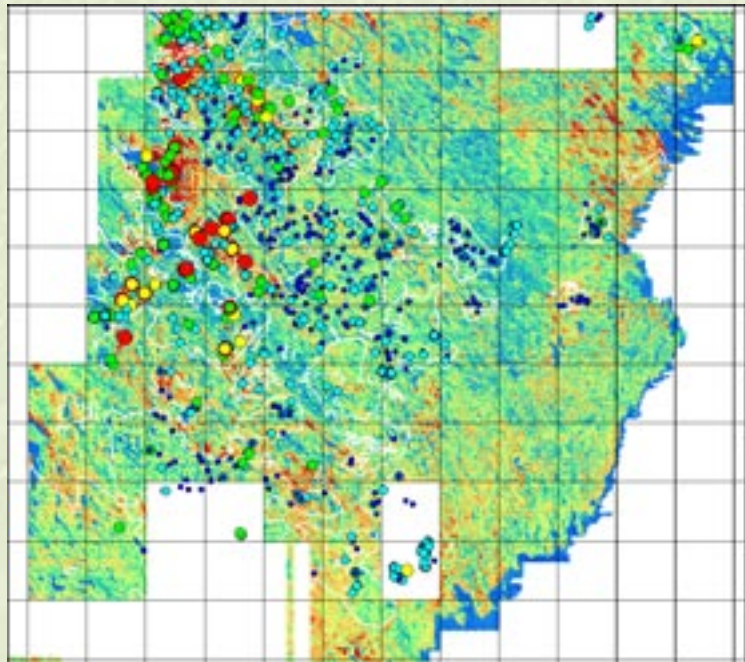




Sveriges geologiska undersökning

# Analys av de svenska granitoidernas petrofysiska egenskaper

FoU-projekt nr 5280



Ildikó Antal, Leif Kero,  
Johan Söderman, Sven Aaro & Lutz Kübler

Analys av de svenska granitoidernas petrofysiska egenskaper. FoU-projekt nr 5280

SGU-rapport  
2002:42

SGU-rapport  
2002:42



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING .....	2
ALLMÄNT OM PETROFYSIK .....	3
ANVÄNDBARA SAMBAND .....	3
METODBESKRIVNING .....	6
ARBETSGÅNG .....	8
ANALYSEXEMPEL FRÅN FLYGDATA .....	11
ANALYSRESULTAT FRÅN DE UNDERSÖKTA OMRÅDENA .....	14
<i>NORRA NORRBOTTEN, KARTVÅDEN 25-32</i> .....	14
MELLERSTA NORRLAND, KARTVÅDEN 19-24 .....	16
<i>Inbördesförhållanden inom gruppen 724, G1- sviten</i> .....	18
SÖDRA NORRLAND, KARTVÅDEN 13-18 .....	19
BERGSLAGEN, KARVÅDEN 9-13 .....	20
<i>Inbördesförhållanden inom gruppen 712 (GP 1.85-1.75 Ga)</i> .....	20
SÖDRA SVERIGE, KARTVÅDEN 1-8 .....	22
BETYDELSEN AV UPPLÖSNING I DATA .....	22
RUMSLIGA VARIATIONER INOM SAMMA GRUPP, REVSUNDSGRANITER – ETT EXEMPEL FRÅN KARVÅDEN 19-24 .....	24
SLUTSATSER .....	26
LITTERATURFÖRTECKNING .....	27

## TABELLER

### Appendix (CD )

- Bilaga 1. Analys av granitoidernas gammastrålningsegenskaper över hela landet med hjälp av matrisdiagram*
- Bilaga 2. Analys av granitoidernas gammastrålnings- och petrofysiska egenskaper, våden 25-32*
- Bilaga 3. Analys av granitoidernas gammastrålnings- och petrofysiska egenskaper, våden 19-24*
- Bilaga 4. Analys av granitoidernas gammastrålnings- och petrofysiska egenskaper, våden 14-18*
- Bilaga 5. Analys av granitoidernas gammastrålnings- och petrofysiska egenskaper, våden 9-13*
- Bilaga 6. Analys av granitoidernas gammastrålnings- och petrofysiska egenskaper, våden 1-8*

## **Sammanfattning**

Projektet är en analys av de svenska granitoidernas petrofysiska egenskaper. Syftet är att ge de i landet förekommande granitoiderna ett signalement med hänsyn till deras petrofysiska egenskaper, samt öka kunskapen och erfarenheten om bergarternas fysikaliska egenskaper.

Data har delats upp i grupper utifrån redan kända åldersförhållanden med hänsyn tagen till den geografiska indelningen i projekt nr 5172 (Ahl et al 2001). Som bergrundsgeologiskt underlag har Fennoskandiska skölden använts. Informationen från de olika grupperna har behandlats statistiskt och jämförts med varandra. Först behandlades och dokumenterades datamängden över hela Sverige, sedan delades datamängden upp över fem olika områden. Den rumsliga variationen studerades också.

I rapporten visas bara ett urval av diagram från varje område pga tid och utrymmesskäl. Resten av analyserna har samlats i ett appendix i form av bilagor på CD.

Analysen visar att granitoiderna uppvisar skillnader med avseende på petrofysiska och gammastrålningsegenskaper i relation till ålder. Även rumsliga variationer påvisades inom samma litologi.

Som ett indirekt resultat av projektet har vi nu tillgång till en första sammanställning i databasform innehållande gammaspektrometermätningar på berghällar, i jordarter och på handstuffer.

## Allmänt om petrofysik

Sveriges geologiska undersökning (SGU) påbörjade regelmässiga mätningar av bergartsprovs densitet och magnetiska egenskaper, susceptibilitet och remanent magnetisering, i slutet av 1960-talet. Dessförinnan utfördes mätningar på speciella objekt, främst malmmineraliseringar. I mitten av 1980-talet påbörjades även systematiska mätningar av bergarters gammastrålningsegenskaper. Huvuddelen av dessa har utförts på berghällar inom de områden som varit föremål för berggrundskartering. Handburna spektrometrar för mätning av gammastrålningen från sönderfallsserierna för uran-238 och för torium-232 samt för kalium-40. Densiteten och de magnetiska egenskaperna har i huvudsak bestämts på så kallade handstuffer med en vikt av 0,5-1,0 kg. Spektrometermätningarna i laboratorium har utförts dels på plansågade handstuffer, dels på pulveriserade prov. De först nämnda vid SGAB:s laboratorium i Luleå och de senare i huvudsak vid GTK i Finland. Vissa mätningar av pulveriserade prov har även utförts vid SGU:s eget laboratorium i Uppsala.

Avsikten med de petrofysiska mätningarna är att koppla ihop berggrundsgeologin med främst magnetfältsmätningarna och tyngdkraftsmätningarna men även med gammastrålningsmätningarna. Genom att känna till bergartens petrofysiska egenskaper kan bergartsutbredningen vid ytan definieras på ett utomordentligt sätt trots att det blottade berget enbart kan observeras inom en bråkdel, inom vissa områden mindre än 1 % av den kartlagda ytan. Dessutom är bergarternas densitet och magnetiska egenskaper avgörande vid beräkning av de olika bergartsledens djupförhållanden, stupningar etc. De petrofysiska mätningarna är också till stor hjälp vid bergartsklassifikationen. Här är bergartens densitet och gammastrålningsegenskaper mycket viktiga parametrar, t.ex. ger spektrometermätningarna en mycket tillförlitlig analys av kaliumhalten i en bergart. Kalium utför tillsammans med kisel och kalcium de tre viktigaste elementen vid klassificering av intrusiva bergarter. Även vid klassificering av sedimentära bergarter betyder de petrofysiska egenskaperna en hel del.

Idag innehåller SGU:s petrofysiska databas ca 70 000 analyser av densitet, susceptibilitet och q-värde (förhållandet mellan remanent och inducerad magnetisering). Gammastrålningsmätningar på berghällar har fram till år 2000 utförts på ca 5000 lokaler på ca 15 000 mätpunkter. Mät och provtagningslokaler för gammastrålningsdata och petrofysiska data framgår av fig. 1.

Provtagningen och mätningsförfarandet vid SGU har dokumenterats av Werner (1945), Henkel och Nisca (1998). Bearbetningen och databasen av Niskanen och Röhr (1969), Henkel och Larkin (1974) samt av Aaro och Claréus (1992).

## Användbara samband

I analyserna har % för kalium samt ppm för uran och torium använts om inte annat anges. För densitet, susceptibilitet och remanent magnetisering har SI- enheter använts.

I undersökningarna har även gamma- och radiumindex beräknats och använts.

*Radiumindex* är ett mått på mängden radium som ingår i ett material. Detta index skall för byggnadsmaterial vara mindre än 1,0 (BFS 1990:28).

Radiumindex 1,0 motsvarar ca 16 ppm uran eller 200 Bq/kg radium-226.

*Gammaindex* är ett mått på den totala gammastrålningen som avges från ett material.

Beräkningen av gammaindex sker med formeln:

$$m_{\gamma} = C_K/3000 + C_{Ra}/300 + C_{Th}/200.$$

$C_K$  är koncentrationen kalium-40,  $C_{Ra}$  är koncentrationen radium-226 and  $C_{Th}$  koncentrationen torium-232, alla i enheten Bq/kg. Gammaindex  $m_\gamma$  bör för byggnadsmaterial vara mindre än 2 (Åkerblom m.fl. 2000).

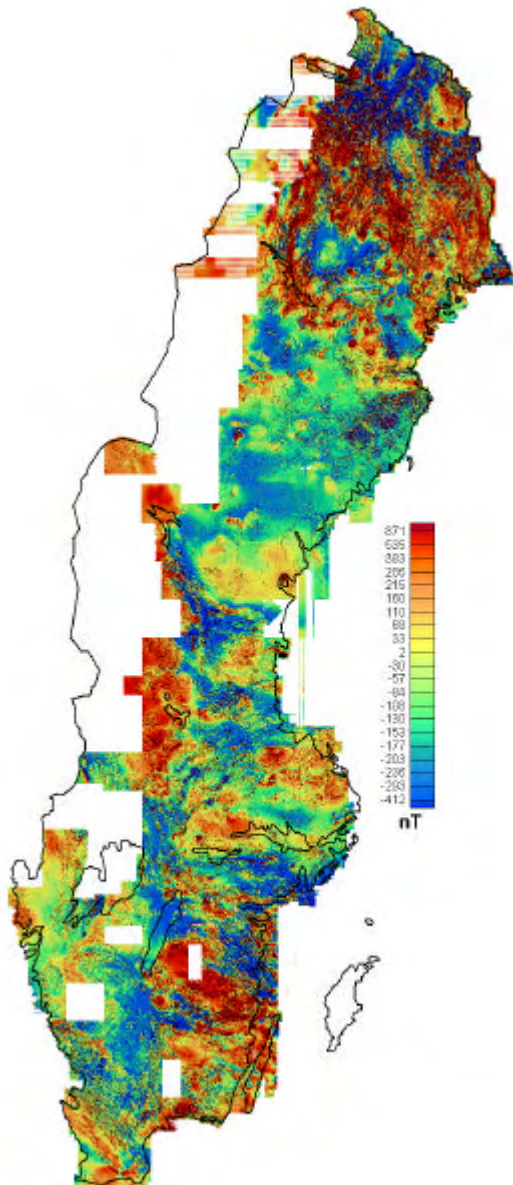


Fig. 1. Magnetisk anomalikarta

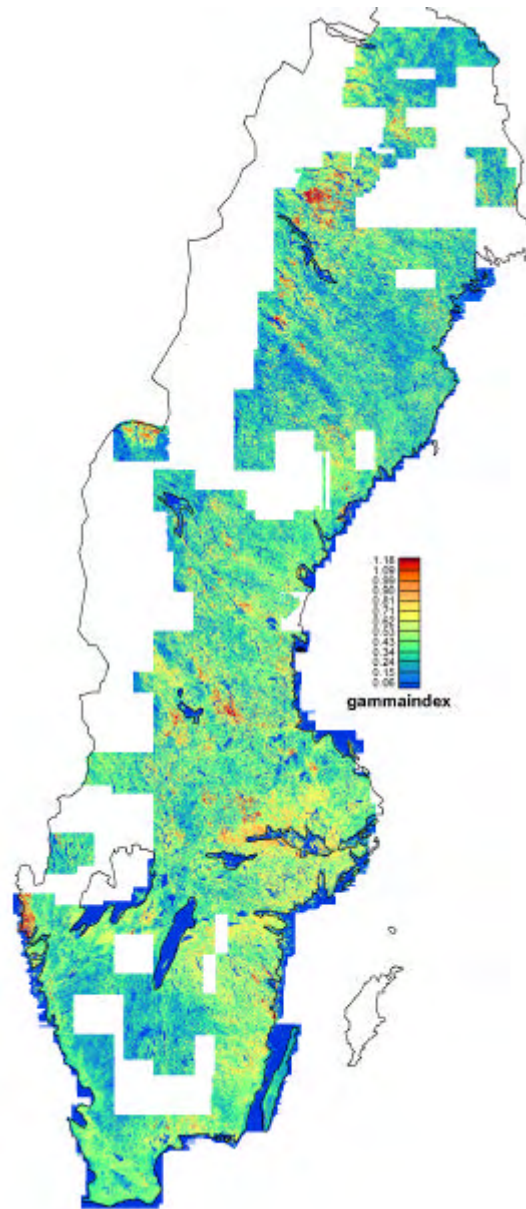
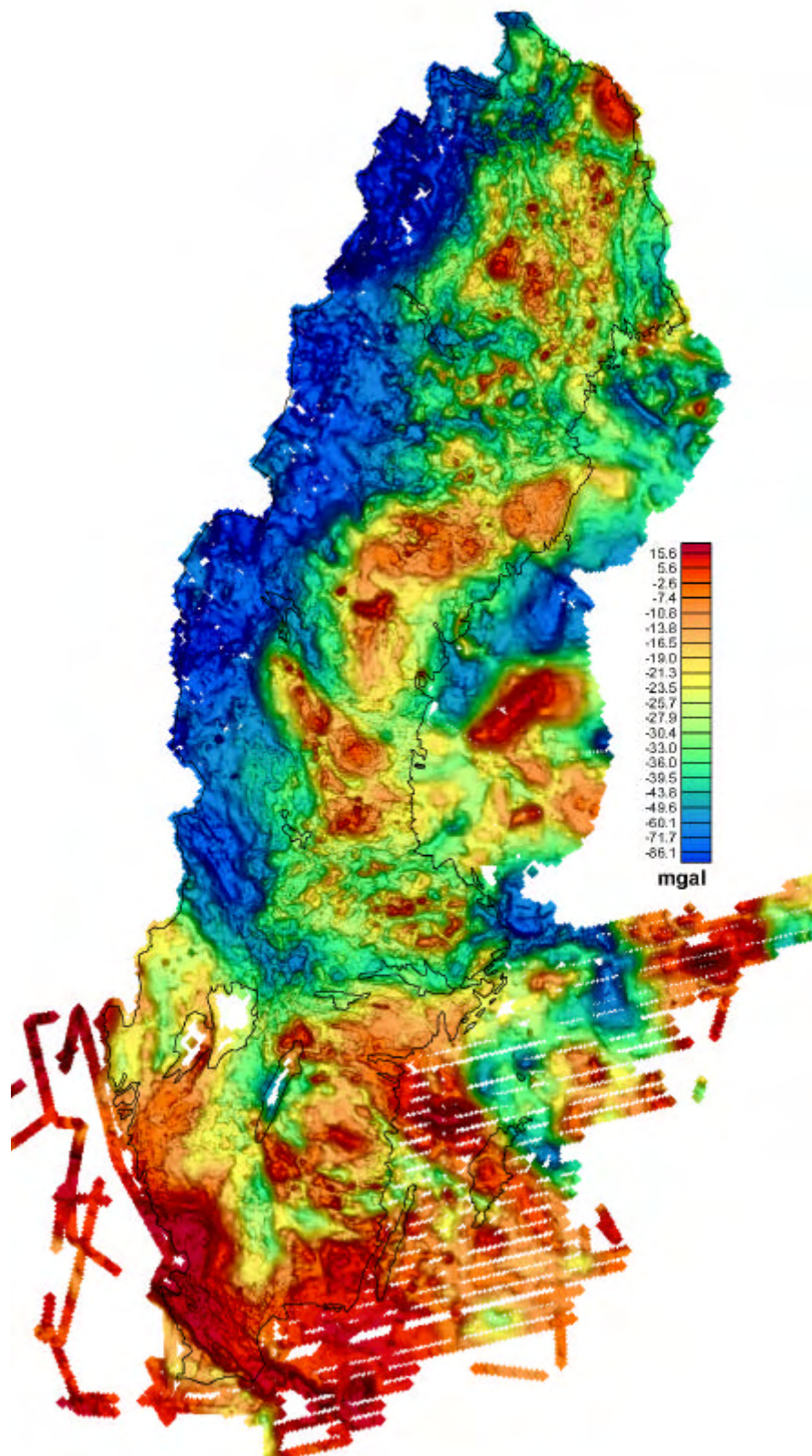


Fig. 2. Gammastrålningskarta uttryckt som gammaindex över Sverige



*Fig. 3 Tyngdkraftsfältet uttryckt som Bougueranomali*

Omräkningsfaktorer:

1% K= 313 Bq/kg

1 ppm U = 12,35 Bq/kg

1 ppm Th= 4,06 Bq/kg

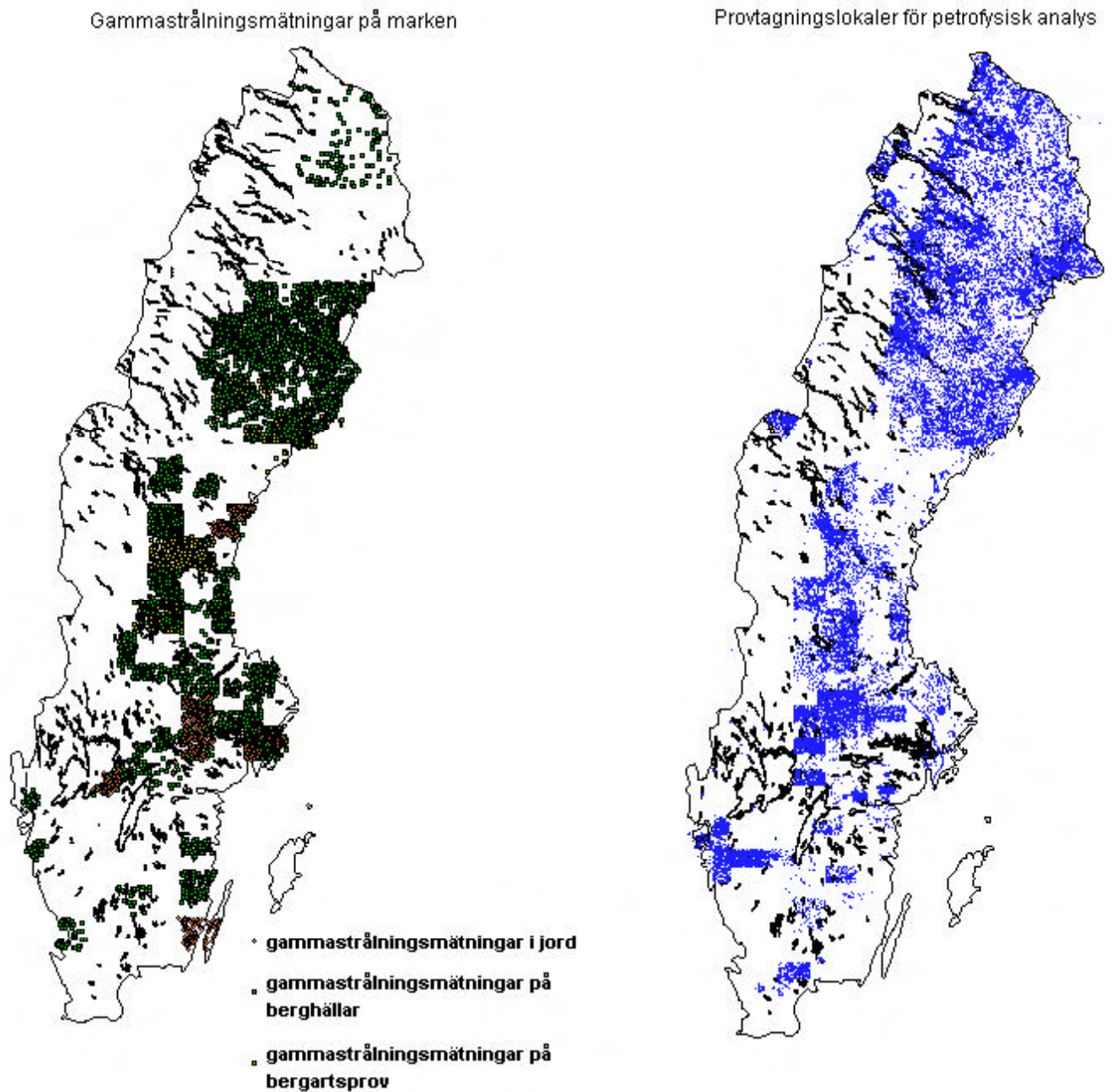


Fig. 4. Läget för gammastrålningsmätningar på marken till vänster och provtagningslokaler för mätning av petrofysiska egenskaper till höger.

## Metodbeskrivning

Urvalet av data har gjorts enligt samma principer dock inte med samma detaljeringsgrad som i projektet Geochemical classification of plutonic rocks in central and northern Sweden, 2001 av Ahl m. fl. dvs utifrån kända åldersförhållanden. För att eftersträva ett så jämn

berggrundsgeologiskt underlag som möjligt har bergrundskartan Fennoskandiska skölden (Sverige) använts som urvalsunderlag. Valet gjordes med hjälp av programvaran **Mapinfo**. Nackdelen med denna typ av urvalsförfarande är att även bergarter som inte hör till granitoider såsom gångbergarter och ytbergarter med mindre utsträckning etc kan ha ”smugit” in i databasen. Detta på grund av alltför grovt berggrundsgeologiskt underlag. På grund av tidsbegränsningen fanns det inga möjligheter för manuell utrensning av icke granitoider. För den berggrundsgeologiska beskrivningen av bergarterna hänvisar vi till rapporten *Geochemical classification of plutonic rocks in central and northern Sweden, 2001* av Ahl m. fl.

De koder som har använts i klassificeringsarbetet visas i tabell 1. Koderna kommer att användas i rapporten som beteckning för de olika åldersgrupperna.

513 Granite, pegmatite (c. 1.00-0.92 Ga)
524 Granite, syenite and metamorphic equivalents (c. 1.25-1.22 Ga)
529 Granite, monzonite, syenite and metamorphic equivalents (c. 1.56-1.22 Ga)
531 Granodiorite, tonalite, granite, monzonite and metamorphic equivalents (c. 1.61-1.59 Ga),
546 Metagranite (c. 1.70-1.60 Ga)
547 Metagranodiorite, metatonalite (c. 1.70-1.60 Ga)
617 Granite, quartz monzonite, syenite and metamorphic equivalents (c. 1.45-1.33 Ga)
619 Dolerite, metadolerite, amphibolite, gabbro, metagabbro, granophyre (c. 1.57-1.47 Ga)
620 Granite, quartz monzonite, syenite, nepheline syenite and metamorphic equivalents (c. 1.58-1.47 Ga)
655 Granite, quartz monzonite, monzonite, quartz syenite and metamorphic equivalents (c. 1.71-1.66 Ga, in part older, possibly down to c. 1.85 Ga)
703 Granite, granodiorite, quartz monzonite, monzonite, syenite and metamorphic equivalents (c. 1.85 Ga and c. 1.81-1.76 Ga)
704 Granodiorite, tonalite, granite and metamorphic equivalents (c. 1.85-1.83 Ga and c. 1.77 Ga)
706 Fine- to medium-grained, granitic orthogneiss, uncertain origin (c. 1.70 Ga or possibly older)
712 Granite, pegmatite (c. 1.85-1.75 Ga)
719 Granite, pegmatite (c. 1.88-1.86 Ga)
720 Granite, monzonite, syenite, locally metamorphosed (c. 1.88-1.86 Ga)
724 Granodiorite, tonalite, granite, monzonite, syenite and metamorphic equivalents (c. 1.89-1.87 Ga, in part younger, up to c. 1.85 Ga)
730 Granodiorite, tonalite, gabbro and metamorphic equivalents; alkaline gneiss (c. 1.96-1.90 Ga)
916 Granite, granodiorite, diorite, quartz diorite, granite-porphyrity ( 2.75-2.65 Ga)
918 Tonalite-trondhjemite-granodiorite gneiss and migmatite, with mafic and felsic enclaves

Tabell 1. Koder som har använts för klassificeringen. Varje kod motsvarar ett åldersintervall som framgår i tabellen

Följande praktiska problem har uppstått under projektet:

- vid projektstarten saknades en enhetlig databas innehållande gammastrålningsmätningar. Data låg i olika filer, en del felaktiga koordinater, koder etc.
- datakvaliteten i den befintliga petrofysiska databasen, innehållande uppgifter om bergarternas susceptibilitet, remanens och densitet, är mycket varierande. Det finns brister i dokumentationen av insamlad data vad gäller koordinater, kodning, ursprung etc. Dokumentationen av mätnoggrannhet, enhetsspecifikation etc är inte heller spårbara inom ramen för detta projekt, vilket leder till felaktigheter i de statistiska bearbetningen. Avrundningsfel är ofta förekommande vid de lägre magnetiseringsnivåerna.
- bergartskoderna har fastställts med hjälp av digitaliserad bergartsyta vilket innebär att små bergartsenheter såsom gångar och ytbergarter har fallit bort beroende på upplösning och skala. Det innebär att felaktiga värden har kommit med i data.

Sammanställningen av alla gammastrålningsdata till en databas har gjorts av Sandy Larkin. Jonas Nilsson har varit till stor hjälp vid rensningen av denna databas.

## Arbetsgång

Arbetsgången har varit följande:

1. Halterna kalium, uran, torium, gammaindex, radiumindex, kvoterna Th/K, U/K och U/Th samt densitet, susceptibilitet och Q- värden över hela landet plottades i matrisdiagram för att upptäcka trender i materialet. Exempel på matrisdiagram visas i fig. 5.

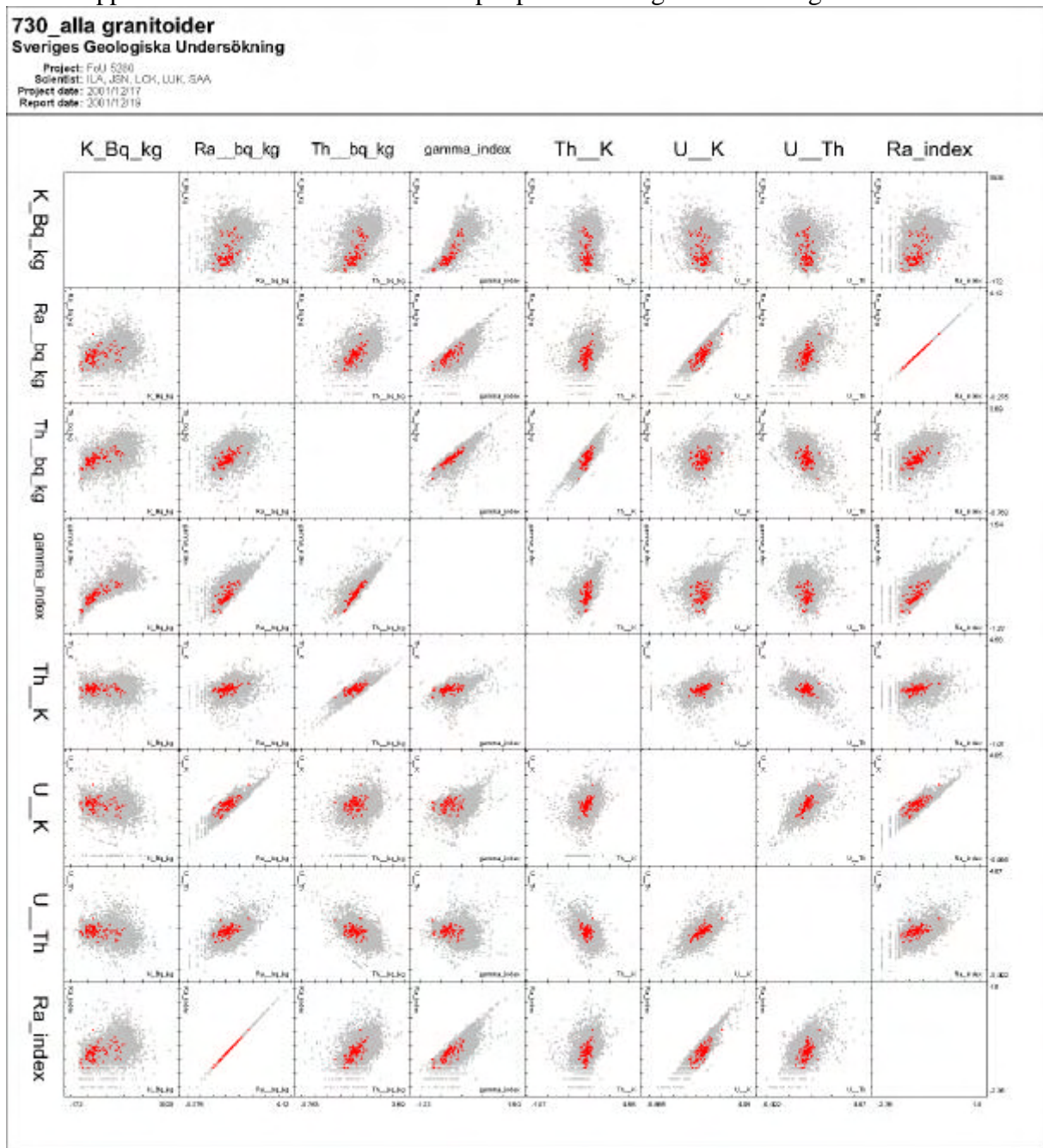


Fig.5. Kalium, radium, torium, gammaindex, radiumindex samt kvoterna TH/K, U/K och U/Th plottas mot varandra för att upptäcka trender i materialet. Här visas gruppen 730 (1.96 – 1.90 Ga) från hela landet mot alla andra granitoider. Kalium, radium och torium är omräknade till Bq/kg.

Kalium, uran och toriumhalter plottades även i triangeldiagram. *Resultatet av analysen redovisas i appendix (på medföljande CD) som bilagor på slutet av rapporten.* De rumsliga variationerna inom samma grupp studerades också.

2. Statistisk analys över följande kartvåder har utförts (fig.3) :
  - Våden 25-32
  - Våden 19-24
  - Våden 14-18
  - Våden 9-13
  - Våden 1-8
3. Urval inom samma ålderskategori för att påvisa inbördes variationer
4. Tvåvariabel och ternärddiagram för att visualisera skillnader
5. Geografiska variationer inom samma grupp – ett exempel från kartvåden 19-24

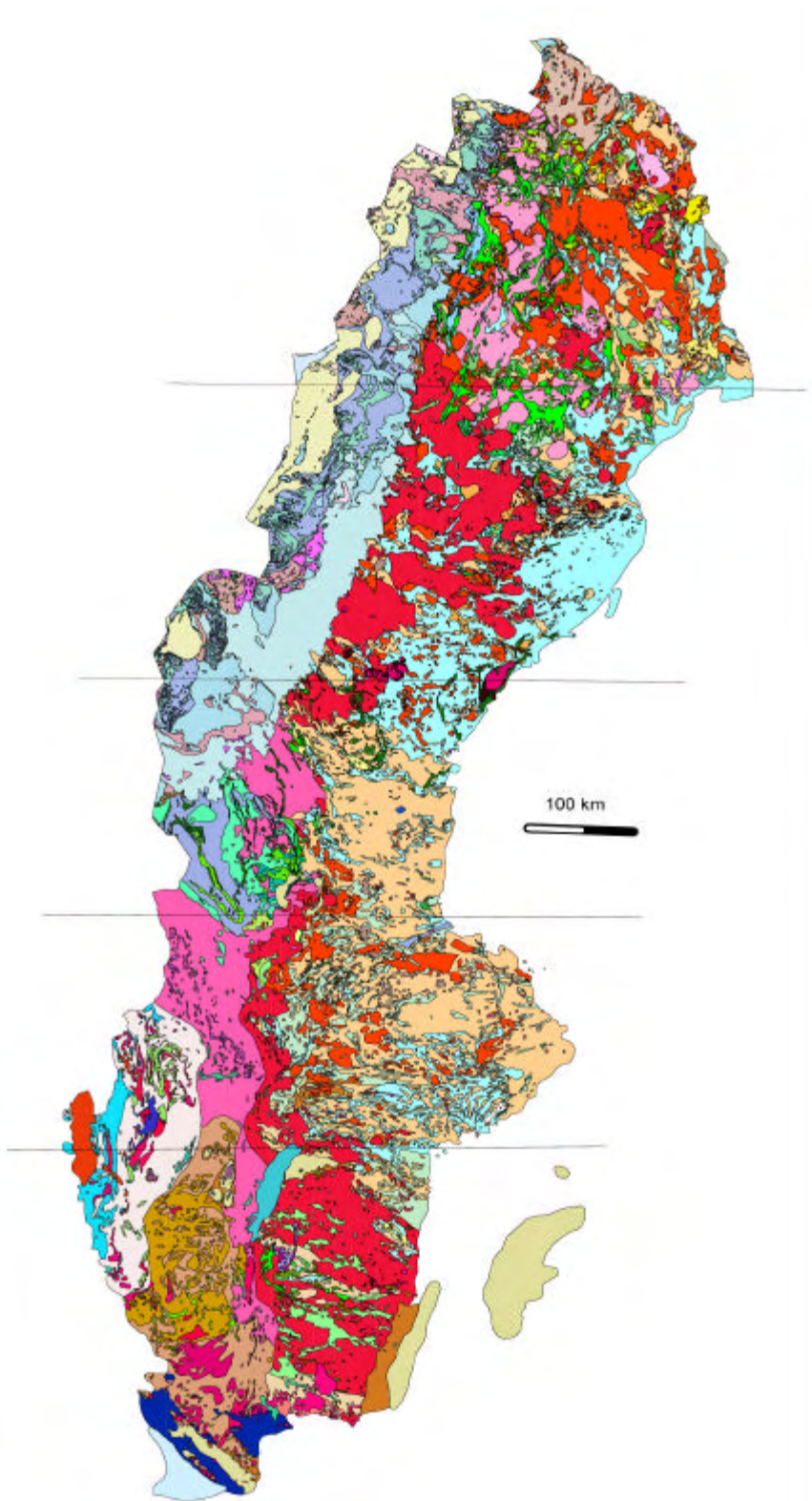
Följande programvaror har använts:

- OASISmontaj
- MapInfo
- Statistica

För att kunna visualisera data har alla värden och halter logaritmerats förutom kaliumhalten och densitetsvärdena. Data från varje våd testades med T-tester. T-test är ett metod som används för att se signifikanta skillnader mellan olika populationer med hjälp av medelvärden och "p-level". "P-level" representerar ett index som uttrycker analysresultatets pålitlighet. Om  $P < 0.01$  betyder det att det finns signifikant skillnad mellan grupperna.  $P < 0.001$  betyder mycket hög signifikant skillnad mellan de jämförda grupperna. Analysresultaten ger svar på om det finns signifikant skillnad mellan grupperna och vilka av de ingående variablerna som bidrar till skillnaden. Röd färg (fig. 4) i tabellerna betyder att det finns statistiskt signifikant skillnad mellan de olika variablerna. De variabler som jämfördes är kalium, uran, och toriumhalten samt gamma- och radiumindex. Även densitet, remanent magnetisering, q- värde och susceptibilitet jämfördes.

*Resultatet av T- testerna redovisas för varje kartbladsvåd i tabeller på slutet av rapporten.*

Därefter plottades grupperna mot varandra i tvåvariabeldiagram. Matrisdiagram valdes för att minska antalet plottar. För kalium, uran och toriumhalten plottades även ternärddiagram. Den grafiska analysen av data redovisas för varje våd i Appendix som bilagor i slutet av den här rapporten.



*Fig. 6. Indelningen i olika karvåder som visas på berggrundskartan*

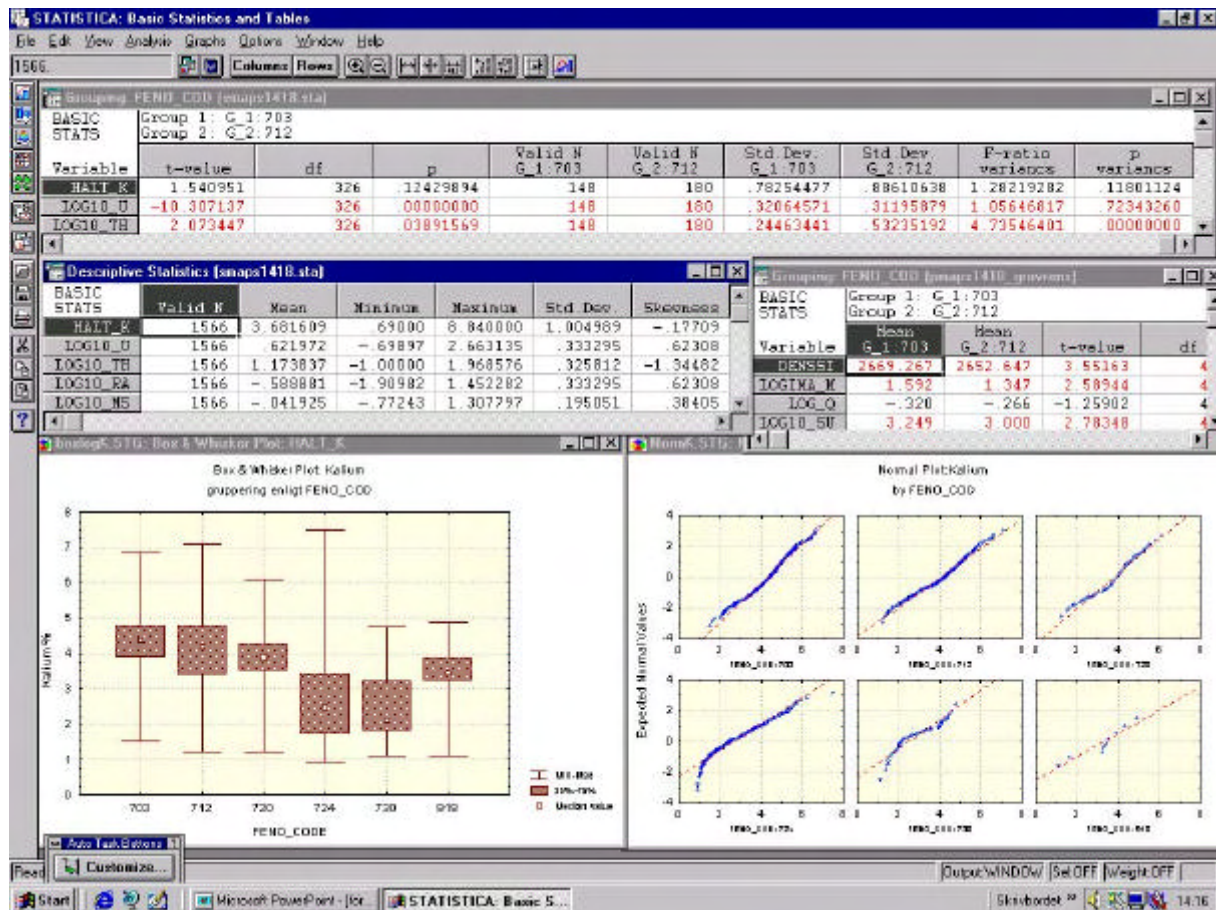


Fig.7. Statistisk analys genomfördes med hjälp av programvaran Statistica

## Analysexempel från flygdata

Geofysiska flygmätningar omfattar mätning av det jordmagnetiska fältets totalintensitet, mätning av markens naturliga gammastrålning samt mätning av det elektromagnetiska fältet i VLF-området. Mätningarna är utförda från flygplan på ca 30 eller 60 m höjd, längs linjer med 200 m avstånd och med tidigare ca 40 meter numera 17 meter mellan mätpunkterna. Flyggeofysiska data har en hög upplösningsgrad och används bl. a. i stor utsträckning inom SGUs karteringsverksamhet.

Gammastrålningskartorna ger en bild av hur de naturliga radioaktiva isotoperna uran, torium och kalium är fördelade i det översta några dm tunna skiktet av jordtäcket eller bergytan. Mätningarna är användbara i berggrundskarteringen för att skilja olika bergartstyper åt men framför allt för att identifiera områden med risk för förhöjda radonvärden.

I figur 8a visas K-U-Th kompositkarta över ett område norr om Västerås samt den magnetiska anomalikartan (fig. 8b) över samma område. I båda kartorna kan man tydligt urskilja en rund högstrålände respektive högmagnetisk anomali orsakad av en intrusion den s.k. unga (1.85-1.75 Ga) Lisjögraniten i nordväst. På berggrundskartan (fig. 8c) visas granitens utbredning med röd färg.

Som vi tidigare nämnde beträffande den flygradiometriska kartan visar den gammastrålningen från det översta decimetrarna i marken oavsett om det är berg eller jord. I figur 9a-b visas höjddata med berghällarna på samt flyglinjerna som vita linjer. Hällarnas färg förklaras nedan.

Varje häll som faller under en eller flera flyglinjer tilldelas ett gammaindexvärde beräknat från de över hällen flygmätta gammastrålningsdata (fig. 9a och 9b). Hällens färg representerar

gammaindexets storlek beräknat från flygmätning. Hög gammastrålning tilldelas röda färgnyanser medan låg gammastrålning tilldelas gröna färgnyanser (fig. 9b). Det framgår tydligt att de hållar som karterats som yngre graniter har betydligt högre gammaindex än de äldre, tidigorogena graniterna som visas med brun färg på berggrundskartan (fig. 8c). På strålningskartan (fig. 8a) framträder de som mörka, näst intill svarta områden. Markmätningen på berghällar visar samma resultat. Uran och toriumhalten har plottats mot varandra i figur 10. Det framgår tydligt att de yngre Lisjögraniterna (kod 712) har betydligt högre uran och toriumhalter än de tidigorogena graniterna i området (kod 724).

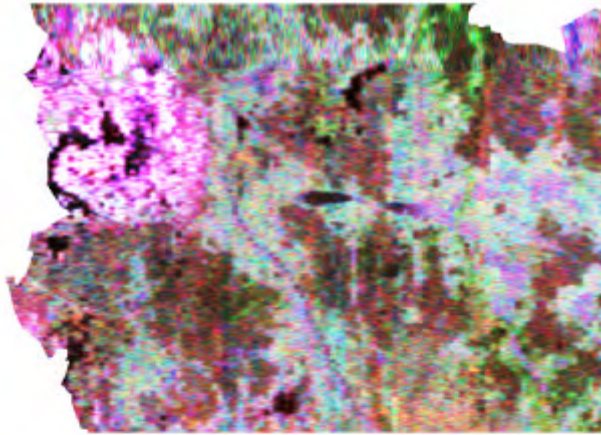


Fig.8a Kalium, uran och torium- kompositkarta norr om Västerås. Kartan visar en färgkomposit av de beräknade halterna av *uran*, *kalium* och *torium* i respektive färgband. Områden med förhöjd uran domineras av röda färgnyanser, områden med förhöjd torium indikeras av blåa färgnyanser medan förhöjd kaliumhalter visas med gröna färgnyanser. De högstrålande yngre graniterna (kod 712) framträder tydligt i NV

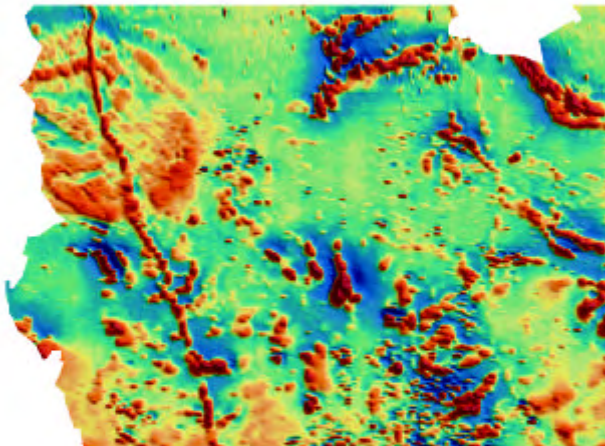


Fig. 8b. Magnetisk anomalikarta över samma område. De yngre graniterna genom sina höga susceptibiliteter ger upphov till en högmagnetisk anomali (röd färg) i NV.

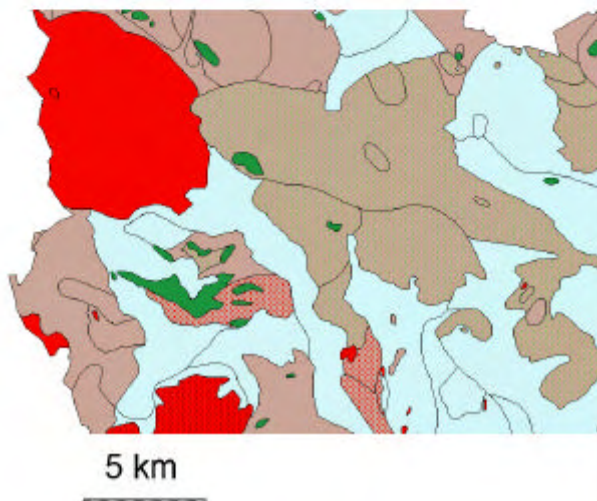
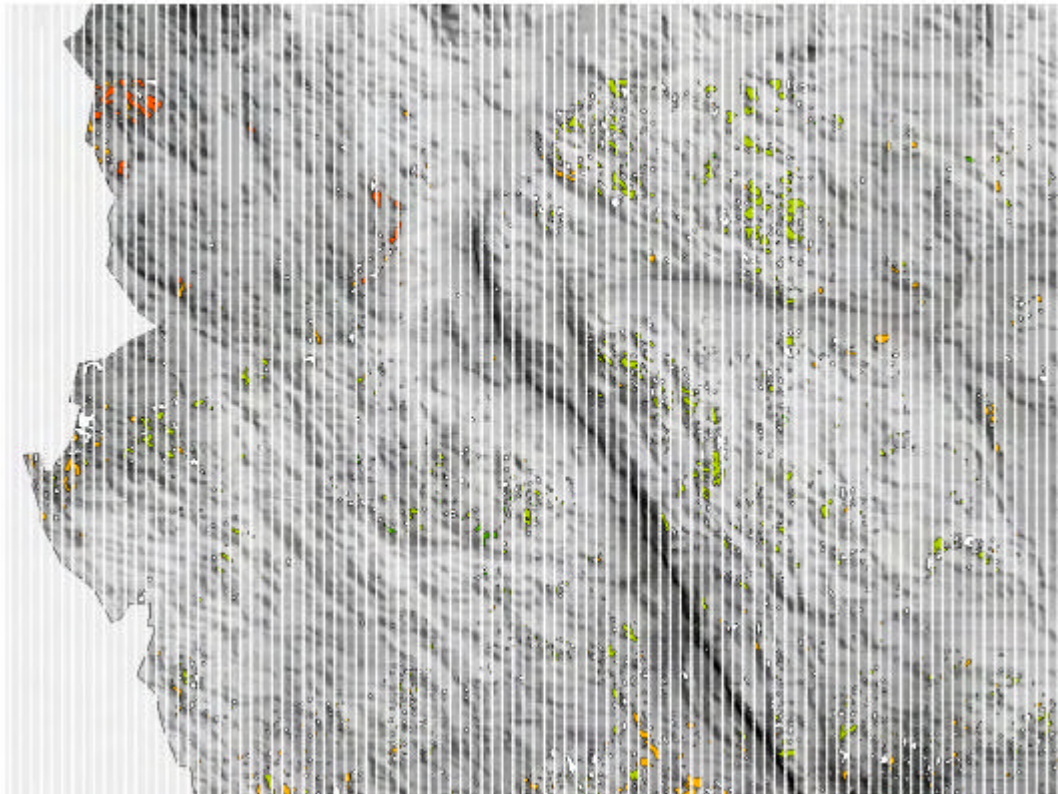
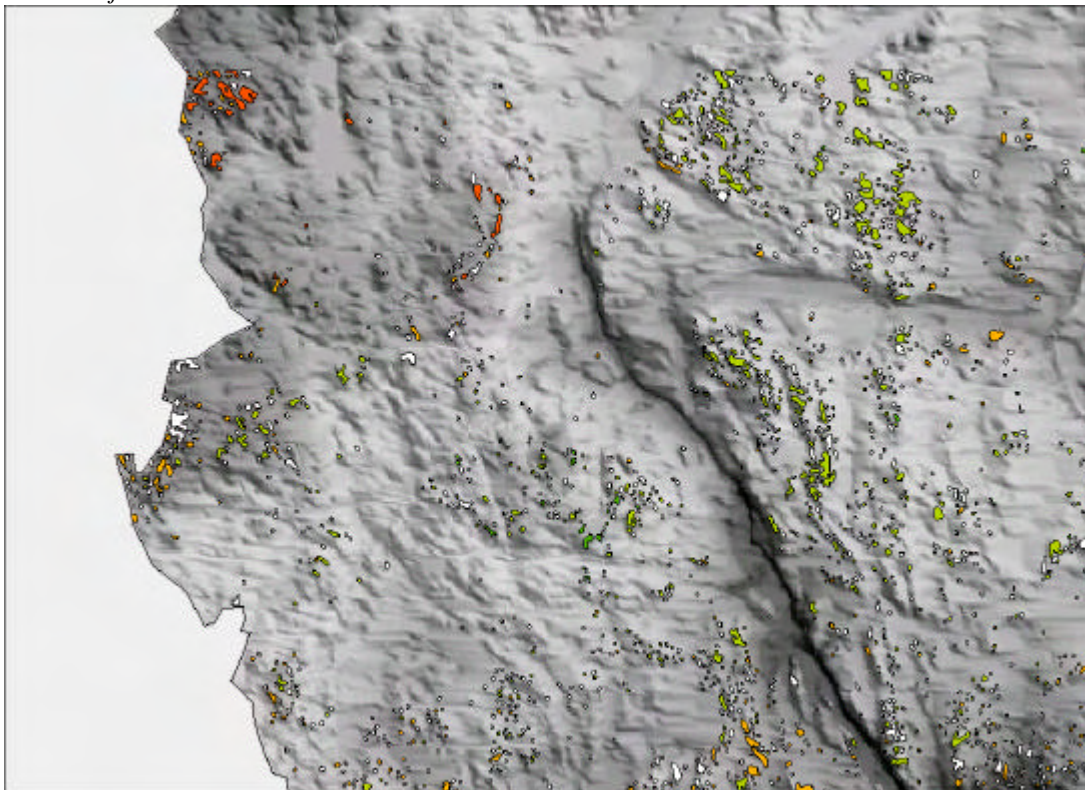


Fig. 8c. Berggrundskarta över samma område. Utbredningen av de yngre graniterna i NV visas med röd färg.



*Fig. 9a. Höjdreliëfkarta norr om Västerås med berghällar på i olika färg. De vita linjerna är flyglinjer med 200 meters linjeavstånd*



*Fig. 9b Höjdreliëfkarta norr om Västerås med berghällar på i olika färg. Röd färgnyanser betyder hög gammaindex medan gröna färgnyanser betyder låg gammaindex. Hällens gammaindex är beräknad från flygmätningen.*

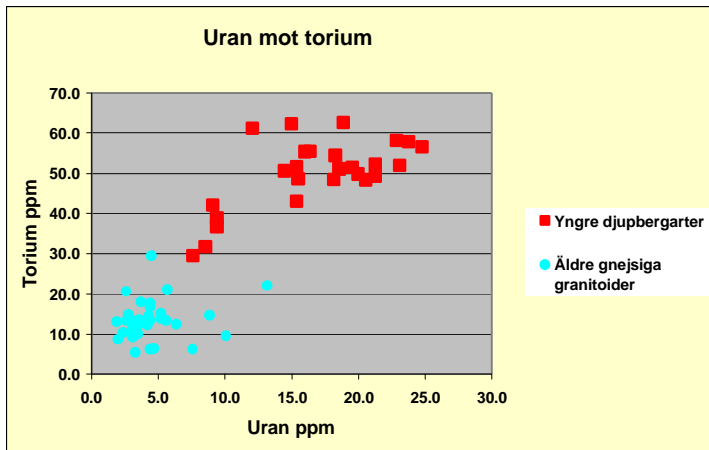


Fig. 10. Förhållandet mellan uran och torium för yngre graniter (grupp 712) och för tidigorogena graniter (grupp 724).

## Analysresultat från de undersökta områdena

Statistisk analys har genomförts för varje kartvåd. Därefter plottades materialet i tvåvariabeldiagram. Gammastrålningsdata plottades även i ternäradiagram.

### *Norra Norrbotten, kartvåden 25-32*

I analysen ingår grupper som betecknas med koderna 916, 918, 724, 720, 719, 712 och 703. Sammanlagt har 7894 petrofysikprov och 286 gammastrålningsmätningar från ca 100 lokaler behandlats.

Tabell 1 och 2 visar en statistisk beskrivning över alla gammastrålningsdata respektive petrofysiska data inom kartvåden 25-32 som har använts i bearbetningen.

T-tester mellan grupperna för variablarna kalium, uran, torium, radiumindex och gammaindex visar att det är bara jämförelsen mellan grupperna med kod 916 och 724 som inte uppvisar några signifikanta skillnader alls mellan variablerna. Resultaten visas i tabell 2. T-tester mellan grupperna för variablerna densitet, remanent magnetisering, Q-värde och susceptibilitet pekar på att de flesta av grupperna uppvisar signifikanta skillnader i alla eller några av variablerna. Resultatet visas i tabell 3, där de variabelvärdena som skiljer sig väsentligt från varandra, visas med rött.

I fig. 11 visas ett exempel på tvåvariabeldiagram där man jämför kalium, uran och toriumhalten mellan två olika granit-pegmatitgrupper; kodade som 712 och 719. I figuren framgår tydligt att gruppen 712, som representerar den yngre åldersgruppen, mellan 1.85-1.75 Ga, generellt har högre uran och toriumhalter än gruppen 719, som representerar den äldre granit-pegmatitgruppen, mellan 1.88-1.86 Ga.

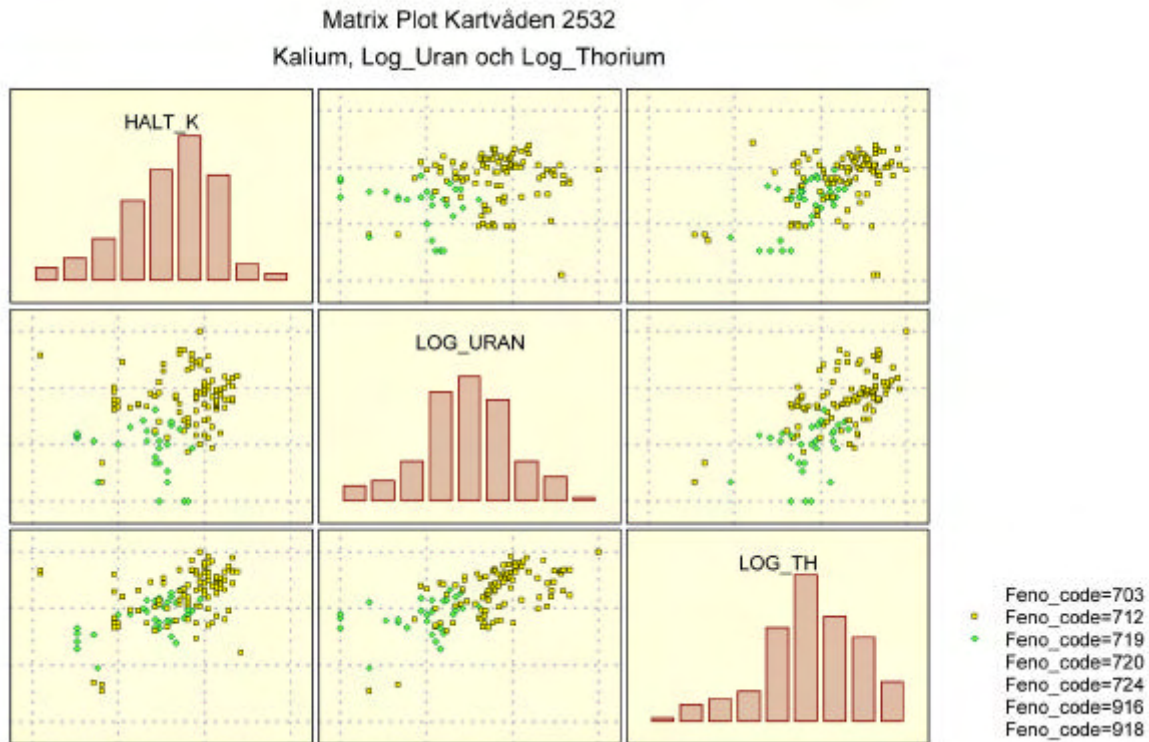


Fig. 11. Förhållandet mellan kalium, uran och torium för grupperna 712 (gul) och 719 (grön)

Plottarna i tvåvariabeldiagram av densitet, remanent magnetisering och densitet visar ofta stora överlappningar och är svåra att tolka. En av orsakerna är den stora datamängden och de tidigare nämnda problemen i urvalsförfarandet. I fig.12. visas jämförelsen mellan grupperna 720 (1.88 - 1.87 Ga) och 712 (1.85 –1.75 Ga). Gruppen 712 har en stor spridning vad gäller densitet, susceptibilitet och remanent magnetisering. Gruppen 730 har generellt lägre densitet och högre susceptibilitet.

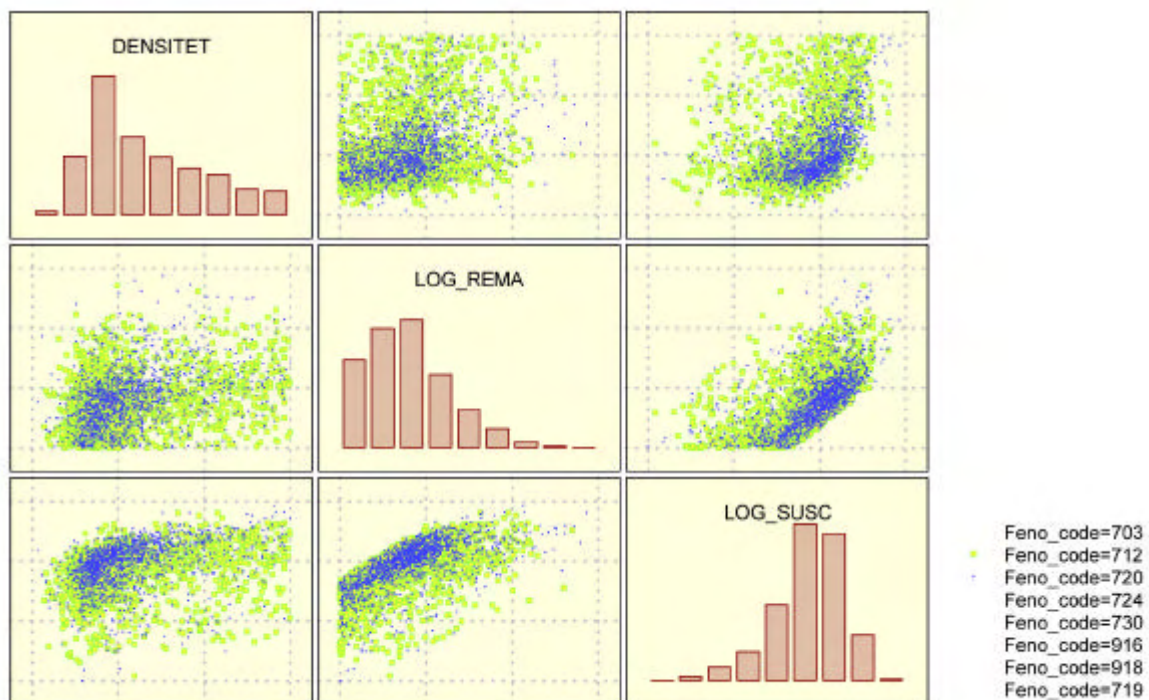


Fig. 12. Förhållandet mellan densitet, remanent magnetisering och susceptibilitet för grupperna 712 (grön) och 720 (blå).

Återstående grupperingar visas i appendix som bilaga 2 (på CD).

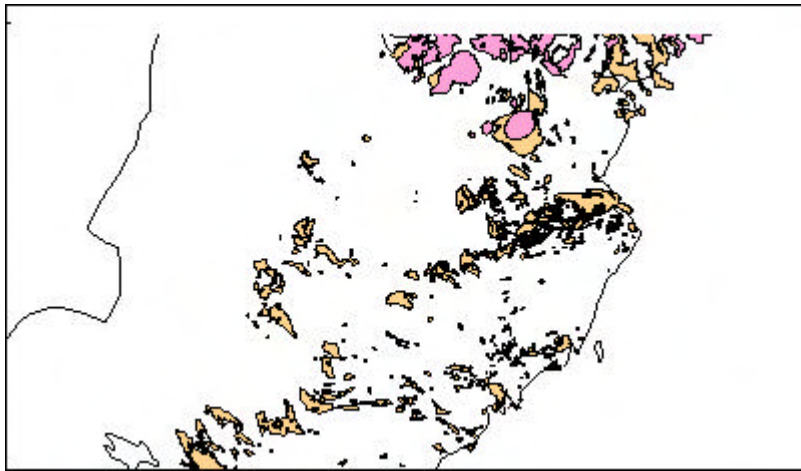
#### **Mellersta Norland, kartvåden 19-24**

I analysen ingår grupper som betecknas med koderna 703, 712, 720, 724, 730, 918 och 620. Sammanlagt har 3494 gammastrålningsmätningar från ca 1000 mätlokaler och 3600 petrofysikprov behandlats.

I den statistiska jämförelsen (T- tester) mellan grupperna för variablarna kalium, uran, torium, radiumindex och gammaindex (tabell 4) har framkommit att alla variabler uppvisar signifikant skillnad förutom i jämförelsen mellan 730 och 724 där enbart variabeln torium visade signifikant skillnad.

I den statistiska jämförelsen mellan grupperna för variablerna densitet, remanent magnetisering, Q- värde och susceptibilitet framgår att grupperna 703 och 712 samt grupperna 703 och 724 visade signifikant skillnad mellan alla variabler. I jämförelsen mellan 730 och 720 är det densitet och susceptibilitet som visar signifikant skillnad. Mellan 703 och 724 det är densiteten som avviker medan mellan grupperna 730 och 724 hittades inga signifikanta skillnader. Resultatet visas i tabell 5, där variabelvärdena som avviker väsentligt från varandra visas med rött.

I fig. 14 visas jämförelsen mellan gruppen 720 den så kallade PMS-sviten och gruppen 724 benämnd som G1-sviten. Grupp 720 har generellt högre kalium och toriumhalter och något högre uran, dock med en hel del överlappning.



*Fig. 13. Intrusionernas läge på berggrundskartan för grupp 724, med brunt och grupp 720 med lila.*

**Matrix Plot kartvåden 1924**  
**Kalium, log\_Uran och Log\_torium**

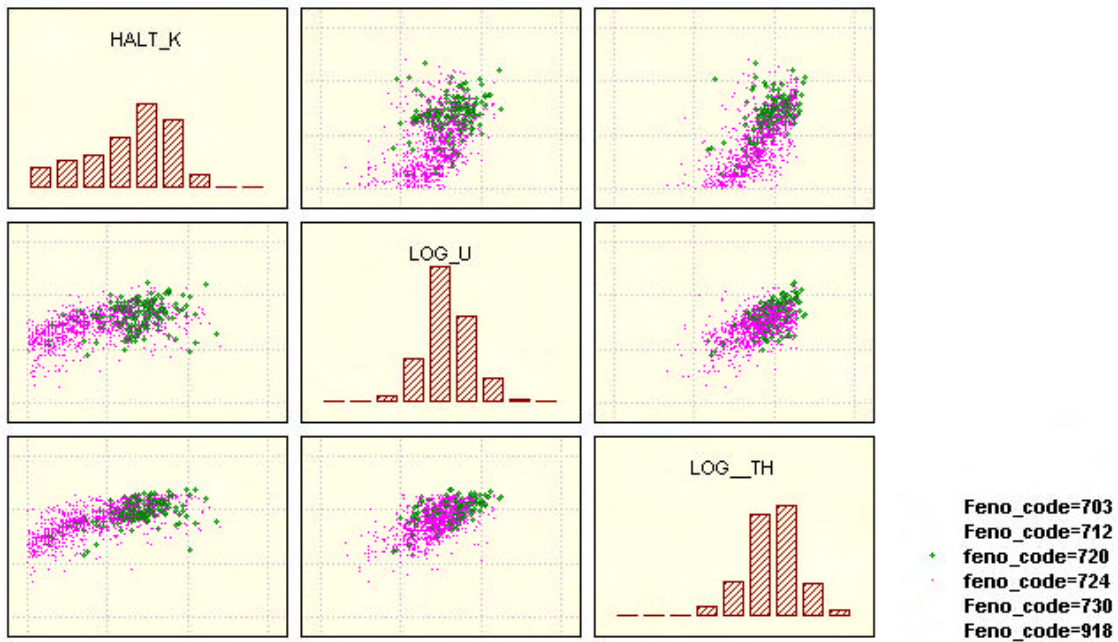


Fig.14. Jämförelse mellan gruppen 720 (grön) och 724 (röd)

Plottarna i tvåvariabeldiagram av densitet, remanent magnetisering och densitet visar ofta motsvarande fördelning av värdeförrådet och är svåra att tolka. En av orsakerna är de stora datamängden och den tidigare nämnda problemen i urvalsförfarandet. I fig. 15 visas jämförelsen mellan grupperna 720 och 730, där gruppen 720 har generellt lägre densitet än gruppen 730. Gruppen 720 har generellt lägre densitet än gruppen 730.

**Matrix Plot kartvåden 1924**  
**Densitet, log\_remanent magnetisering, log\_susceptibilitet (SI)**

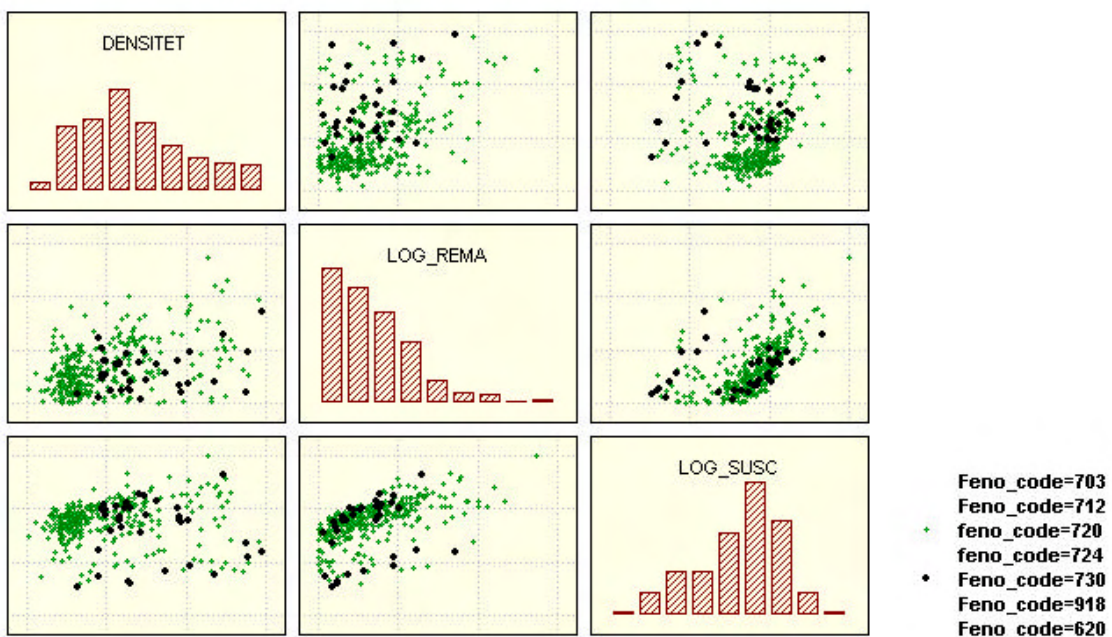


Fig. 15. Jämförelse mellan gruppen 720 (grön) och 730 (svart)

Återstående grupperingar visas i appendix som bilaga 3 (på CD).

### Inbördesförhållanden inom gruppen 724, G1- sviten

Erfarenhetsmässigt vet vi att halterna kalium, uran och torium kan variera både geografiskt och från intrusion till intrusion. Nedan visas inbördesförhållanden för gruppen 724 dvs G1- sviten (1.89-1.87 Ga). Området har delats upp i tre grupper, se fig. 16. Haparandasviten i norr, G1-sviten i mellersta delen och Ismundensviten i södra delen av kartvåden 18-24.

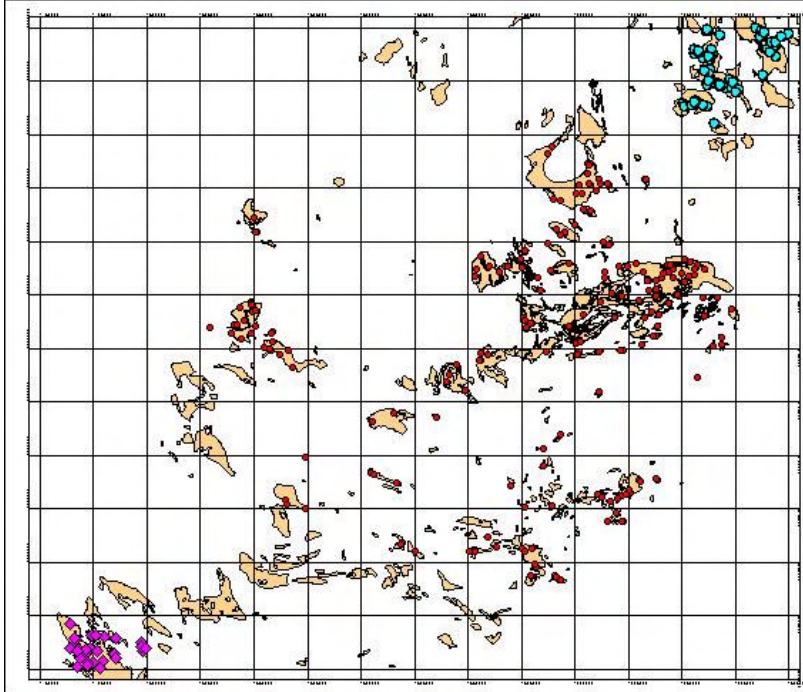


Fig.16. Den geografiska läget för gruppen 724. Haparandasviten med blått, G1 med rött och Ismundensviten med lila färg.

Jämförelsen mellan G1- och Ismundensviten visar tydliga skillnader där Ismundensvitens granitoider har högre kalium och toriumhalter.

Kalium, Log\_uran och Log\_torium förhållanden inom gruppen 724  
kartvåden 19-24

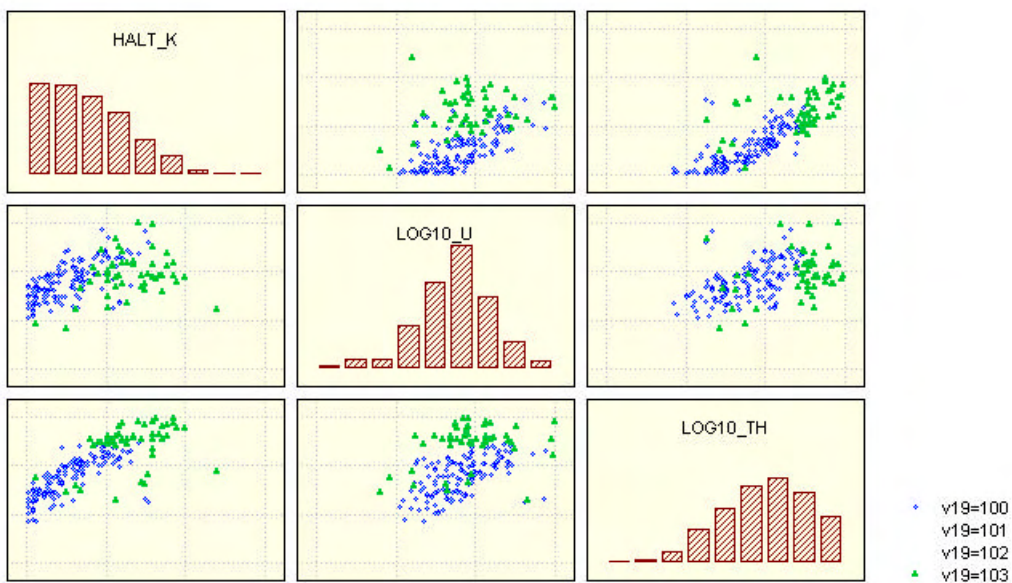


Fig. 17. Ismundensviten (kod=103, grönt) mot G1- sviten (kod = 100, blått)

Jämförelsen mellan G1- och Haparandasviten i figur visar något högre halter för torium men även stora områden med likartad fördelning. (koderna 100, 101, 102 och 103).

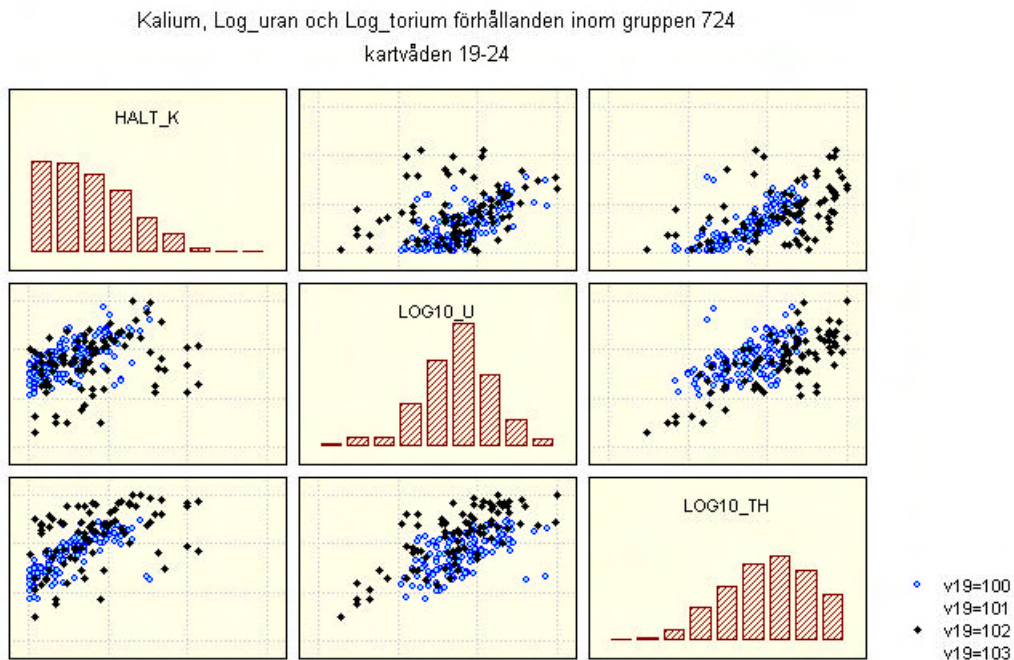


Fig. 18. Haparandasviten (kod=102, svart) mot G1- sviten (kod = 100, blått)

### Södra Norrland, kartvåden 13-18

I analysen ingår grupperna 655,703,712 och 724.

Sammanlagt har 1567 gammastrålningsmätningar från ca 500 mätlokaler och 2116.petrofysikprov behandlats.

T- tester mellan grupperna för variablarna kalium, uran, torium, radiumindex och gammaindex har visat på signifikant skillnad för alla variabler. Signifikant skillnad mellan uranhalter hittades i jämförelsen mellan grupperna 655 och 703 respektive grupperna 655 och 712. I jämförelsen mellan grupperna 703 och 712 förelåg skillnad i uran och toriumhalten medan skillnad fanns i jämförelsen mellan 712 och 724 i kalium och uranhalten. Resultatet är redovisat i tabell 6.

I den statistiska jämförelsen mellan grupperna för variablerna densitet, remanent magnetisering, Q- värde och susceptibilitet visade att grupperna 703 och 724 inte har signifikant skillnad mellan variablerna. I jämförelsen mellan grupperna 655 och 724 respektive 655 och 703 har alla variabler uppvisar signifikant skillnad. Resultatet är redovisat i tabell 7.

Generellt i tvåvariabeldiagrammen har, både kalium, uran, torium och densitet, remanent magnetisering, susceptibilitet har likartad fördelning och det är svårt att se skillnader mellan grupperna. Det rekommenderas att materialet delas upp i mindre grupper och variationen i data studeras inom geografiskt mindre områden.

Tvåvariabeldiagram mellan grupperna 703 (Revsundsgraniter) och 712 (Härnögraniter) visas i fig. 19. Gruppen 712 uppvisar generellt högre uranhalter än gruppen 703.

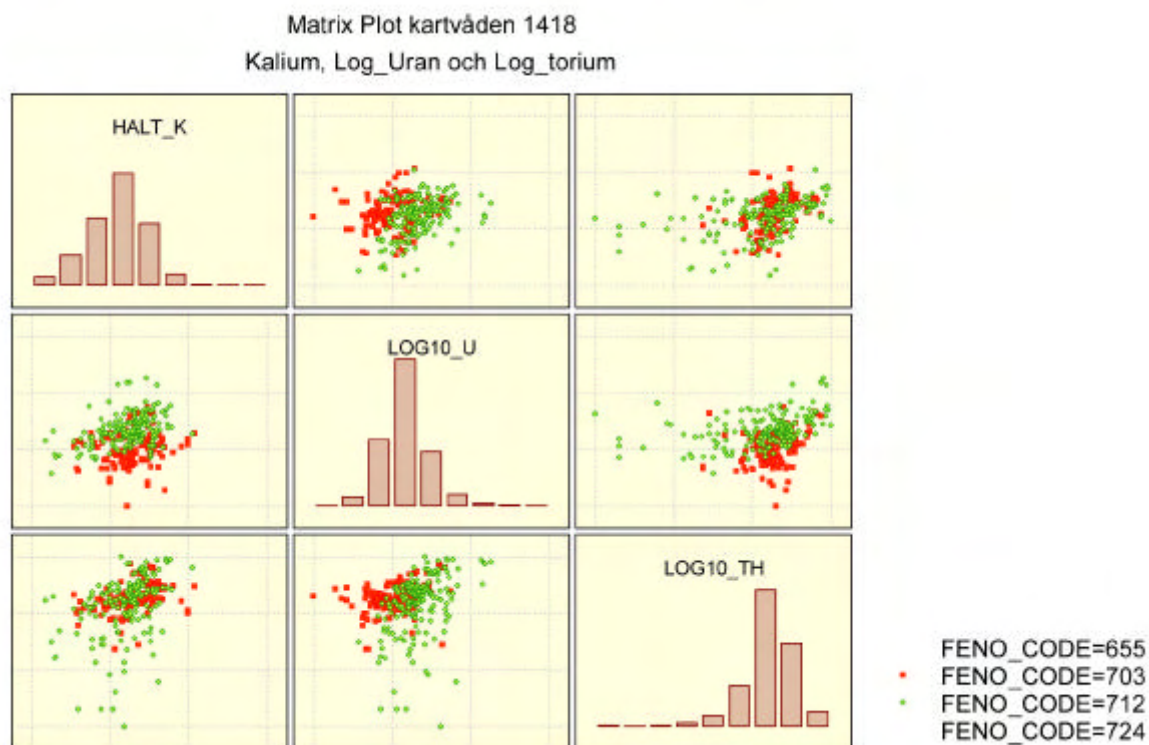


Fig. 19. Förhållandet mellan kalium, uran och torium för grupperna 703 (röd) och 712 (grön).

Återstående grupperingar visas i appendix som bilaga 4 (på CD).

### Bergslagen, karvåden 9-13

I analysen ingår grupperna 655, 546, 547, 703, 706, 712 och 724.

Sammanlagt har 2123 gammastrålningsmätningar från ca 650 mätlokaler och 2750 petrofysikprov behandlats.

I den statistiska jämförelsen (tabell 8) har variablerna kalium, uran, torium, radiumindex och gammaindex visat signifikant skillnad för grupperna 547 och 655, 706 och 703 samt för grupperna 712 och 724. I jämförelsen mellan grupperna 547 och 546 samt 703 och 724 har kaliumhalten samt gammaindex visat signifikant skillnad. Jämförelsen mellan 703 och 712 visar signifikant skillnad mellan alla variabler förutom kalium.

T- tester mellan grupperna (tabell 9) för variablerna densitet, remanent magnetisering, Q-värde och susceptibilitet visar att grupperna 620 och 655 inte har signifikant skillnad mellan variablerna. I jämförelsen mellan grupperna 703 och 704 är det bara susceptibiliteten som uppvisar signifikant skillnad. Alla variabler visar på skillnad i grupperna 703 och 712 förutom Q-värdet. I jämförelsen mellan grupperna 724 och 712 uppvisar alla variabler signifikant skillnad.

Tvåvariabelplottarna är svåra att tyda pga likartad fördelning i data, antagligen beroende på den stora datamängden och de felkällor som angavs tidigare i rapporten. Resultatet av plottarna visas i bilaga 5 i appendix.

### *Inbördesförhållanden inom gruppen 712 (GP 1.85-1.75 Ga)*

Granitoider som bildar olika intrusioner men som tillhör samma ålderskategori kan uppvisa skillnader i gammastrålningsegenskaperna på samma sätt som de kan uppvisa skillnader i den kemiska sammansättningen. Nedan följer ett exempel där variationen av

strålningsegenskaperna sammanställdes för gruppen 712. Mätlokalernas läge samt grupperingen visas i figur 20a, strålningskartan med toriumhalten visas i figur 20b.

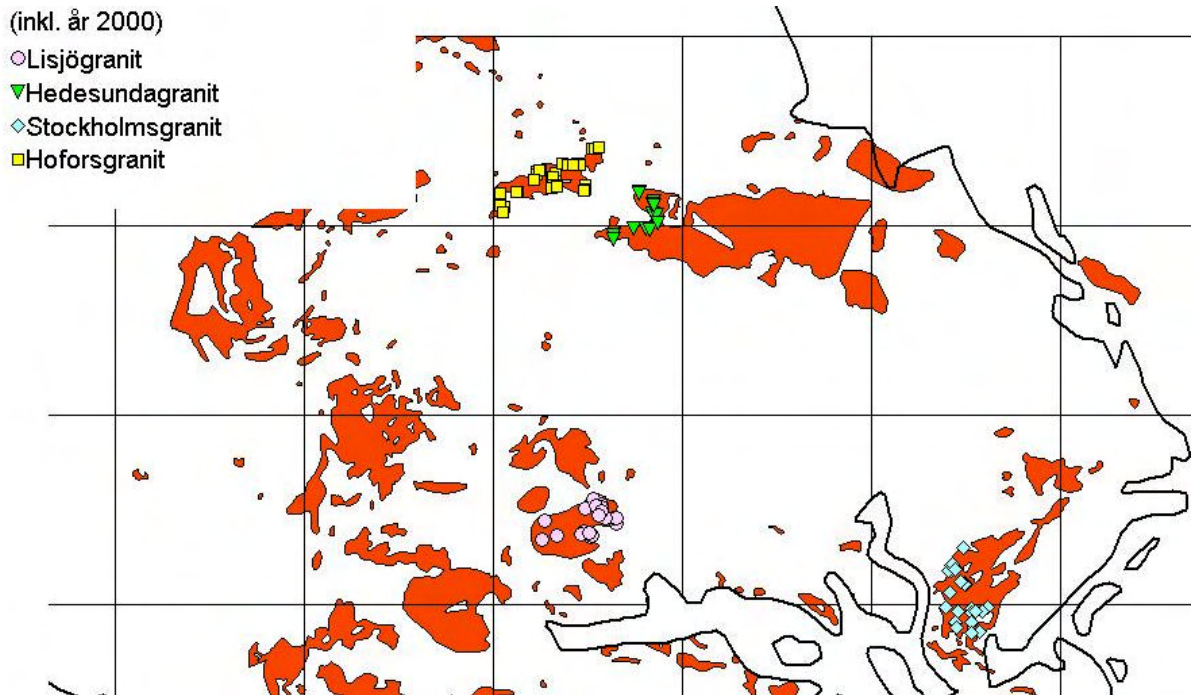


Fig. 20a Utbredningen av granitoider hörande till grupp 712 och mätlokalernas lägen.

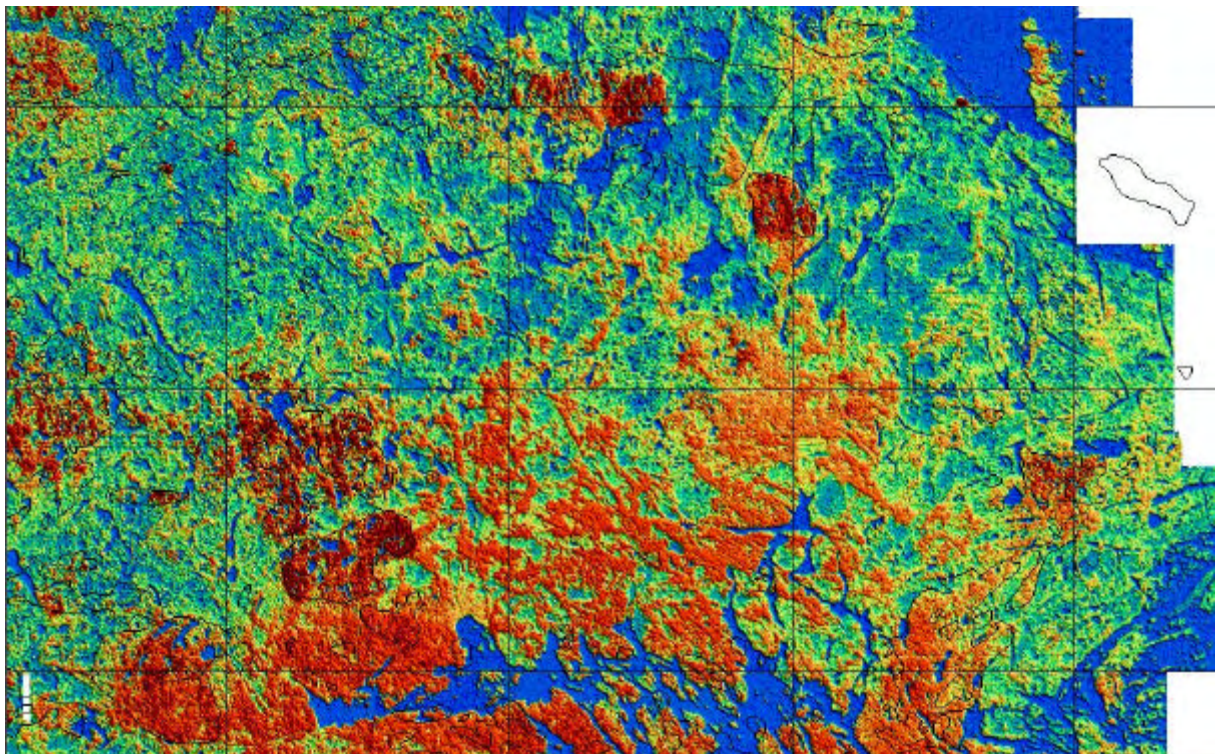


Fig. 20 b. Toriumkarta över samma område. Röd färg betyder höga toriumhalter. Granitoiderna hörande till gruppen 712 är ofta toriumanomala och kan därför lätt följas på flygmätningen.

Graniterna som benämns som Hedesunda, Lisjö, Hofors och Stockholmsgraniter tilldelas koderna 100, 101, 102 och 103.

Sammanställningen i diagrammet (fig. 21) visar att Lisjö och Stockholmsgraniten har högre kalium och uranhalter än Hedesundagranitoiderna medan Hoforsgruppen har lägre kalium och

uranhalter. Variationen i kaliumhalten visar att gruppen 712 består av både tonalit-granodioriter och granodiorit-graniter. Lisjögraniten har högre toriumhalter än de andra grupperna även om den överlappar något med toriumhalten i Stockholmsgraniterna. Hoforsgranitoiderna har den lägsta toriumhalten medan Hedesundagruppen har stor spridning.

Gruppering av åldersgruppen 712

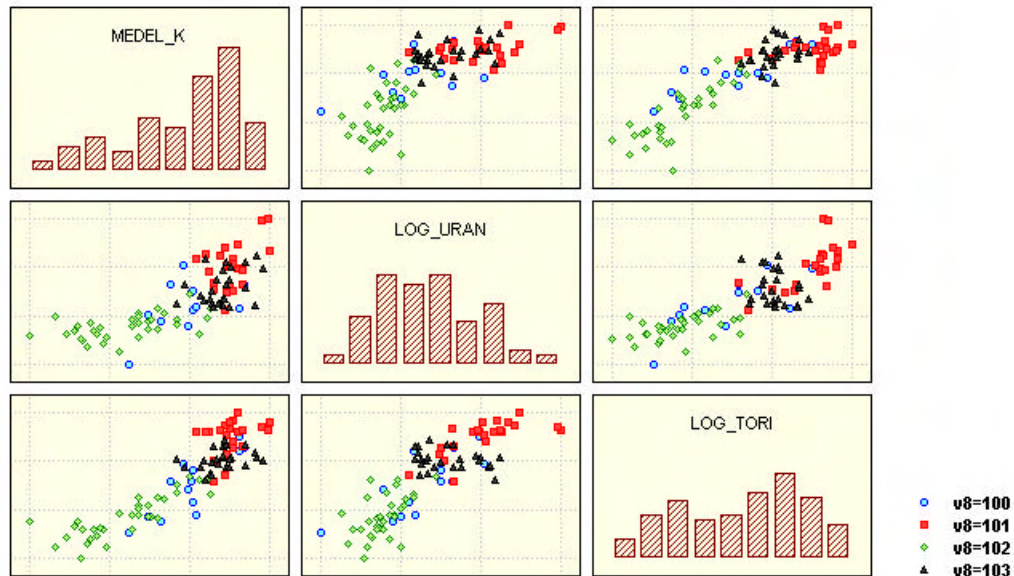


Fig. 21. Inbördesförhållandet mellan kalium uran och torium för gruppen 712. Hedesundagraniten visas med blått, Lisjögraniten med rött, Hoforsgranitoiden med grönt och Stockholmsgraniten med svart.

## Södra Sverige, kartvåden 1-8

Följande grupper ingår i analysen: 513, 529, 531, 546,547, 617, 620, 655, 703, 706, 704 och 524.

Sammanlagt har 723 gammastrålningsmätningar från ca 300 mätlokaler och 2200 petrofysikprov behandlats.

T- test mellan grupperna 527-531 och grupperna 546-547 visar ingen skillnad för variablerna kalium, uran, torium, radiumindex och gammaindex. Uranhalten, radiumindex och gammaindex visar signifikant skillnad i jämförelsen mellan grupperna 617 och 620.

T-test mellan grupperna 529-531 och 704-703 visar signifikant skillnad mellan densitetsvärdena, medan T-test mellan 546-547 visar signifikant skillnad mellan densitet, remanent magnetisering och susceptibilitet.

Resultatet för de övriga statistiska analyserna mellan variablerna kalium, uran, torium, radiumindex och gammaindex samt variablerna densitet, remanent magnetisering, Q- värde och susceptibilitet är redovisade i tabell 10 respektive i tabell 11 där röd färg betyder att signifikant skillnad har hittats mellan grupperna.

Alla matrisdiagram och andra analyser är redovisade i Appendix i bilaga 6 (CD).

## Betydelsen av upplösning i data

Tidigare i rapporten har problemet med upplösningen i materialet diskuterats, dvs skalans betydelse. Geofysiska data, såväl flygmätta som markmätta data, har en hög upplösning som

lämpar sig att analysera i många olika skalor. Nedan följer ett exempel från Göteborgsområdet. Ra- graniten, som har en relativ begränsad utbredning, har inte på den berggrundsgesologiska underlagskartan Fennoskandiska skölden skiljts ut. Området karterades nyligen i skala 1 : 50000. Ra- graniten är väl blottad och kan även avgränsas med hjälp av gammastrålningskartorna.

På kartorna nedan (fig 22) visas från vänster till höger:

Gammaindexkarta över kartområdet 7B SVammastrålningen över samma område med en tydlig anomali som sammanfaller med utbredningen av Ra- graniten. Ra- graniten på kartan med svart kontur

Del av Fennoskandiska skölden utan Ra- granit

Det detaljerade kartbladet 7B SV över samma område med Ra- graniten som i princip har samma utbredning som anomalin.

Ra- granitens kalium, uran och toriumhalter samt radium- och gammaindex i förhållande till de övriga inom området förekommande bergarternas gammastrålning visas i fig. 23. På samma sett som vi ser på flygmätningen ovan har Ra- graniten(1.31 Ga) högre uran och toriumhalter än de övriga bergarterna. Kaliumhalten är också generellt högre än de övriga bergarternas kaliumhalt inom området. Anomalin som framträder i gammastrålningskartan kunde knytas till Ra- graniten med hjälp av markuppföljning.

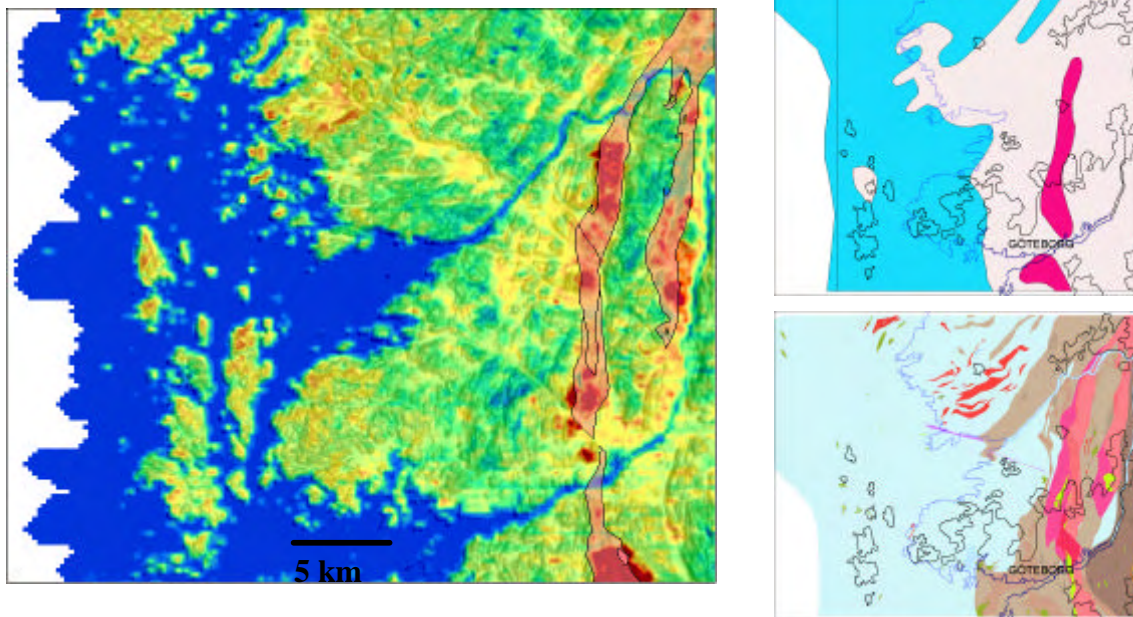


Fig. 22. Från vänster till höger: Gammaindexkarta över kartområdet 7B SVammastrålningen över samma område med en tydlig anomali som sammanfaller med utbredningen av Ra- graniten. Ra- graniten på kartan med svart kontur

Del av Fennoskandiska skölden utan Ra- granit

Det detaljerade kartbladet 7B SV över samma område med Ra- graniten som i princip har samma utbredning som anomalin.

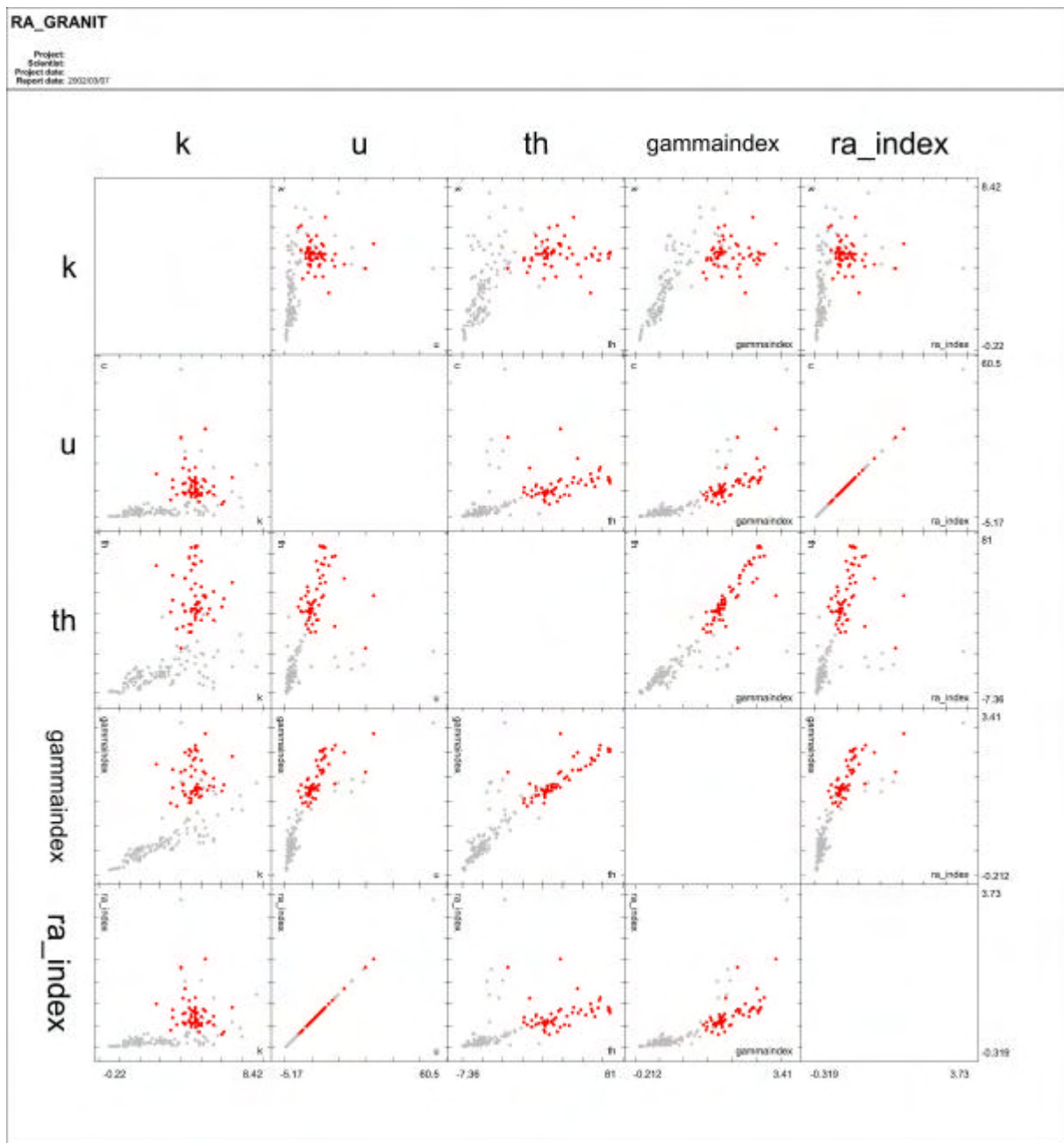


Fig. 23. Ra- granitens gammastrålningsegenskaper (röd färg) i jämförelse med de övriga inom området förekommande granitoidernas strålningsegenskaper.

## Rumsliga variationer inom samma grupp, Revsundsgraniter – ett exempel från karvåden 19-24

Inom ramen främst för baskartering, berg har en mängd gammastrålningsdata samlats in. Under insamlingen uppmärksammades att graniter hörande till samma åldersgrupp kan ha varierande strålningsegenskaper geografiskt eller från intrusion till intrusion. I figur 9 visas variationen av uranhalten för Revsundsgraniterna (kod 703) i mellersta Norrland. Det framgår tydligt bergarten har högre uranhalt i västra kartområdet.

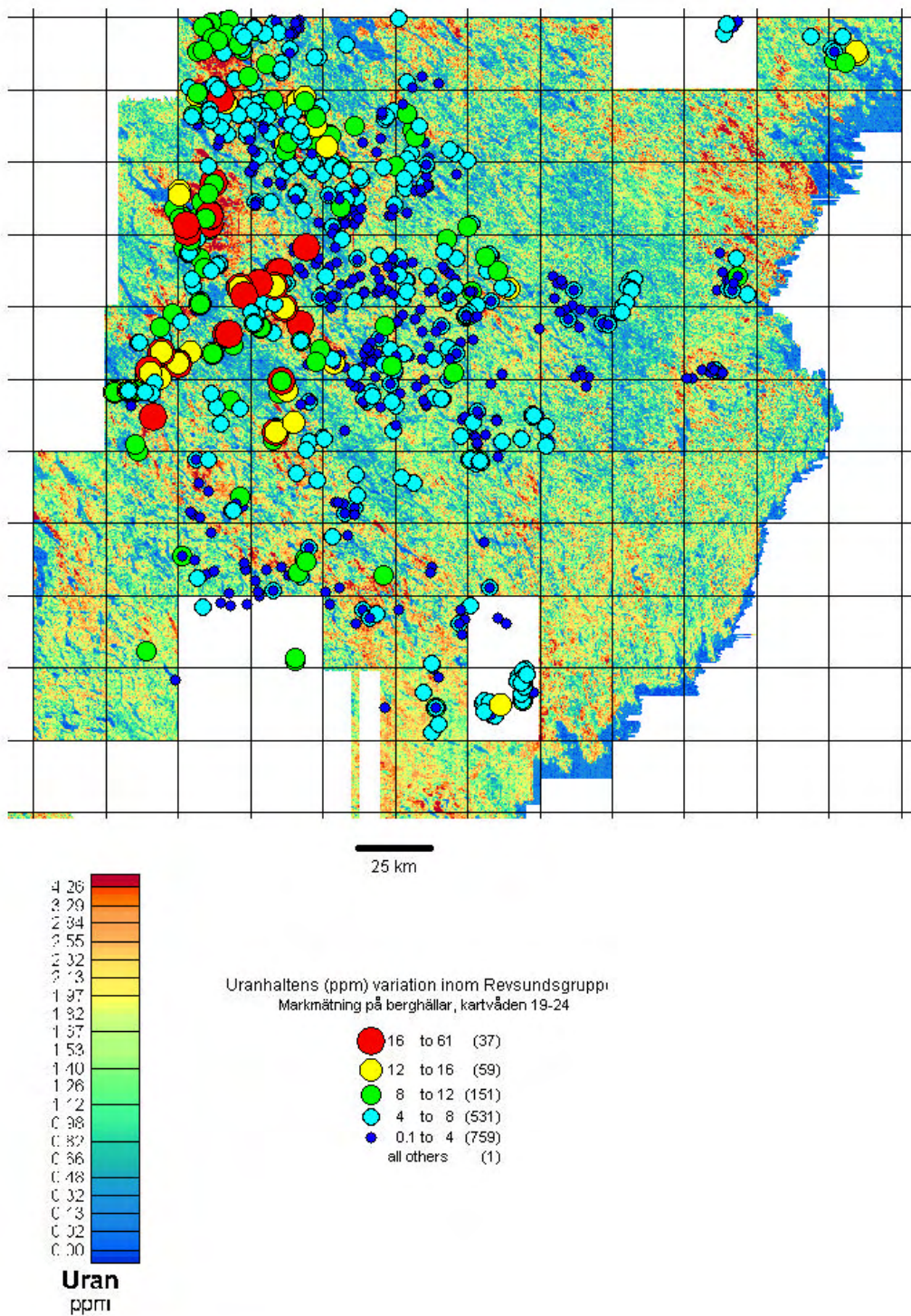


Fig. 24. Uranhaltens (i ppm) variation för gruppen 703 (Revsundsgraniter) inom kartvåden 19-24. Det framgår tydligt att Revsundsgraniterna i västra kartområdet har högre uranhalter än de i östra kartområdet.

## Slutsatser

- Stor datamängd från hela Sverige har undersökts och dokumenterats med avseende på gammastrålningsegenskaper (ca 8000 mätvärden) samt densitet, susceptibilitet och remanent magnetisering (ca 19 000 mätvärden)
- Grupperingar mellan olika åldersgrupper samt grupperingar inom en och samma åldersgrupp med hänsyn tagen till det geografiska utbredningen har genomförts med goda resultat. Vi har visat att det är fördelaktigt om man jämför mindre grupper med varandra som t ex data från enskilda intrusioner inom samma region.
- Vi har visat att informationen, i många fall, är användbar för identifiering av olika granitoider.
- Som ett indirekt resultat av projektet finns nu en första sammanställning i databasform över alla markspektrometermätningar gjorda över berghällar, handstuffer och i jord.
- Vi har ökat kunskapen om de svenska granitoidernas petrofysiska och strålningsegenskaper.

### *Fördelar med att använda petrofysisk information inom berggrundskarteringen:*

- tillgång till stor datamängd med flera variabler som lämpar sig för statistiska analyser
- gammaspektrometri är snabb och billig; får resultat redan i fält och därmed ger en fingervisning över grupp tillhörighet
- databasen tillsammans med flyggeofysiskt underlag användbar för radonriskbedömningar i berg, jord och vatten. Även områden med risk för toron och/eller uran i vatten kan påvisas.

## Litteraturförteckning

- Aaro, S., 1981: Studies of petrophysical properties of Precambrian rocks from Bergslagen, Central Sweden. Part I: Densities, magnetic susceptibilities and remanent magnetizations of rocks, UUDMP Research report no. 20, *University of Uppsala, Institute of Geology, Department of Mineralogy and Petrology*.
- Aaro, S., 1981: Studies of petrophysical properties of Precambrian rocks from Bergslagen, Central Sweden. Part II: The relationships between density- magnetic susceptibility- remanentmagnetization and mineralogy of granitic rocks, UUDMP Research report no. 21, *University of Uppsala, Institute of Geology, Department of Mineralogy and Petrology*.
- Aaro, S. & Claréus., J.-E., 1992: Inventering av petrofysikdatabasen – SURE – Bergartsprovs densitet och magnetiska egenskaper, provtagningslokalernas lägen, *Sveriges geologiska undersökning*, FRAP92404.
- Ahl, M., Bergman, S., Bergström., Eliasson, T., Ripa, M., & Weihed, P., 2001: Geochemical classification of plutonic rocks in central and northern Sweden, *Rapporter och meddelanden 106, Sveriges geologiska undersökning*
- Dickson, B. L. & Scott, K.M., 1997: Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2), 187-200.
- Henkel, H., 1980: Petrophysical properties (density, magnetic susceptibility and natural remanent magnetization) of rocks in Sweden, *Sveriges geologiska undersökning*, GDA:BRAP80413
- Henkel, H., 1994: Standard diagrams of magnetic properties a density-a tool for understanding magnetic petrology, *Journal of Applied Geophysics* 32, 43-53.
- Henkel, H. & Niska D., 1978: A rock sample orientation system used by the Geological Survey of Sweden, *Sveriges geologiska undersökning C 740*.
- Shives, R.B.K., Ford, K.L. & Charbonneau, B.W., 1995: Applications of Gamma ray spectrometric/magnetic/VLF-Em Surveys. Workshop Manual, *Geological Survey of Canada*
- Werner, S, 1948: P.M. angående undersökning av svenska järnmalmers remanenta (permanenta) magnetisering, GDA:BRAP83770, *Sveriges geologiska undersökning*