

# Strålning från bergmaterial

Cecilia Jelinek & Thomas Eliasson

december 2015



SGU-rapport 2015:34



**SGU**

Sveriges geologiska undersökning  
Geological Survey of Sweden

## Ändringar genomförda 9 juni 2021

Sidan 23, figur 11:

Korrigerig av rubrikerna "Al, flygmätt" respektive "Al, markmätt" längs diagrammets axlar, vilka hade bytt plats med varandra.

Omslagsbild: Mätning på block av grå Bohusgranit med gammaspektrometer i Ävja stenbrott i Bohuslän. Av restberget produceras krossbergsprodukter.  
Foto: Thomas Eliasson.

Sveriges geologiska undersökning  
Box 670, 751 28 Uppsala  
tel: 018-17 90 00  
fax: 018-17 92 10  
e-post: [sgu@sgu.se](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

## INNEHÅLL

<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>6</b>
<b>Bakgrund till naturlig strålning</b> .....	<b>6</b>
<b>Gammastrålning från berg- och byggmaterial</b>	
– vad säger regler och rekommendationer? .....	<b>8</b>
Aktivitetsindex .....	8
Boverkets byggregler .....	8
Nordiska rekommendationer – flaggboken .....	9
EU-rekommendationer – RP112 .....	9
EUs strålskyddsdirektiv – 2013/50/Euratom .....	9
Standardisering .....	10
<b>Naturligt radioaktiva ämnen i svenska bergarter</b> .....	<b>12</b>
Kalium .....	12
Uran och torium .....	12
Fördelning av uran och torium i bergarter .....	13
Uran- och toriummineral i bergarter .....	13
Uran- och toriumminerals uppträdande i granitiska bergarter .....	16
<b>Naturligt radioaktiva ämnen i jordarter</b> .....	<b>18</b>
<b>Gammastrålning från byggnadsmaterial</b> .....	<b>18</b>
<b>Radonavgång från byggnadsmaterial</b> .....	<b>18</b>
<b>Läget i Sverige</b> .....	<b>20</b>
Konsekvenser av det nya strålskyddsdirektivet .....	20
<b>Åtgärder för att minska innehållet av radioaktiva ämnen i ballast</b> .....	<b>21</b>
Selektiv brytning och krossning, samt blandning av olika bergarter .....	21
Separering av glimmer – reducera strålning? .....	22
<b>SGUs material</b> .....	<b>22</b>
Rapporter .....	22
Regional planering nyckeln för hållbar materialförsörjning .....	22
Ersättningsmaterial för naturgrus .....	22
Flygmätningar av gammastrålning .....	22
Kartvisaren Ballast .....	23
Markmätningar av kalium, uran och torium .....	23
<b>Mätning av aktivitetsindex i täkt</b> .....	<b>24</b>
Val av mätmetod .....	24
Representativ provtagning .....	25
Mätning med gammaspktrometer i täkt .....	25
<b>Referenser</b> .....	<b>25</b>



## **ABSTRACT**

All materials made from rocks or soils contain at least trace amounts of naturally occurring radionuclides. In the EU-directive 2013/59/Euratom, it is stated that in a dwelling, the building may not give a effective dose of more than 1 mSv/year to its inhabitants. This report is a brief account of the situation in Sweden today regarding radiation from aggregates. The report covers current legislation and recommendations, distribution and normal concentrations of naturally occurring radionuclides in Swedish bedrock, examples of countermeasures to reduce the gamma radiation from concrete, and how to get an overview of the radiation conditions in an area.

## **SAMMANFATTNING**

Allt som tillverkas där bergmaterial ingår som en insatsråvara i form av t.ex. krossat berg, sand, grus eller morän innehåller åtminstone små mängder av naturligt förekommande radionuklider. I EU-direktivet 2013/59/Euratom anges för en bostad att byggnaden inte får avge en effektiv dos på mer än 1 mSv/år till dem som vistas i byggnaden. Denna rapport ger en kortfattad redogörelse för situationen i Sverige idag om strålning från bergarter och krossat berg (makadam). Rapporten omfattar gällande lagstiftning och rekommendationer och fördelning och normala halter av naturligt förekommande radionuklider i svensk berggrund. Det ges exempel på motåtgärder som kan minska gammastrålningen från betong, och på hur man får en överblick av strålningsförhållandena i ett område.

## INLEDNING

I berggrunden och i jordlagren finns de naturligt radioaktiva ämnena uran och torium samt den radioaktiva isotopen kalium-40. Halten kalium, uran och torium varierar i olika typer av bergarter på grund av olika bildningssätt och mineralogisk sammansättning. Alla byggnadsmaterial som innehåller bergråvaror från krossat berg eller från mineraljord (främst grus och sand) innehåller också en viss mängd naturligt radioaktiva ämnen.

Eftersom byggnadsmaterial som innehåller bergmaterial naturligt avger gammastrålning har vi gränsvärden för hur mycket gammastrålning en ny bostad får avge och vilken radonhalt som inomhusluften får ha (BFS 2011:6). EUs nya strålskyddsdirektiv (2013/59/Euratom), som ska vara implementerat i svensk lagstiftning den 6 februari 2018, innehåller också regler för hur stor stråldos man maximalt får utsättas för i sin bostad samt riktlinjer för hur innehållet av radioaktiva ämnen i byggmaterial ska redovisas.

Miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* syftar till att säkerställa en god och kvalitetsmässigt bra tillgång på grundvatten idag och i framtiden. Traditionellt utgörs finballasten i många betongrecept av natursand och naturgrus. Idag pågår ett arbete för att finna ersättningsmaterial för natursand och naturgrus i betong (Göransson 2011). På så sätt vill man bevara grusförekomster och sandförekomster som är värdefulla grundvattenmagasin. Modern krossteknik gör det idag möjligt att i ökad grad producera ballast som efterliknar de rundade kornen i naturligt sand och grus. I de flesta bergtäkter i Sverige produceras bergballast från olika typer av granitiska bergarter. Dessa kan också ge finballast som lämpar sig väl för framställning av betong till många byggnadsändamål. Vissa graniter har dock förhöjda halter av naturligt förekommande radionuklider vilket måste beaktas när betong skall användas till husbyggnad. Om natursanden, som oftast har lågt innehåll av radionuklider, ersätts med krossat berg, kan strålningen och radonavgången från betongen öka.

Den här rapporten ger en orientering om fördelningen av naturligt förekommande radioaktiva ämnen i svensk berggrund och en sammanställning av regler och rekommendationer om gammastrålning från berg och bergmaterial. Den riktar sig till både bergmaterialindustrin och länsstyrelser. Syftet är att underlätta för framtida planering av materialförsörjningen och hitta bästa sätt att använda bergmaterial. Speciellt gäller det att underlätta övergången till helkrossad ballast för betong.

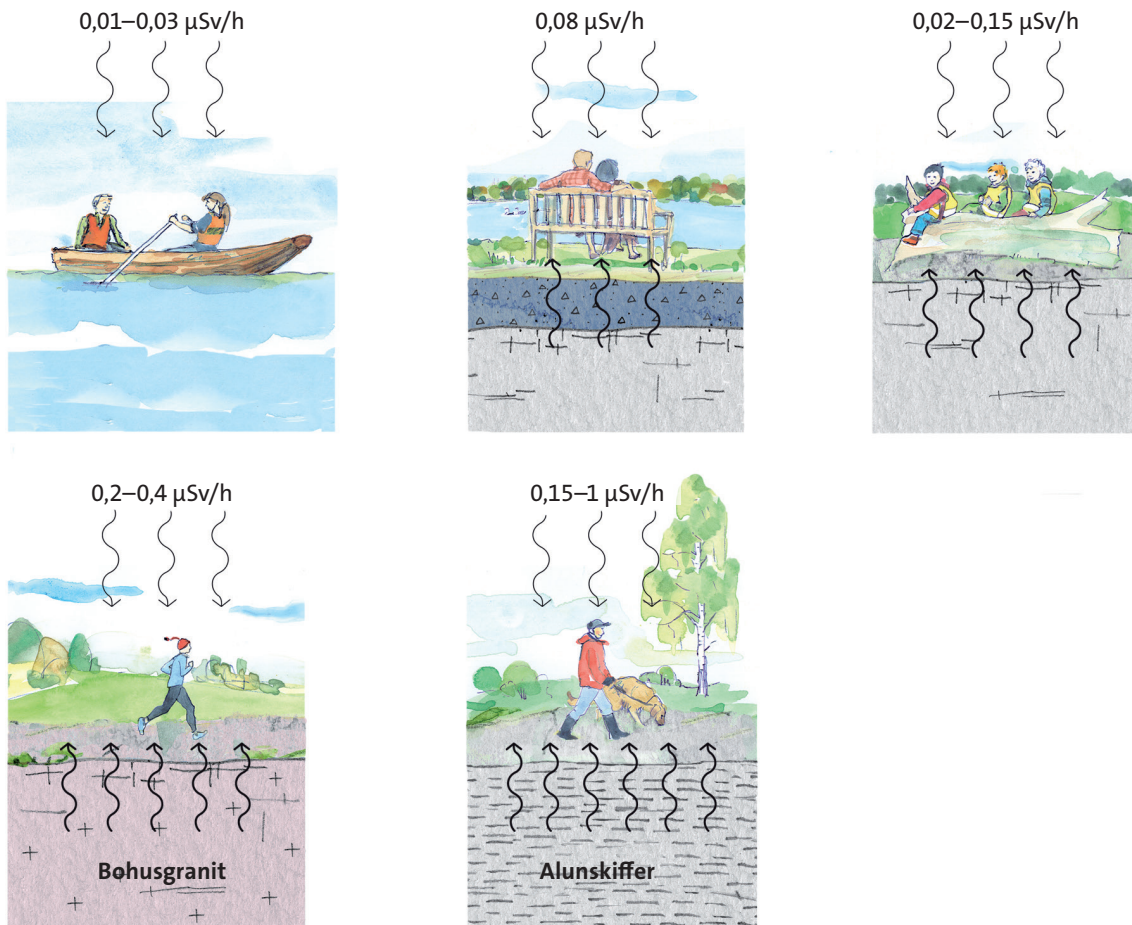
Rapporten är dels en del av SGUs stöd till länsstyrelsen eller annan myndighet som hanterar tillståndsgivning av täkter. Den ska även uppfattas som ett kunskapsstöd för industrins och konsulternas arbete med att ta fram nya råvarukällor för hållbara ballastprodukter. I rapporten visar vi därför också vilken information som finns tillgänglig på SGU och hur den kan användas.

## BAKGRUND TILL NATURLIG STRÅLNING

Strålmiljön för allmänheten i Sverige domineras av två huvudsakliga källor, dels medicinska undersökningar, dels bakgrundsstrålning från marken och byggmaterial i våra hus (Andersson m.fl. 2007).

Normal bakgrundsstrålning i Sverige ligger omkring 0,1  $\mu\text{Sv/h}$ . Bakgrundsstrålningen kan vara högre om man bor i ett område med uranrika graniter eller alunskiffer. I figur 1 visas exempel på variationer i den naturliga bakgrundsstrålningen.

Allt byggmaterial som innehåller berg, grus, sand eller lera innehåller små mängder av de naturligt förekommande radioaktiva ämnena kalium-40, uran och torium och deras sönderfallsprodukter. När dessa ämnen sönderfaller, avges strålning, bland annat gammastrålning.



Figur 1. Exempel på variationer i bakgrundsstrålning i Sverige. De övre bilderna representerar från vänster till höger bakgrund från enbart kosmisk strålning, normal bakgrund och stråldosvariation över blottad berggrund. Bilden nere till vänster representerar strålning från granit med förhöjda halter av uran och torium, t.ex. bohusgranit. Bilden nere till höger representerar strålning inom alunskifferområden.

### Halter av uran och radium

På grund av att uran-238 har så lång halveringstid, kommer aktivitetskoncentrationerna av övriga ämnen i sönderfallskedjan att kontrolleras av uranets aktivitetskoncentration. Man brukar tala om sekulär eller sekulär radioaktiv jämvikt, där alla ämnen har samma aktivitetskoncentration.

Antagandet om radioaktiv jämvikt gäller framför allt i kristallint berg, medan det kan vara annorlunda i jord på grund av att kemiska processer kan skilja ämnen i urans sönderfallskedja med olika mobilitet och vattenlöslighet etc. Normalt sett antar man ändå radioaktiv jämvikt, när man till exempel mäter koncentrationer av uran och radium i jord och (berg) med hjälp av gammaspektrometri. Då mäts gammasönderfallet av vismut-214, som ligger efter radon i sönderfallskedjan, och så antar man att alla andra element i sönderfallskedjan har samma aktivitetskoncentration.

1 ppm (1 g/ton) uran motsvarar 12,35 Bq/kg uran-238 och 12,35 Bq/kg radium-226.

## GAMMASTRÅLNING FRÅN BERG- OCH BYGGMATERIAL – VAD SÄGER REGLER OCH REKOMMENDATIONER?

För ett byggnadsmaterial som ska användas så att det kan exponera brukare för joniserande strålning finns begränsningar på hur mycket gammastrålning det får avge. Detta regleras i Sverige i Boverkets byggregler. Dessutom finns nordiska rekommendationer, EU-rekommendationer och EU-direktivet ”Rådets direktiv 2013/59/Euratom av den 5 december 2013 om fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd mot de faror som uppstår till följd av exponering för joniserande strålning”. EU-direktivet ska vara implementerat i svensk lagstiftning den 6 februari 2018.

### Aktivitetsindex

För att relativt lätt kunna uppskatta hur mycket strålning som avges från ett byggnadsmaterial finns det ett aktivitetsindex (AI). Teorin bakom anger att om ett material har aktivitetsindex 1, ger det upphov till en stråldos på 1 mSv/år. Då har man bland annat beaktat att man vistas i bostaden en viss tid och att materialet har en viss densitet (EC 1999). Det är viktigt att notera att detta bara gäller om man har använt samma material för golv, väggar och tak. Om man till exempel använder ett material med aktivitetsindex 1 i golv och väggar (tak av trä), får man enligt beräkningarna i de europeiska rekommendationerna RP112 (EC 1999), en årlig stråldos på ca 0,6 mSv. Mer om de europeiska rekommendationerna RP112 finns längre fram i rapporten.

Aktivitetsindex beräknas enligt:

$$C_K/3000 + C_{Ra}/300 + C_{Th}/200$$

där  $C_K$ ,  $C_{Ra}$  och  $C_{Th}$  representerar aktivitetskoncentrationerna av kalium-40, radium-226 och torium-232. 1 % K = 313 Bq/kg kalium-40, 1 g/ton U = 12,35 Bq/kg radium-226, 1 g/ton Th = 4,06 Bq/kg torium-232.

I tabell 1 finns beräkningar som visar vilket aktivitetsindex man hamnar på med olika halter av kalium, uran (radium) och torium.

### Boverkets byggregler

I Sverige finns det inte gränsvärden för innehåll av radioaktiva ämnen i byggnadsmaterial. Gränsvärdet är i stället ett funktionsvärde för vilken gammastrålningsnivå och radonhalt man maximalt får ha i den färdiga byggnaden. Enligt Boverkets byggregler (BFS 2011:6 och BBR18 med ändringar t.o.m. BFS 2015:3 och BBR22, avsnitt 6:12) gäller att gammastrålningsnivån inte får överstiga 0,3 µSv/h i rum där människor vistas mer än tillfälligt. Det är i dagsläget inte klart om gränsvärdet kommer att behöva ändras till följd av EUs strålskyddsdirektiv (se nedan).

Tabell 1. Räkneexempel som visar aktivitetsindex för bergarter med olika halter av uran (U), torium (Th) och kalium (K).

U (g/ton)	Th (g/ton)	K (%)	uran-238/ radium-226 (Bq/kg)	torium-232 (Bq/kg)	kalium-40 (Bq/kg)	Radium- index <sup>1)</sup>	Aktivitets- index	Exempelbergart
0,3	1	0,5	3,7	4,1	157	0,02	0,08	Diabas
2,5	6	2,4	31	24	751	0,2	0,5	Granodiorit
4	20	4,5	49	81	1410	0,2	1,0	Granit
10	55	4,5	124	223	1410	0,6	2,0	Granit, förhöjd toriumhalt
30	13	4,5	371	53	1410	1,9	2,0	Granit, förhöjd uranhalt
130	15	3,3	1606	61	1030	8,0	6,0	Alunskiffer

1) Radiumindex = Ra (Bq/kg)/200.



## **Nordiska rekommendationer – flaggboken**

Det finns också rekommendationer vad gäller radon och strålning som har utarbetats gemensamt av strålskyddsmyndigheterna i de nordiska länderna. Rekommendationerna finns i den s.k. ”flaggboken”, Naturally occurring radioactivity in the Nordic countries – recommendations (Strålskyddsmyndigheterna i Danmark, Finland, Island, Norge och Sverige 2000). Med anledning av EUs nya strålskyddsdirektiv pågår diskussioner om att uppdatera flaggboken.

För radioaktivitet i byggmaterial har man lagt en övre gräns på aktivitetsindex 2 (eller radiumhalt 200 Bq/kg = radiumindex 1) i det färdiga byggmaterialet. Om den rekommenderade övre gränsen överskrids bör man göra en uppskattning av materialets bidrag till gammastrålningens nivå inomhus. Man rekommenderar också att aktivitetskoncentrationen för radium ska vara högst 200 Bq/kg för att undvika radonhalter inomhus på över 200 Bq/m<sup>3</sup>.

## **EU-rekommendationer – RP112**

Det finns en EU-rekommendation för byggmaterial: Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Radiation protection 112 (EC1999), här efter kallad RP112. Där skiljer man på material som används i större mängd (t.ex. krossberg i betong) och material som används mer sparsamt (t.ex. som fasadplattor och golvplattor). För den förstnämnda gruppen är övre gräns för aktivitetsindex 1 och för den andra gruppen gäller aktivitetsindex 6.

## **EUs strålskyddsdirektiv – 2013/50/Euratom**

Den nya versionen av EUs strålskyddsdirektiv (även kallat BSS-direktivet) innehåller regler för vilken stråldos man får utsättas för från sin bostad samt riktlinjer för hur innehållet av radioaktiva ämnen i byggmaterial ska redovisas (se faktaruta). Det nya direktivet ska ha införts i svensk lagstiftning senast den 6 februari 2018. Arbetet med att reda ut hur direktivet ska införas i Sverige leds av Strålsäkerhetsmyndigheten. Flera andra myndigheter är rådgivande i arbetet, däribland SGU och Boverket. Strålsäkerhetsmyndigheten ska redovisa sin utredning till Miljödepartementet i januari 2016. En del i förslaget är en ny strålskyddslag som ska omfatta även gammastrålning från byggnadsmaterial och radon i byggnader. Gränsvärden kommer dock att ligga kvar i Boverkets byggregler.

Det nya strålskyddsdirektivet anger att bostaden får ge en stråldos från gammastrålning på högst 1 mSv/år utöver bakgrundstrålningen. Nivån är inte ett gränsvärde, utan en referensnivå. Den baseras på RP112 som nämnts ovan.

Den högre nivå på aktivitetsindex som gällde för material som användes i mindre omfattning (t.ex. bänkskivor, fasadsten) i RP112 har man strukit i det nya direktivet. I stället skriver man att AI=1 är ett konservativt bedömningsverktyg och att man ska beakta i vilken omfattning materialet används. Eftersom direktivets referensvärde ligger på funktionskravet stråldosen 1 mSv/år och inte på byggnadsmaterialets aktivitetsindex, kan man alltså använda material i huset med högre aktivitetsindex om materialet används i begränsad omfattning.

I direktivet står att den myndighet som är ansvarig för byggnadsmaterial ska identifiera vilka material som kan vara av betydelse ur strålskyddssynpunkt. För dessa material gäller sedan att den som placerar ett sådant på marknaden ska:

- bestämma aktivitetskoncentrationerna för kalium-40, radium-226 och torium-232.
- upplysa ansvarig myndighet om mätresultat och korresponderande aktivitetsindex om detta efterfrågas.

Myndigheten ska besluta om regler för identifierade byggmaterial som kan ge doser över referensnivån. Dessa regler kan omfatta speciella krav i relevanta byggregler eller restriktioner för användningen av materialet i vissa tillämpningar.

Även om det inte kommer en specifik lista på identifierade material gäller byggproduktförordningen. Därmed gäller också reglerna för CE-märkning. Förordningen anger att om det finns en harmoniserad standard för en byggprodukt, måste den användas för att bedöma och beskriva byggproduktens väsentliga egenskaper. Byggprodukten ska när den säljs vara försedd med prestandadeklaration och CE-märkning som beskriver dess väsentliga egenskaper.

Här gäller att det är den produkt som placeras på marknaden som ska analyseras och redovisas. Det innebär att för prefab-betongelement ska halterna i det färdiga betongelementet redovisas, medan man för platstillverkad betong ska redovisa de ingående produkterna var för sig.

Boverket, som är ansvarig marknadskontrollmyndighet för byggprodukter, har rätt att begära in uppgifter om de analyser som har gjorts.

Observera att direktivet bara gäller byggprodukter som är avsedda att vara permanenta delar av en byggnad och vars egenskaper inverkar på hur personer i byggnaden exponeras för joniserande strålning. Direktivet gäller alltså inte bergmaterial som ska användas som ballast för vägar, järnvägsbankar, broar med mera.

### **Standardisering**

Inom den europeiska standardiseringsorganisationen CEN pågår ett arbete med att ta fram en gemensam standard för analyser av kalium, radium och torium i byggnadsmaterial. Metoden tas fram av en underarbetsgrupp inom WG3 (Radiation) inom kommittén CEN351 (Avgivning av farliga ämnen från byggmaterial).

Metoden innefattar analys av krossat material (pulvriserat) med gammaspекtrometer på laboratorium och är för tillfället (hösten 2015) ute på validering. Den ska fungera som harmoniserad standard inom EU för analys av kalium, radium och torium i byggmaterial. Därefter kan även denna väsentliga egenskap redovisas i prestandadeklaration och CE-märkning för de produkter för vilka den är relevant.

En rapport om dosmodellering har tagits fram av en annan underarbetsgrupp inom CEN351/WG3. Möjligen kan den bli vägledande för hur man sedan bör räkna på dos för att få fram vilken mängd av ett visst byggmaterial som är acceptabelt att bygga in ett hus.

**Rådets direktiv 2013/59/Euratom av den 5 december 2013 om fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd mot de faror som uppstår till följd av exponering för joniserande strålning – Artikel 75**

I artikel 75 i EU-direktivet står följande i svensk översättning:

Gammastrålning från byggnadsmaterial

1. Referensnivån för extern gammaexponering inomhus från byggnadsmaterial, utöver extern exponering utomhus, ska vara 1 mSv per år.
2. När det gäller byggnadsmaterial som medlemsstaten identifierat som är av betydelse ur strålskyddssynpunkt, med beaktande av den vägledande materialförteckningen i bilaga XIII vad beträffar avgiven gammastrålning, ska medlemsstaterna, innan sådana material släpps ut på marknaden, säkerställa att
  - a) aktivitetskoncentrationer för de radionuklider som anges i bilaga VIII fastställs, och att
  - b) den behöriga myndigheten på begäran förses med information om resultaten av mätningarna och det motsvarande indexet för aktivitetskoncentration samt andra relevanta faktorer enligt bilaga VIII.
3. När det gäller byggnadsmaterial som identifierats i enlighet med punkt 2 som riskerar att avge doser som överskrider referensnivån ska medlemsstaterna besluta om lämpliga åtgärder, vilka får innefatta särskilda krav i relevanta byggregler eller restriktioner av den planerade användningen av sådana material.

I bilaga VIII står:

Definition och användning av indexet för aktivitetskoncentration för gammastrålning från byggnadsmaterial som avses i artikel 75

Med avseende på artikel 75.2 ska aktivitetskoncentrationerna för radionukliderna Ra-226, Th-232 (eller deras sönderfallsprodukt Ra-228) och K-40 fastställas för angivna typer av byggnadsmaterial.

Index I för aktivitetskoncentration beräknas enligt följande formel:

$$I = C_{\text{Ra-226}}/300 + C_{\text{Th-232}}/200 + C_{\text{K-40}}/3\,000$$

där  $C_{\text{Ra-226}}$ ,  $C_{\text{Th-232}}$  och  $C_{\text{K-40}}$  är aktivitetskoncentrationen i Bq/kg för de motsvarande radionukliderna i byggnadsmaterialet.

Indexet avser gammastråldosen, utöver typisk strålning utomhus, i en byggnad som är konstruerad i ett angivet byggnadsmaterial. Indexet är tillämpligt på byggnadsmaterial, men inte på dess beståndsdelar utom när dessa beståndsdelar i sig är byggnadsmaterial och separat bedöms som sådant. För att tillämpa indexet på sådana beståndsdelar, i synnerhet på restprodukter från industrier som bearbetar naturligt förekommande radioaktivt material som återvinns till byggnadsmaterial, måste en lämplig fördelningsfaktor tillämpas. Indexvärdet 1 för aktivitetskoncentration kan användas som ett konservativt bedömningsverktyg för att identifiera material som kan leda till att referensnivån i artikel 75.1 överskrids. Vid dosberäkningen måste hänsyn tas till andra faktorer, såsom densitet, materialets tjocklek samt faktorer som är förknippade med byggnadstyp och avsedd användning av materialet (som bulkmaterial eller ytmaterial).

## NATURLIGT RADIOAKTIVA ÄMNEN I SVENSKA BERGARTER

I berggrunden och i jordlagren finns de naturligt radioaktiva ämnena uran (radium) och torium samt den radioaktiva isotopen kalium-40. Halterna av kalium, uran och torium varierar i olika typer av bergarter på grund av olika bildningsätt och kemisk och mineralogisk sammansättning (tabell 2).

### Kalium

Kalium är det sjunde vanligaste elementet i jordskorpan, men av detta utgörs endast 0,012 % av kalium-40. Kaliumhalten i bergarter brukar ligga mellan 0,1 och 5 viktprocent (30–1560 Bq/kg) och varierar förhållandevis lite inom en och samma bergart.

Kalium finns naturligt i bergarter som innehåller kaliummineral, t.ex. graniter och syeniter, samt i ryolitiska och trakytoida vulkaniska bergarter. De vanligast förekommande kaliummineralen i urberget är kalifältspat (10–14 % K), biotit (9 % K) och muskovit (10 % K).

Helt naturligt finns stora skillnader mellan olika bergarter. Graniter, som till stor del består av kalifältspat, har till exempel genomgående relativt höga halter av kalium (3–6 %) medan till exempel kvartssandstenar alltid har låga halter kalium. Mer eller mindre gnejsiga granodioriter och tonaliter som bygger upp stora delar urberget innehåller vanligen 1,5–2,5 % kalium.

Basiska bergarter innehåller mycket låga till måttliga halter av kalium (tabell 2). Med basiska bergarter menas bergarter som är fattiga på kiseldioxid ( $\text{SiO}_2$ , tidigare ofta kallad kiselsyra), som gabbro, diorit, diabas och basalt. Omvandlade basiska bergarter kallas ibland för grönstenar eller amfibolit. Det huvudsakliga kaliummineralet i basiska bergarter är biotit. Mindre mängd kalium kan också finnas i vissa amfibolmineral. Radioaktivitet som orsakas av sönderfall av kalium-40 beror alltså på vilken bergart som bergmaterialet har framställts av.

### Uran och torium

Uran och torium förekommer normalt enbart som spårämnen i berggrunden. Vanligen menas med detta att grundämnet förekommer i koncentrationer under 0,1 % (1000 gram per ton). Dock krävs det inte speciellt höga halter av uran och torium för att materialet ska vara olämpligt som byggmaterial.

Vanliga halter av uran är 1–5 gram per ton berg, vilket motsvarar en aktivitetskoncentration på 12–60 Bq/kg. I sönderfallskedjan från uran-238 är delen som börjar med radium-226 den viktigaste ur strålningssynpunkt. Därför refererar man ofta till radium i stället för uran. Om det råder jämvikt i sönderfallskedjan är aktivitetskoncentrationerna av alla element desamma (se faktaruta).

Tabell 2. Normala halter av kalium, uran/radium och torium i några svenska bergarter.

	K (%)	U (ppm)	Ra (Bq/kg)	Th (ppm)
Basiska bergarter <sup>1)</sup>	0,4–3,0	0–4	0–50	0,4–11
Granit (alla) <sup>1)</sup>	3–5,5	1,0–10	10–120	5–30
Granit, uran- och toriumrik <sup>2)</sup>	4–6	8–40	100–500	10–90
Kalksten <sup>2)</sup>	0,1–0,5	0,5–2	5–25	0,1–2
Sandsten <sup>2)</sup>	1–5	0,5–5	5–60	1–10
Sedimentär gnejs <sup>1)</sup>	2–5	1–10	10–120	3–30
Skiffer <sup>2)</sup>	2–6	1–10	10–120	2–15
Sur-intermediär vulkanit <sup>1)</sup>	1–5,5	1–10	10–120	2–25
Alunskiffer <sup>2)</sup>	2–6	10–350	120–4300	2–10

1) Intervall baserade på SGUs gammaspektrometriska mätningar på håll.

2) Intervall baserade på Socialstyrelsen m.fl. 1981.

I berggrunden är toriumhalten i genomsnitt ca tre gånger högre än uranhalten, med normala halter mellan 1 och 30 ppm (4–120 Bq/kg). Stora variationer inom samma bergartstyp kan förekomma (tabell 2).

Normalt är uran- och toriumhalterna låga i sedimentära bergarter som innehåller mycket kvarts, exempelvis kvartssandsten, eller i bergarter med hög halt av kalcit (kalciumkarbonat), exempelvis kalksten och marmor. Halterna av uran och torium är också oftast låga i basiska bergarter. Detta innebär att det normalt inte är några problem med höga förhöjda strålnivåer från basiska bergarter.

Kvarts- och kalifältspatsrika bergarter som är rika på kiseldioxid, till exempel graniter, sura vulkaniska bergarter och pegmatiter, har generellt betydligt högre halter av uran, och i många fall även torium, än andra bergarter. Tidigare ansågs att det var främst yngre, ofta pegmatitförande, graniter som innehöll höga halter av uran. Senare undersökningar har dock visat att även äldre granitiska bergarter kan innehålla mycket uran.

Alunskiffer, som är en svart lerskiffer med hög halt av organiskt material (bitumen), har nästan genomgående hög uranhalt och relativt låg toriumhalt. Alunskiffer har bland annat använts för tillverkning av lättbetong, så kallad blåbetong.

Lokala koncentrationer av uran (uranmineraliseringar) är sällsynta, men kan förekomma i olika geologiska miljöer, t.ex. i sprickzoner eller i kraftigt omvandlade graniter. Dessa förekomster kan vanligen identifieras med geologiska metoder eller med strålningsmätningar och ska normalt inte orsaka problem när man producerar bergmaterial.

På kartan i figur 2 redovisas översiktligt var i Sverige det finns större förekomster av alunskiffer och uranrika, främst granitiska, bergarter i övrigt. I figur 3 visas en karta över flygmätt gammastrålning från uran, där bland andra områden med alunskiffer i Västra Götaland, Bohusgraniten, och de uranrika granitoiderna i västra Mälardalen syns tydligt. I figur 4 finns en karta med aktivitetsindex beräknat från flygmätta halter av kalium, uran och torium.

### **Fördelning av uran och torium i bergarter**

Spårämnen uran och torium uppträder på ett annat sätt än kalium i bergarter. I magmatiska bergartsbildade processer koncentreras (anrikas) uran och torium normalt till sent kristalliserande magmor med granitiska sammansättningar. Förenklat kan man säga att uran och torium inte passar in i de vanliga mineral som bygger upp basiska och intermediära bergarter så som gabbro och basalt eller diorit och andesit. Detta innebär att halterna av uran och torium ökar med magmautvecklingen från gabbro till granit.

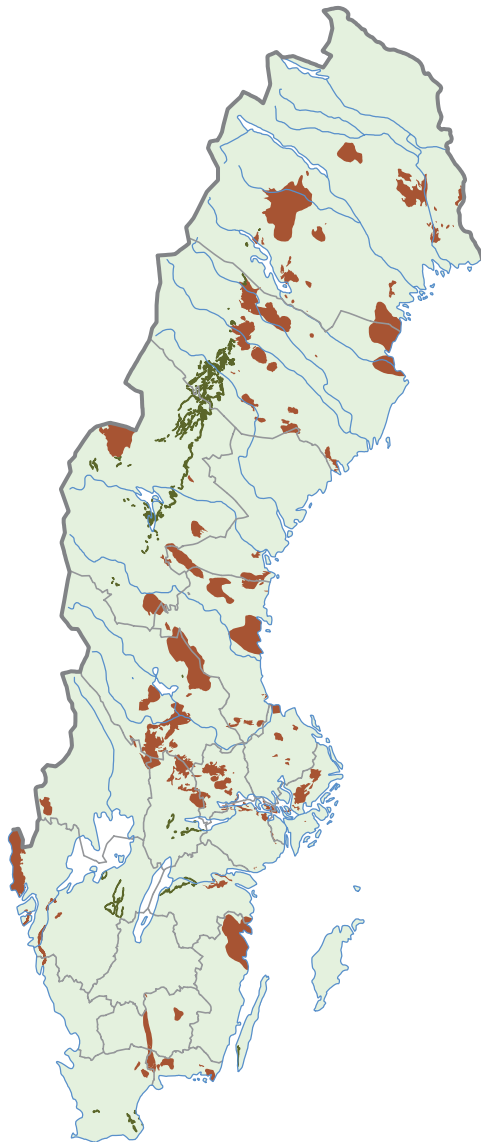
Även graniter som har bildats genom partiell uppsmältning av en äldre jordskorpa i samband med bergskedjebildning, det vanliga bildningssättet för de flesta graniter, har normalt sett högre innehåll av uran och torium än ursprungsbergarten.

Det bör noteras att alla granitiska bergarter inte innehåller höga halter av torium och uran. Vilka halter som en granit erhåller beror på vilka betingelser som har rått under bildningsprocessen och vilka halter av uran och torium som ursprungsmaterialet för granitmagmorna har haft.

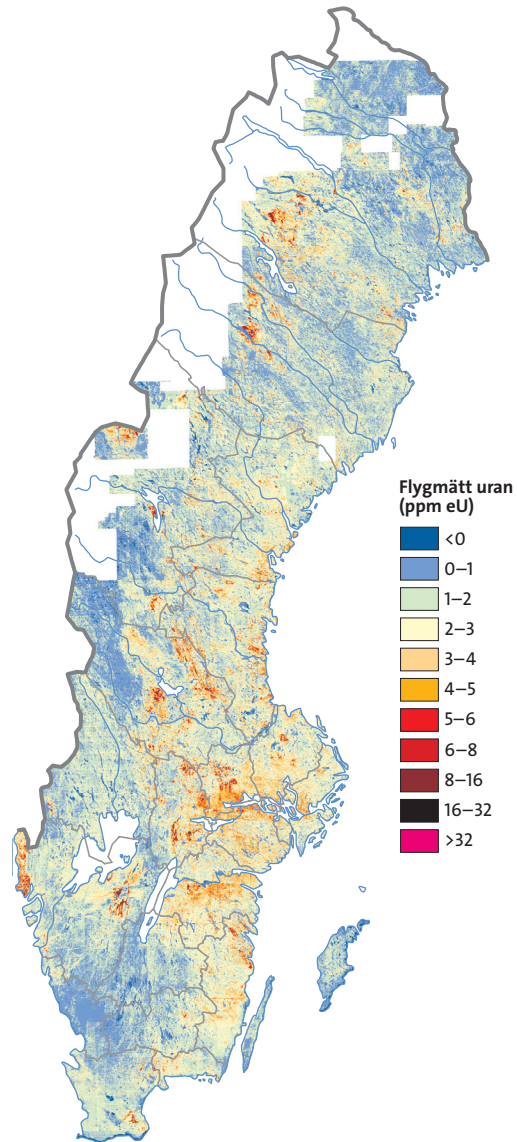
### **Uran- och toriummineral i bergarter**

I bergarter finns de radioaktiva grundämnena uran och torium huvudsakligen i sparsamt förekommande s.k. accessoriska mineral. Exempel på vanliga uran- och toriummineral i svenska bergarter finns i tabell 3. Dessa mineral uppträder normalt som relativt små kristaller som är något ojämnt fördelade i bergarten.

I de flesta magmatiska bergarter är de accessoriska uran- och toriummineralen svåra att påträffa på grund av de låga halterna som de förekommer i, vanligen mindre än 0,5 volymprocent.



Figur 2. Kända områden med större eller mindre förekomster av särskilt radioaktiva bergarter i urberget (brunt) och områden med alunskiffer (mörkgrönt).



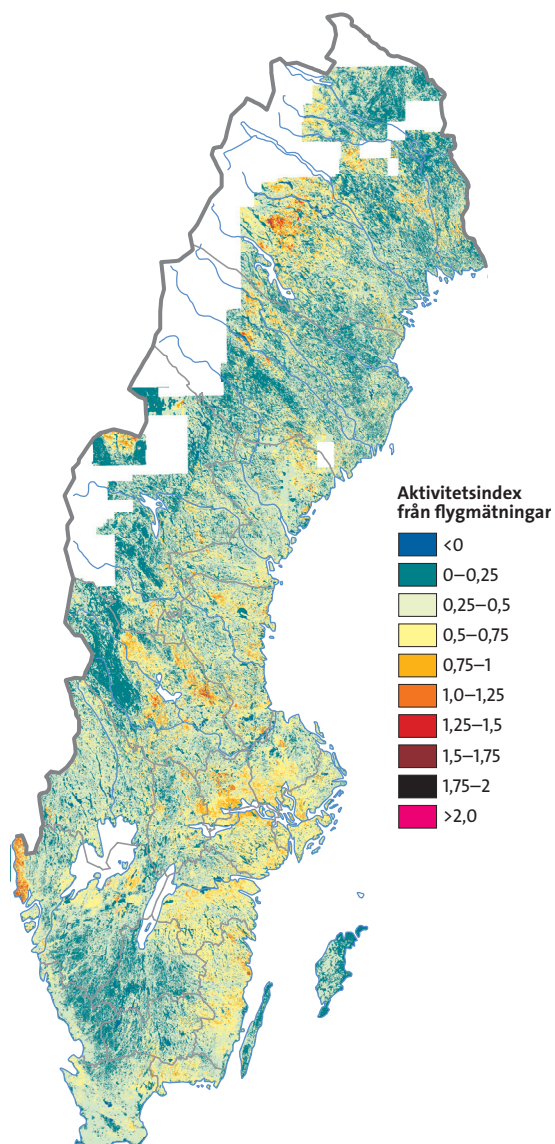
Figur 3. Uranhalt (ppm eU) i markytan. SGUs flygmätningar av gammastrålning, 1969–2014.

De är ofta svåra att identifiera med vanlig optisk mikroskopering eftersom de är så små, vanligen <0,1 mm.

I vissa mineral förekommer uran och torium, t.ex. i uraninit, torit och monazit, som väsentliga strukturella komponenter, i andra mineral uppträder uran och torium som spårelement där de t.ex. substituerar för zirkonium, cerium eller yttrium (tabell 3).

I basiska bergarter, med sina generellt låga halter av uran och torium, är baddeleyit ( $ZrO_2$ ) det vanligaste accessoriska mineralet med förhöjd halt av uran och torium. Baddeleyit kan innehålla upp till 3 000 ppm uran (Heaman & Le Cheminant 1993). Apatit och titanit har vanligen också något förhöjda halter av uran och torium.

Det vanligaste uranmineralet i uranmineraliseringar är uraninit, som ofta förekommer som brunsvarta mikrokristallina aggregat, så kallat pechblände. Namnet uraninit används för kristalliserade varianter av  $UO_2$ .



Figur 4. Aktivitetsindex i markytan beräknat från SGUs flygmätningar av gammastrålning, 1969–2014.

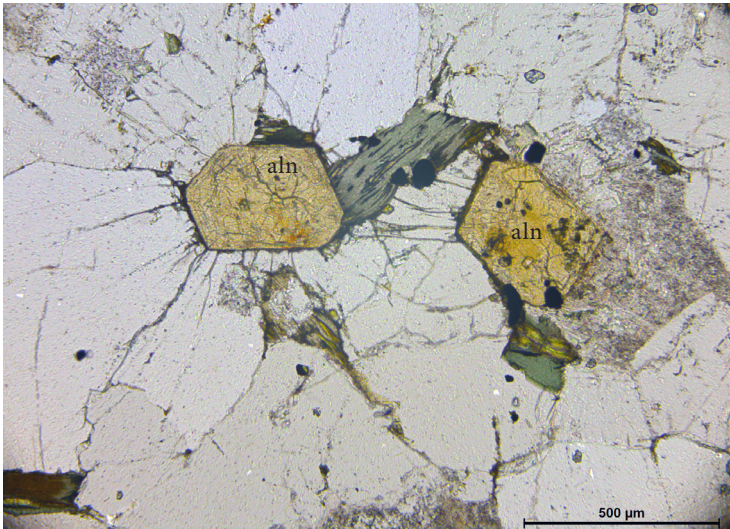
Tabell 3. Några uran- och toriummineral eller mineralgrupper. Innehåll av uran och torium bl.a. från Bea (1996), Heaman & Cheminant (1993), Broska m.fl. (2014).

Mineral	Kemisk sammansättning	UO <sub>2</sub> %/U ppm	ThO <sub>2</sub> %/Th ppm
Uraninit (pechblände)	UO <sub>2</sub>	100–80 %	1–20 %
Torianit	ThO <sub>2</sub>	1–20 %	100–80 %
Baddeleyit	ZrO <sub>2</sub>	50–3000 ppm	1–150 ppm
Monazit	(Ce,La,Th)PO <sub>4</sub>	0,1–23 %	0,1–27 %
Xenotim	(Y,U)PO <sub>4</sub>	0,1–13 %	0,01–1,7
Apatit	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	0,5–828 ppm	0,6–81 ppm
Torit (huttonit)	ThSiO <sub>4</sub>	1,1–7,4 %	39–76 %
Zirkon	ZrSiO <sub>4</sub>	0,1–1,5 %	0,01–0,04 %
Allanit (ortit)	(Ca,Ce,La,Y,Th) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH)	0,1–4,4 %	0,1–4 %
Titanit	CaTiSiO <sub>4</sub>	0–1471 ppm	47–3268 ppm

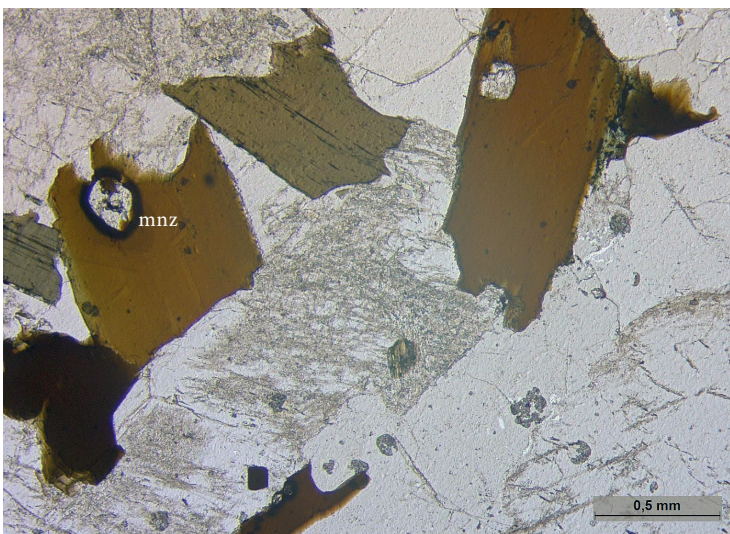
### **Uran- och toriumminerals uppträdande i granitiska bergarter**

I granitiska bergarter, där vi har de högsta halterna av radioaktiva isotoper, är uran och torium till största delen, vanligen 70 till 95 %, koncentrerade till accessoriska radioaktiva mineral (t.ex. Bea 1994, Pavlidou m.fl. 2009, Péres-Soba m.fl. 2014, Wark & Miller 1993). Mineralen kan till exempel vara allanit (fig. 5 och 8), uraninit, monazit (fig. 6), zirkon (fig. 7), xenotim, torit, titanit och apatit (t.ex. Bea 1994).

Endast en mycket liten andel uran och torium finns i de bergartsbildande huvudmineralen såsom kvarts, kalifältspat och plagioklas. Ofta förekommer de accessoriska radioaktiva mineralen som inneslutningar i biotit (fig. 6–7), enligt Bea (1994) mer än 70 %. Med optisk mikroskopering framträder de radioaktiva mineralen i biotitkristaller vanligen som små korn som omges av framträdande mörka halos. En halo uppkommer när alfastrålning från sönderfallen orsakar störningar i den omgivande gitterstrukturen (Patrick m.fl. 2013).



Figur 5. Tunnslipsfotografi av Bohusgranit med två ljusbruna kristaller av allanit (aln). Notera radiella mikrosprickor i anslutning till allanitkristaller med varierande toriuminnehåll (1,4 till 2,2 % torium). Mikrosprickorna uppstår när kristallgittret expanderar på grund av radioaktivt sönderfall och kemisk omvandling. Planpolariserat ljus. Foto: Thomas Eliasson, SGU.



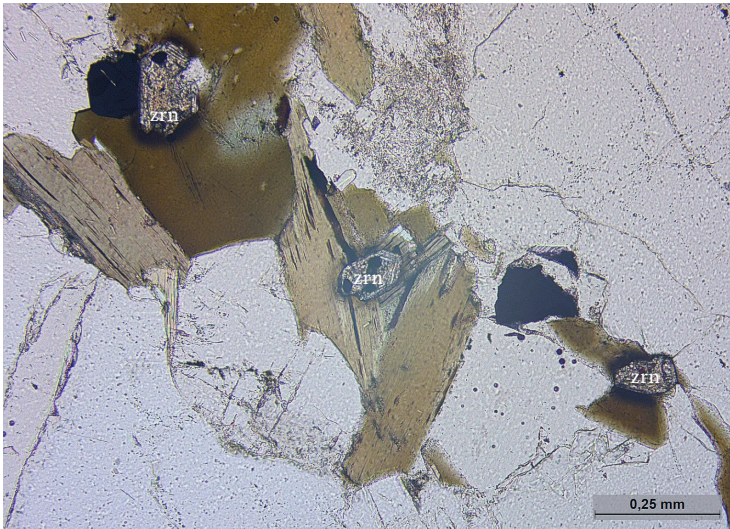
Figur 6. Tunnslipsfotografi av Bohusgranit med rundad, ca 0,2 mm lång kristall av monazit (mnz). Analyserade magmatiskt bildade monaziter i Bohusgraniten innehåller 5,7–7,3 viktprocent  $\text{ThO}_2$  (Petersson & Eliasson 1997). Monaziten ligger innesluten i olivgrön biotit. Den mörka halon i biotitkristallen runt monaziten beror på att alfa(partikel)strålning orsakar störningar i gitterstrukturen. Planpolariserat ljus. Foto: Thomas Eliasson, SGU.



Det är således biotitkornens egenskaper och beteende under krossnings- och siktningsprocessen som till stor del styr hur de radioaktiva småmineralen fördelar sig när bergmaterial framställs.

De flesta av de radioaktiva småmineral som finns i graniter kan inte upptäckas eller identifieras genom regelrätt geologisk fältkartläggning av berggrunden. Man kan alltså inte med ögat avgöra om en bergart är onormalt högstrålande. Större kristaller av allanit, en ceriumrik variant av epidot som kan innehålla upp till 5 viktprocent torium och 0,5 viktprocent uran, påträffas sporadiskt som centimeterstora kristaller i graniter och pegmatiter (fig. 8). Dessa är vanligen mycket glest utspridda och innebär inte nödvändigtvis att hela bergarten är högstrålande.

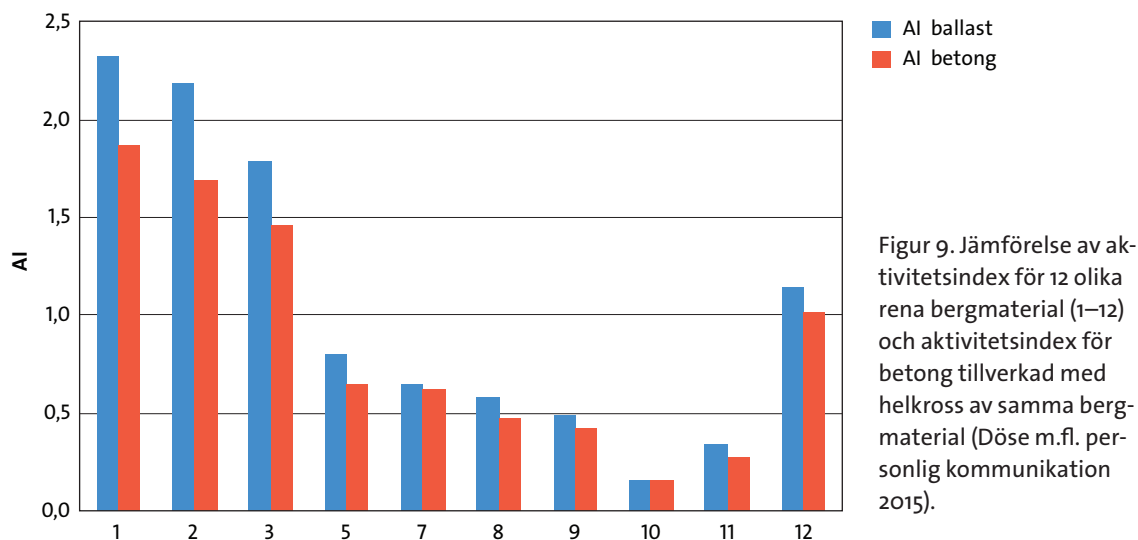
För att snabbt och tillförlitligt få information om berggrundens stålningnivå eller innehåll av uran (radium), torium och kalium, är mätningar med en scintillometer respektive markmätningar med gammasppektrometer en bra metod att använda sig av.



Figur 7. Tunnslipsfotografi av Bohusgranit med tre ca 0,1 mm långa kristaller av zirkon (zrn) mer eller mindre inneslutna i biotit. Zirkoner i graniten innehåller normalt 0,1–0,5 % uran (Eliasson & Schöberg 1991). De svagt till mer stark framträdande mörka halor i biotitkristallen runt zirkonerna beror på att alfa(partikel)strålning orsakar störningar i gitterstrukturen. Planpolariserat ljus. Foto: Thomas Eliasson, SGU.



Figur 8. Rektangulär, ca 15 mm lång, brunsvart kristall av allanit (aln) i en granatförande ådra av pegmatit i Bohusgranit. De radiella mikrosprickor som strålar ur från kristallen uppstår då kristallgittret expanderar på grund av det radioaktiva sönderfallet och kemisk omvandling. Foto: Thomas Eliasson, SGU.



### NATURLIGT RADIOAKTIVA ÄMNER I JORDARTER

Jordarternas innehåll av naturligt radioaktiva ämnen reflekterar innehållet i bergarterna de har bildats av. Ju kortare transport och sämre sortering, desto starkare samband med lokal berggrund. Under vittringsprocessen och avlagringsprocessen sorteras ofta torium- och uranmineral bort. De hamnar ofta i lerfraktionen. Väl sorterad sand, som vanligen används som finfraktion i betong, har oftast relativt låga halter av uran och torium. Ett undantag är sandigt isälvsmaterial i alunskifferområden. Kalium, som finns i huvudmineralen, t.ex. kalifältspat, blir dock till stor del kvar i materialet.

### GAMMASTRÅLNING FRÅN BYGGNADSMATERIAL

Hur mycket gammastrålning som byggnadsmaterialet bidrar med till den färdiga byggnaden beror dels på vilket aktivitetsindex materialet har, dels på i vilken omfattning materialet används. Materialets densitet och tjocklek har också betydelse. Dämpning av gammastrålningen sker i materialet självt. Om materialet är över 3 dm tjockt kan man räkna med att ytterligare förtjockning inte bidrar mer till gammastrålningen inomhus.

Aktivitetsindex för den färdiga betongen motsvarar summan av delarna. I en studie av Döse m.fl. (personlig kommunikation 2015) ser man att aktivitetsindex för helkrossbetong hamnade 16 till 19 % lägre än aktivitetsindex för det ingående ballastmaterialet (fig. 9). Både den färdiga betongen och ballastmaterialet hade då analyserats med gammaspektrometer i laboratorium, enligt den föreslagna nya standarden från arbetsgruppen inom CEN351/WG3. Minskningen är främst en ren utspädningseffekt, eftersom cement och andra tillsatser normalt sett har väldigt låg aktivitet.

I en betong där natursand, med naturligt lägre halter av uran och torium, använts som finfraktion blir resulterande aktivitetsindex lägre.

### RADONAVGÅNG FRÅN BYGGNADSMATERIAL

Allt byggnadsmaterial som innehåller berg, grus, sand eller lera innehåller små mängder av uran och därmed också radium som ger ifrån sig radon. Tidigare använde man ofta ett radiumindex för att försäkra sig om att radiumhalten (uranhalten) inte var för hög. Detta beräknas enligt:  $C_{Ra}/200$ , där  $C_{Ra}$  är aktivitetskoncentrationen för radium i Bq/kg.

Tabell 4. Radiumhalt i några olika byggnadsmaterial samt radonavgång från obehandlad yta (från Radonboken – befintliga byggnader, Clavensjö & Åkerblom 2014).

Material	Radiumhalt, Bq/kg	Radonavgång, Bq/m <sup>2</sup> h
Betong	20–200	2–20
Tegel	40–150	1–10
Sandbaserad lättbetong	10–130	1–3
Skifferbaserad lättbetong	600–2600	50–200

Tabell 5. Uppskattad radonavgång (specifik exhalation, E), för några olika bergarter (från Radonboken – förebyggande åtgärder i nya byggnader (Clavensjö & Åkerblom 2004).

Bergart	Radonavgång, E, per Bq radium-226 och kg material, Bq/m <sup>2</sup> h
Normal granit	0,5
Uranrik granit	1,0
Gnejs	0,5
Skiffer	0,3
Porfyr	0,2

Tabell 6. Radiumhalt och radonavgång från makadam (kornstorlek >8 mm) från Hildingsson (1983).

	Bergart	Radium-226 (Bq/kg)	Radonavgång Bq/(kg×h)	Radonavgång i % av bildat radon
Ulriksdal, Solnakrossen	Ådergnejs + granit	75,1	0,064	11
Göteborg, Tagene	Granit	122,1	0,174	19
Oxelösund, Oxelösund	Granit	74,7	0,036	7
Karlskrona, Verkö	Gnejsgranit	85,5	0,095	15
Lysekil, Sjöbol, Scanraff	Granit	166,9	0,323	26
Trollhättan, Hult	Granit	49,2	0,032	9
Umeå, Brännland	Ådergnejs	60,3	0,046	10
Stävieby, Hardeberga	Sandsten	17,8	0,012	9
Uddevalla, Terås	Gnejs	48,5	0,036	10

I flaggboken (Strålskyddsmyndigheterna i Danmark, Finland, Island, Norge och Sverige 2000) har man skrivit att så länge man håller sig under aktivitetsindex 1 för byggmaterialet, riskerar man inte att byggmaterialet i sig avger radon över de gränsvärden som gäller. I vissa fall eftersträvas radonhalter betydligt under gällande gränsvärde. Då kan man behöva ta tillskottet från byggnadsmaterial i beaktande. Exempelvis är de högsta kraven ("GULD") enligt Miljöbyggnads bedömningskriterier för nyproducerade bostäder och lokalbyggnader (Sweden Green Building Council 2012) en högsta uppmätt radonkoncentration i vistelsezon på 50 Bq/m<sup>3</sup>.

I Radonboken – befintliga byggnader (Clavensjö & Åkerblom 2014) anges siffror på radonavgång från olika byggmaterial, i relation till deras radiuminnehåll, se tabell 4. I Radonboken – förebyggande åtgärder i nya byggnader (Clavensjö & Åkerblom, 2004) finns uppgifter om radonavgång från olika bergarter (tabell 5). I Hildingsson (1983) finns uppgifter om radonavgång från makadamsorteringar från olika täkter (tabell 6).

Det är inte bara radiumhalten i ett material som avgör hur mycket radon som avges. Bara en liten andel av det radon som bildas i byggnadsmaterialet genom sönderfall av radium avgår

från materialet. Andelen radon som avgår beror bland annat av materialets kornstorlek, radiumfördelningen och fukthalten. I sista kolumnen i tabell 6 anges exempel på hur mycket av det bildade radonet som avgår till luften från makadam från olika täkter.

Magnus Döse (CBI) har i sitt forskningsprojekt om strålning från ballastmaterial och betong även tittat på radonavgång från betong, men dessa resultat är ännu inte publicerade.

## LÄGET I SVERIGE

I tabell 7 finns en sammanfattning av SGUs moderna gammaspektromettermätningar på håll. Det är främst olika typer av granitoider och syenitoider som används för betongframställning, dessa har därför redovisats för sig i nedersta raden. Ingen analys har gjorts av huruvida bergarterna är lämpliga för betong för övrigt. Av tabellen framgår att ca 30 % av mätningarna på granitoider och syenitoider har gett ett aktivitetsindex på över 1, medan 4 % av mätningarna har gett ett aktivitetsindex på över 2.

Aktivitetsindex kan också beräknas utifrån kemiska analyser av berörda grundämnen. I ett projekt om restavfall från bergmaterialindustrin har man utfört kemiska analyser på ca 200 prover från bergtäkter för ballastproduktion, naturstenstäkter och industrimineraltäkter (Hallberg 2011). När prover från täkter som levererar kalksten eller marmor (urskilda genom hög MgO+CaO) eller basiska bergarter (urskilda genom låg Zr/TiO<sub>2</sub>-kvot) har undantagits återstår 133 prover. Omkring 35 % av dessa har ett aktivitetsindex på över 1 och 9 % har ett aktivitetsindex över 2.

## Konsekvenser av det nya strålskyddsdirektivet

En slutsats av både de kemiska analyserna och spektromettermätningarna är att vissa bergtäkter, på grund av för hög gammastrålning, inte kommer att kunna leverera material som ska användas till betong för husbyggnadsändamål, i alla fall inte utan någon form av processering eller utblandning. Ersättningsmaterial måste då kanske sökas på större avstånd och blir därmed dyrare.

Ett material med ökad användning i betong är flygaska, som ersätter en del av cementmängden. Flygaska kan vara anrikat på uran, något som kanske minskar användningen.

För att kunna skilja mellan material med högre eller lägre aktivitetsindex behövs fler ballastbehållare eller silor på betongstationen. Detta kan få till följd att man helst tillverkar enbart betong med aktivitetsindex under 1, oavsett vad man ska använda betongen till.

Om naturgruset i betongens ballast ersätts av krossat bergmaterial ökar troligen aktivitetsindex för betongen till mellan 80 och 85 % av bergmaterialets AI. Detta gör att målet att minska naturgrusanvändningen kan bli svårt att nå om resultatet av föreliggande direktiv blir en praxis där endast bergmaterial med AI<1 efterfrågas.

Eftersom det troligen blir så att aktivitetsindex måste redovisas på ingående produkter i betong var för sig, kan man befara att ett aktivitetsindex över 1 skrämmer, även om materialet endast ska utgöra en mindre del av den slutliga betongen och inte representerar aktivitetsindex

Tabell 7. Sammanfattning av SGUs gammaspektromettermätningar på håll.

	Antal mätningar	Antal lokaler <sup>2)</sup>	Kaliumhalt (%) medel / median	Uranhalt (g/ton) medel / median	Toriumhalt (g/ton) medel / median	AI medel / median	Andel med AI över 1 / 2 (%)
Alla mätningar <sup>1)</sup>	45 983	19 163	3,3 / 3,5	5,0 / 3,1	15,3 / 11,9	0,83 / 0,74	25,2 / 3,3
Endast granitoider och syenitoider	27 441	10 918	3,7 / 3,9	5,0 / 3,5	17,9 / 13,8	0,93 / 0,82	32,1 / 4,0

1) Databas uppdaterad september 2015. Innehåller huvudsakligen mätningar från åren 1990–2014.

2) Om flera bergarter mätts på samma lokal räknas det här som två olika lokaler.

för det slutliga byggmaterialet. Det kommer att behövas informationsinsatser riktade mot både producenter och konsumenter av bergmaterial som ska användas till husbyggnadsbetong.

### **ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA INNEHÅLLET AV RADIOAKTIVA ÄMNEN I BALLAST** **Selektiv brytning och krossning, samt blandning av olika bergarter**

I många bergtäkter bryts flera bergarter (fig. 10) och i vissa fall har någon av bergarterna förhöjd strålningsnivå. Om bergarterna är väl avskilda och lätta att känna igen i täktområdet kan selektiv brytning och krossning vara en möjlighet att separera ut högstrålande bergartsled. Då kan man få fram ett bergmaterial som är lämpligt att använda som betongballast till husbyggnad.

Vissa graniter har lågt glimmerinnehåll och får rundade kornformer efter krossning. Detta är gynnsamma egenskaper för att få ett bruk med bra flytegenskaper (kornstorlek mindre än 8 mm) och därmed även god arbetbarhet hos betongen. Dessa graniter är potentiellt lämpliga som ersättningsmaterial till naturgrus vid betongframställning. Om en sådan granit har en förhöjd strålning kan man använda berg med lägre strålning som grovballast (>8 mm) för betongen. Detta kan göras även om dessa bergarter har ett större innehåll av glimmer eller andra flakiga (ogynnsamma) mineral, eftersom sammansättning och textur i grovballasten bara till viss del påverkar betongens flytbarhet.

I bergtäkter där det förekommer flera bergarter bör man göra en dokumentation av de olika bergarternas radioaktivitet. Med selektiv brytning kan man se till att ha rena upplag med de lågstrålande leden.



Figur 10. Bergtäkt i gränsområdet mellan en grå granit och en grå, ådrad sedimentgnejs. Den grå graniten (gr) har ett aktivitetsindex på ca 2,2 och den grå ådergnejsen (gnejs) har ett aktivitetsindex på ca 0,9. De ljusa röda gångarna av pegmatit (peg) har ett aktivitetsindex på ca 0,9. Pegmatiterna skär igenom både graniten och gnejsen. I bergtäkten har man tidigare försökt bryta gnejsen och graniten var för sig. Numera producerar man bergmaterial till bärlager och förstärkningslager samt fyllnadsmaterial och man gör ingen separering av de olika bergarterna. Foto: Thomas Eliasson, SGU.

## Separering av glimmer – reducera strålning?

En metod att minska strålningsnivån i ballastmaterial, som i övrigt har goda reologiska egenskaper som finballast till betong, kan vara att minska innehållet av glimmer i finfraktionen (<2 mm). Som diskuterats ovan finns en mycket stor del av de radioaktiva småmineralen i granitiska och syenitiska bergarter bundna som inneslutningar i glimmer, se figur 5 och 6.

Vindsiktning eller våtsiktning används idag av bergkrossproducenter för att avlägsna överskottsfiller och glimmermineral så att man kan leverera ett lämpligt material till betongindustrin. Teoretiskt skulle man kunna optimera avskiljningen av glimmer med vindsiktning eller våtsiktning i den eller de fraktioner där mängden fri glimmer är stor och på det sättet reducera strålningen från maskinsandsprodukten. Även magnetseparering är en metod som kan vara effektiv för att minska mängden glimmer. Hur stor effekt ovanstående separeringstekniker har på en slutprodukts strålningsnivå är dock ännu inte testat.

## SGUs MATERIAL

SGU har en mängd material som kan användas för att få en överblick över strålningssituationen i ett område. Materialet finns bland annat som rapporter, databaser, kartvisare och kartgenerator. Delar av materialet presenteras nedan. Rapporter om materialförsörjning och ersättningsmaterial för naturgrus presenteras också. Det mesta av SGUs material kan sökas via SGUs webbplats, [www.sgu.se](http://www.sgu.se).

### Rapporter

#### ***Regional planering nyckeln för hållbar materialförsörjning***

För att fortsätta omställningen från att använda naturgrus till alternativa material är det viktigt att få en regional överblick över tillgångar och behov vad gäller byggnadsmaterial. Materialförsörjningsplaner ger förutsättningar för att en region hållbart och långsiktigt ska ha tillgång till byggnadsmaterial i form av krossat berg, grus och sand, s.k. ballastmaterial. Detta material behövs för att utveckla infrastruktur och till bostadsbyggande. SGU har tagit fram en metodik för detta som presenteras i rapporten *Metodbeskrivning för regional materialförsörjningsplanering* (Grånäs 2015).

#### ***Ersättningsmaterial för naturgrus***

För att både samhällets behov av ballast för byggnation och en säker och hållbar dricksvattenförsörjning ska tryggas krävs att det ändliga naturgruset nyttjas restriktivt. SGU har därför, tillsammans med ballastproducenterna, länsstyrelserna och betongbranschen, tagit fram rekommendationer och beskrivningar av de användningsområden som det idag finns respektive saknas ersättningsmaterial för.

Skriften *Ersättningsmaterial för naturgrus – kunskapssammanställning och rekommendationer för användningen av naturgrus* (Göransson 2011) riktar sig till länsstyrelser, kommuner och täktföretag som ett stöd i tillståndsprocessen. Rapporten uppdateras just nu och den uppdaterade versionen utkommer inom kort.

#### **Flygmätningar av gammastrålning**

Flygmätningar av gammatrålning ger en bra överblick av markytans innehåll av kalium, uran och torium. SGU har utfört flygmätningar sedan 1960-talet. År 1968 började man mäta gammastrålning. I dagsläget är nästan hela Sverige täckt av strålningsmätningar. Kartor över markytans beräknade uranhalt och ett aktivitetsindex beräknat från halterna av kalium, uran och torium i den översta delen av markytan finns i figur 2 respektive figur 3.

I en mer detaljerad karta över aktivitetsindex, i kombination med berggrundskarta och jordartskarta, kan man spåra områden där bergmaterial som bryts riskerar att ha sådana halter av radionuklider att man måste vara försiktig när man producerar betong för husbyggnadsändamål.

Flygmätning gör man på 60 meters höjd över markytan. Det innebär att man mäter på en area snarare än en punkt. Flygmätning ger därför ett något utjämnat resultat, jämfört med markmätningar, vilket gör att halterna man mäter upp på håll ofta är högre (fig. 11). Områden med förhöjd strålning syns på flygmätningen, men smala horisonter med kraftigt förhöjd strålning, t.ex. pegmatiter, syns ofta inte. Skillnaden mellan flygmätning och markmätning är större i våtmarksområden, eftersom vatten dämpar strålningen, och mindre i rena hållområden.

I områden med tillfört material, som tätorter, ser man snarare det tillförda materialet (vägbyggnadsmaterial, husbyggnadsmaterial) än det som naturligt ligger under. Områden med blåbetonghus och idrottsplatser med rödfyrsbeläggning syns till exempel ofta tydligt.

I SGUs kartvisare finns separata skikt för kaliumstrålning, uranstrålning och toriumstrålning. Materialet kan också beställas som databas. Det är kostnadsfritt om man är medlem i Geodatasamverkan.

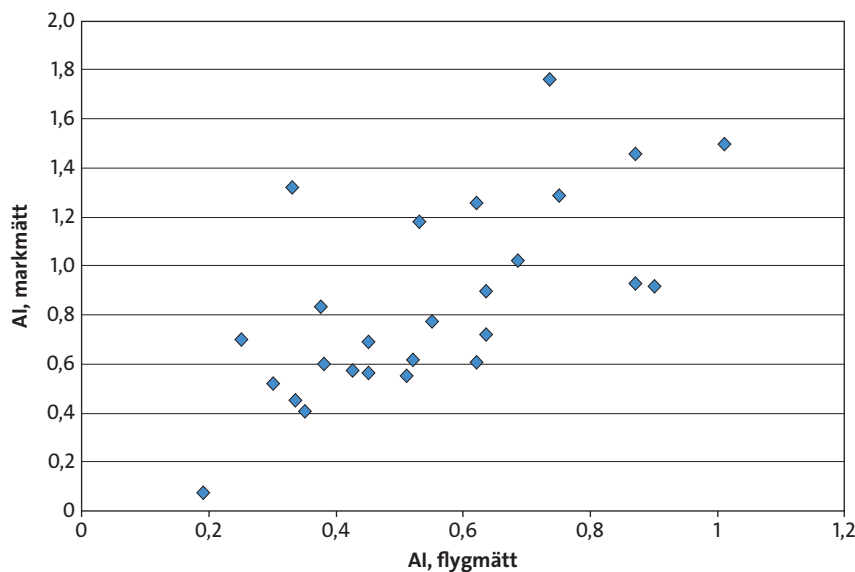
### Kartvisaren Ballast

Syftet med kartvisaren ”Ballast” är att samla den information från SGU som har betydelse för planeringen av samhällets ballastförsörjning.

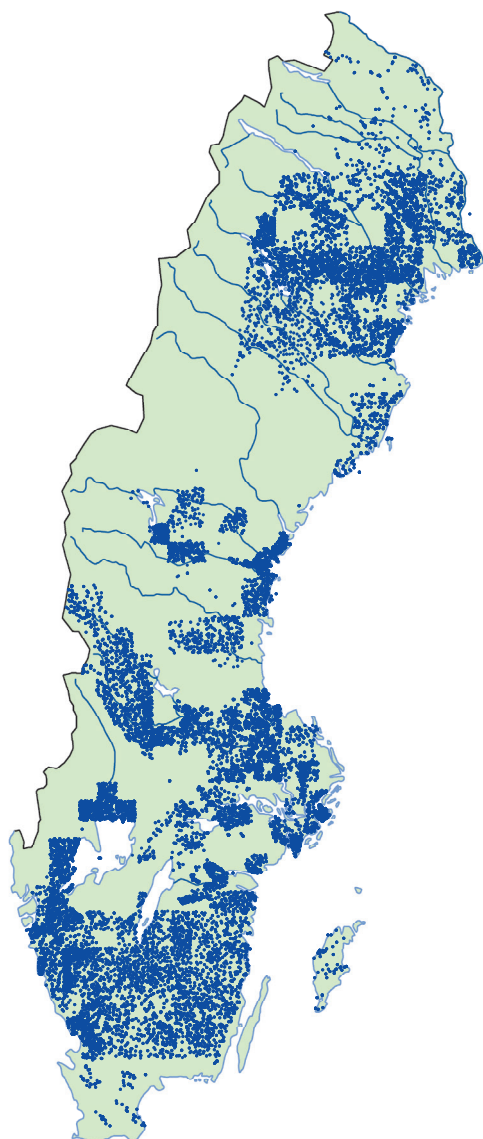
Kartvisaren innehåller information om naturgrus, moränförekomster, grundvattenmagasin och tillståndsgivna täkter. Olika bergarter har olika egenskaper och lämpar sig inte för alla former av ballast. Berggrunden har därför klassats med avseende på olika användningsområden. Tekniska analyser, glimmerhalt och aktivitetsindex för markmätta hållar, som ligger till grund för klassningen redovisas också. Informationen om berggrundens kvalitetsklassning finns i begränsade områden. Det finns en täckningskarta i kartvisaren.

### Markmätningar av kalium, uran och torium

SGU har sedan 1990 gjort över 45 000 markmätningar med gammaspektrometer på mer än 17 000 lokaler, ofta på mer än en bergart på individuella lokaler. Mätningarna är i de flesta fall



Figur 11. Jämförelse av aktivitetsindex (AI) beräknade från K, U och Th mätt med gamma-spektrometer på håll i eller nära täkt, med aktivitetsindex beräknade från K, U och Th från interpolerade flygmätningensdata i 26 täkter.



Figur 12. Lokaler för markmätningar med spektrometer i SGUs databas, september 2015. Mätningar utförda under senaste året tillkommer.

utförda i samband med berggrundskartering, men ibland också i samband med radonundersökningar och täktundersökningar. De är inte jämnt fördelade över landet (fig. 12). Materialet finns som databas med beräknade halter av kalium, uran och torium i enskilda mätpunkter. Beräknade aktivitetsindex för enskilda mätningar finns i kartvisaren Ballast.

I samband med berggrundskartering har det också gjorts mer än 5 000 kemiska analyser (litogeokemi) av bergartsprover, där analyser av kalium, uran och torium ingår.

### **MÄTNING AV AKTIVITETSINDEX I TÄKT**

En översiktlig bild av strålningssituationen kan man få med SGUs kartvisare över gammastrålning och ballast. För att få en detaljerad bild behöver man mäta i tåkten, eller analysera prover från tåkten.

#### ***Val av mätmetod***

I Sverige har vi traditionellt sett använt gammasppektrometer för att mäta halten av kalium, uran eller radium och torium i fält. Det finns relativt mycket bakgrundsmaterial. Många konsulter



använder numera en handburen gammaspektrometer. Det är lätt att mäta och man kan göra många mätningar snabbt. Eftersom de flesta gammaspektrometrar idag även fungerar för att mäta totalstrålningen, får man lätt en överblick över strålningsvariationer i tåkten. Om man mäter i bergtåkt är det dock bäst att mäta på avrymda hållar ovanför tåkten, eftersom man annars kan få för höga värden på grund av inverkan från täktväggarna.

Enligt den standard för analys av kalium, radium och torium i byggmaterial som föreslås av CEN315/WG3-gruppen används gammaspektrometrisk analys av tagna prover i laboratorium.

I Norge föreslås att man tar ut representativa prover för kemisk analys hellre än att mäta med gammaspektrometer i tåkt. Man rekommenderar att 20 prover tas, så att man får en relativ standardavvikelse på mindre än 10 % (Watson m.fl. 2013).

I den norska rapporten har man jämfört mätning med gammaspektrometer i tåkt med kemisk analys. Vid låga halter av radioaktiva ämnen gav gammaspektrometern generellt sett högre koncentrationer, medan den gav något lägre resultat än kemisk analys vid höga koncentrationer. Skillnaden mellan gammaspektrometrimätning och kemisk analys kan förklaras med att en gammaspektrometer i fält mäter på en större volym material. Det är då större sannolikhet att man får med inverkan från de oregelbundet fördelade radioaktiva mineralkornen.

### **Representativ provtagning**

Oavsett mätmetod är det viktigt att man först går över tåkten och mäter den totala gammastrålningen. På så vis ser man om strålningen varierar mycket eller lite. Eftersom de accessoriska uranmineralen och toriummineralen ofta uppträder något ojämnt fördelade i berggrunden är det viktigt att mätningen med scintillometer täcker en stor yta. Man väljer sedan ut punkter för gammaspektrometrimätning eller provtagning som är representativa, där man bestämmer halterna av kalium, uran och torium. Det är också bra att mäta på punkter som representerar extremnivåer. Det är viktigt att kontrollera om det finns olika bergarter eller bergartsled i tåkten. Rikligt med pegmatitgångar kan orsaka en förhöjd strålning för slutprodukten om de inte kan sorteras ut när man bryter.

### **Mätning med gammaspektrometer i tåkt**

Mät helst med gammaspektrometer på avrymda hållar ovanför täktväggarna för att få en bra mätgeometri. Om mätningar ska göras nere i tåkten, tänk på att uppmätta halter kan bli för höga p.g.a. inverkan från bergmaterialet från närliggande täktväggar. Om man ska mäta i krossmaterial, överväg att mäta i grop. Tänk då på att gropen måste vara relativt djup och inte för vid och glöm inte geometrikorrektion. Om materialet är för grovt för att det ska gå att gräva en grop i, mät på toppen av ett upplag och platta till materialet.

Ju fler mätningar som görs, desto bättre. Välj mellan färre mätningar med längre mättid och många mätningar med kortare mättid. Antal mätningar beror på hur mycket materialet i tåkten varierar. Om det förekommer flera bergarter – se till att ha bra statistik på alla eller åtminstone dem som är relevanta.

Tänk på att en gammaspektrometer mäter en volym som sträcker sig 2–3 dm ner. Man mäter alltså bara på ytan. Det finns en metod där en bergvolym mäts med gammaspektrometer i ett flertal borrhål. Detta ger en bra tredimensionell bild av bergvolymens radioaktivitet. I de flesta fall kan man få en bra bild av strålningsvariationerna i tåkten från ytan.

### **REFERENSER**

Andersson, P., Carlsson, M., Falk, R., Hubbard, L., Leitz, W., Mjönes, L., Möre, H., Nyblom, L., Söderman, A.-L., Yuen Lasson, K., Åkerblom, G. & Öhlén, E., 2007: Strålmiljön i Sverige. *Statens strålskyddsinstitut, SSI Rapport 2007:02*, 138 s.

- Bea, F., 1996: Residence of REE, Y, Th, and U in granites and crustal protoliths: implications for the chemistry of crustal melts. *Journal of Petrology* 37, 521–552.
- Broska, I., Petrik, I. & Williams, T., 2000: Coexisting monazite and allanite in peraluminous granitoids of the Tribeč Mountains, Western Carpathians. *American Mineralogist* 85, 22–32.
- Clavensjö, B. & Åkerblom, G., 2004: *Radonboken – förebyggande åtgärder i nya byggnader*. Formas, 106 s.
- Clavensjö, B. & Åkerblom, G., 2014: *Radonboken – befintliga byggnader*. Svensk Byggtjänst, 240 s.
- EC, 1999: *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Radiation protection 112*. European commission, directorate–general environment, nuclear safety and civil protection, 16 s.
- Eliasson, T. & Schöberg, H., 1991: U-Pb dating of the post- kinematic Sveconorwegian (Grenvillian) Bohus granite, SW Sweden: Evidence of restitic zircon. *Precambrian Research* 51, 337–350.
- Grånäs, K., 2015: Metodbeskrivning för regional materialförsörjningsplanering. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2015:15*, 32 s.
- Göransson, M., 2011: Ersättningsmaterial för naturgrus – kunskaps-sammanställning och rekommendationer för användningen av naturgrus. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2011:10*, 32 s.
- Hallberg, A., 2011: *Slutrapport – materialkaraktisering – positive list för restmaterial – Del 2*. Rapport nr 3.2a-3, MinBaS II. Hämtat från 2015-09-18. <<http://www.minfo.se/minbas/32a-3.pdf>.
- Heaman, L.M. & Le Cheminant, A.N., 1993: Paragenesis and U-Pb systematics of baddeleyite (ZrO<sub>2</sub>). *Chemical Geology* 110, 95–126.
- Hildingsson, O., 1984: Radon från naturgrus och makadam. Provningsmetodik och konsekvenser för inomhusmiljö. *Statens provningsanstalt, teknisk rapport 1983:28*, 45 s.
- Pavlidou, S., Koroneos, A., Papastefanou, C., Christofides, G., Stoulos, S. & Vavelides, M., 2006: Natural radioactivity of granites used as building materials. *Journal of Environmental Radioactivity* 89, 48–60.
- Patrick, R.A.D., Charnock, J.M., Geraki, T., Mosselmans, J.F.W., Pearce, C.I., Pimblott, S. & Droop, G.T.R., 2013: Alpha particle damage in biotite characterized by microfocus X-ray diffraction and Fe K-edge X-ray absorption spectroscopy. *Mineralogical Magazine* 77, 2867–2882.
- Péres-Soba, C. & Villaseca, C., 2014: Uranium rich accessory minerals in the peraluminous and perphosphorous Belvís de Monroy pluton (Iberian Variscan belt). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 167:1008, 1–25.
- Petersson, P. & Eliasson, T., 1997: Mineral evolution and element mobility during episyenitization (dequartzification) and albitization in the postkinematic Bohus granite, southwest Sweden. *Lithos* 42, 123–146.
- Socialstyrelsen, Statens planverk & Strålskyddsinstitutet, 1981: Strålning i byggnader. Om olägenheterna med radon och hur de kan motverkas. *Statens planverk Rapport 54*, 119 s.
- Strålskyddsmyndigheterna i Danmark, Finland, Island, Norge & Sverige, 2000: *Naturally occurring radioactivity in the Nordic countries – recommendations*. The radiation protection authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 80 s.
- Sweden Green Building Council, 2012: *Miljöbyggnad – Bedömningskriterier för nyproducerade byggnader*. Manual 2.1, utgåva 120101, 54 s.
- Wark, D.A. & Miller, C.F., 1993: Accessory mineral behavior during differentiation of a granite suite: monazite and xenotime in the Sweetwater Wash pluton, southeastern California, U.S.A., *Chemical Geology* 10, 46–67.
- Watson, R.J., Erichsen, E., Finne, T.E., Ganerød, G.V., Neeb, P.R., Rønning, J.S. & Tangstad, R., 2013: Radontrygge byggeråstoffer. Vurdering av kartleggingsmetoder og fastsettelse av grenseverdier for pukkbergarter. *Norges geologiska undersökning NGU Rapport 2013.031*, 85 s.