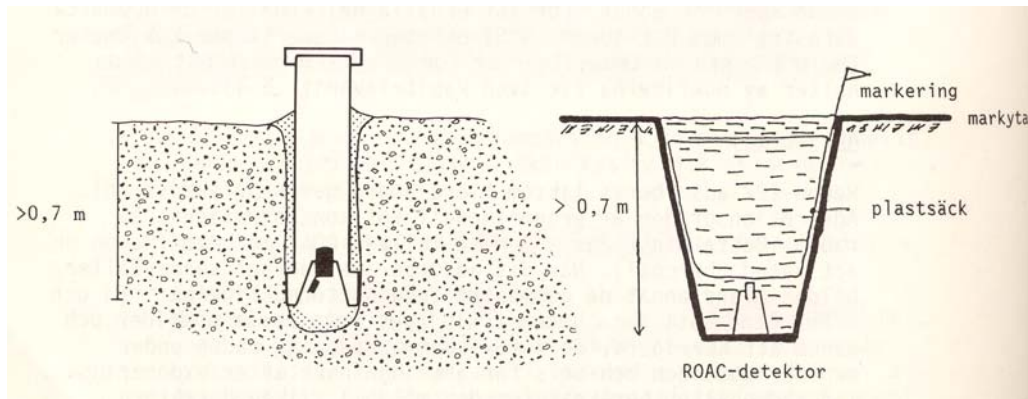
Halten radon i jordluft kan beräknas ungefärligt om man vet markens radiumhalt, torr densitet, porositet och radonemanation<sup>1</sup>. Det finns flera metoder att mäta radonhalt i jordluften, dels momentana metoder, dels integrerade långtidsregistrerande metoder. Fördelen med de momentana metoderna är att mätningarna går fort. De momentana metoderna använder instrument (emanometer) i vilka prov av jordluft sugas in från ett ihåligt sondrör och därefter analyserar emanometern radonhalten. De momentana metoderna lämpar sig bäst vid översiktliga och orienterande mätningar pga. att radonhalten varierar i en och samma punkt beroende på markens vattenhalt och lufttryck mm. Vid detaljerade undersökningar eller vid mätningar med stora krav på mätresultatet är det ofta en fördel att använda integrerade metoder (Åkerblom m.fl., 1990).

Vanliga långtidsregistrerande preparat är koldosor (typ ROAC) eller spårfilm som grävs ned på 1 meters djup. Koldosorna ligger i jorden 4–5 dagar och spårfilmen ännu längre tid innan de grävs upp och sänds till laboratorium för analys. Mätresultatet visar den genomsnittliga radonhalten under mätperioden. Det förekommer även halvledardetektorer för kontinuerlig mätning på den svenska marknaden. Radonmätningar i jord bör undvikas vid höga vattenhalter då missvisande resultat ofta erhålls (Rosén m.fl., 1997).



Figur 14. Framför emanometern mäter gammaspektrometern innehållet av U, Th och K-40 i jorden. Emanometern på bilden är av typ Markus 10.

<sup>1</sup>Radonemanation = andel bildat radon som avgår till jordluften



Figur 15. Principskiss för utplacering av koldosa (ROAC) alternativt spårfilm (Åkerblom m.fl., 1990).

## *SPECIELL DEL*

### **INLEDNING**

Under 1975 och 1978 utfördes flygburna radiometriska mätningar över Lilla Edets kommun. Dessa flygmätningar är utförda från 30 meters höjd och med 200 meters profilavstånd. Under juni 2001 följdes flygmätningarna upp med strålnings- och radonmätningar på marken.

### **ARBETSMETODIK**

Arbetet med radonutredningen inleddes med en genomgång av befintlig geologiska information över undersökningsområdet. De väsentligaste uppgifterna är från berggrunds- och jordartskartor, samt från flygburna radiometriska mätningar (gammastrålningsmätningar). Med detta bakgrundsmaterial utarbetades ett fältarbetsprogram. SGUs uppföljning av de flygburna gammastrålningsmätningarna baseras i första hand på geologin och gammastrålningens intensitet, speciellt med hänsyn till urans sönderfallsserie. Avsikten med markmätningarna är att utröna olika jord- och bergarters radonrisk och med hjälp av de flygburna mätningarna få en mer yttäckande bild av radonriskerna inom Lilla Edets kommun.

Orienterade markmätningar utfördes med scintillometer (Scintrex BGS-3), som mäter den totala gammastrålningen. Detaljerade mätningar gjordes med gammaspektrometer (Exploranium GR-320), som registrerar gammastrålningen från alla förekommande nuklider. Mätresultatet ger fördelningen av uran, torium och kalium. Radonhalten i jordluften mättes direkt med emanometer (Markus-10), samt med ROAC markradondetektorer som mäter under 4-5 dygn.

Mätresultaten och mätpunkterna lagrades in i radiadatabasen vid SGU. Resultaten bearbetades och kopplade till den lokala geologin. Mätpunkterna redovisas på kartbilaga 1. Framställningen av kartbilagorna har utförts av Åsa Lindh.

### **UNDERLAGSMATERIAL**

Hela Lilla Edets kommun täcks av moderna, detaljerade jord- och berggrundskartor. Nedan redovisas underlagsinformationen som använts.

Jordartskartan Göteborg NO. SGU 1979. Ae 40. Skala 1:50 000.

Jordartskartan Vänersborg SO. SGU 1982. Ae 48. Skala 1:50 000.

Berggrundskartan Vänersborg SO. SGU 1988. Af 160. Skala 1:50 000.

Berggrundskartan Göteborg NO. SGU 1982. Af 136. Skala 1:50 000.

Biokemiska kartan. SGU 1988. R&M 51.

Biokemiska kartan. SGU 1990. R&M 63.

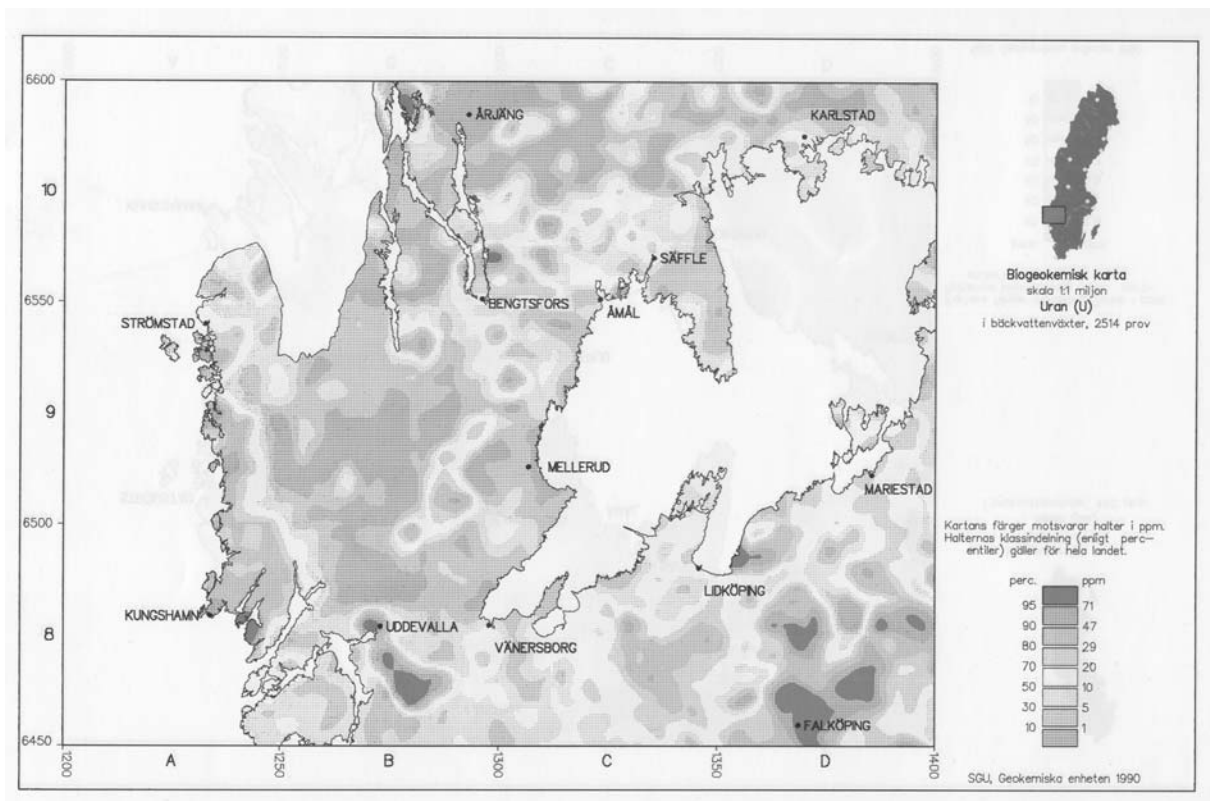
Flygradiometriska gammastrålningskartor. 1975 & 1978. Utdrag ur SGUs radiometriska databank.

## GEOKEMISKA UNDERSÖKNINGAR

Den geokemiska kartläggningen av Sverige bedrivs i syfte att visa fördelningen av huvudämnen och spårelement, däribland uran, i mark och vatten. Vid den geokemiska kartläggningen tas prover av bäckvattenväxter och vattenlevande mossor i små vattendrag där andelen grundvatten antas vara stor.

### Uran i bäckvattenväxter

De uranhalter som uppmäts i bäckvattenväxter avspeglar berggrundens och jordarternas metallinnehåll. Den glesa provtagningen, 2–3 km mellan provtagningspunkterna, ger enbart ett översiktligt underlag för radonriskbedömningar. Kartan (figur 16), som visar uranhalten i bäckvattenväxter, är baserad på geokemisk information som insamlats på 1980-talet (Resar m.fl. 1988 & 1990). Eventuella utsläpp detekteras också i dessa växter. Detektionsgränsen för mätvärdena är 5 ppm, vilket motsvarar ca 60 Bq/kg.



Figur 16. Uran i bäckvattenväxter, kartan täcker norra delen av Lilla Edets kommun (SGU 1990. R&M 63).

## RADON I GRUNDVATTEN

Radon förekommer naturlig i grundvatten. Höga halter finns främst i vatten från bergborrade brunnar. Ytvatten innehåller endast låga halter av radon. Förtäring av radonhaltigt vatten kan innebära hälsorisk, särskilt för barn (SLVFS 1993:35 och 1997:32). Vatten med radonhalter över 500 Bq/l, som används till dryck och matlagning för barn under 5 års ålder, bör värmas till kockning eller vispas kraftigt minst 3 minuter för att avlägsna radonet. Vatten med radonhalter över 1000 Bq/l bör ej användas till dryck eller livsmedelshantering.

Den största hälsorisken med radon i hushållsvatten är att radon avgår från vattnet till inomhusluften. När radonhaltigt vatten tappas upp eller används i tvätt- och diskmaskiner avgår en stor del av radonet till inomhusluften. Användningen i hushållet av vatten med radonhalten **1000 Bq/l** beräknas kunna ge upphov till en radonhalt i inomhusluften på **200 Bq/m<sup>3</sup>**. Detta är en grov tumregel och vanligen blir radonhalten lägre än **200 Bq/m<sup>3</sup>**.

En förutsättning, med vissa undantag, för att radonhalten skall bli hög, är att vattnet tas från sprickor i kristallint berg. Att radonhalten är högre i grundvatten som kommer från sprickor i berget beror på att en stor del av radonet tillförs genom avgång från utfällningar av uran och dess dotterprodukt radium på sprickytorna. Därigenom kan radonhalten per kubikdecimeter vatten bli många gånger högre än vad radonhalten är per kubikdecimeter omgivande kompakt berg. Radonhalten i vatten från bergborrade brunnar är vanligen 50–1000 Bq/l med maximala halter i Sverige på 10 000–60 000 Bq/l.

Radonrikt grundvatten förekommer vanligast i områden med uranrik berggrund t.ex. vissa uranrika graniter, syeniter, vulkaniter och pegmatiter. Ett undantag utgör den uranrika alunskiffern, som sällan ger upphov till höga radonhalter i grundvattnet. Det finns exempel på mycket höga radonhalter i grundvatten trots att berggrunden har låga eller normala halter av uran. Brunnarna är då borrhålen i berggrund med små uranförande sprickor, som transporterar radonrikt vatten till borrhålet. Till och med i områden med kalksten kan höga radonhalter förekomma. Då rör det sig om grundvatten som under lång tid transporterats uran och radium från underliggande berggrund, som sedan utfällts på sprickytor nära det ställe där vattnet tas ifrån. Det går inte med säkerhet att friskriva någon typ av berggrund från eventuella förekomster av radonrikt vatten.

## BERGGRUNDSGEOLGI

### Översikt av kommunens berggrundsgeologi

Berggrunden inom Lilla Edets kommun utgör en del av ett stråk, som i stort sett sträcker sig i nord-sydlig riktning från Kungsbackatrakten till Dalsland. En förenklad berggrundskarta över kommunen framgår av Bilaga 3. Nedanstående text är en sammanställning av uppgifter hämtade från Samuelsson (1985) och Lundqvist (1997)

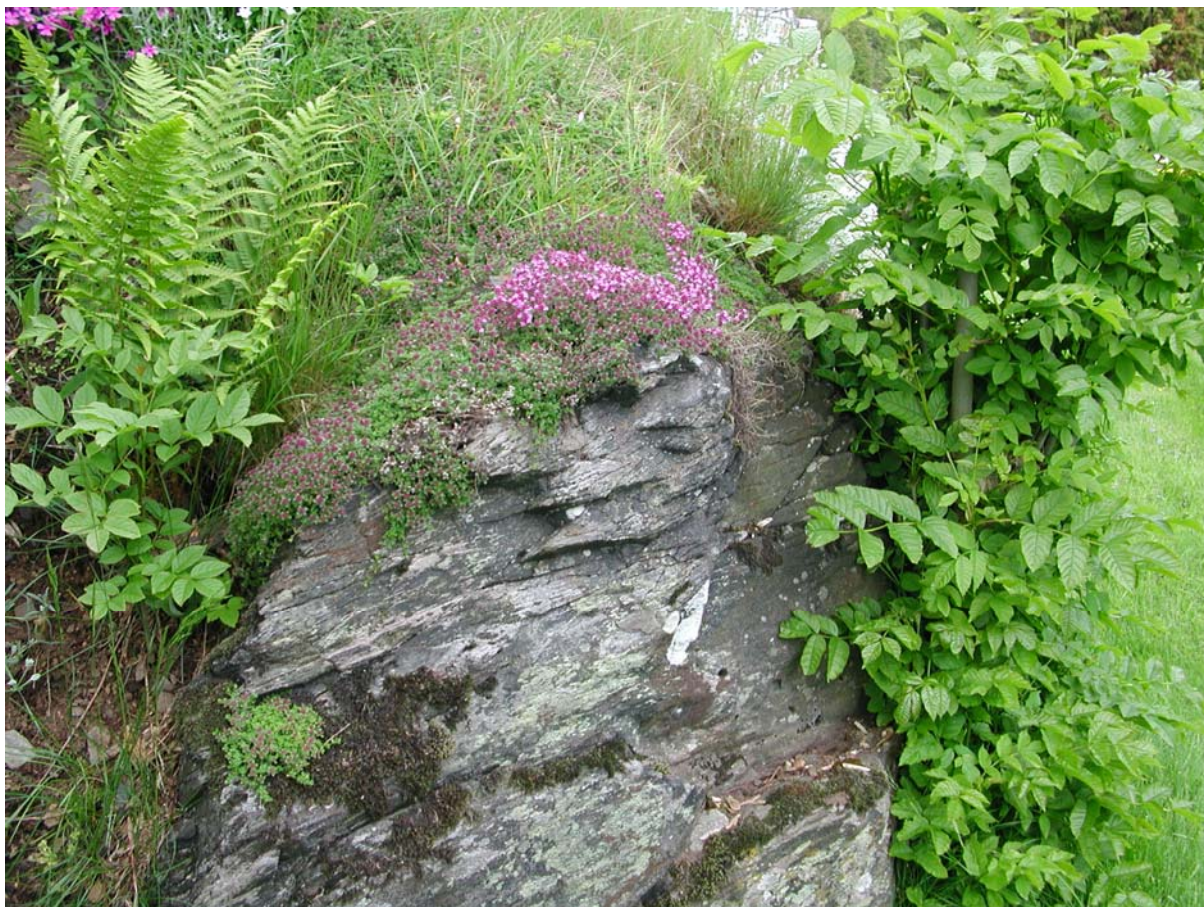
#### Ytbergarter

De äldsta bergarterna inom kommunen utgörs av homogena till bandade, gnejsiga och ibland finådrade ytbergarter av sedimentärt och vulkaniskt ursprung. Ytbergarter är ett gemensamt namn för bergarter, som avsatts på jordens yta och sedan förfastats. Dessa har genomgått upprepade deformationer och därmed har de blivit utsatta för förhöjt tryck och förhöjd temperatur. På grund av att ytbergarterna är så starkt omvandlade, är det svårt att avgöra hur stor del av dem, som är vulkaniskt respektive sedimentärt ursprung. Dessa bergarter

förekommer sparsamt inom kommunen mindre partier finns väster om Lilla Edet och Västerlanda.

### **Metabasit**

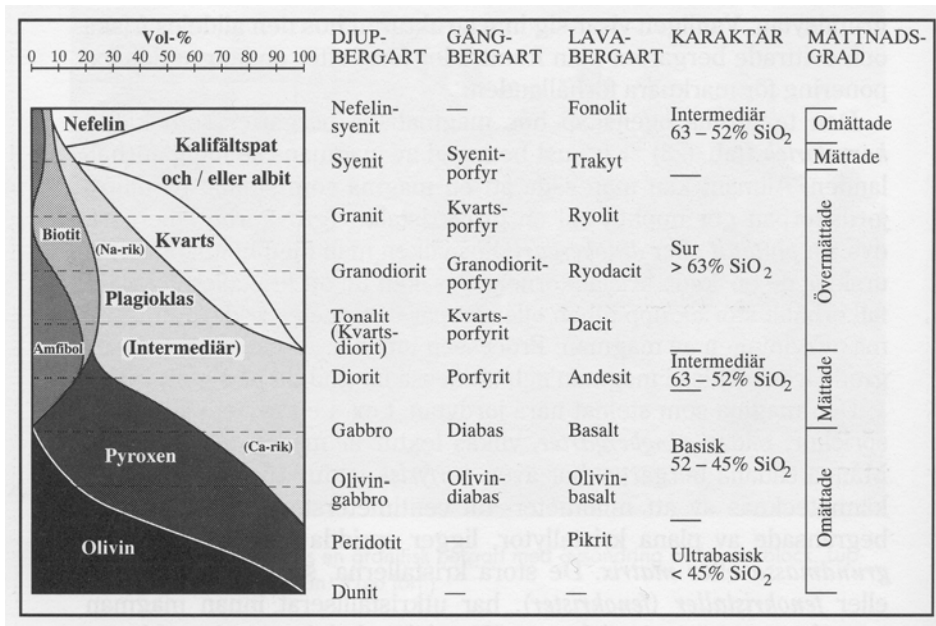
Efter att ytbergarter hade bildats trängde basiska magmor in i den dåtida jordskorpan. De återfinns nu som grå till grönsvarta metabasitkroppar företrädesvis som bergarten amfibolit. Bergarten förekommer sparsamt inom kommunen. Flera mindre amfibolitmassiv finns mellan Intagan och Öresjö.



Figur 18. Amfibolit vid Ingelstorp

### **Granitiska till tonalitiska ådergnejser**

Härpå följde en period med omfattande magamabildning. Dessa magmor kan delas in i en äldre och yngre grupp. Den äldsta gruppen består av ådrade till kraftigt ådrade och i ibland bandade gnejser (*ådergnejser*) med en tonalitisk till granitisk sammansättning (figur 18.). De utgör till största delen berggrunden öster om Göta älv och som ett smalt stråk väster om älven. Färgen varierar från gråröd över rödgrå till grå, beroende på att framförallt kalifältspathalten minskar och de mörka mineralen biotit och hornblände ökar.



Figur 19. Bergartsschema för de magmatiska bergarterna (Loberg 1993.) Genom att följa en horisontell linje från bergartsbeteckningen genom diagrammet erhålles bergartens procentuella mineralsammansättning. Exempel: Bergarten granit består av ca 15% biotit, 15% plagioklas, 30% kvarts och 40% kalifältpat och/eller albit.

### Granitiska till tonalitiska gnejser

Berggrunden väster om Göta älv domineras av den yngre gruppen. Dessa är massformiga till gnejsiga, ibland ådrade av tonalitisk till granitisk sammansättning. Den yngre bergartsgruppen har varit med om en deformationsperiod mindre och är inte så omvandlade som ådergnejserna. Dessa bergarter dominerar berggrunden väster om Göta älv.

### Ögongnejs

Så kallad *ögongnejs* förekommer som en smal gång väster om Vanderydvattnet. Bergarten uppträder i meter till kilometerbreda band, som kan följas flera mil i ett stråk söderut till Kungsbackatrakten. Ögongnejsen kännetecknas av de stora, röda kalifältpatögonen, som kan ha en diameter på 2-10 cm.

### Granit

Under den senare delen av den aktiva perioden trängde ytterligare tre olika varianter av granitmagmor in i jordskorpan. Utseendemässigt är dessa bergarter ganska lika varandra. Den ena av dessa graniter s.k. *Götgranit* är röd till rödgrå, ögonförande, gnejsig till ådrad och innehåller ofta mineralet granat. Götgraniten finns i två bred nord-sydliga stråk. Ett går utmed östra sidan av Göta älv via Göta och norrut till väster om Borydsjön. Det andra stråket går från Tingberg i söder via Ale-Skövde kyrka och på ömse sidor av Gravlången i norr.

Den andra bergarten är oftast röd, stråkvis gnejsig eller ögonförande med en förhöjd radioaktivitet och kallas därför för *RA-granit*. Göta- och RA-graniten liknar varandra utseendemässigt och ligger ofta i nära anslutning till varandra. RA-graniten finns i bergsområdena närmast väster om Göta älv från kommungränsen till Kungälv i söder via västra delen av Lödöse och vidare på östra sidan av älven till Garn i norr. Ett annat stråk med RA-granit finns i den sydöstra delen av kommunen, mellan Hede och Gunntorp. Ett tredje, ca 5 km långt avsnitt med RA-granit uppträder mellan Bästorp och Bredhult någon kilometer öster om Tunge kyrka.



Figur 20. Götagranit en kilometer söder om Göta.

Den tredje granitvarianten är en rödgrå, massformig till starkt förgnejsad och ögonförande bergart. Liknande bergarter finns spridda bl.a. inom ett område mellan Göteborg och Uddevalla och kallas för *Askimsgranit*. Ögongraniten är av magmatiskt ursprung och sammansättningen varierar från granodioritisk till granitisk. Askimsgraniten finns främst väster om Göta älv ofta i anslutning till RA-graniten. Väster om Hjærtum och nordväst om Västerlanda finns mindre nord-sydliga stråk med Askimsgranit. Denna granit finns även som ett långt, smalt stråk i kontakt med RA-graniten öster om Lödöse i söder till strax öster om Tunge kyrka i norr.

Under den period som nu följde utsattes berggrunden för högre tryck och temperatur, vilket medförde att granitiska partier av berggrunden delvis omkristalliserades eller helt smälte upp. Dessa smältor finns på några platser i kommunen, som en rödlätt, relativt finkornig granit. Mindre partier med denna granit finns väster om Fräcksjön och söder om sjön Store-Väktor.

## **Pegmatit**

*Pegmatit* är en mycket grovkornig magmatisk bergart, vanligtvis med granitisk sammansättning. Färgen på pegmatiterna i undersökningsområdet varierar från grått till laxrosa. Ett pegmatitstråk går från sjön Store–Väktor till Ström, via Hjærtum och vidare nordnordost till Öresjö. Smala pegmatitgångar förekommer framförallt väster om Göta älv och är där koncentrerade till vissa områden, t.ex. sydsydöst om Öresjö och nordväst om Hasteröd.

## **JORDARTSGEOLOGI**

### **Översikt av kommunens jordartsgeologi**

En förenklad jordartskartakarta över kommunen framgår av Bilaga 4. Nedanstående text är en sammanställning av uppgifter hämtade från Fredén (1984 & 1986).

#### **Lera och silt**

Den vanligaste jordarten inom kommunen är lera. Lerorna indelas i olika grupper, dels genom bildningsätt, dels genom kornstorlek. De yngsta lerorna utgörs av postglacial fin- och grovlera, som bildats i samband med svallning och omlagring av glacial lera. Vid större inblandning av silt och sand blir lerhalten lägre och leran är då utbildad som grovlera. Postglaciala leror finns i Göta älvs dalgång på nivåer under ca 25 m ö.h. Mäktigheten är 1–2 m och underlagras oftast av glacial lera. Den postglaciala leran skiljer sig inte nämnvärt från den glacial lera beträffande färg och kornstorlek.

Glacial lera finns främst i Göta älvs dalgång och mellan Nygård och Bodasjön. Den glaciala leran finns på nivåer upp till 110–120 m ö.h. De största lermäktigheterna påträffas där det varit stora vattendjup. I Göta älvs dalgång är 60–80 m med lera vanligt förekommande. I andra större dalgångar är lermäktigheten ofta ca 20–30 m.

Silten förekommer främst i Göta älvs dalgång. Det största sammanhängande området ligger söder om Göta, där dalgången vidgar sig och älvslänterna är låga.

#### **Svallsediment**

Svallsediment förkommer främst väster om Göta älv och ofta i anslutning till isälvsavlagringar. Sanden är den dominerande fraktionen. Enstaka mindre områden med svallgrus finns i höjdområdet norr om Uxås. Svallsedimenten är vanligen mellan en halv till en meter mäktiga. Intill isälvsavlagringar kan mäktigheten vara några meter.

#### **Isälvsavlagringar**

Alla större isälvsavlagringar ligger väster om Göta älv och de flesta avlagringarna ligger randbildningsstråk som kallas Berghemsmoränen. Dessa bildades vid inlandsisens front under långvariga (50–200 år), relativa stillestånd för ca 12 200 år sedan.

På östra sidan av Svartedalens höjdområde SV om Torskog ligger en ca 3 km terrassformad isälvsavlagring. Den högsta delen når upp till ca 120 m ö.h. och sand är den dominerande fraktionen. Ytterligare några kilometer mot nordost, vid Hålt ligger en flack avlagring som till stora delar är ett sandurfält, vilket avsatts ovanför en vattenyta. Materialet är mycket grovt med grus och välrundade stenar och mäktigheten måttlig (2–7 m). Vid Rishageröd finns en mindre, ryggformad avlagring, som består av sand och grus. Vid Hasteröd finns en typisk

randbildning. I den västra delen finns övervägande grusig sand, medan i den nordöstligaste delen av avlagringen är komplext uppbyggd med omväxlande lager av morän, sand och grus.

Utmed vägen mellan Lilla Edet och Backamo ligger flera större isälvsavlagringar, där det pågår eller tidigare har pågått omfattande täktverksamhet. Isälvsavlagringen vid Dunebacken är ett delta, som når upp till ca 125 m ö.h. Materialet har en växlande sammansättning och omfattande täktverksamhet pågår i nuläget. Den största isälvsavlagringen i Lilla Edets kommun ligger vid gården Maen. Huvuddelen av Maenavlagringen är ett delta. Den genomsnittliga mäktigheten ligger mellan 10 och 20 m. I den centrala delen är merparten av det övervägande sandiga isälvs materialet utbrutet. I den södra delen ligger en större grustäkt med material av växlande sammansättning.

Sydväst om Hjärtum har mäktiga isälvsavlagringar funnits. Större delen av förekomsten är utbruten. De kvarvarande isälvs sedimenten består till största delen av sand. Mindre isälvsavlagringar finns bl.a. i Lilla Edet, Tösslanda och Hålbäcka.

## **Morän**

Morän förekommer sparsamt i Lilla Edets kommun. Enstaka mindre moränryggar ligger orienterade i nordväst–sydöst i den s.k. Berghemsmoränen. Större ryggformade moränavlagringar finns dock vid Hjärtum och öster om Tösslanda. De är ryggformade stötsidesmoräner, dvs. de ligger an mot berg i den södra delen. Det finns uppgifter från brunnborrningar att det förekommer moränmäktigheter mellan 25 och 28 m i dessa avlagringar. Den största moränackumulationen i kommunen, som ligger väster om Löddestorp är i den södra delen en stötsidesmorän och i den norra delen är den berggrundbetingad. Stötsidesmoränerna består ofta av mycket hårt packad bottenmorän med en sandig sammansättning. Ansamlingar av morän finns i slutningarna ned mot Brattorpsån från Arsjön och österut. Större delen av de moränområden, som ligger under högsta kustlinjen har ett svallat ytskikt. På de större moränavlagringarna finns ett tunt lager (ca 0,5 m) av sand och grus.

## **RESULTAT AV FÄLTUNDERSÖKNINGARNA**

Markuppföljning av de flygburna gammastrålningsmätningarna utfördes under sommaren 2001 av Mehrdad Bastani och Sven Erik Sundevall. Totalt har 122 platser besökts inom kommunen (tabellerna 8–14 och bilaga 1). Av dessa mätningar har 98 gjorts på berggrunden och 24 är mätpunkter i jordarter. På varje berghäll har det utförts minst 2–3 mätningar med gammaspektrometern. Målet har varit att få en bild av strålningssituationen kopplad till geologin. Dessutom har de högstrålande områden som påvisats vid flygmätningar följts med markmätningar. Spektrometermätningar har utförts för att erhålla en så differentierad bild av strålningssituationen som möjligt.

I samband med markradonundersökningen har flera olika mätmetoder använts: Scintillometermätning och gammaspektrometermätning främst på berggrunden och för mätningar i jordlagren, ROAC- och emanometermätningar. Mätningar har utförts med scintillationsinstrument av typ BGS-3 tillverkat av Scintrex. Instrumentet kallas också för gammamätare. Den använda mätenheten är  $\mu\text{Sv/h}$  (mikrosivert per timma). Tidigare användes mätenheten  $\mu\text{R/h}$  (mikroröntgen per timma). Mätnoggrannheten för instrumentet är 0,01–0,03  $\mu\text{Sv/h}$  (1–3  $\mu\text{R/h}$ ). Med en gammaspektrometer bestäms markens halter av radium, torium och den radioaktiva isotopen av kalium (K-40).

För att bestämma radonhalt i jordluften har två olika mätmetoder använts (Emanometermätning och ROAC-metoden). Emanometermätningar har utförts med ett halvledarinstrument (Markus 10). Vid mätning med emanometer slås ett ihåligt sondrör ned till 1,0 meters djup. Vid rörets spets finns flera mindre hål. Mätkammaren anslut till röret och jordluft sugas in i en mätkammare. Halvledardetektorn är inställd så att den energiselektiv och endast mäter alfastrålningen från den första radondottern Po-218, som har kort halveringstid. Mätningen tar ca 15 minuter och kan ske på små luftvolymmer. Emanometermätningar av radonhalt i jordluft mättes i jordarter med så hög porositet att en tillräcklig volym luft kunde sugas upp för mätningarna, dvs. i isälvsmaterial, svallsand och moräner.

Radon-222 absorberas liksom flera andra gaser på aktivt kol. Adsorptionsgraden är proportionell mot koncentrationen av radon. Detta utnyttjas i ROAC-metoden. Mätutrustningen består av en detektor fylld med aktivt kol. Detektorn placeras i en plastmugg, som fästs i botten av ett plaströr med 70 mm diameter. Röret grävs ner, så att detektorn hamnar på 1,0 meters djup. När detektorn är placerad i jorden skall den sedan exponeras i 4-5 dygn. Därefter beräknas radonhalten genom att mäta gammastrålning från detektorn.

För att få en uppfattning om jordlagrens radioaktivitet gjordes även spektrometermätningar i ca 30 cm djupa, grävda gropar i samband med att radonmätningar i jordluften genomfördes.

## Bergarternas innehåll av radioaktiva ämnen

En sammanfattning av spektrometermätningar för de olika bergarterna finns i tabell 8–14. Kommunens äldsta bergart *sedimentgnejsen* har en liten utbredning och endast ett fåtal spektrometermätningar har gjorts på denna, uranhalten är låg 2–3 ppm U, vilket motsvarar ca 20–35 Bq/kg Ra. Även toriumhalten är låg 9 till 14 ppm. Gammastrålningen från sedimentgnejsen är ca 0,10 µSv/h.

Normalt utgör berggrund med basiska bergarter liten radonrisk. Uran- och toriumhalten i *metabasiten* är extremt låg ca 1 ppm U (ca 12 Bq/kg Ra) och ca 4 ppm Th (tabell 8). Motsvarande uran- och toriumhalter finns från flera mätningar i Göteborgs kommun. Även gammastrålningen från metabasiterna är låg ca 0,05 µSv/h.

Tabell 8. Uran-, torium- och kaliumhalter i ytbergartsgnejs och amfibolit, en till fyra mätningar på varje lokal.

ID-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	γ-strål. µSv/h	Bergart
SES011012a	6470206	1284851	Brevik	2,7	845	2,9	36	12,5	51	0,1	Ytbergartsgnejs
SES011012b	6470206	1284851	Brevik	3,2	1002	2,5	31	14,2	58	0,11	Ytbergartsgnejs
SES011012c	6470206	1284851	Brevik	3,3	1033	2,3	28	14	57	0,1	Ytbergartsgnejs
SES011015a	6466166	1282380	Ingelstorp	1,1	344	1	12	4,7	19	0,05	Amfibolit
SES011015b	6466166	1282380	Ingelstorp	0,9	282	1	12	4,1	17	0,05	Amfibolit
SES011075	6439911	1288722	Svalered	1,4	438	0,6	7	3,1	13	0,06	Amfibolit
MEB010064a	6469070	1285163	Fredskogen	2,8	876	1,6	20	9,2	37		Ytbergartsgnejs
MEB010064b	6469070	1285163	Fredskogen	2,7	845	1,9	23	11,3	46		Ytbergartsgnejs
MEB010064c	6469070	1285163	Fredskogen	2,7	845	1,8	22	12,1	49		Ytbergartsgnejs
MEB010064d	6469070	1285163	Fredskogen	2,7	845	1,4	17	9,3	38		Ytbergartsgnejs

Uranhalten i den granodioritiska *ådergnejsen*, som främst uppträder öster om Göta älv är låg till måttlig 1–6 ppm U, vilket motsvarar 10–74 Bq/kg Ra (tabell 9). Toriumhalten i ådergnejsen är låg, 6 till 21 ppm och gammastrålningen varierar mellan 0,07 till 0,14 µSv/h.

Tabell 9. Uran-, torium- och kaliumhalter i ådergnejs, två till tre mätningar på varje lokal.

Id-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	γ-strål. μSv/h	Bergart
SES011001a	6442955	1288557	Nygård	1,9	595	3,9	48	14,9	60	0,09	Granodioritisk ådergnejs
SES011001b	6442955	1288557	Nygård	1,4	438	3,4	42	10,9	44	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011036a	6451552	1283500	Lilla Edet	2	626	5,4	67	9,7	39	0,11	Granodioritisk ådergnejs
SES011036b	6451552	1283500	Lilla Edet	3,4	1064	3,2	40	10	41	0,12	Granodioritisk ådergnejs
SES011036c	6451552	1283500	Lilla Edet	4,6	1440	6	74	9	37	0,14	Granodioritisk ådergnejs
SES011040a	6458273	1285813	Åsbräcka	2,8	876	1,4	17	15,2	62	0,09	Granodioritisk ådergnejs
SES011040b	6458273	1285813	Åsbräcka	1,7	532	0,9	11	7,1	29	0,07	Granodioritisk ådergnejs
SES011040c	6458273	1285813	Åsbräcka	2,6	814	0,9	11	7,9	32	0,07	Granodioritisk ådergnejs
SES011060a	6439648	1285004	Lödöse	5,1	1596	1,7	21	10,1	41	0,1	Granodioritisk ådergnejs
SES011060b	6439648	1285004	Lödöse	4,8	1502	2,4	30	12	49	0,11	Granodioritisk ådergnejs
SES011060c	6439648	1285004	Lödöse	4,3	1346	1	12	7,4	30	0,1	Granodioritisk ådergnejs
SES011074a	6438946	1287360	Attlered	3,6	1127	3,1	38	14,5	59	0,11	Granodioritisk ådergnejs
SES011074b	6438946	1287360	Attlered	3,6	1127	2,4	30	13,4	54	0,1	Granodioritisk ådergnejs
SES011074c	6438946	1287360	Attlered	3,4	1064	2,1	26	15,8	64	0,1	Granodioritisk ådergnejs
SES011075a	6439911	1288722	Svalered	3,1	970	2,4	30	3,9	16	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011075b	6439911	1288722	Svalered	2,6	814	3,9	48	3,4	14	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011076a	6441688	1288514	Tittås	3,1	970	2,6	32	9,2	37	0,1	Granodioritisk ådergnejs
SES011076b	6441688	1288514	Tittås	2,7	845	2,2	27	10,4	42	0,09	Granodioritisk ådergnejs
SES011076c	6441688	1288514	Tittås	2,5	783	1	12	9,6	39	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011077a	6442551	1289612	Balltorp	3,6	1127	2	25	13,2	54	0,11	Granodioritisk ådergnejs
SES011077b	6442551	1289612	Balltorp	3,1	970	1,9	23	12,4	50	0,1	Granodioritisk ådergnejs
SES011077c	6442551	1289612	Balltorp	2,7	845	1,7	21	9	37	0,09	Granodioritisk ådergnejs
SES011079a	6449089	1295189	Björksmad	2,4	751	1,4	17	7,7	31	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011079b	6449089	1295189	Björksmad	2,7	845	1,6	20	3,2	13	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011079c	6449089	1295189	Björksmad	2,2	689	1,1	14	7,4	30	0,07	Granodioritisk ådergnejs
SES011080a	6448978	1291173	Högshult	1,6	501	3,3	41	5,7	23	0,08	Granodioritisk ådergnejs
SES011080b	6448978	1291173	Högshult	2,2	689	2,1	26	12,3	50	0,09	Granodioritisk ådergnejs
SES011080c	6448978	1291173	Högshult	3,5	1096	1,3	16	14,1	57	0,11	Granodioritisk ådergnejs
MEB010008a	6445985	1285596	Kärre	2,7	845	1,4	17	4,2	17		Granodioritisk ådergnejs
MEB010008b	6445985	1285596	Kärre	3	939	0,8	10	4,6	19		Granodioritisk ådergnejs
MEB010008c	6445985	1285596	Kärre	2,4	751	1,3	16	6	24		Granodioritisk ådergnejs
MEB010009a	6448274	1295745	Viken	3,1	970	1,6	20	21,3	86		Granodioritisk ådergnejs
MEB010009b	6448274	1295745	Viken	3,2	1002	2,2	27	17,9	73		Granodioritisk ådergnejs
MEB010009c	6448274	1295745	Viken	3,2	1002	1,6	20	20,8	84		Granodioritisk ådergnejs
MEB010030a	6440582	1284507	Lödöse	1,9	595	2,1	26	9	37		Granodioritisk ådergnejs
MEB010030b	6440582	1284507	Lödöse	1,7	532	2,7	33	3,7	15		Granodioritisk ådergnejs
MEB010030c	6440582	1284507	Lödöse	2	626	2	25	9	37		Granodioritisk ådergnejs

Uran- och toriumhalterna i den granodioritiska *gnejsen*, som är den dominerande berggrunden öster om Göta älv är snarlika halterna för ådergnejsen. Uranhalten varierar mellan 0,7 till 5,5 ppm, som motsvarar en radiumhalt mellan 9 och 68 Bq/kg Ra och toriumhalten varierar mellan 4 och 27 ppm. Gammastrålningen ligger inom intervaller 0,07 till 0,15 μSv/h (tabell 10).

Tabell 10. Uran-, torium- och kaliumhalter i gnejs, två till fem mätningar på varje lokal.

ID-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	γ-strål. μSv/h	Bergart
SES011011a	6403039	1282654	Örstad	3,1	970	2,2	27	12	49	0,08	Granodioritisk gnejs
SES011011b	6403039	1282654	Örstad	1,8	563	2,5	31	8,7	35	0,07	Granodioritisk gnejs
SES011014a	6464446	1281801	Store sjö	3,9	1221	3,8	47	16,4	67	0,12	Röd granitisk gnejs
SES011014b	6464446	1281801	Store sjö	2,9	908	3,9	48	14,8	60	0,12	Röd granitisk gnejs
SES011014c	6464446	1281801	Store sjö	3,3	1033	4,3	53	12,9	52	0,11	Röd granitisk gnejs
SES011019a	6443287	1278674	Rödvatten	2,1	657	3,6	44	6,5	26	0,07	Granodioritisk gnejs
SES011019b	6443287	1278674	Rödvatten	1,4	438	2,2	27	6,7	27	0,06	Granodioritisk gnejs
SES011019c	6443287	1278674	Rödvatten	2	626	3	37	7,1	29	0,07	Granodioritisk gnejs
SES011033a	6451453	1278992	St. Gunnarsvattnet	1,8	563	2,8	35	8,1	33	0,07	Granodioritisk gnejs
SES011033b	6451453	1278992	St. Gunnarsvattnet	2,8	876	2,8	35	8,8	36	0,08	Granodioritisk gnejs
SES011033c	6451453	1278992	St. Gunnarsvattnet	2,9	908	2,6	32	9	37	0,08	Granodioritisk gnejs
SES101042a	6459510	1282399	Grönlid	4,1	1283	3,9	48	12,5	51	0,12	Granodioritisk gnejs
SES101042b	6459510	1282399	Grönlid	2,6	814	3	37	12,6	51	0,1	Granodioritisk gnejs
SES101042c	6459510	1282399	Grönlid	3,6	1127	3,6	44	14,2	58	0,11	Granodioritisk gnejs
SES011046a	6463775	1287394	Smedtorpet	1,7	532	1,3	16	4,1	17	0,06	Granodioritisk gnejs
SES011046b	6463775	1287394	Smedtorpet	3,5	1096	3,4	42	13,2	54	0,11	Granodioritisk gnejs
SES011046c	6463775	1287394	Smedtorpet	2,5	783	2,3	28	11,5	47	0,1	Granodioritisk gnejs
SES011048a	6460620	1281006	Holmevattnet	1,7	532	3,4	42	10,7	43	0,11	Granodioritisk gnejs
SES011048b	6460620	1281006	Holmevattnet	2,2	689	4,7	58	26,9	109	0,15	Granodioritisk gnejs
SES011051a	6449096	1280442	Stora Silevattnet	2,5	783	2,1	26	11,7	48	0,08	Granodioritisk gnejs
SES011051b	6449096	1280442	Stora Silevattnet	2,8	876	2,5	31	10,2	41	0,09	Granodioritisk gnejs
SES011051c	6449096	1280442	Stora Silevattnet	2,9	908	1,6	20	12,3	50	0,08	Granodioritisk gnejs
SES011052a	6448246	1279255	St. Holmevattnet	2,8	876	4,3	53	12,9	52	0,1	Granodioritisk gnejs
SES011052b	6448246	1279255	St. Holmevattnet	2,9	908	4,1	51	10,6	43	0,1	Granodioritisk gnejs
SES011052c	6448246	1279255	St. Holmevattnet	2,9	908	2,7	33	9,9	40	0,09	Granodioritisk gnejs
SES011053a	6446356	1278914	Mjösund	2,4	751	2,4	30	8,9	36	0,08	Granodioritisk gnejs
SES011053b	6446356	1278914	Mjösund	2,9	908	1,6	20	10	41	0,09	Granodioritisk gnejs
SES011084a	6465813	1286293	Stora Näset	3,7	1158	4,5	56	11,9	48	0,12	Röd granitisk gnejs
SES011084b	6465813	1286293	Stora Näset	3,1	970	3,4	42	8,9	36	0,11	Röd granitisk gnejs
SES011084c	6465813	1286293	Stora Näset	2,8	876	3,6	44	5,2	21	0,1	Röd granitisk gnejs
SES011086a	6463327	1285840	Rörmaden	3,1	970	2,5	31	12,8	52	0,11	Röd granitisk gnejs
SES011086b	6463327	1285840	Rörmaden	3,3	1033	3,1	38	12,2	50	0,1	Röd granitisk gnejs
SES011086c	6463327	1285840	Rörmaden	3	939	2,1	26	11,7	48	0,1	Röd granitisk gnejs
SES011093a	6442342	1282707	Groröd	2,8	876	1,7	21	11,4	46	0,08	Granodioritisk gnejs
SES011093b	6442342	1282707	Groröd	2,9	908	3,2	40	11,1	45	0,09	Granodioritisk gnejs
SES011093c	6442342	1282707	Groröd	3	939	4,3	53	14	57		Granodioritisk gnejs
MEB010006a	6440037	1280605	Stendammen	1,3	407	1,8	22	3,4	14		Granodioritisk gnejs
MEB010006b	6440037	1280605	Stendammen	1,3	407	1,9	23	3,5	14		Granodioritisk gnejs
MEB010006c	6440279	1280549	Stendammen	2,4	751	0,9	11	5,7	23		Granodioritisk gnejs
MEB010037a	6443263	1278647	Rödvattnet	2	626	3,4	42	10,5	43		Granodioritisk gnejs
MEB010037b	6443263	1278647	Rödvattnet	2,1	657	3,5	43	10,4	42		Granodioritisk gnejs
MEB010037c	6443263	1278647	Rödvattnet	2	626	4,6	57	8,6	35		Granodioritisk gnejs
MEB010038a	6447706	1278237	St. Hällbov.	1,8	563	5	62	10,6	43		Granodioritisk gnejs
MEB010038b	6447706	1278237	St. Hällbov.	1,8	563	5,3	65	9,7	39		Granodioritisk gnejs
MEB010038c	6447706	1278237	St. Hällbov.	2,2	689	4,5	56	10,3	42		Granodioritisk gnejs
MEB010038d	6447706	1278237	St. Hällbov.	1,7	532	5	62	10,8	44		Granodioritisk gnejs
MEB010065a	6456233	1280239	Kroksvattnet	3,5	1096	2	25	13,4	54		Granodioritisk gnejs
MEB010065b	6456233	1280239	Kroksvattnet	3,6	1127	0,9	11	11,3	46		Granodioritisk gnejs
MEB010065c	6456233	1280239	Kroksvattnet	3,9	1221	0,7	9	10	41		Granodioritisk gnejs
MEB010066a	6456196	1280278	Kroksvattnet	3,5	1096	5,5	68	15	61		Granodioritisk gnejs
MEB010066b	6456196	1280278	Kroksvattnet	1,6	501	3,9	48	5	20		Granodioritisk gnejs
MEB010068a	6463410	1285870	Mörtekällan	1,6	501	2,6	32	12,9	52		Granodioritisk gnejs
MEB010068b	6463410	1285870	Mörtekällan	2,8	876	2,3	28	11,6	47		Granodioritisk gnejs
MEB010068c	6463410	1285870	Mörtekällan	3	939	1,2	15	5,7	23		Granodioritisk gnejs
MEB010068d	6463410	1285870	Mörtekällan	1,9	595	3,2	40	10	41		Granodioritisk gnejs

*Ögongnejs* förekommer, som några smala stråk väster om Vanderydsvattnet. Inga spektrometermätningar har gjorts på ögongnejsen. I Ale kommun finns flera tidigare mätningar på denna bergart, som visar på normala uranhalter 1,2–4,9 ppm U (15–61 Bq/kg Ra).

*Götagraniten* som går i två bred stråk öster om Göta älv uppvisar normala uran- och toriumhalter 1,1–4,7 ppm U och 10,0–23,9 ppm Th och med en totalstrålning mellan 0,01–0,015 µSv/h (tabell 11).

Tabell 11. Uran-, torium- och kaliumhalter i Götagranit, två till fem mätningar på varje lokal.

ID-nr	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	γ-strål. µSv/h	Bergart
SES011004a	6448651	1284827	Göta	4,2	1315	1,9	23	13,9	56	0,1	Götagranit
SES011004b	6448651	1284827	Göta	4,5	1409	2,3	28	15,4	63	0,11	Götagranit
SES011004c	6448651	1284827	Göta	4,2	1315	1,7	21	15,1	61	0,1	Götagranit
SES011037a	6449702	1285377	Rörsjön	3,6	1127	1,7	21	10,1	41	0,1	Götagranit
SES011037b	6449702	1285377	Rörsjön	4,1	1283	1,1	14	10	41	0,09	Götagranit
SES011037c	6449702	1285377	Rörsjön	4	1252	2,2	27	11,5	47	0,1	Götagranit
SES011038a	6452093	1285951	Boryd	4,3	1346	3	37	19,5	79	0,12	Götagranit
SES011038b	6452093	1285951	Boryd	5,1	1596	1,9	23	23,9	97	0,13	Götagranit
SES011038c	6452093	1285951	Boryd	4,6	1440	2,9	36	22,3	91	0,14	Götagranit
SES011059a	6447401	1284702	Göta	5	1565	2	25	14,3	58	0,12	Götagranit
SES011059b	6447401	1284702	Göta	4,4	1377	3,5	43	15,9	65	0,12	Götagranit
SES011059c	6447401	1284702	Göta	4,7	1471	3	37	16,5	67	0,12	Götagranit
SES011063a	6443224	1287681	Ale Skövde k:a	3,9	1221	3,7	46	15,7	64	0,11	Götagranit
SES011063b	6443224	1287681	Ale Skövde k:a	3,7	1158	2,6	32	15,8	64	0,11	Götagranit
SES011063c	6443224	1287681	Ale Skövde k:a	4,1	1283	3,4	42	19,1	78	0,13	Götagranit
SES011064a	6446512	1288801	Hålan	4,8	1502	3,8	47	19,3	78	0,15	Götagranit
SES011064b	6446512	1288801	Hålan	4,2	1315	3,9	48	19,6	80	0,15	Götagranit
SES011064c	6446512	1288801	Hålan	4,5	1409	4,7	58	20,9	85	0,15	Götagranit
SES011081a	6447683	1289452	Granmaden	4,8	1502	4,2	52	16	65	0,12	Götagranit
SES011081b	6447683	1289452	Granmaden	4,4	1377	4,5	56	13,7	56	0,12	Götagranit
SES011081c	6447683	1289452	Granmaden	4	1252	3	37	14,6	59	0,12	Götagranit
SES011088a	6438643	1284852	Tingberg	4,9	1534	3,3	41	15,3	62	0,12	Götagranit
SES011088b	6438643	1284852	Tingberg	4,5	1409	2,7	33	15,5	63	0,12	Götagranit
SES011088c	6438643	1284852	Tingberg	4,8	1502	2,4	30	15,4	63	0,12	Götagranit
MEB010001a	6443343	1287546	Låktorp	4,1	1283	4,7	58	23,3	95		Götagranit
MEB010001b	6443343	1287546	Låktorp	4,5	1409	4,9	61	24,3	99		Götagranit
MEB010001c	6443343	1287546	Låktorp	5,6	1753	7,4	91	30,4	123		Götagranit
MEB010033a	6448957	1285464	Ryrsjön	4,7	1471	1,7	21	14,1	57		Götagranit
MEB010033b	6448957	1285464	Ryrsjön	4,4	1377	1,1	14	12,6	51		Götagranit
MEB010033c	6448957	1285464	Ryrsjön	3,8	1189	1	12	13,6	55		Götagranit
MEB010034a	6447588	1288916	Gravlången	4,8	1502	6	74	25	102		Götagranit
MEB010034b	6447588	1288916	Gravlången	4,9	1534	4,3	53	23,4	95		Götagranit
MEB010034c	6447588	1288916	Gravlången	5,4	1690	5,6	69	29,4	119		Götagranit
MEB010034d	6447588	1288916	Gravlången	4,3	1346	4,3	53	24,7	100		Götagranit
MEB010034e	6447588	1288916	Gravlången	4,9	1534	5,3	65	24,7	100		Götagranit
MEB010035a	6448682	1289374	Kalven	4,6	1440	3,1	38	16,7	68		Götagranit
MEB010035b	6448682	1289374	Kalven	4,5	1409	2,7	33	16,2	66		Götagranit
MEB010035c	6448682	1289374	Kalven	4,4	1377	2,8	35	15,7	64		Götagranit
MEB010036a	6438804	1282770	Långeröd	3,3	1033	2,8	35	10,9	44		Götagranit
MEB010036b	6438804	1282770	Långeröd	3,4	1064	4	49	12,2	50		Götagranit
MEB010073a	6452426	1285583	Boryd	3,8	1189	2,1	26	15,2	62		Götagranit
MEB010073b	6452426	1285583	Boryd	3,5	1096	2,4	30	17,2	70		Götagranit
MEB010073c	6452426	1285583	Boryd	3,9	1221	2,8	35	13,2	54		Götagranit
MEB010075a	6452229	1285364	Boryd	4,5	1409	1,8	22	18,3	74		Götagranit
MEB010075b	6452229	1285364	Boryd	4,5	1409	2,3	28	19,1	78		Götagranit
MEB010075c	6452229	1285364	Boryd	4,9	1534	2,5	31	21,1	86		Götagranit

*Ra-graniten* som främst uppträder öster om Göta älv uppvisar betydligt högre totalstrålning (0,015–0,30  $\mu\text{Sv/h}$ ) än de övriga graniterna. Uranhalten i RA-granit är förhöjd till hög och varierar mellan 3,5 ppm U och 34 ppm U och toriumhalterna ligger i intervallet mellan 24 och 130 ppm Th. Den höga totalstrålningen beror oftast på en kombination av relativt höga uran- och toriumhalter. De högsta uranvärdena är uppmätta öster om Getsjön, 3 km sydöst om Göta. Vanligtvis varierar uranhalten mellan 7 och 9 ppm U och toriumhalten mellan 35 och 45 ppm i RA-graniten (tabell 12). Radiumhalter högre än 200 Bq/kg är markerade med röda siffror och radiumhalter större än 100 Bq/kg med blå siffror.

Tabell 12. Uran-, torium- och kaliumhalter i RA-granit och granit, tre till åtta mätningar på varje lokal.

Id-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	$\gamma$ -strål. $\mu\text{Sv/h}$	Bergart
SES011002a	6445911	1287227	Östra Båljan	4,1	1283	7,8	96	38,5	156	0,21	Gnejsig RA-granit
SES011002b	6445911	1287227	Östra Båljan	4,4	1377	6,4	79	36	146	0,19	Gnejsig RA-granit
SES011002c	6445911	1287227	Östra Båljan	4,4	1377	6,7	83	37,3	151	0,19	Gnejsig RA-granit
SES011003a	6446172	1286329	Åstered	3	939	21,4	264	33,4	136	0,25	Gnejsig RA-granit
SES011003b	6446172	1286329	Åstered	2,6	814	26,2	324	23,9	97	0,28	Gnejsig RA-granit
SES011003c	6446172	1286329	Åstered	1,9	595	17,5	216	43,9	178	0,25	Gnejsig RA-granit
SES011006a	6445421	1283803	Hamnebacken	3,5	1096	7	86	33	134	0,18	Gnejsig RA-granit
SES011006b	6445421	1283803	Hamnebacken	4,1	1283	8	99	36,2	147	0,19	Gnejsig RA-granit
SES011006c	6445421	1283803	Hamnebacken	3,8	1189	7,5	93	33,4	136	0,19	Gnejsig RA-granit
SES011041a	6443526	1286267	Båstorp	4,7	1471	5	62	32,9	134	0,17	Gnejsig RA-granit
SES011041b	6443526	1286267	Båstorp	5,9	1847	6,2	77	31,3	127	0,18	Gnejsig RA-granit
SES011041c	6443526	1286267	Båstorp	5,4	1690	6,8	84	37,8	153	0,19	Gnejsig RA-granit
SES011049a	6440618	1283154	Torskog	4,1	1283	4,6	57	35,8	145	0,16	Gnejsig RA-granit
SES011049b	6440618	1283154	Torskog	4	1252	5,5	68	30,7	125	0,15	Gnejsig RA-granit
SES011049c	6440618	1283154	Torskog	4,4	1377	5,9	73	23,4	95	0,15	Gnejsig RA-granit
SES011050a	6441137	1283177	Torskog	3,8	1189	6,6	82	27,8	113	0,16	Gnejsig RA-granit
SES011050b	6441137	1283177	Torskog	3,9	1221	8	99	31,3	127	0,18	Gnejsig RA-granit
SES011050c	6441137	1283177	Torskog	4,4	1377	11	130	30,5	124	0,19	Gnejsig RA-granit
SES011061a	6439000	1285923	Hede	3,9	1221	7,1	88	37,2	151	0,2	Gnejsig RA-granit
SES011061b	6439000	1285923	Hede	4,2	1315	8,3	103	42,3	172	0,21	Gnejsig RA-granit
SES011061c	6439000	1285923	Hede	4	1252	8,3	103	44,1	179	0,2	Gnejsig RA-granit
SES011062a	6440482	1287017	Gunntorp	4,7	1471	9	111	27,7	112	0,19	Röd gnejsig RA-granit
SES011062b	6440482	1287017	Gunntorp	4,4	1377	7,6	94	32,3	131	0,2	Röd gnejsig RA-granit
SES011062c	6440482	1287017	Gunntorp	5	1565	10	126	38,3	155	0,21	Röd gnejsig RA-granit
SES011065a	6445202	1286031	Dyeslätt	4,4	1377	9	111	41,2	167	0,21	Röd gnejsig RA-granit
SES011065b	6445202	1286031	Dyeslätt	4,7	1471	8,9	110	41,5	168	0,22	Röd gnejsig RA-granit
SES011065c	6445202	1286031	Dyeslätt	4,5	1409	8,7	107	39,6	161	0,2	Röd gnejsig RA-granit
SES011066a	6445588	1286628	Västra Båljan	4,5	1409	10	125	44,9	182	0,22	Röd gnejsig RA-granit
SES011066b	6445588	1286628	Västra Båljan	4,2	1315	7,7	95	40,9	166	0,22	Röd gnejsig RA-granit
SES011066c	6445588	1286628	Västra Båljan	4,5	1409	8,5	105	48	195	0,22	Röd gnejsig RA-granit
SES011078a	6446319	1291821	Målaremaden	4,9	1534	4,9	61	34,4	140	0,18	Röd gnejsig RA-granit
SES011078b	6446319	1291821	Målaremaden	4,9	1534	5,4	67	35,3	143	0,19	Röd gnejsig RA-granit
SES011078c	6446319	1291821	Målaremaden	4,4	1377	3,8	47	31,3	127	0,16	Röd gnejsig RA-granit
SES011082a	6446127	1286385	Åstered	4,6	1440	7,3	90	43,1	175	0,23	Röd gnejsig RA-granit
SES011082b	6446127	1286385	Åstered	4,1	1283	7,5	93	36,8	149	0,2	Röd gnejsig RA-granit
SES011082c	6446127	1286385	Åstered	4,6	1440	6,7	83	44,2	179	0,22	Röd gnejsig RA-granit
SES011087a	6439830	1284192	Lödöse	4,6	1440	7	86	38,9	158	0,19	Röd gnejsig RA-granit
SES011087b	6439830	1284192	Lödöse	5	1565	7,8	96	43,4	176	0,21	Röd gnejsig RA-granit
SES011087c	6439830	1284192	Lödöse	5	1565	8	99	43,5	177	0,21	Röd gnejsig RA-granit

SES011089a	6443342	1284587	Garn	6,6	2066	9,2	114	65,6	266	0,3	Röd gnejsig RA-granit
SES011089b	6443342	1284587	Garn	6	1878	8,2	101	68,8	279	0,28	Röd gnejsig RA-granit
SES011089c	6443342	1284587	Garn	4	1252	9,4	116	55,2	224	0,25	Röd gnejsig RA-granit
SES011089d	6443342	1284587	Garn	6,3	1972	9,3	115	71	288	0,3	Röd gnejsig RA-granit
SES011092a	6443936	1283612	Ödegärdet	4,4	1377	6,9	85	32,6	132	0,18	Röd gnejsig RA-granit
SES011092b	6443936	1283612	Ödegärdet	3,5	1096	5,2	64	25,5	104	0,16	Röd gnejsig RA-granit
SES011092c	6443936	1283612	Ödegärdet	5	1565	7,6	94	33,3	135	0,2	Röd gnejsig RA-granit
MEB010002a	6440537	1283391	Torskog	4,4	1377	8,6	106	34,7	141		Röd gnejsig RA-granit
MEB010002b	6440537	1283391	Torskog	4,1	1283	6,5	80	30,3	123		Röd gnejsig RA-granit
MEB010002c	6440537	1283391	Torskog	5,5	1722	7,5	93	38,6	157		Röd gnejsig RA-granit
MEB010010a	6446452	1291963	Hålbacka	5	1565	3,2	40	26	106		Röd gnejsig RA-granit
MEB010010b	6446452	1291963	Hålbacka	4,7	1471	30	371	25,4	103		Röd gnejsig RA-granit
MEB010010c	6446452	1291963	Hålbacka	4,8	1502	4,4	54	26,5	108		Röd gnejsig RA-granit
MEB010029a	6443501	1286594	Bästorp	4,9	1534	8,9	110	43	175		Röd gnejsig RA-granit
MEB010029b	6443501	1286594	Bästorp	3,9	1221	9,2	114	38	154		Röd gnejsig RA-granit
MEB010029c	6443501	1286594	Bästorp	4,8	1502	7,9	98	40,2	163		Röd gnejsig RA-granit
MEB010029d	6443501	1286594	Bästorp	4,8	1502	8,2	101	41,1	167		Röd gnejsig RA-granit
MEB010031a	6440657	1284494	Lödöse	5,7	1784	9,8	121	59,1	240		Röd gnejsig RA-granit
MEB010031b	6440657	1284494	Lödöse	5	1565	10	128	43,6	177		Röd gnejsig RA-granit
MEB010031c	6440657	1284494	Lödöse	5	1565	8	99	41,5	168		Röd gnejsig RA-granit
MEB010031d	6440657	1284494	Lödöse	4,9	1534	9,7	120	41	166		Röd gnejsig RA-granit
MEB010032a	6442308	1284613	Eckerna	4,4	1377	6,7	83	37,7	153		Röd gnejsig RA-granit
MEB010032b	6442308	1284613	Eckerna	4,5	1409	8,7	107	40,2	163		Röd gnejsig RA-granit
MEB010032c	6442308	1284613	Eckerna	4,3	1346	8,4	104	40,7	165		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042a	6439079	1285958	Hede	4,1	1283	7,7	95	35	142		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042b	6439079	1285958	Hede	3,9	1221	6,1	75	36,8	149		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042c	6439079	1285958	Hede	4,1	1283	5,1	63	29,1	118		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042d	6439079	1285958	Hede	3,6	1127	4,8	59	29,9	121		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042e	6439079	1285958	Hede	4	1252	34	420	131	530		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042f	6439079	1285958	Hede	4,7	1471	7	86	38,2	155		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042g	6439079	1285958	Hede	3,9	1221	5,1	63	29,1	118		Röd gnejsig RA-granit
MEB010042h	6439079	1285958	Hede	4,2	1315	24,6	304	116	471		Röd gnejsig RA-granit
MEB010074a	6453150	1285795	V Fräcksjön	4,3	1346	9,7	120	48,4	197		Granit
MEB010074b	6453150	1285795	V Fräcksjön	4,5	1409	10	126	45,2	184		Granit
MEB010074c	6453150	1285795	V Fräcksjön	4,4	1377	12	142	44,9	182		Granit
MEB010074d	6453150	1285795	V Fräcksjön	4,5	1409	11	140	46,5	189		Granit

Den ögonförande *Askimsgraniten*, som har sin största utbredning uppvisar en låg till normal uran- och toriumhalt, 0,9–5,6 ppm U (11–69 Bq/kg Ra) och 5,7–15,7 ppm Th och gammastrålningen ligger i intervallet 0,09 och 0,13  $\mu$ Sv/h (tabell 13).

Tabell 13. Uran-, torium och kaliumhalter i Askimsgranit, två till fyra mätningar på varje lokal.

Id-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	γ-strål. µSv/h	Bergart
SES011005a	6447345	1283569	Ballabo	4,2	1315	1,3	16	5,7	23	0,09	Askimsgranit
SES011005b	6447345	1283569	Ballabo	3,7	1158	1,3	16	12,5	51	0,11	Askimsgranit
SES011005c	6447345	1283569	Ballabo	3,6	1127	1,1	14	7,3	30	0,09	Askimsgranit
SES011013a	6468822	1285038	Fredskogen	3,4	1064	3,3	41	13,3	54	0,11	Ögonförande granit
SES011013b	6468822	1285038	Fredskogen	3,5	1096	2,8	31	12,5	51	0,11	Ögonförande granit
SES011020a	6438762	1285490	Mällaröd	3,3	1033	3	37	15	61	0,11	Askimsgranit
SES011020b	6438762	1285490	Mällaröd	4,3	1346	1,3	16	14,5	59	0,11	Askimsgranit
SES011020c	6438762	1285490	Mällaröd	3,8	1189	3,8	47	15,2	62	0,13	Askimsgranit
SES011043a	6460060	1281135	Kasen	3,7	1158	1,2	15	8,4	34	0,1	Askimsgranit
SES011043b	6460060	1281135	Kasen	3,6	1127	0,9	11	7,7	31	0,09	Askimsgranit
SES011043c	6460060	1281135	Kasen	2,6	814	1,5	19	7,3	30	0,09	Askimsgranit
MEB010003a	6439832	1282711	Torskog	4,1	1283	1,2	15	14,9	60		Askimsgranit
MEB010003b	6439832	1282711	Torskog	4,1	1283	5,6	69	12,4	50		Askimsgranit
MEB010003c	6439832	1282711	Torskog	4,5	1409	2,6	32	15,7	64		Askimsgranit
MEB010003d	6439832	1282711	Torskog	4,3	1346	3,6	44	11,3	46		Askimsgranit

Gammastrålningen från *pegmatiter* varierar stort. De högsta värdena 0,55 µSv/h är uppmätta på en bred pegmatitgång väster om Intagan, fläckvis uppmättes 1,05 µSv/h. Däremot är pegmatiterna i Hjärtumstrakten lågstrålande, 0,08–0,10 µSv/h. Gemensamt för alla pegmatiter är att gammastrålning från torium är obetydlig (3–28 ppm Th). Nästan all gammastrålning i de lågstrålande pegmatiterna kommer från K-40 och i de högstrålande pegmatiterna från höga uranhalter. Höga uranhalter 30–66 ppm U har konstaterats på flera platser bl.a. Intagan, Steröd och på pegmatiter väster om Ström. Dessa höga uranhalter motsvarar en radiumhalt mellan 370 och 820 Bq/kg. På mindre fläckar har så höga uranhalter som 126 ppm U uppmätts (tabell 14). Radiumhalter högre än 200 Bq/kg är markerade med röda siffror och radiumhalter större än 100 Bq/kg med blå siffror.

Tabell 14. Uran-, torium- och kaliumhalter i pegmatit, tre till fyra mätningar på varje lokal.

Id-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	K Bq/kg	U ppm	Ra Bq/kg	Th ppm	Th Bq/kg	γ-strål. µSv/h	Bergart
SES011009a	6465960	1287737	Liden	3,1	970	22,3	275	4,8	19	0,21	Grå pegmatit
SES011009b	6465960	1287737	Liden	4,4	1377	8,2	101	3	12	0,12	Grå pegmatit
SES011009c	6465960	1287737	Liden	2,2	689	16,4	203	3,8	15	0,18	Grå pegmatit
SES011010a	6464570	1288386	Intagan	3,8	1189	36,4	450	2,7	11	0,32	Röd Pegmatit
SES011010b	6464570	1288386	Intagan	5,9	1847	17,8	220	1,4	6	0,21	Röd Pegmatit
SES011010c	6464570	1288386	Intagan	2,8	876	66,3	819	3,1	13	0,55	Röd Pegmatit
SES011010d	6464570	1288386	Intagan	3,5	1096	125,6	1551	6,8	28	1,05	Röd Pegmatit
SES011024a	6456390	1281714	Hjärtum	6,7	2097	2,5	31	1,7	7	0,1	Röd Pegmatit
SES011024b	6456390	1281714	Hjärtum	5,3	1659	1,2	15	0,7	3	0,09	Röd Pegmatit
SES011024c	6456390	1281714	Hjärtum	4,8	1502	4,9	61	0,6	2	0,1	Röd Pegmatit
SES011028a	6454052	1280714	Steröd	3,3	1033	91,7	1132	1,7	7	0,8	Röd Pegmatit
SES011028b	6454052	1280714	Steröd	4,7	1471	36,6	452	2,5	10	0,28	Röd Pegmatit
SES011028c	6454052	1280714	Steröd	1,9	595	48,8	603	1,8	7	0,38	Röd Pegmatit
SES011029a	6452504	1281875	Ström	3	939	21,3	263	1	4	0,19	Grå pegmatit
SES011029b	6452504	1281875	Ström	3	939	25,7	317	1,1	4	0,22	Grå pegmatit
SES011029c	6452504	1281875	Ström	5,4	1690	7,3	90	2,4	10	0,14	Grå pegmatit
SES011030a	6457605	1277657	Lysevattnet	4,1	1283	11	136	6,2	25	0,14	Grå pegmatit
SES011030b	6457605	1277657	Lysevattnet	3,5	1096	8,6	106	5,5	22	0,12	Grå pegmatit
SES011030c	6457605	1277657	Lysevattnet	2,7	845	11	136	7	28	0,13	Grå pegmatit
SES011031a	6452338	1281128	Ström	3,2	1002	29,7	367	1,9	8	0,26	Grå pegmatit
SES011031b	6452338	1281128	Ström	3	939	25,5	315	1,3	5	0,25	Grå pegmatit
SES011031c	6452338	1281128	Ström	2,4	751	15,8	195	1,7	7	0,17	Grå pegmatit
SES011032a	6451786	1280693	Röstorp	2,3	720	15,8	195	1,3	5	0,15	Grå pegmatit
SES011032b	6451786	1280693	Röstorp	2,9	908	13,3	164	3,8	15	0,17	Grå pegmatit
SES011032c	6451786	1280693	Röstorp	3,3	1033	12,1	149	1,2	5	0,15	Grå pegmatit
SES011034a	6457260	1281820	Röd	5,4	1690	4,9	61	0,8	3	0,1	Röd Pegmatit
SES011034b	6457260	1281820	Röd	2,8	876	7,7	95	1,3	5	0,1	Röd Pegmatit
SES011034c	6457260	1281820	Röd	3,1	970	1,7	21	1,8	7	0,08	Röd Pegmatit
SES011035a	6462829	1285887	Hästhagen	4,2	1315	13,1	162	4,6	19	0,16	Grå pegmatit
SES011035b	6462829	1285887	Hästhagen	5,9	1847	9,3	115	0,7	3	0,13	Grå pegmatit
SES011035c	6462829	1285887	Hästhagen	3,2	1002	17,2	212	2,2	9	0,17	Grå pegmatit
SES011045a	6460607	1283687	Maddyn	4,6	1440	10,1	125	1,3	5	0,14	Grå pegmatit
SES011045b	6460607	1283687	Maddyn	1,6	501	14,7	182	1,1	4	0,15	Grå pegmatit
SES011045c	6460607	1283687	Maddyn	3,8	1189	21,4	264	1,2	5	0,18	Grå pegmatit
SES011047a	6464468	1287463	Askeröd	3,3	1033	10	124	1	4	0,15	Grå pegmatit
SES011047b	6464468	1287463	Askeröd	4,4	1377	14,6	180	1,2	5	0,18	Grå pegmatit
SES011047c	6464468	1287463	Askeröd	4,3	1346	13	161	1,4	6	0,17	Grå pegmatit
SES011072a	6453341	1280785	NO Lekvall	2,4	751	17,8	220	0,7	3	0,2	Röd pegmatit
SES011072b	6453341	1280785	NO Lekvall	2,1	657	21	259	0,7	3	0,21	Röd pegmatit
SES011072c	6453341	1280785	NO Lekvall	2,2	689	19,7	243	1	4	0,18	Röd pegmatit
SES011072d	6453341	1280785	NO Lekvall	2,9	908	29,7	367	1,1	4	0,27	Röd pegmatit
SES011073a	6454375	1281143	Törresröd	3,7	1158	27,2	336	1,7	7	0,26	Gråröd pegmatit
SES011073b	6454375	1281143	Törresröd	5,7	1784	16,5	204	1,9	8	0,19	Gråröd pegmatit
SES011073c	6454375	1281143	Törresröd	3,7	1158	24	296	2,4	10	0,22	Gråröd pegmatit
SES011073d	6454375	1281143	Törresröd	3,6	1127	13,4	165	0,7	3	0,16	Gråröd pegmatit
SES011083a	6466522	1287766	Metholmen	3,3	1033	6,8	84	2,8	11	0,11	Grå pegmatit
SES011083b	6466522	1287766	Metholmen	3,8	1189	6,7	83	3,5	14	0,12	Grå pegmatit
SES011083c	6466522	1287766	Metholmen	2,2	689	17,8	220	4,2	17	0,2	Grå pegmatit
SES011085a	6466041	1287030	Metholmen	2,9	908	8,5	105	1,4	6	0,11	Gråröd pegmatit
SES011085b	6466041	1287030	Metholmen	5,1	1596	5,1	63	2,2	9	0,11	Gråröd pegmatit
SES011085c	6466041	1287030	Metholmen	2,3	720	8,1	100	2,6	11	0,11	Gråröd pegmatit
SES011090a	6449206	1282534	Kullarna	2,8	876	4,8	59	0,7	3	0,11	Röd pegmatit
SES011090b	6449206	1282534	Kullarna	4,1	1283	12	148	2,3	9	0,15	Röd pegmatit
SES011090c	6449206	1282534	Kullarna	2,8	876	13,4	165	2,5	10	0,18	Röd pegmatit

## Jordarternas innehåll av radium och markradonhalt

En sammanfattning av spektrometermätningar i olika jordarter finns i (tabell 15). De uppmätta halterna av uran och torium är överlag låga. Radiumhalten i *moränen* ligger mellan 14 och 43 Bq/kg och toriumhalten mellan 23 och 57 Bq/kg. Radonhalten i jordluften i morän har mätts i 8 punkter med en emanometer (Marcus 10). Markradonhalterna är normala och varierar mellan 6 och 43 kBq/m<sup>3</sup>. De högsta värdena har uppmätts vid Brattorp, söder om Hjärtum och i den mäktiga moränavlagringen öster om Tösslanda.

Radiumhalten i *isälvsavlagringarna* skiljer sig inte från radiumhalterna i moränen utan ligger också mellan 14 och 43 Bq/kg. Toriumhalterna ligger i intervallet 26 och 61 Bq/kg. Fjorton Marcusmätningar gav normala markradonhalter mellan 5–30 kBq/m<sup>3</sup>. På sju platser utfördes parallellt med Marcusmätningarna även långtidsmätningar med ROAC-detektorer. ROAC-mätningarna visade över lag lägre radonhalter än motsvarande Marcusmätningar (7–15 kBq/m<sup>3</sup>). En Marcusmätning har utförts i grusig *svallsand* och gav en radonhalt på 15 kBq/m<sup>3</sup> och radium- och toriumhalten var 32 Bq/kg respektive 48 Bq/kg.

På grund av att *leran* är så tät har inga radonmätningar i jordluft kunnat utföras, då instrumentet inte får tillräcklig mängd luft att analysera. Lera brukar sällan orsaka radonproblem i hus. Jordarten är tät och har mycket låg permeabilitet och jordluften kan normalt inte transporteras genom lera. Om grundvattenytan sänks, torkar lera upp och torksprickor bildas. Detta medför att transporten av radon ökar avsevärt och radonproblem skulle kunna uppstå.

Tabell 15. Markradonhalter och uran-, torium- och kaliumhalter i olika jordarter.

ID-nr.	N-koor.	O-koor.	Lokalnamn	K %	U ppm	Th ppm	K Bq/kg	Ra Bq/kg	Th Bq/kg	γ-stråln. μSv/h	Jordart	Marcus kBq/m <sup>3</sup>	ROAC kBq/m <sup>3</sup>
SES011007	6445835	1283521	Ivarslund	2,6	2,3	6,8	814	28	28	0,07	Svallad morän	6	
SES011008	6442834	1280959	Södra Hält	3,0	2,0	9,2	936	25	37	0,07	Sandigt isälvsgrus	24	15
SES011016	6440201	1281784	Tån	3,2	1,4	6,8	997	18	27	0,06	Isälvsand	12	11
SES011017	6440461	1282058	Slätten	3,2	1,6	7,5	997	20	31	0,07	Grusig isälvsand	13	9
SES011018	6442850	1281042	Södra Hält	3,3	2,0	8,0	1038	25	32	0,07	Grusig isälvsand	22	12
SES011021	6456664	1276689	Måröd	3,2	2,1	5,7	997	26	23	0,06	Grusig isälvsand	18	9
SES011022	6455243	1277473	Maen	2,7	1,7	5,7	834	21	23	0,06	Isälvsgrus		11
SES011023	6456449	1281960	Brattorp	2,2	1,4	6,2	692	18	25	0,06	Svallad morän	28	
SES011025	6455884	1281427	Brattorp	2,9	1,2	5,1	895	14	21	0,06	Isälvsand	5	7
SES011026	6455863	1282270	Brattorp	2,5	1,6	6,7	793	19	27	0,07	Sandig morän	43	
SES011027	6454508	1282563	Äspered	2,3	0,7	3,7	712	9	15	0,06	Sandig morän	19	
SES011039	6455237	1285398	Slottet	1,8	0,8	4,6	570	10	18	0,05	Sandig morän	43	
SES011044	6459923	1281377	Kasen	2,9	1,7	7,7	895	21	31	0,08	Grusig svallsand	15	
SES011054	6446834	1278932	Västersjön	2,4	2,0	5,9	753	25	24	0,06	Isälvsand	11	
SES011055	6444311	1281489	Sandvadsåsen	2,5	2,2	6,0	773	27	24	0,05	Sandigt isälvsgrus	30	
SES011056	6443444	1280289	Backarna	3,0	1,4	7,3	936	17	30	0,07	Grusig isälvsand	16	
SES011057	6438985	1281728	Halleröd	2,7	0,7	4,1	834	9	17	0,06	Isälvsand	9	
SES011058	6439638	1282118	Källseröd	2,7	2,3	9,8	854	28	40	0,06	Isälvsand	27	
SES011067	6456428	1281800	Hjärtum	2,5	1,4	9,1	793	18	37	0,05	Svallad morän	37	
SES011068	6457478	1282558	Sollum	2,5	1,6	7,8	793	19	32	0,06	Sandig morän	13	
SES011069	6453374	1278206	Högen	3,2	1,9	7,8	997	23	32	0,09	Grusig isälvsand	25	
SES011070	6452540	1276462	Rishageröd	2,1	2,0	7,0	651	24	29	0,07	Isälvsfinsand	20	
SES011071	6452833	1277463	Häljeröd	2,5	1,6	5,3	773	20	21	0,06	Sandig morän	13	
SES011091	6444510	1281767	Sågetorpet	2,6	0,8	5,1	814	10	21	0,05	Isälvsand	15	

## Radon i grundvatten

Ca 130 radonmätningar i grundvatten har genomförts i kommunens regi. Flera brunnar med radonhalter >1000 Bq/l finns öster om Öresjö, i Metholmenområdet. Brunnarna ligger i ett område med pegmatit- och amfibolitberggrund. Uranhalten i pegmatiten är något förhöjd ca 7-16 ppm U och fläckvis upp till 22 ppm U. Uranhalten i amfibolit är extremt låg ca 1 ppm U. Även i övriga delar av kommunen har det påträffats enstaka brunnar med radonhalter > 1000 Bq/l, då företrädesvis i den relativt radioaktiva RA-graniten (3,5 till 34 ppm U), men även i gnejser med låga till måttliga uranhalter (1–6 ppm U). I SGUs brunnsarkiv finns 4 uppgifter om radonmätningar i grundvatten från Lilla Edets kommun. Det högsta värdet är 153 Bq/l .

## BEDÖMNING AV MARKRADONRISKER

Både mark- och flygmätningarna visar att radiumhalten varierar stort inom Lilla Edets kommun. Höga uran- radiumhalter finns framförallt i områden med pegmatit och RA-granit.

### Högriskområden

Med utgångspunkt från flygmätningar och uppföljande markmätningar har ett antal områden klassats som högriskområden. Det är den radioaktiva berggrunden som kan orsaka radonproblem inomhus. Dessa högriskområden finns i första hand där berggrunden består av pegmatit och RA-granit. För att berggrunden skall klassas som högriskområden skall radiumhalten överstiga **100 Bq/kg**.

Stora delar av pegmatitberggrunden, som sträcker sig från Röstorp och Ström i söder via Hjärtum och vidare mot nordost till Öresjö i norr klassas som högriskområde. Pegmatiter i Hjärtumstrakten skiljer sig från övriga pegmatiter i och med att de har låga till normala uranhalter och klassas därmed som normalriskområde. Pegmatitberggrunden söder om Store-Våktor klassas som högriskområde. 1,5 km norr om Västerlanda kyrka ligger en ca 1 km långsmal, nord-sydlig pegmatitkropp, som klassas som högriskområde. I den granodioritiska gnejsen väster om Göta älv finns ett stort antal mindre pegmatitgångar. De flesta av dessa pegmatitgångar bör sannolikt klassas som högradonmark.

Väster om Fräcksjön vid kommungränsen mot Trollhättan finns en mindre granitkropp, som även den klassas som högriskområde.

Oftast ligger radiumhalten i RA-graniten omkring den undre gränsen för att berggrunden skall klassas som högriskområde. Radiumhalter mellan 80 och 120 Bq/kg är vanligt förekommande. Därmed klassas merparten av berggrunden med RA-granit som högriskområden. De högsta radiumhalterna finns i områden söder om Bredhult, höjdområdet öster om Gunntorp och i höjdområdet närmast väster om Göta älv från kommungränsen i söder och en kilometer norrut mot Torskog. I dessa områden överstiger radiumhalten mestadels 200 Bq/kg.

## Normalriskområden

Största delen av kommunen bör klassas som normalriskområde. Radioaktiviteten från berg- och jordarter inom dessa områden är normal. Det bör dock observeras att enstaka mindre områden med högradon- och/eller lågradonmark kan ingå. Gnejsberggrunden klassas som normalriskområde, vilket även gäller för berggrund bestående av Göta- och Askimsgranit. Inga radonmätningar i jord har överstigit **50 kBq/m<sup>3</sup>**, vilket är undre gränsen för högriskområde. De högsta radonhalterna (43 kBq/m<sup>3</sup>) är uppmätta i morän. Alla områden med jord förutom silt och lera klassas som normalriskområde.

## Lågriskområden

Områden med finsediment (lera och silt) med en mäktighet större än 2 m bör klassas som lågriskområden. Små områden och områden som bedömts ha mindre mäktighet än 2 m ingår i de övriga riskområdena. Mindre områden med normalriskmark kan förekomma. Lerorna har ibland förhöjd strålning, men ur radonsynpunkt utgör de normalt sätt inte någon radonrisk på grund av deras höga vattenhalt och täthet som försvårar transporten av radongas. Om grundvattenförhållandena förändras så att leran torkar upp och spricker sönder kan dock radongastransporten förändras så att även leror kan innebära ett problem.

## REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT UNDERSÖKNINGAR

### Nybyggnadsområden

Om byggnation skall ske inom högriskområden bör detaljerade markradonundersökningar alltid göras. Även vid normalriskområden rekommenderas en översiktlig besiktning av markförhållandena för en bedömning av radonrisken.

Undersökning bör inledas med en översiktlig kontroll av gammastrålningen och de geologiska förhållandena över hela planområdet. Den lokala variationen för olika berg- och jordarter noteras. Marken indelas i hög-, normal- och lågradonmark. Vid förhöjd gammastrålning bör radiumhalt och eventuellt markradonhalt bestämmas. Med hänsyn till markradonförhållandena bestäms bebyggelsens lokalisering, grundläggning och utformning. Om hus lokaliseras till högradonmark bör mätning göras i husets läge.

Inför byggande av enskilt hus bör det räcka med kontroll av marken där huset skall byggas. Undersökningen bör omfatta mätning av gammastrålning och bestämning av de geologiska förhållandena. Alternativt kan man välja ett radonsäkert byggande redan från början.

## Spårning av bostäder med höga radonhalter

För den fortsatta spårningen av befintliga bostäder med höga radonhalter rekommenderas följande prioritering.

1. Radonmätningar i skolor och förskolor som hitintills inte är mätta.
2. Radonmätningar i hus grundlagda direkt på berg eller på sprängstensfyllning i områden med högstrålade pegmatit.
3. Radonmätningar i hus grundlagda direkt på berg eller på sprängstensfyllning i områden med RA-granit.
4. Radonmätningar i de blåbetonghus som hitintills inte är mätta.
5. Radonmätningar i hus, som är grundlagda på stora lager av sprängsten (speciellt suterränghus och hus med källare).
6. Radonmätningar i hus som är byggda på isälvsmaterial och morän. Framförallt då husens grundkonstruktion medför att de är särskilt otäta mot marken, t.ex. jordgolv i en del av källaren, har stora hål kring rörgenomföringar, stora eller många sprickor i bottenplattorna.
7. Radonmätningar i övriga småhus och villor i mån av resurser. Det finns dock ingen anledning att mäta i hus, som är grundlagda på berg med särskilt låg uranhalt, eller hus med sådan konstruktion att de ej har markkontakt, t.ex. hus på plintar.

Dessutom bör radonmätningar göras på dricksvattnet från bergborrade brunnar, framförallt i pegmatit- och RA-granitområden.

## LITTERATURFÖRTECKNING

Aaro, S. & Byström, S., 2000: Flyggeofysiken och de nationella miljökvalitetsmålen. Geologiskt form 28.

Bygghälsningsrådet. Rapport R85:1988: Reviderad utgåva 1990.

Byström, S., 1992: Teknisk rapport -1991 avseende flygmätningssuppdrag för Sveriges Geologiska Undersökning. – SGAB TFRAP 9202.

Clavensjö, B. & Åkerblom, G., 1992: Radonhandboken. BFR, Stockholm.

Ek, B-M., 1987: Flygburna strålningsmätningar som ett hjälpmedel vid torv- och våtmarksinventeringar. – SGU BRAP87005.

Ek, B-M., 1997: Markradonundersökningar i Motala kommun. Uppdragsrapport Dnr 08-603/96.

Engqvist, P. & Müllern, C. F. 1998: Beskrivning till kartan över grundvattnet i Västra Götlands län, mellersta delen, f.d. Älvsborgs län. SGU Ah 13.

Fredén, C., 1986: Beskrivning till jordartskartan Göteborg NO. SGU Ae 40.

Fredén, C., 1984: Beskrivning till jordartskartan Vänersborg SO. SGU Ae 48.

Hesselbom, Å., Israelsson, S & Tovedal, H., 1981: Radon i mark – en studie av metoder och instrument för bestämning av radonkoncentrationer i mark. Statens råd för bygghälsa Rapport R47:1981, Stockholm.

Hildingson, O., 1984: Radon från naturgrus och makadam. –Tekn. Rapport 1983:28.

Kulich, J., Möre, H. & Swedjemark, G.A., 1988: Radon och radium i hushållsvatten SSI-rapport 88–11.

Lindén, A. H., 1997: Utvärdering av radonavskiljare. Effekt på radon i dricksvatten från bergboreade brunnar. SSI Rapport 97:01.

Lindmark, A. & Rosén, B., 1984: Radon i jord. – SGI Rapport No24.

Lundqvist, I., 1997: Beskrivning till bergrundskartan Vänersborg SO. SGU Af 160.

Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. 2000. The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway, and Sweden.

Pershagen, G., Axelson, O., Clavesjö, B., Damberg; L., Desai, G., Enflo, A., Lagarde, F., Mellander, H., Svartengren, M., Swedjemark G.A. & Åkerblom, G., 1993: Radon i bostäder och lungcancer – en landsomfattande epidemiologisk undersökning. – IMM-rapport2/93.

Resar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å., 1988: Biokemiska kartan. SGU R&M 51.

Resar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å., 1990: Biokemiska kartan. SGU R&M 63.

Rosén, B., Ek, B-M., Ek, J. & Mattson, H., 1997: Radon i bostäder – Markradonhaltens betydelse för riskklassificering. SGU R&M 93.

Rosén, B & Åkerblom, G., 1989: Markradon. Riktlinjer för markradonundersökningar. Statens råd för byggforskning T20:1989.

Sandkvist, Å., 1997: Regionala radonundersökningar – Kartbladet 09D Mariestad SO. SGU.

Samuelsson, L., 1985: Beskrivning till berggrundskartan Göteborg NO. SGU Af 136.

SGF, 1984: Jordarternas indelning och benämning. Geotekniska laboratorieanvisningar, del 2.

SoS, 1990: Radon och hälsoskydd. Allmänna råd om radon 1990:5.

SOSFS, 1993: Ändring i allmänna råd om radon 1990:5. Socialstyrelsens föfattningssamling 1993:25.

Statens planverk, 1982: Radon – planläggning, byggnadslov och skyddsåtgärder. Rapport 59.

SSI 93–10, 1993: Radon 1993. En rapport över läget.

SSI, 1998: Radon i vatten i98:3.

Statens offentliga utredningar, 2001: Radon – Fakta och lägesrapport om radon. SOU 2001:7.

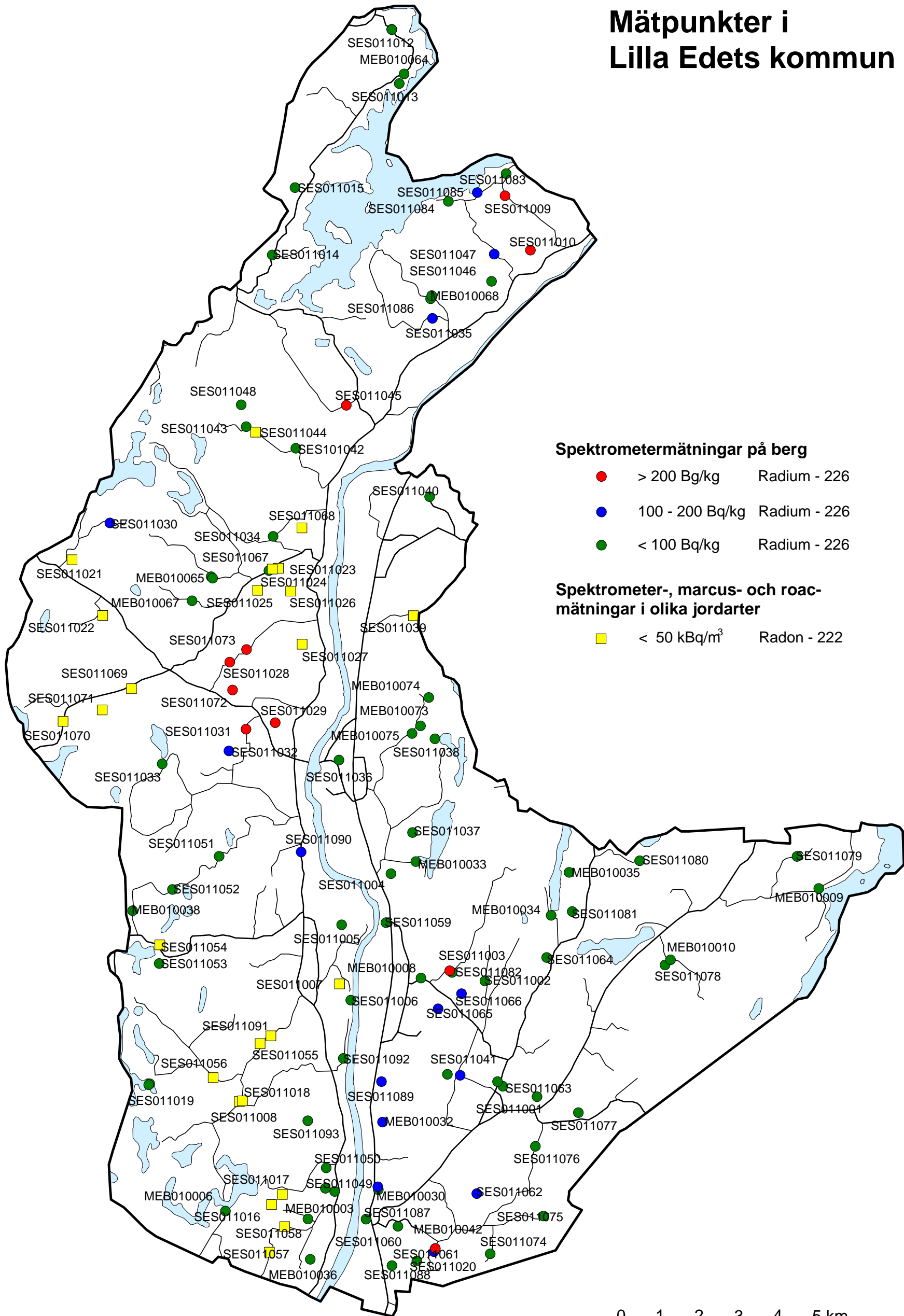
Svensk byggnorm (SBN). 1980: Statens planverk. PFS19801.

Sveriges Nationalatlas, 1994: Berg och Jord.

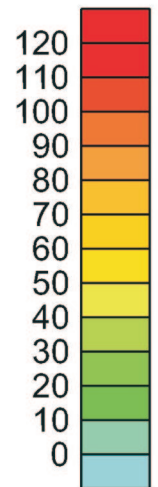
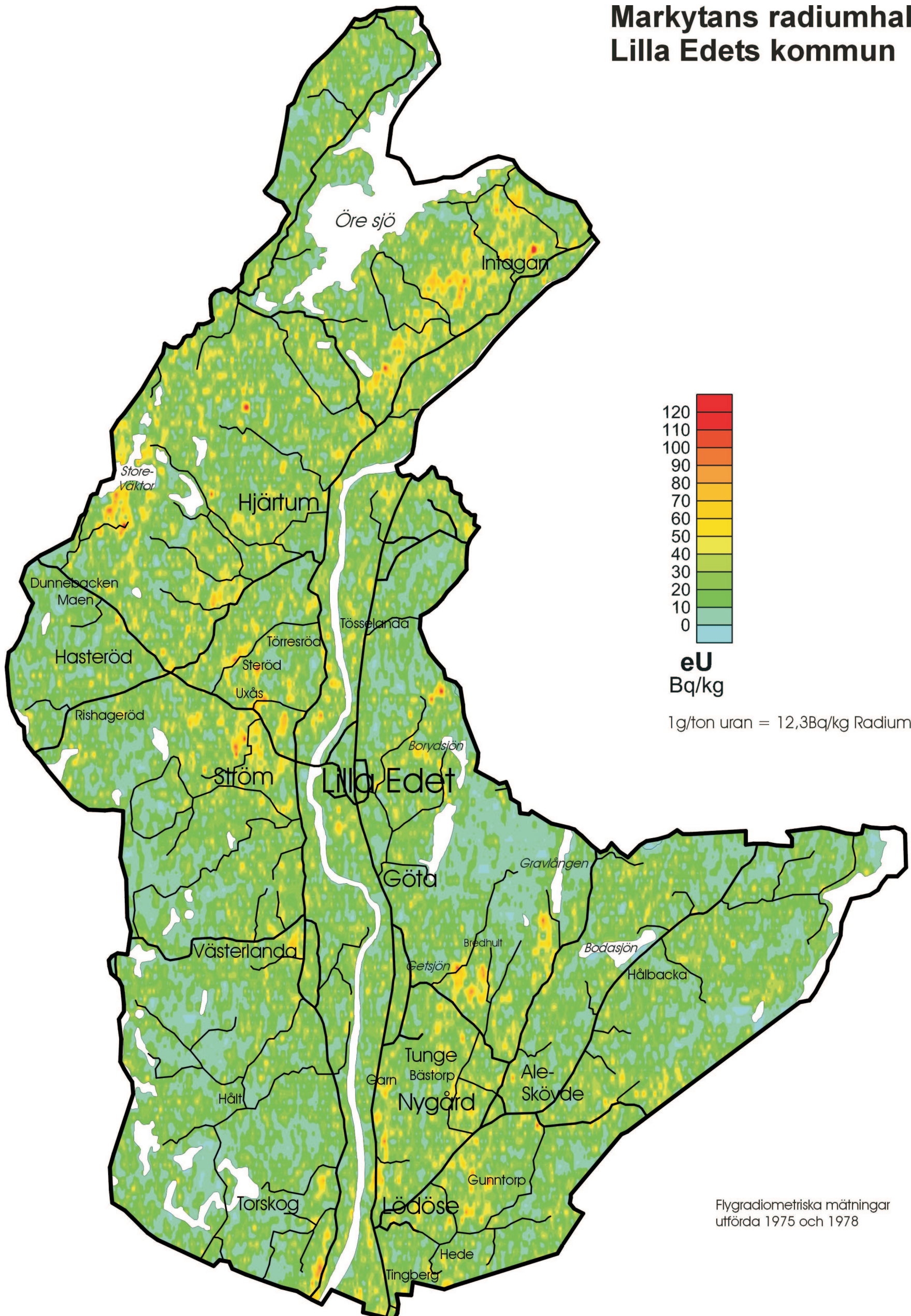
Swedjemark, G. A., 1993: Radon och radium i vatten. Underlag för bestämmelser. SSI Rapport 93-34.

Åkerblom, G., Petterson, B. & Rosén, B., 1990: Radon i bostäder – Markradon. BFR Rapport R85:1988. Reviderad utgåva.

# Mätpunkter i Lilla Edets kommun



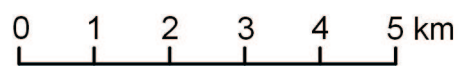
# Markytans radiumhalt i Lilla Edets kommun



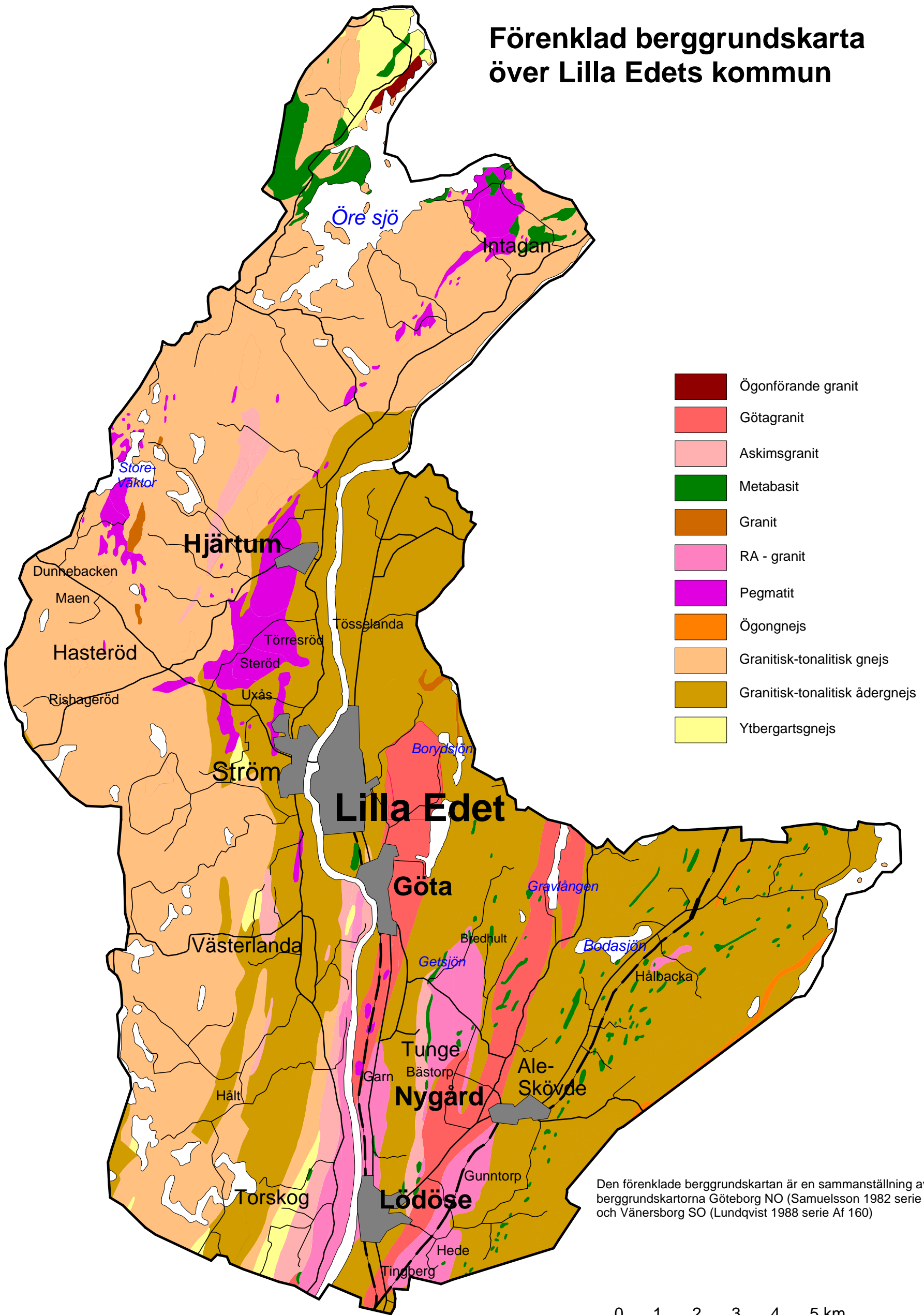
**eU**  
Bq/kg

1g/ton uran = 12,3Bq/kg Radium226

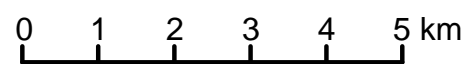
Flygradiometriska mätningar utförda 1975 och 1978



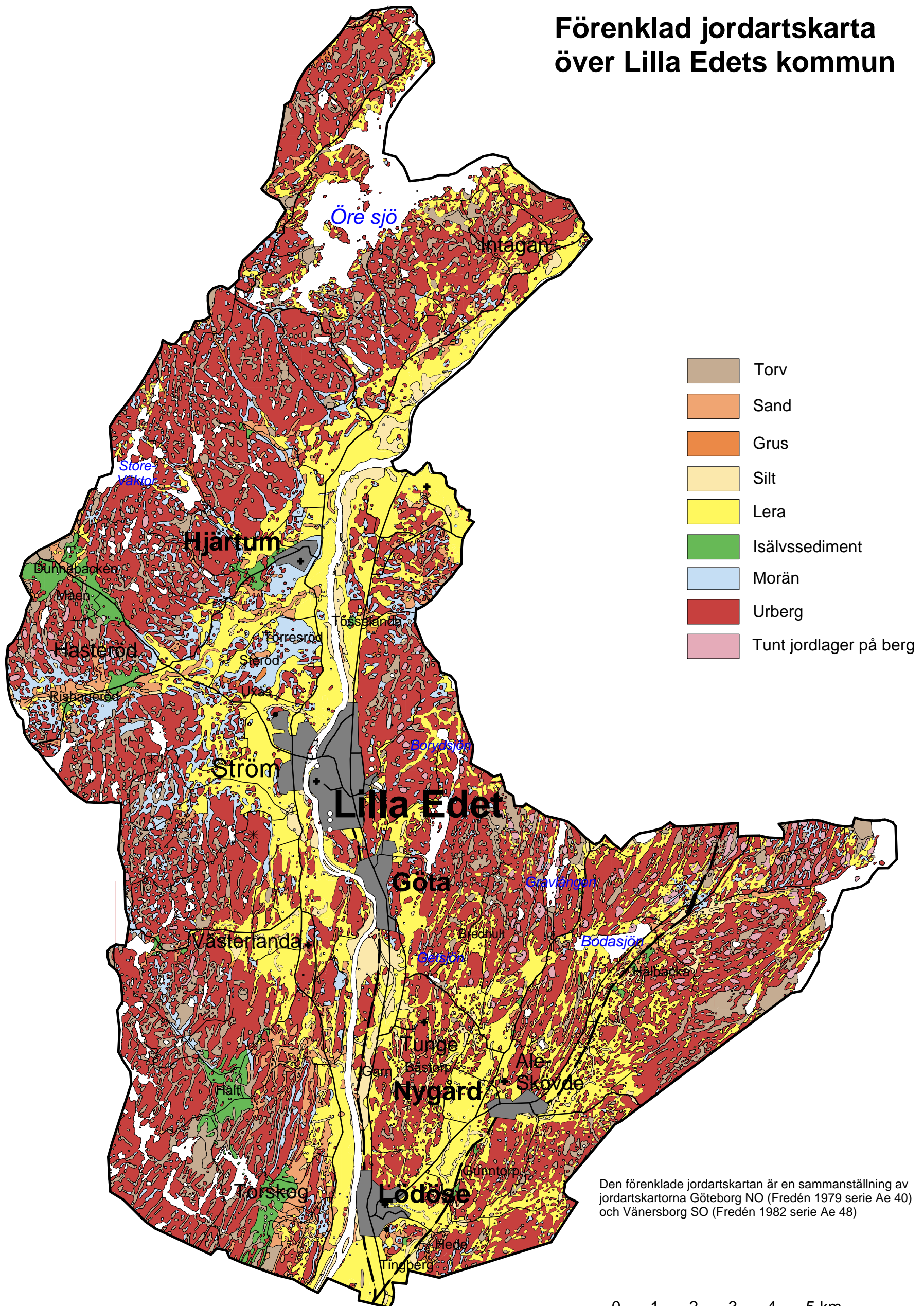
# Förenklad berggrundskarta över Lilla Edets kommun



Den förenklade berggrundskartan är en sammanställning av berggrundskartorna Göteborg NO (Samuelsson 1982 serie Af 136) och Vänersborg SO (Lundqvist 1988 serie Af 160)



# Förenklad jordartskarta över Lilla Edets kommun



Den förenklade jordartskartan är en sammanställning av jordartskartorna Göteborg NO (Fredén 1979 serie Ae 40) och Vänersborg SO (Fredén 1982 serie Ae 48)

