99 A4/A3

SVERIGES GEOLOGISKA AB
Division ingenjörsgeologi

RAPPORT
Datum: 1983-11-09
ID-nr: IRAP 83051



GAMMASTRÅLNING FRÅN OCH FÖRDELNINGEN AV KALIUM, URAN OCH TORIUM I JORDARTER

© Sveriges geologiska undersökning (SGU)
(Geological Survey of Sweden)

SVERIGES GEOLOGISKA AB
Division Ingenjörsgeologi

RAPPORT
Datum: 1983-11-09
ID-nr: IRAP 83051

Uppdragsgivare: SGU, Delprogram:
Dokumentation av det radioaktiva fältet

Hugo Minell

GAMMASTRÅLNING FRÅN OCH FÖRDELNINGEN AV KALIUM, URAN OCH TORIUM I JORDARTER

SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER

Som ett led i uranprospektering används gammastrålningskartor beräknade från flygspektrometermätningsdata. Kartorna visar gammastrålningen från markytans översta lager. Den huvudsakliga strålningen kommer från de två översta decimetrarna av marklagret. Kartornas prospekteringsmässiga betydelse och användbarheten inom andra områden ökar med större kännedom om marken inverkan på gammastrålningen. Undersökningar har gjorts på jordar av varierande fuktighetsgrad, vegetationstäcke, urlakningsskikt, kornstorlekar och grundvattenpåverkan. Resultaten visar att fuktighet, vegetation och urlakningsskikt kan ha starkt avskärmande effekt på gammastrålningen- över 80 % om alla tre faktorer är påtagliga, vanligtvis rör det sig om ca 30 % där då fuktighet och vegetation är dominerande avskärmningsfaktorer. Jordarter med kornstorlekar av mellanfraktion (mo,sand) har den lägsta andelen av gammastrålande element. Grundvattentransport har främst orsakat anrikning av uran i begränsade bassänger med organiskt material.

Rekommendationer:

1. Modellundersökningar av skärmning orsakad av fuktighetsgrad och organiskt material.

2. Undersökningar av andra isotoper främst radium och dess egenskaper i vatten och jord.

3. Framställning av spec. kvotkartor för att se hur dessa återger jordarter av skilda kornstorlekar.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING sid

	SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER	2
1	INLEDNING	5
2	FYSIKALISK BAKGRUND	7
3	MARKSPEKTROMETRI	11
4	FLYGSPEKTROMETRI	12
5	KEMISKA ANALYSER	14
6	INVERKAN AV JORDARTERS POROSITET OCH VATTENHALT PÅ GAMMASPEKTROMETERMÄTNINGAR	15
6.2	Uppläggning av försöksmätningarna	18
6.3	Resultat	19
6.3.1	Kemiska analyser	19
6.3.2	Markspektrometermätning	25
6.3.3	Flygspektrometermätning	25
6.3.4	Jämförelse mellan kemisk analys - markspektrometermätningar och flygspektrometermätningar	27
7	TORV OCH HUMUSTÄCKETS INVERKAN PÅ GAMMASPEKTROMETERMÄTNINGAR	32
7.1	Utförande	32
7.2	Resultat	35
7.2.1	Markmätning	35
7.2.2	Skärmning av skog och undervegetation vid flygspektrometermätning	40
8	INVERKAN AV MARKPROFILENS URLAKNINGSSKIKT OCH ANRIKNINGSSKIKT PÅ GAMMASPEKTROMETERMÄTNINGAR	42
8.1	Val av områden	42
8.2	Utförande	43
8.3	Tidigare undersökningar	45
8.4	Resultat	48
8.4.1	Analyser	48
8.4.2	Markmätningar och kvoteringar	56
8.4.3	Grundvattenzonen	61
9	NÅGRA METALLERS (FRÄMST K, U, OCH Th) UPPTRÄDANDE INOM OLIKA KORNSTORLEKAR	64

		sid
9.1	Tidigare arbeten	64
9.2	Val av område	64
9.3	Provtagningsmiljö för moräner	67
9.4	Utförande	67
9.5	Resultat	67
10	FÖRDELNING AV KALIUM, URAN OCH TORIUM I OLIKA JORDARTER	77
11	LÅNGTRANSPORTERADE ELEMENTS INVERKAN PÅ GAMMA-SPEKTROMETERMÄTNINGAR	81
11.1	Val av område	81
11.2	Utförande och områdesbeskrivning	83
11.3	Resultat	84
11.3.1	Analyser	84
11.3.2	Markmätningar	85
11.3.3	Flygmätningar	88
	APPENDIX	89
12	RESULTAT	90
13	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	92
14	LITTERATUR	96

1 INLEDNING

1974 införde SGU ett datorbaserat system för att i kartform redovisa utförda flygradiometriska undersökningar. Med hjälp av en datorstyrd färgplotter utsprutas sk "trekomponentkartor", som visar gammastrålningen från kalium-40 och gammastrålande isotoper i "uran och "torium" sönderfallsserier i form av röda, blå och gula staplar vars längder är propotionella mot den uppmätta strålningen från respektive element (Lindén, A., Åkerblom, G., 1976). Med de färgsprutade "trekomponentkartorna", som ersatte handritade totalstrålningskartor, blev det första gången möjligt att på en och samma kartbild åskådliggöra hur gammastrålningen från uran, torium och kalium varierar, dessa ämnens inbördes variation och strålningens förhållande till topografi, berggrund och jordlager.

"Trekomponentkartorna" visade sig vara överlägsna tidigare redovisningssystem för gammastrålning från marken. Kartorna gjorde det inte bara möjligt att säkrare välja ut från prospekteringssynpunkt intressanta anomalier utan de visade sig även ha stor potentiell användbarhet vid den geologiska karteringen (Lindeń, A., Åkerblom, G., 1976). Vid berggrundskarteringen kan kartorna användas för att skilja på olika bergarter och i vissa fall för att fastställa bergartsgränser och de borde även kunna ge information vid kvartärgeologiska arbeten. Redan de första kartorna antydde att man från dem skulle kunna skilja ut områden med lera, mo och sand från moränområden och kanske även kunna ange fuktighetsgraden inom olika sedimentområden.

För att göra kartorna verkligt användbara för geologiska arbeten var det dock nödvändigt att skaffa sig bättre kunskaper om fördelningen av kalium, uran och torium och de senares gammastrålande dotterisotoper i olika berg- och jordarter samt om hur gammastrålningen från de radioaktiva isotoperna påverkas av fuktighet i marken och av skärmande skikt av vegetation, torv och överlagrande jordarter.

Av denna anledning har inom det anslagsfinansierade delprogrammet "Registrering, dokumentation och tolkning av det naturliga radioaktiva fältet" utförts två större undersökningar av vilka det ena behandlar de radioaktiva elementens fördelning i berggrunden och gammastrålningen från berggrunden (Hålenius, U., 1978) och det andra, som redovisas i denna rapport (del 1 och 2) motsvarande förhållanden i jordlagret.

Del 1 av rapporten behandlar gammastrålningens beroende av:

- jordarternas porositet, täthet och vattenhalt
- vegetationens, torvtäckets och överliggande jordlagers skärmning
- fördelningen av radioaktiva element i jordarternas urlakning- och anrikningsskikt och inom olika jordartsfraktioner
- grundvattenytans inverkan

Inom del 2 redovisas resultaten från detaljundersökningar, som utförts inom 15 olika lokaler belägna från Norrland till Skåne enligt nedanstående tabell.

Detaljundersökta lokaler, läge och jordarter

Namn	Läge	Häll	Block-fält	Morän	Grus	Sand	Silt	Lera	Torv
Ranakgieles	25 I 4b			x		x	x		
Allejaure	25 I 2d		x	x					
Siksele	23 H 8e		x	x			x		x
Skarpskallen	23 H 6c	x		x					
Blåbärsliden	23 H 6h		x	x			x		x
Malingsbo	11 F 8h			x	x	x	x	x	x
Härnevi	11 H 4e	x		x		x	x	x	x
Haga-Vappa	11 H 2d-e							x	
Fiholm-Barva	10 H 8a 6b		x		x	x	x	x	
Boxholm	8 F 0-1a	x		x	x	x	x	x	x
Mjöhult-Rögle	3 C 6b-c			x				x	
Ängelholm	3 C 7c					x			
Arrap-Tåstarp	3 C 8d-e				x	x	x	x	

Detaljundersökningarna har omfattat:

- kvartär- och berggrundsgeologiska detaljkarteringar
- markmätningar med gammaspektrometer längs kilometerlånga profiler och över frilagda undersökningsytor på olika jorddjup
- studier av mätdata från flygmätningarna
- provtagning av jordarter för kemiska analyser och för bestämning av vattenhalt, porositet och olika fraktioner
- kemiska analyser, främst av U, Th och K men i jordprofiler även av Na, Mg, Ca, Fe^{++}, Fe^{+++} och spårelement

2 FYSIKALISK BAKGRUND

Gammastrålning är en elektromagnetisk strålning som avges vid sönderfall av instabila atomkärnor. Gammastrålningen utsänds i bestämda energinivåer beroende på vilket ämne som sönderfaller. Gammaenergi anges vanligen i elektronvolt.

I naturen är de vanligaste gammastrålarna kalium-40 som ingår i vanligt kalium, samt gammastrålande isotoper ingående i sönderfallsserierna för uran-238 och torium-232. K-40 utsänder endast en energinivå på 1460 keV medan U-238 och Th-232 sönderfaller till en rad dotterisotoper som var för sig ger olika gamma-energier med skilda intensiteter. Uran- och toriumseriernas viktigaste gammastrålare framgår av fig 1 - 5.

Gammastrålning kan detekteras med t ex scintillometer vars detektor är en NaI (TI)-kristall. Med en gammaspektrometer kan dessutom de olika energinivåerna särskiljas eftersom spektrometern har flera energikanaler. För att bestämma halterna av uran-238 och torium-232 med en gammaspektrometer måste sönderfallskedjorna vara i radioaktiv jämvikt eftersom det är gammastrålningen från dotterprodukterna som mäts. Radioaktiv jämvikt innebär att sönderfallet i hela isotopkedjan sker utan borttransport helt eller delvis av någon dotterisotop.

Sker borttransport av någon isotop i en sönderfallsserie tar det ungefär 10 x halveringstiden för isotopen innan serien ånyo är i jämvikt, (undantaget är moderelementet och den stabila slutprodukten). För U-238 tar det ca 1 million år och för Th-232 ca 40 år för radioaktiv jämvikt att inställa sig.

Man kan i stort sett utgå från att radioaktiv jämvikt föreligger i den svenska berggrunden, även i dess översta skikt, vilket beror på den geologiskt relativt korta tid som berggrunden varit exponerad för vittring. Det vill säga den tid som gått sedan landisen försvann. Däremot föreligger alltid mer eller mindre kraftig radioaktiv ojämvikt i jordlagret. Detta beror dels på att de olika isotoperna inom uran- och toriumserien har olika kemiska egenskaper t ex löslighet vilket medför att olika isotoper urlakas respektive utfälls vid olika pH och eH betingelser, dels på att det i bägge sönderfallskedjorna bildas gasformiga grundämnet radon (Rn-222) respektive (Rn-220) vilka kan avgå från respektive tillföras ett markskikt. På grund av den korta halveringstiden för dotterisotoperna inom torium-serien och toronets mycket korta halveringstid föreligger ingen radioaktiv ojämvikt av betydelse inom toriumserierna. Däremot kan ojämvikten inom uranserien var mycket stor.

Eftersom man vid gammaspektrometermätningar inte vet om radioaktiv ojämvikt råder inom hela sönderfallsserien brukar man använda sig av begreppet "ekvivalent halt" för att beteckna den halt en isotop i serien skulle ha om det befann sig i radioaktiv jämvikt med den eller de gammastrålade isotoper i sönderfallskedjan från vilken eller vilka gammastrålningen uppmätts. Vid flygmätningar som utförts med gammaspektrometer är det t ex brukligt att använda begreppen ekvivalent uranhalt (eU) respektive ekvivalent toriumhalt (eTh) för att ange den gammastrålning som uppmätts från respektive sönderfallsserie.

I denna rapport har genomgående använts beteckningarna eH eller eTh för haltbestämningar som utförts med gammaspektrometer i fält (gäller både för bestämningar som utförts från luften, på eller i marken och laboratoriebestämningar av uran utförda med gammaspektrometri på jordprov). I rapporten har även beteckningar "uran" och "torium" använts för att ange att det är fråga om gammastrålning från uran respektive toriumserierna.

Isotop	Halveringstid	Gammaenergier och intensiteter
Uran-238	4.5×10^9 år	-
Torium-234	24.1 dagar	0.09(15) 0.06(7) 0.03(7)
Protaktinium-234	1.18 minuter	1.01(2) 0.77(1) 0.04(3)
Uran-234	2.5×10^5 år	0.05(28)
Torium-230	8.0×10^4 år	-
Radium-226	1622 år	0.19(4)
Radon-222	3.82 dagar	-
Polonium-218	3.05 minuter	-
Bly-214	26.8 minuter	0.35(44) 0.29(24) 0.24(11) 0.05(2)
Vismut-214	19.7 minuter	2.43(2) 2.20(6) 2.12(1) 1.85(3) 1.76(19) 1.73(2) 1.51(3) 1.42(4) 1.38(7) 1.28(2) 1.24(7) 1.16(2) 1.12(20) 0.94(5) 0.81(2) 0.77(7) 0.61(45)
Polonium-214	1.6×10^{-4} s	-
Bly-210	19.4 år	0.05(4)
Vismut-210	5.0 dagar	-
Polonium-210	138.4 dagar	-
Bly-206	stabil	

Fig. 1 Uran-238 sönderfallsserie

Isotop	Halveringstid	Gammaenergier och intensiteter
Torium-232	1.41×10^{10} år	0.06(24)
Radium-228	6.7 år	-
Aktinium-228	6.13 timmar	1.64(13) 1.59(12) 1.10 1.04 0.97(18) 0.91(25) 0.46(3) 0.41(2) 0.34(11) 0.23 0.18(3) 0.13(6) 0.11 0.10 0.08
Torium-228	1.91 år	-
Radium-224	3.64 dagar	0.24(5)
Radon-220	54.5 s	-
Polonium-216	0.158 s	-
Bly-212	10.64 timmar	0.30(5) 0.24(82) 0.18(1) 0.12(2)
Vismut-212	60.5 minuter	2.20(2) 1.81(1) 1.61(3) 1.34(2) 1.04(2) 0.83(8) 0.73(10)
Polonium-208	0.3×10^{-6} s	-
Tallium-208	3.1 minuter	2.62(100) 0.86(14) 0.76(2) 0.58(83) 0.51(25) 0.28(9) 0.25(2)
Bly-208	stabil	

Fig. 2 Torium-232 söndefallsserie

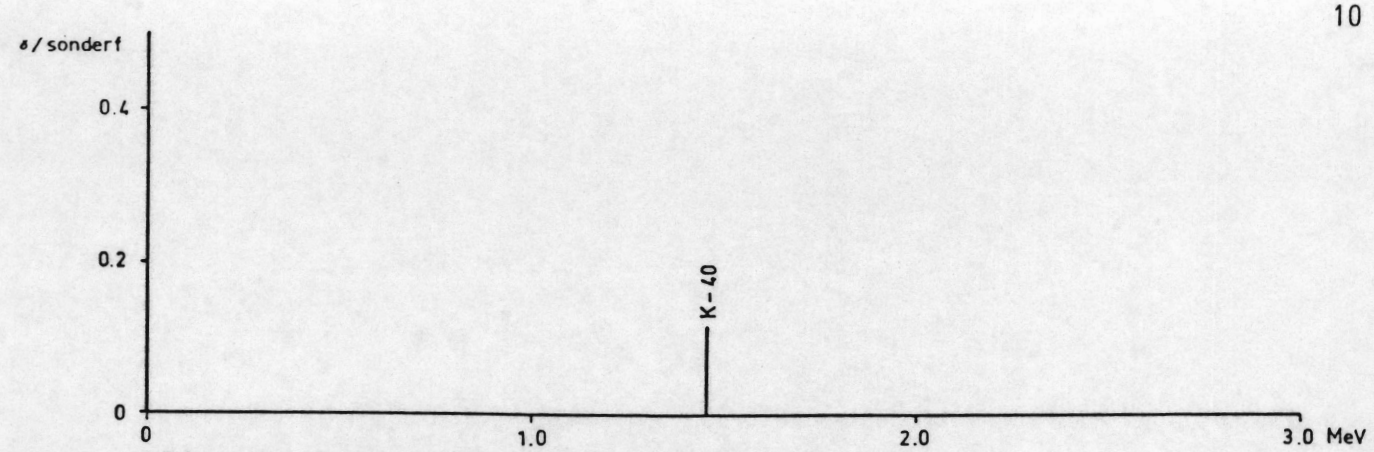


Fig. 3 Gammaenergi från kalium-40

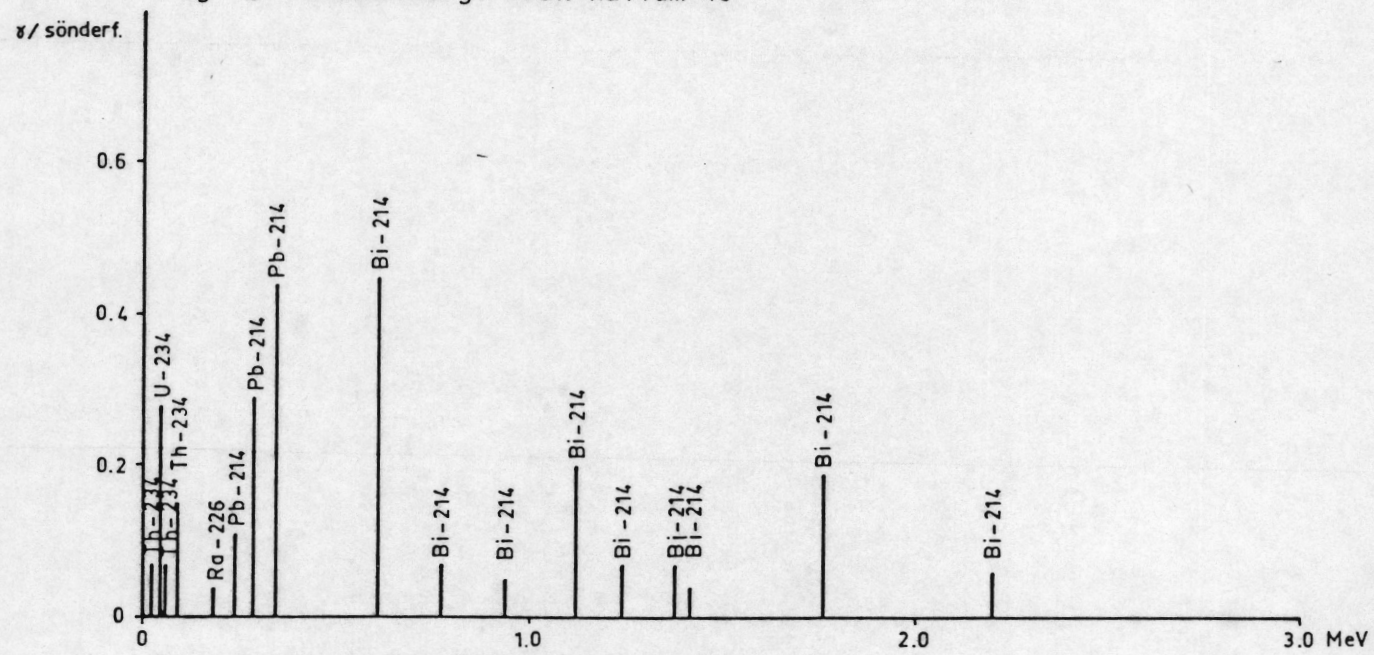


Fig. 4 Gammaenergier från uran-238

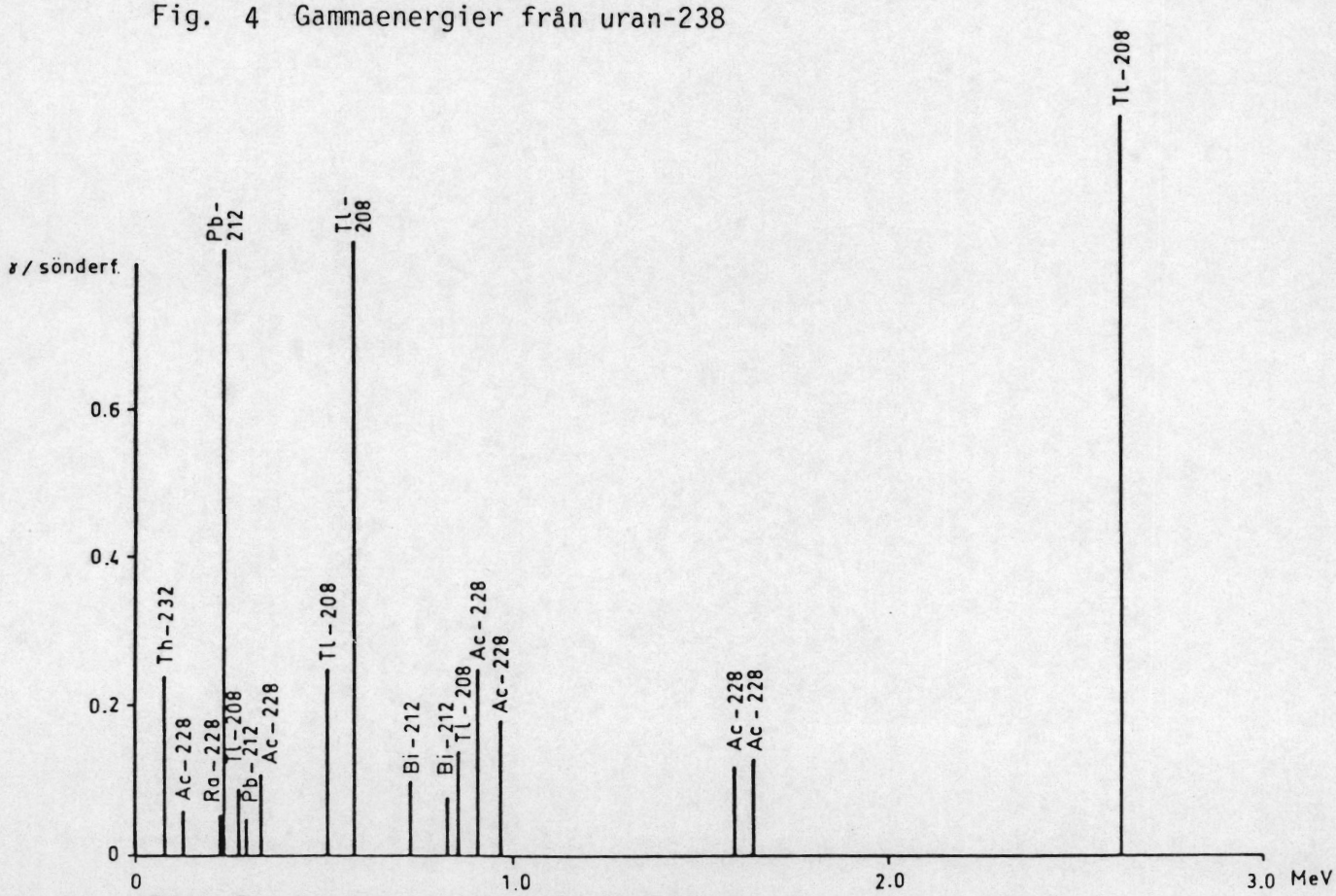


Fig. 5 Gammaenergier från torium-232

3 MARKSPEKTROMETRI

Vid detektering av gammastrålningen förändras utseendet på gammaspektrummet dels genom instrumentella effekter dels genom s k comptonstrålning. En gammaspektrometer med NaI (Tl)-detektor registrerar ett spektrum vars principiella utseende framgår av fig. 6. I samma bild finns de energikanaler inlagda som vanligen används på bärbara markspektrometrar. Det betyder att kalium analyseras med hjälp av 1460 keV-toppen, uran analyseras indirekt med hjälp av 1760 keV-toppen (Bi-214) och torium analyseras indirekt med hjälp av 2615 keV-toppen (Tl-208).

För att kunna beräkna halterna av kalium, uran och torium kalibreras spektrometern genom att mäta på plattor eller hällar med kända halter. Noggrannheten vid en analys med gammaspektrometer är beroende av kalibreringen, summationstiden och ämnenas haltfördelning och förutsätter som tidigare sagts radioaktiv jämvikt. Vid normala halter och vid en korrekt mätning är absolut-noggrannheten för kalium bättre än 0,1 % och för uran och torium i jämvikt med sina dotterisotoper bättre än 1 ppm.

Genomförande

Markspektrometermätningarna utfördes med en gammaspektrometer av typ DISA GR 410 av GeoMetrics tillverkning med en NaI (Tl)-detektor med storleken Ø 3 x 3".Vid mätningarna placerades detektorns undre yta 7 cm ovanför markytan. Vanligtvis utfördes flera mätningar på varje observationspunkt. Vid varje mättillfälle användes en summationstid av 4 minuter. För att eliminera bakgrundsstrålning dels från instrumentet och detektor dels från kosmisk strålning gjordes mätningar över en större vattenyta med djupt vatten var 14:e dag.

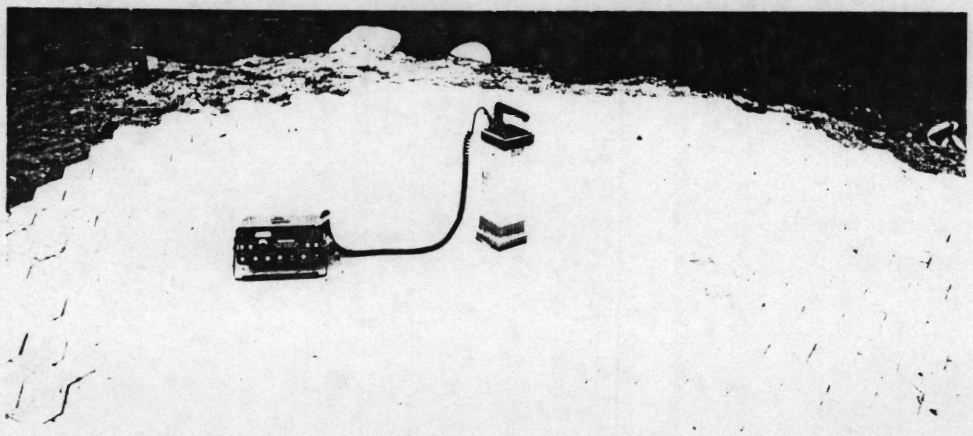


Foto av en gammaspektrometer placerad över en kalibreringsyta bestående av betongplattor. Ytan har en diameter av 3 meter.

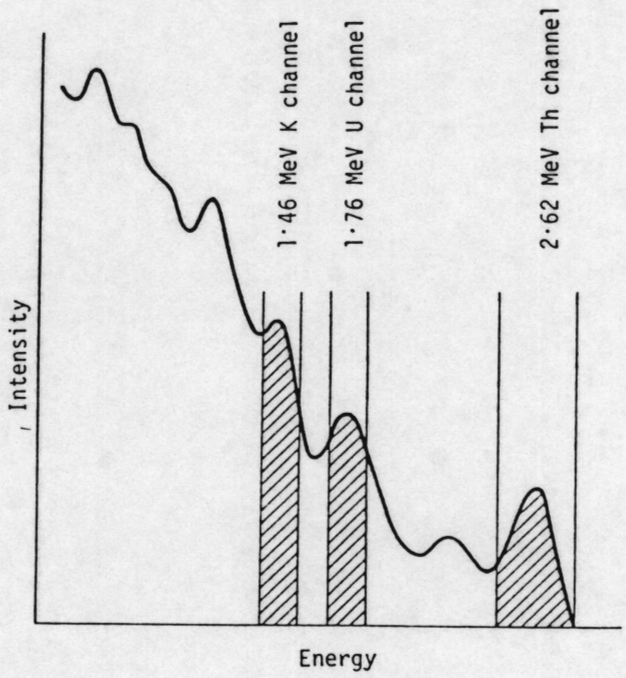


Fig. 6 Generaliserat energispektrum för strålning från normal granitisk berggrund. Mörka delar visar de fönster som normalt används i samband med gammastrålningsspektrometri.

Vid varje sådant tillfälle samlades pulser under 3 x 20 minuter. För att hålla kontroll på instrumentella förändringar och ändringar i bakgrundsstrålningen utfördes en mätning varje morgon och kväll på en fixpunkt. Fixpunkten bestod av en häll eller stort block utan lös avlagring på ytan. Variationen vid mätning på fixpunkten var $\pm$ 3,5 % för kalium, $\pm$ 8,5 % för uran och $\pm$ 4,5 % för torium. Kalibrering har gjorts på Risö kalibreringsplattor.

4 FLYGSPEKTROMETRI

Vid mätning av gammastrålning från flygplan används en liknande utrustning som vid markmätningar. Eftersom mättiden blir mycket kort vid flygmätning och avståndet till mätobjektet stort används dock betydligt större detektorkristaller. Oftast används ett betydligt större antal energikanaler och data lagras automatiskt på magnetband för vidare bearbetning.

En flygspektrometer kalibreras på liknande sätt som markspektrometrar över stora plattor med kända halter. Sådana mätningar måste dock kompletteras med flygmätning över mark med kända halter, eftersom även mycket stora kalibreringsplattor är för små för att kunna efterlikna en mätning från ett flygplan.

SGU's flygmätning med gammaspektrometer

Över de områden som ingår i det här arbetet har SGU utfört flygmätningar i mitten på 70-talet. Därvid användes det så kallade System 70. Detektorkristallen är av NaI (Tl) med ca 6 liter volym.

Spektrometern har 16 kanaler 150 keV breda mellan 450 och 2850 keV och summationstiden är 400 ms. En mätning genomfördes var 40:e meter i en hastighet av ca 70 m/s. I alla här genomförda flygningar har den nomiella flyghöjden över marken varit 30 meter. Mätdata lagras på magnetband men vissa data skrivs även ut på en skrivarremsa. Navigeringsfelet under flygning är normalt mindre än 50 meter På liknande sätt som för en markspektrometer elimineras bakgrundsstrålning genom att flygning utförs över stora vattenytor. Vid tidpunkten för flygmätningarna fanns inga kalibreringsplattor i Sverige utan kalibrering skedde genom en försöksmätning 1970. Detta innebär naturligtvis en viss osäkerhet i värdena men en omfattande kontroll skedde 1976 i samband med ett annat projekt. De beräknade värdena för kalium, uran och torium visade sig ha god relevans. Själva beräkningen av kalium, uran och torium tillgår på ett annorlunda sätt än för markspektrometermätningar då vid SGU har utvecklats en beräkningsmetodik där samtliga mätkanaler används. Enkelt uttryckt kan metoden beskrivas som att varje kanal multipliceras med en konstant och därefter summeras värdena för alla 16 kanalerna. En uppsättning konstanter används för vardera av de tre ämnena, (Lindén, A., Åkerblom, G., 1976).

5 KEMISKA ANALYSER

Kalium har analyserats på SGU genom atomadsorption. Uran och torium har analyserats på Studsvik Energiteknik AB genom aktivieringsanalys med fördröjda neutroner. Standarddeviationen för urananalyserna är på 2 - 4 %. Standarddeviationen för torium-analyserna är betydligt större, mestadels 11 - 16 % vissa fall över 20 %. Toriumanalyserna har därför kompletterats med gammaspektrometeranalys gjorda på Risö forskningsanstalt. Övriga analyserade metaller har analyserats på SGU genom atomadsorption eller optisk emissionsaspektrograf. Avvikelsen i analyserna kan dock vara betydande vad gäller spårelement.

Lerhalter har analyserats på SGU genom hydrometerförfarande. Moränprov har fraktionerats genom siktning med avseende på fraktioner grövre än 0,062 mm. Finare fraktioner och jordarter som leror och leriga sediment har fraktionerats genom elutriationsförfarande och utfällning i basisik miljö.

6 INVERKAN AV JORDARTERS POROSITET OCH VATTENHALT PÅ GAMMASPEKTROMETERMÄTNINGAR

Syftet med undersökningen var att få en uppfattning om betydelsen av jordarters porositet och vattenhalt vid gammaspektrometermätningar. En jordart är porös och kan innehålla varierande mängder vatten vilket utgör en utspädningseffekt vid spektrometermätningar.

6.1 Jordarters täthet, porositet och vattenhalt

Jordarters täthet, porositet och vattenhalt är generellt sett väl kända eftersom de ingår som rutinundersökningar vid geotekniska och byggnadstekniska undersökningar. Se t ex Knutsson, G., och Morefeldt, C-O., 1973), Lindskog, G., 1973), Troedsson, T., Nykvist, N., 1973). Dessa böcker behandlar jordarters egenskaper allmänt och de refererar till likartade diagram och resultat för olika typer av jordarter.

Nedan ges en översikt av olika jordartsklassers egenskaper.

				Densitet kg/m^3	
Jordart		Fraktion mm	Porositet %	Hög vattenhalt	Lågvattenhalt
Sten (mineral)		20 - 200	0		2650
Grus	grov	6 - 20	30-40	1900-2300	1500-2100
	fin	2 - 6	30-40	"	"
Sand	grov	0,6-2	30-40		
	mellan	0,2-0,6	30-35		
Mo	grov	0.06-0,2	30-35		
	fin	0,02-0,06	40-50		
Mjäla	grov	6 - 20 µm	40-50	1400-2000	1400-2000
	fin	2 - 6 µ	40-50		
Lera		< 2 µ	45-75		
Morän			20-30	2200-2400	2000-2300

Tätheten hos en jordart kan definieras som kompakt densitet, skrymdensitet eller torr- och våtdensitet. Kompaktdensiteten är densiteten hos den fasta massan det vill säga de fasta partiklarnas eller mineralkornens densitet. Skrymdensiteten är densiteten hos jordarter i form av en blandning av partiklar, vatten och luft. Torr- och våtdensiteten är extremvärdena av skrymdensiteten då porerna är helt luftfyllda respektive helt vattenfyllda. Porositeten betecknar porvolymernas andel av totala volymen och vattenmättnadsgraden under vatten i porerna.

$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$ $\quad \rho_s$ = kompaktdensitet

m_s = fast massa (mineralkorn)

V_s = volymen (mineralkorn)

$\rho = \frac{m}{V}$ $\quad \rho$ = skrymdensitet

m = fast massa vatten luft

$n = \frac{V_p}{V}$ $\quad V$ = totalvolymen

n = porositet

$P = \frac{V_v}{V_p}$ $\quad V_p$ = porvolym

p = vattenmättnadsgraden

V_v = vattenvolymen

Ur dessa definitioner kan följande samband härledas

$m = m_s + m_v = \rho_s (1-n) \cdot V + \rho_v \cdot V_v$ $\qquad m_v$ = vattenmassa

$\rho_v \cdot V_p \cdot p = \rho_v npV$

$\rho = \frac{m}{V} = \rho_s (1-n) + \rho_v np$

Betecknas halten av ett ämne i en torr jordart med H_d och motsvarande halt då porerna fylls helt eller delvis med vatten med H_v erhålls:

$$H_v = \frac{H_d \text{ massa av ämne s}}{\text{total massa}} = \frac{H_d \cdot (\rho_s \cdot V_s)}{m} = H_d \frac{\rho_s (1-n)}{\rho_s (1-n) + \rho_v np}$$

Exempel: Om den genomsnittliga porositeten för en jordart (sand) sätts till n = 0.30 och mineralkornens kompaktdensitet är ρ_s = 2650 kg/m^3 och vattens densitet = 1 000 kg/m^3 erhålls om p = 1.

$$\frac{H_v}{H_d} = \frac{2650\ (1 - 0.3)}{2650\ (1 - 0.3) + 1000 \cdot 0 \cdot 3 \cdot 1} = 0.86$$

Densitetens beroende av porositet och vattenhalt i en jordart framgår av fig. 7 om kompaktdensiteten antages vara 2650 kg/m^3, jämför även resultat från Mellander, H., Österlund, S-E., Åkerblom, G., (1982).

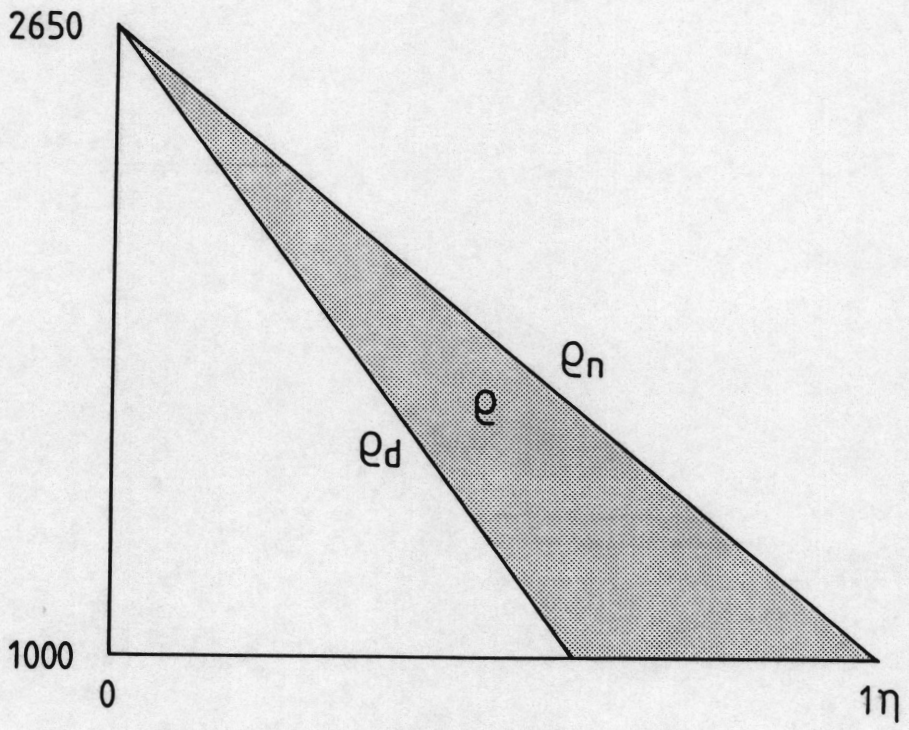
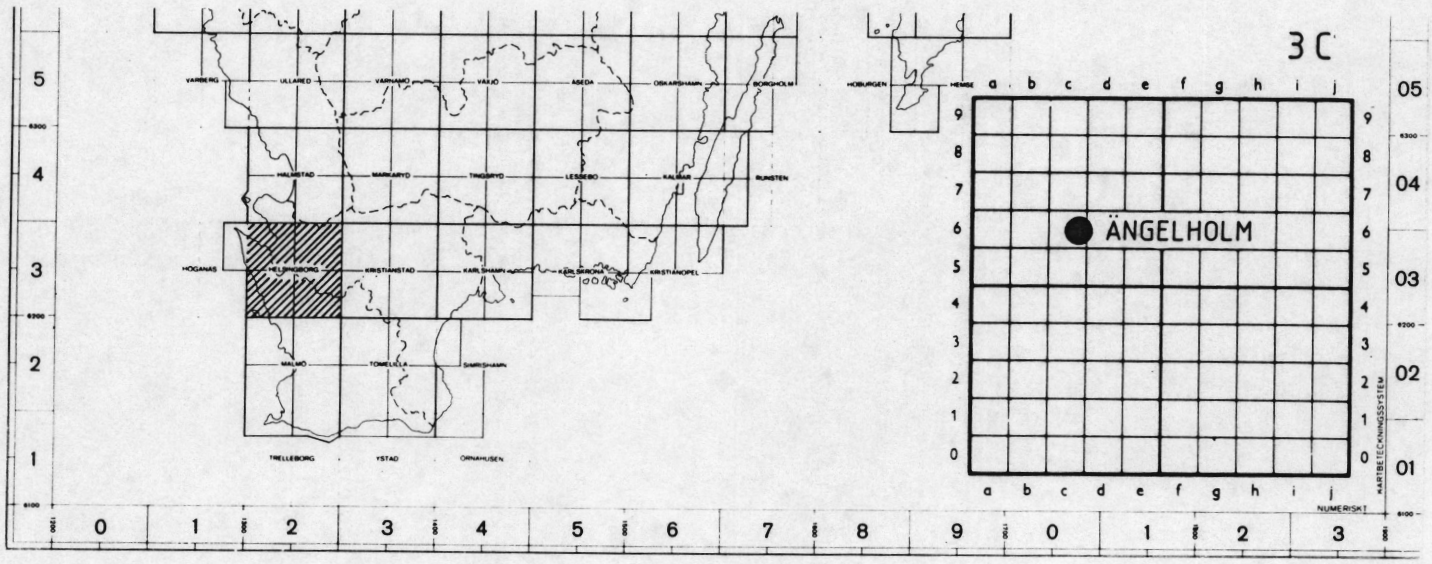


Fig. 7 Densitetens beroende av porositet och vattenhalt

6.2 Uppläggning av försöksmätningarna

För att undersöka vilken inverkan porositet och vattenhalt har vid gammaspektrometermätningar på jordarter genomfördes mätningar i ett testområde men jämförelse har också gjorts med andra områden. I första hand studeras effekten vid markspektrometermätningar men även flygmätningar över testområdena har använts.

För undersökningen valdes ett typområde - Ängelholms sandstrand (Hälsingborg 3 C, 6 c, fig. 8) eftersom detta utgjordes av vidsträckta ytor av så väl torr som vattenmättad sand. Dessutom är området öppet utan skog eller undervegetation och ligger inom sådan terräng att ingen anrikning av långtransporterade element från yt- eller grundvatten äger rum.



Figur 8.

Området vid Ängelholm är en ca 40 meter bred och jämn sandstrand som in mot land får en av sanddyner bruten morfologi. Sanddynområdet sträcker sig över 2 kilometer in mot land. Sandstranden är helt vegetationsfri på en bredd av ca 40 meter. Den närmaste dynfronten är täckt med glesa tallbestånd på en bredd av ca 40 meter. Den inre delen av dynområdet är ställvis genomdraget av smala myrstråk, för övrigt dominerar skog med tunn undervegetation.

Markmätning med gammaspektrometer utfördes på tre olika sandytor. En sandyta var helt torr ned till ett djup av 15 cm, en var fuktig och en var helt vattenmättad. På varje yta utfördes 2 stycken mätningar och ett prov för vidare analys togs på den torra sandytan.

Flera undersökningar gjordes på andra enhetliga jordarter bestående av begränsade kornstorlekar inom vidsträckt område. Emellertid var inte dessa områden representativa med avseende på total vattenmättnad respektive fullständig torrhet varför de visas i separat tabell (fig.18). De områden som avses är Vappa (lera), Barva (åsgrus) och Tåstarp (åsgrus). Som jämförelse har i vissa fall också använts de aritmetiska medelvärdena från de analyser och markspektrometermätningar som gjorts av vissa jordarter i övriga landet (fig. 10-13).

6.3 Resultat

I tab. fig. 9 på nästa sida sammanfattas resultat från kemiska analyser och gammaspektrometeranalyser på sand från Ängelholms sandstrand.

6.3.1 Kemisk analys

Kaliumhalten i sanden vid Ängelholm ligger på 2.66 % (se fig.9), vilket är ett typiskt värde för sand i såväl Skåne som i övriga landet. K-halten ligger normalt i intervallet 2.1-3.4 % - med medelvärdet 2.65 % K.

Uranhalten är låg, 0.68 ppm och utgör minimum vid jämförelse med värden från andra områden 0.7 - 6.5 ppm med medelvärde 2.9 ppm (fig. 14-17). Den låga uranhalten beror troligtvis på att den här typen av sand här har varit speciellt utsatt för svallning och urlakning.

Toriumanalyser har givit ett värde på 9.9 ppm, vilket inte är att lita på eftersom dessa analyser endast är utförda på Studsvik där toriumhalterna överhuvudtaget har givit oförklarligt höga värden. Relativt sätt är emellertid toriumhalten låg i jämförelse med andra sandområden där de minimala värdena ligger på 10 ppm och medelvärdet på 17 ppm (fig. 10, 13). Förklaringen till den låga toriumhalten kan ligga i att havssanden är underordnad på mörka mineral (biotit) i vilka torium sitter.

	K %			U ppm			eU ppm	Th ppm		eTh ppm
Provytan typ	Kem	Ms	Fs	Kem	Ms	Fs	Kem	Ms	Fs	
Torr	2.66	3.2	1.9	0.68	0.9	0.3		1.9	0.2	
Fuktigt	-	3.1	-	-	0.8	-	-	0.6	-	
Vattenmättnad	-	2.7	-	-	1.0	-	-	0.8	-	

Kvot	$Ms/_{Kem}$			$Fs/_{Kem}$			$Fs/_{Ms}$		
Torrt	$K/_{K}$	$eU/_{U}$	$eTh/_{Th}$	$K/_{K}$	$eU/_{U}$	$eTh/_{Th}$	$K/_{K}$	$eU/_{eU}$	$eTh/_{eTh}$
	1.21	1.32	0.25	0.71	0.41	0.03	0.59	0.31	0.11

Fig. 9 Aritmetiska medelvärden från kemanalys, markspektrometermätning och flygspektrometermätning över torr, fuktig respektive vattenmättad sand.

Kvoterna mellan markspektrometermätning respektive kemanalys vill visa skillnaden vid de olika analysmetoderna för jämförelse med resultat vid andra undersökningar samt som diskussion.

Kem - kemiska analyser, Ms - markspektrometermätningar, Fs - flygspektrometermätningar.

JORD	LOKAL	"Kalium"			"Uran"			"Torium"		
		Kem	Ms	Fs	Kem	Ms	Fs	Kem	Ms	Fs
LERA	Mälardalen	3.4	2.6	1.5	6.5	4.9	3.6	33.4	18.0	12.2
	Boxholm	3.1	2.0	1.7	7.5	6.1	4.0	27.6	12.1	8.5
	Skåne	2.8	2.4	1.7	3.6	3.1	2.1	22.3	9.7	6.6
	Hela landet	3.3	2.4		6.1	4.7		31.0	15.5	
GROVLERA	Malingsbo	2.5	1.8		7.0	2.6		14.7	8.1	
	Hela landet	2.8	1.9		5.8	2.7		19.9	8.7	
MJÄLA SILT	Malingsbo	2.4	1.5		3.5	2.2		13.9	5.8	
	Hela landet	2.8	1.6		3.8	2.5		16.0	7.2	
MO	Malingsbo	2.5	2.3	1.0	1.6	1.8	0.2	9.2	5.4	3.3
	Hela landet	2.5	2.4		2.2	2.3		12.8	7.7	
SAND	Malingsbo	2.5	1.5	0.8	2.1	1.3	1.0	11.6	3.7	3.5
	Hela landet	2.7	2.1		2.9	2.8		16.6	6.3	
GRUS	Hela landet	3.0	2.6	1.7	3.4	4.8	2.3	20.1	11.5	7.3
MORÄN blockfattig	Siksele	1.9	1.7	0.7	2.4	2.3	1.5	12.9	6.2	3.4
	Blåbärslid.	2.3	3.0	1.7	2.3	2.7	2.5	13.7	6.2	3.4
rikbl.	granitbl. Skarpsk.	2.5	2.6	1.5	3.8	6.3	4.8	16.9	11.7	8.4
rikbl.	granitb. Ranakgiel.	2.7	3.1	1.7	3.1	3.6	2.3	19.8	13.2	5.5
rikbl.	granitb. Boxholm	2.9	2.4	1.5	4.5	4.5	3.0	18.7	13.3	7.2
	Hela landet	2.5	2.6	1.4	3.3	3.9	2.8	16.5	10.2	5.6

Fig 10. Arimetiska medelvärden från kemiska analyser, markspektrometermätningar och flygspektrometermätningar över olika jordarter. Tabellen visar medelvärden från samtliga områden samt vissa regioner där analyser utförts. För analyser av moränprover har tagits kornstorlekar < 4 mm. Diagrammen i fig. 11, 12, 13 illustrerar fördelningen av K (11), U (12), och Th (13) från kemiska analyser och markmätningar av olika jordarter.

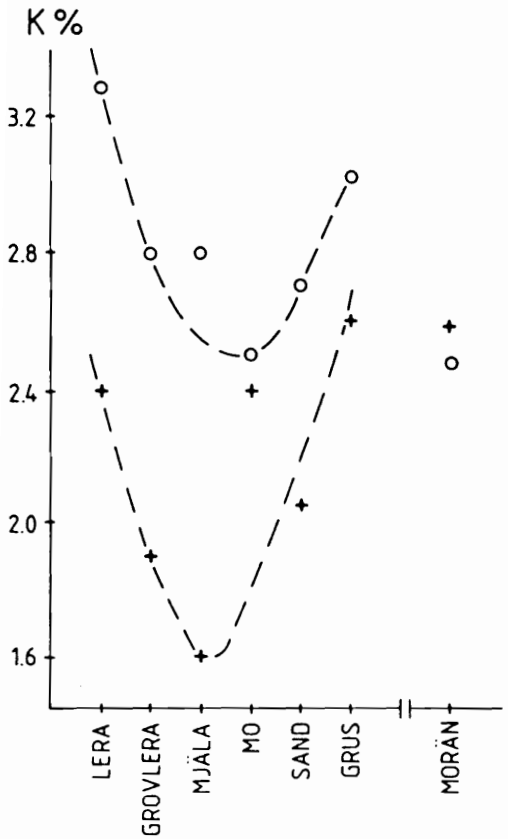


Fig.11

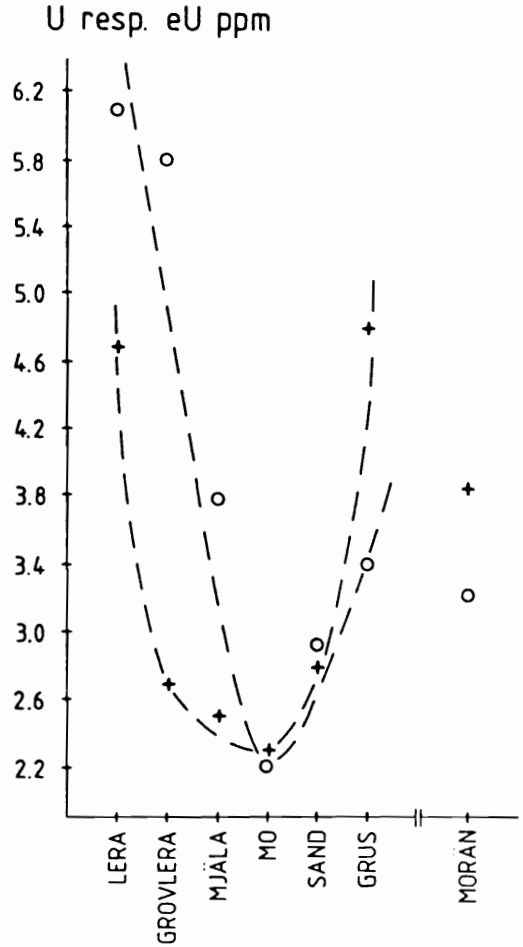


Fig.12

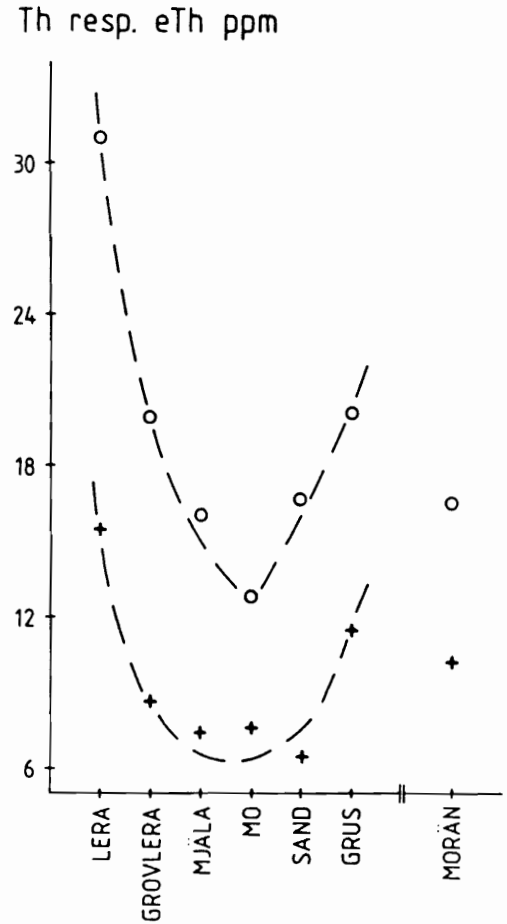


Fig.13

Arimetiska medelvärdet från kemiska analyser (o) och markspektrometermätningar (x) av olika jordarter från hela landet (se tab. fig. 10).

Fig. 11 illustrerar halterna för K
Fig. 12 illustrerar halterna för U
Fig. 13 illustrerar halterna för Th

Jordart		K %		U ppm	eU ppm	Th ppm	eTh ppm
		Kem	Ms	Kem	Ms	Kem	Ms
LERA	max	3.8	3.0	8.6	7.6	41.2	22.8
	min	2.3	1.8	2.9	2.3	16.5	7.6
GROV	max	3.1	2.4	10.4	3.7	27.1	15.9
LERA	min	2.4	1.5	3.4	1.7	8.0	7.0
MJÄLA	max	3.1	2.3	8.4	5.4	26.6	15.5
SILT	min	2.2	0.9	2.3	1.2	9.4	1.3
MO	max	3.1	3.7	6.5	3.7	16.7	12.8
	min	1.5	1.8	0.9	1.6	8.7	2.8
SAND	max	3.4	3.2	6.5	4.6	34.6	12.0
	min	2.1	1.3	0.7	0.8	9.9	0.6
GRUS	max	3.2	3.4	4.5	6.5	24.7	15.2
STEN	min	2.9	2.3	2.7	3.3	17.4	7.0
MORÄN	max	3.7	4.4	5.2	13.4	25.9	23.5
	min	1.8	1.2	1.8	1.0	6.3	3.5

Fig. 14 Max och min värden av K, U, Th från kemanalyser och markspektrometermätningar av olika jordarter med normal fuktighet (från hela landet). För analys av moränprover har tagits kornstorlekar under 4 mm. Diagrammen i fig. 15, 16, 17 illustrerar haltfördelningen.

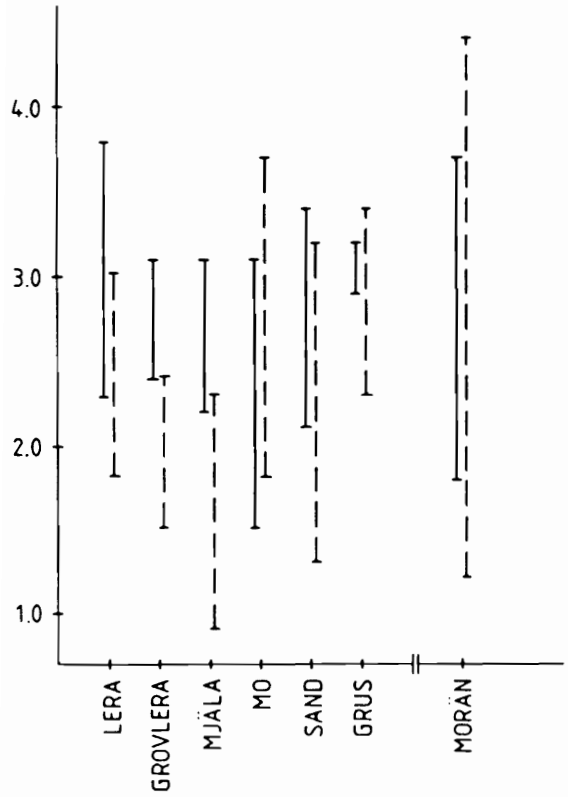


Fig.15

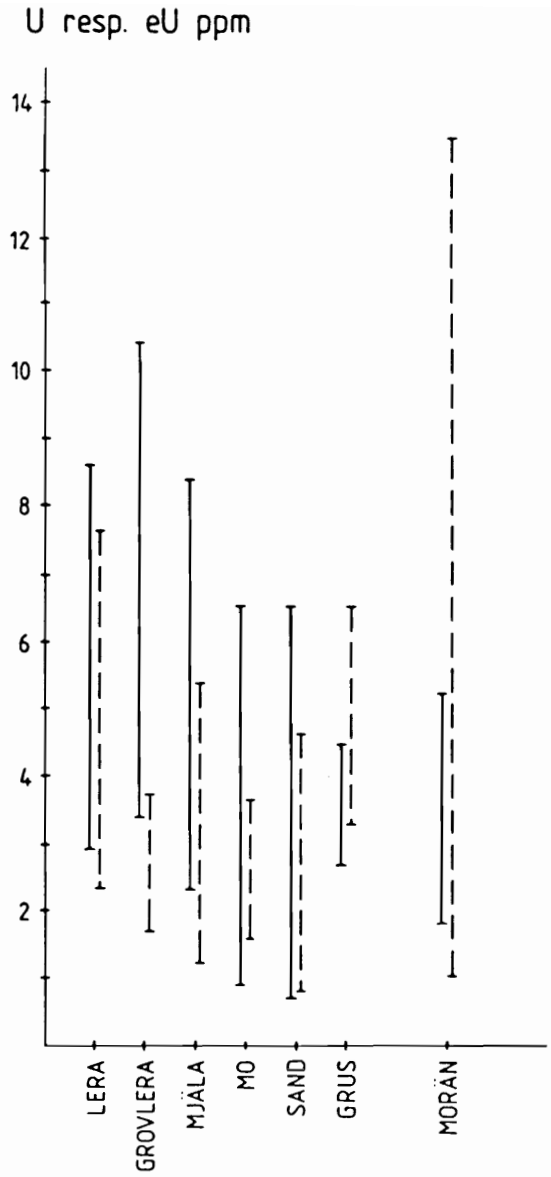


Fig.16

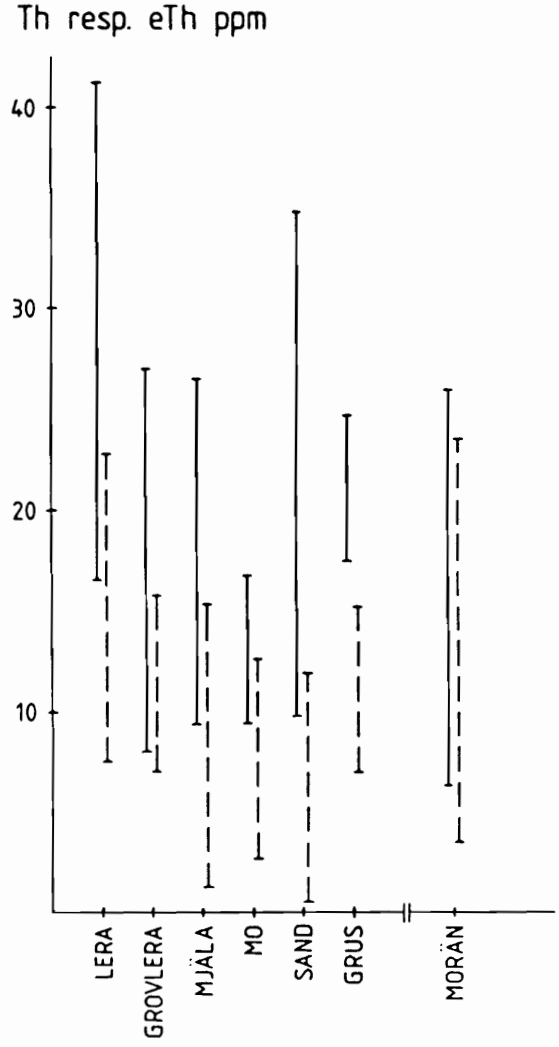


Fig.17

Max och minvärden fran kemiska analyser (··) och markspektrometer-
mätning (---) av olika jordarter från hela landet (se tab. fig 14)

Fig.15 illustrerar halterna för K
Fig.16 illustrerar halterna för U
Fig.17 illustrerar halterna för Th

6.3.2 Markspektrometermätningar

Vid markspektrometermätningar uppmätts samma halt på en torr jord oberoende av om den är porös eller kompakt. I en torr jord finns ingen skärmande vattenmassa utan porerna innehåller endast luft, vilket kan betraktas som en försumbar massa. Om porerna i en jordart fylls med vatten uppstår en skärmande effekt eftersom vatten har en icke försumbar massa. En våt jordart blir därför ett medium där man vid mätning måste ta hänsyn till vattenhalten i jordarten. Sambandet mellan halten i torrt prov, H_d och den skenbara halten i vått prov, H, är som tidigare redovisats

$$\frac{H_v}{H_d} = \frac{\rho_s\ (1-n)}{\rho_s\ (1-n) + \rho_v np}$$

Markspektrometermätningarna på torr respektive våt sand i området vid Ängelholm gav kaliumhalterna 3.2 respektive 2.7 %, uranhalterna 0.9 respektive 1.0 ppm eU och toriumhalterna 1.9 resp. 0.8 ppm eTh. Det är att märka att antalet mätpunkter inte är tillräckligt många för att helt eliminera effekten av små haltskillnader på olika platser. Kvoten mellan uppmätt kaliumhalt i våt respektive torr sand är 0.84 (se fig. 23).

6.3.3 Flygspektrometermätningar

Analogt för vad som gäller vid markspektrometermätningar gäller vid flygmätning. Dessutom måste hänsyn tas till att mättiden är kort vid flygmätning och att den yta som mäts är betydligt större än vad som gäller vid markmätning. Mätvärdet är alltså ett medelvärde för en yta som vanligtvis är ganska inhomogen.

MARKMÄTNING VÅT/TORR JORDART

	K våt / K torr	eU våt / eU torr	eTh våt / eTh torr
Ängelholm sand	0.84	1.11	0.41
Vappa lera	0.89	1.26	0.92
Tåstarp grus	0.86	0.71	0.74
Barva grus	0.81	0.71	0.72

Fig. 18 Kvoteringar från resultat av markspektrometermätning över våt jordart respektive torr jordart. De höga resultaten från några uranvärden har sin orsak i radonets rörlighet och sönderfall.

Flygmätningarna uppvisar en mycket ojämn fördelning av de radioaktiva ämnena (se nedanstående tabell). Efter ett flygstråk över sandstranden där registreringen av K är som störst efter fem punkter med 1.9 - 2.5 % K varierar registreringen av uran mellan 0 och 1.7 ppm och torium mellan 0 och 0.5 ppm.

Vid punkten för max kaliumhalt 2.5 % är registreringen av "uran" 0 ppm och "torium" 0.3 ppm. Vid mätpunkten för max uranhalt, 1.7 ppm eU är kaliumhalten registrerad till 2.2 % och toriumhalten till 0 ppm eTh. Anledningen till detta är det statistiska "bruset" som är mycket stort vid de låga halter som det här är fråga om. Resultatet blir bättre om halterna beräknas som medelvärde från flera registreringar. Det aritmetriska medelvärdet från 10 mätpunkter inom två parallella stråk framgår av tabellen.

	K %	eU ppm	eTh ppm
Medelvärde	1.9	0.3	0.2
Min-max för enskilda registreringar över 40 meters flygsträcka	0.8-2.5	0-1.7	0-2.2

6.3.4 Jämförelse mellan kemisk analys - markspektrometermätningar och flygspektrometermätningar

Kemanalys - markspektrometermätningar för kalium

Markspektrometermätningen har givit ett högre kaliumvärde vid mätning över torr sand (3.2 %) än vad kemiska analysen visar (2.66 %) (fig. 9). Detta är en vanlig företeelse vid mätning över grova sediment och blockfält. Aritmetiska medelvärdet för kvotkartor av $\frac{\text{markspek.}}{\text{kemanalys}}$ på torra grova sediment från andra delar av landet ligger ofta upp mot den här erhållna kvoten $\frac{3.2}{2.66} = 1.2$. (fig. 9). En del av förklaringen till att högre K-halt erhållits vid markmätning kan vara att kalibreringsplattorna är porösa och innehåller vatten. Detta medför i så fall att plattorna ansätts för höga halter. Vid mätning över en grov dränerande torr jordart fås därvid högre K-halt än vad analysen visar. Detta är emellertid inte hela förklaringen, mätgeometri vid kalibrering respektive mätning inverkar också.

Aritmetiska medelvärdet för samtliga kvoter för eU/U mellan $\frac{\text{markspek}}{\text{kemanalys}}$ på torra grova sediment från andra delar av landet ligger på 1.42 (fig. 19-22). Förklaringen till att ett så mycket högre U-värde erhållits vid markmätning bör ligga i den mer underordnade lakbarheten i uranets dotterprodukter. Det är främst Th-230 (halveringstid 8.0×10^4 år) och Ra-226 (halveringstid 1622 år) som här avses. När en stor del av uranisotoperna lakats bort finns fortfarande de mindre lakbara dotterprodukterna Th-230 och Ra-226 kvar som kan ge mätbara dotterprodukter enligt följande serie (fig. 1) Th-230 (8.0×10^4 år)→ Ra-226 (1622 år)→ Rn-222 (3.82 dagar gas)→ Po-218 (3.05 min)→ Pb-214 (26.8 min)→ Bi-214 (19.7 min) av vilka Bi-214 är den isotop som mäts.

Även att radonet är en gas och därmed en lätt tranpsorterad isotop kan ha betydelse för att spektrometermätningen visar en högsta eller lägsta uranekvivalent halt än den verkliga halten.

I ett grovt sediment är porerna stora och utgör ett luckert medium där radonet lätt kan diffundera mot ytan (Soonawala and Telford 1980) och omge hela spektrometern under samtidigt sönderfall till

Po^{-218}, Pb^{-214} och den med markspektrometern mätbara isotopen Bi-214, (se appendix).

Kemanalys-markspetrometermätningar för torium

De kemiska toriumanalyserna har visat sig ge för höga värden och för stor spridning för att kunna behandlas i detta avsnitt. Framför allt toriumhalter med så låga värden och låga intensiteter som det här är fråga om (analys 9.90 ppm, markmätning 1.85 ppm, fig 9).

Flygspek-kemanalys, flygspek-markspek

Flygmätningarna har givit lägre värden för samtliga radioaktiva element (K, eU, eTh) än vad både kemisk analys och markspektrometermätningar anger (fig. 9). Vid kvotberäkning av aritmetiska medelvärden från $\frac{\text{flygspek}}{\text{kemanalys}}$ (fig. 9) har följande resultat erhållits:

$K/_K \frac{1.90}{2.66} = 0.71$, $eU/_U \frac{0.28}{0.68} = 0.41$, $eTh/_{Th} \frac{0.21}{9.9} = 0.03$.

Även kvoter av $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}}$ (fig. 9) ger låga värden:

$K/_K \frac{1.90}{3.22} = 0.59$, $eU/_{eU} \frac{0.28}{0.9} = 0.31$, $eTh/_{eTh} \frac{0.21}{1.85} = 0.11$.

Vid jämförelse med kvoteringar från andra områden med grova sediment rör det sig om dessa proportioner för K medan eU är något högre för det aritmetiska medelvärdet i övriga delar av landet och har ungefär samma kvoter som K (fig.19). eTh däremot har resultatet i betydligt högre kvoter ($\frac{\text{flygspek}}{\text{kemanalys}} = 0.37$, $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}} = 0.63$) än vad som det är fråga om här i Ängelholm.
0.03 $\frac{\text{flygspek}}{\text{kemanalys}}$ resp.0.11 $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}}$.

Inom andra områden är eTh-halten högre (> 10 ppm markmätning) och kvoten $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}}$ sammanfaller med kovten $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}}$ för K.

Sammanställning kemanalyser markkvoter flyg

LOKALER		MARKSPEK / KEMANALYS K	MARKSPEK / KEMANALYS eU/U	MARKSPEK / KEMANALYS eTh/Th	FLYG.SPEK / KEMANALYS K	FLYG.SPEK / KEMANALYS eU/U	FLYG.SPEK / KEMANALYS eTh/Th	FLYGSPEK / MARKSPEK K	FLYGSPEK / MARKSPEK eU/eU	FLYGSPEK / MARKSPEK eTh/eTh
LERA	Mälardalen	0.76	0.76	0.54	0.44	0.55	0.37	0.58	0.73	0.68
	Boxholm	0.65	0.82	0.44	0.55	0.53	0.31	0.85	0.66	0.70
	Skåne	0.86	0.87	0.43	0.61	0.58	0.29	0.71	0.68	0.68
	Hela lander	0.73	0.70	0.50						
GROV LERA	Malingsbo	0.69	0.37	0.55						
	Hela landet	0.68	0.48	0.44						
MJÄLA SILT	Malingsbo	0.60	0.63	0.42						
	Hela landet	0.60	0.65	0.45						
MO	Malingsbo	0.91	1.1	0.59	0.40	0.13	0.36	0.43	0.11	0.61
	Hela landet	0.98	1.1	0.60						
SAND	Malingsbo	0.60	0.62	0.32	0.32	0.48	0.30	0.53	0.77	0.95
	Hela landet	0.79	0.94	0.38						
GRUS	Hela landet	0.85	1.4	0.57	0.57	0.68	0.37	0.65	0.48	0.63
MORÄN blockfattig	Siksele	0.87	0.96	0.48	0.37	0.63	0.26	0.41	0.65	0.55
	Blåbärslid.	1.3	1.2	0.45	0.74	1.1	0.25	0.57	0.93	0.55
rikbl.granitbl.	Skarpsk.	1.1	1.7	0.69	0.62	1.3	0.50	0.57	0.75	0.72
rikbl.granitbl.	Ranakgiel.	1.1	1.2	0.66	0.62	0.74	0.28	0.54	0.72	0.42
rikbl.granitbl.	Boxholm	0.82	1.00	0.71	0.53	0.67	0.92	0.64	0.67	0.54
	Hela landet	1.03	1.20	0.60						

Fig. 19 Kvoteringar från resultat av kemiska analyser, markspektrometermätningar samt flygspektrometermätningar över olika jordarter (tab. fig.10). Tabellen vill visa proportionen av de skärmningseffekter i form av vattenhalt samt de effekter som behandlas i kap 7 och 8 om torvens skärmning samt urlakningsskiktets skärmning. (Kemproven är tagna i jord som ligger under markprofilens urlakning- och anrikningsskikt). Inringade delar är åskådliggjorda i diagrammen fig. 20, 21, 22.

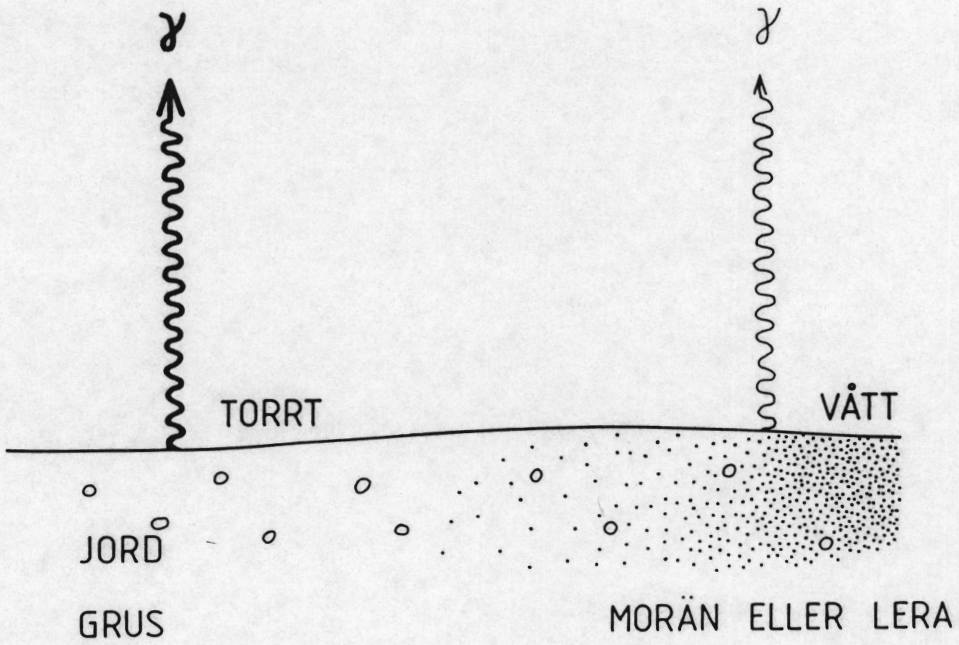


Fig. 23 Schematisk skiss över gammastrålningens skärmning av porvatten

Den låga kvoten $\frac{\text{flygspek}}{\text{kemanalys}}$ = 0.37 för eTh/Th kan förklaras av de felaktiga analysreslutaten. Gemensamt för kvoterna $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}}$ är alltså att de har ett värde på 0.50 - 0.75 under förutsättning att jordarten har normala halter av K, eU och eTh.

7 TORV OCH HUMUSTÄCKETS INVERKAN PÅ GAMMASPEKTROMETER-MÄTNINGAR

Syftet med undersökningen var att ta reda på torv-humustäckets inverkan med avseende på gammastrålningen från en underliggande minerogen jordart. Femton markytor undersöktes inom följande områden (fig 24-25) - Siksele (23 H 8-9e) fyra ytor, Blåbärsliden (23 H 6h) sex ytor, Allejaure (25 I 2 d-e) en yta, Malingsbo (11 F 8h) 2 ytor, Härnevi (11 H 4e) två ytor. Dessa lokaler ingår även i de mer omfattande undersökningar som redovisas i en kommande rapport.

Samtliga undersökta ytor ligger inom en sådan typ av terräng att ingen anrikning av långtransporterade element äger rum. Torv och humustäcken var av skiftande mäktighet över olika jordarter. I skogsterräng valdes torvtäckta moräner. Övriga jordarter kunde väljas i öppen terräng.

7.1 Utförande

Markmätningarna gjordes på det orörda torv-humustäcket. Efter minst tre mätningar togs torv-humustäcket bort från en cirkelrund yta med diameter på fyra meter. Därefter utfördes åter minst tre mätningar inom cirkelns centrum där de tidigare mätningar utförts (fig 26).

På några lokaler gjordes även mätningar efter att torvtäcket lagts tillbaka. Ett referensprov i markprofilens C horisont togs för att få ett ungefärligt bakgrundsvärde på den opåverkade kemiska sammansättningen i jordarten. Från moränprovet gjordes kemisk analys på fraktionen under 0.4 mm. Prov för analys togs inte i grövre morän och grövre sediment. Detta på grund av den låga representerbarheten i ett heterogent material, som en stenig och blockrik morän utgör.

Resultaten från de kemiska analyserna diskuteras inte här efterso undersökningar i markprofil (en jordarts vittrings och anrikningsskikt) liksom de radioaktiva metallernas fördelning i olika fraktioner kommer att behandlas i följande kapitel (kap 8, 9).

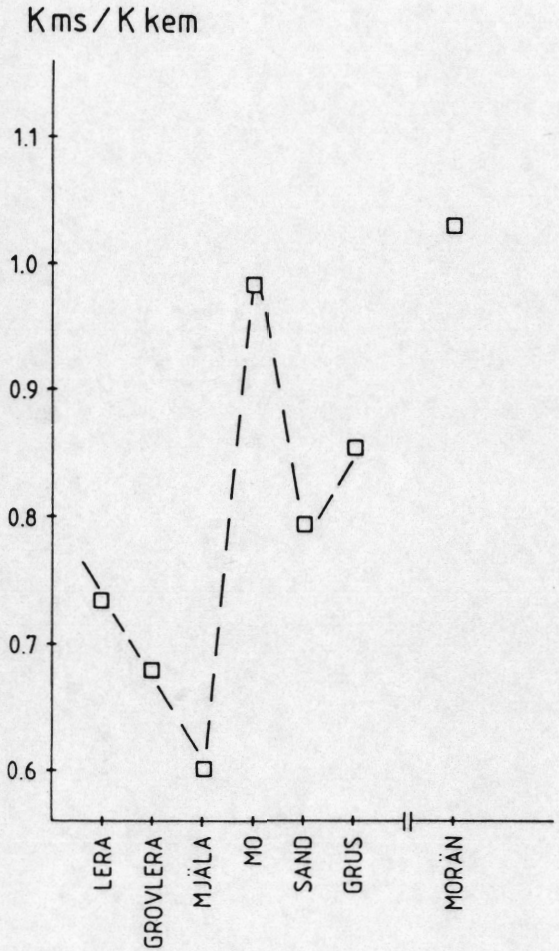


Fig.20

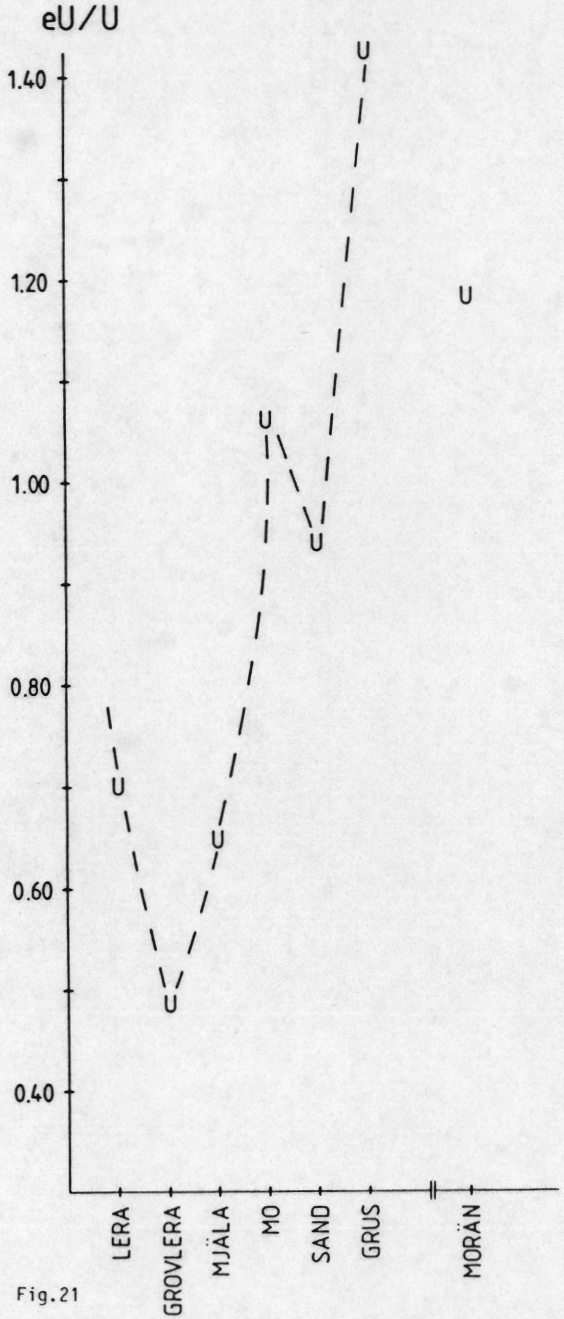


Fig.21

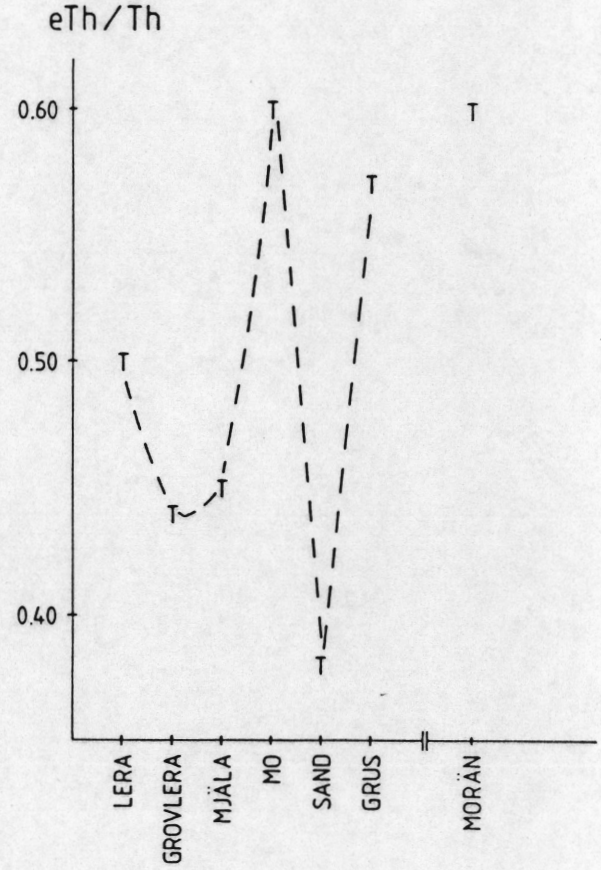


Fig.22

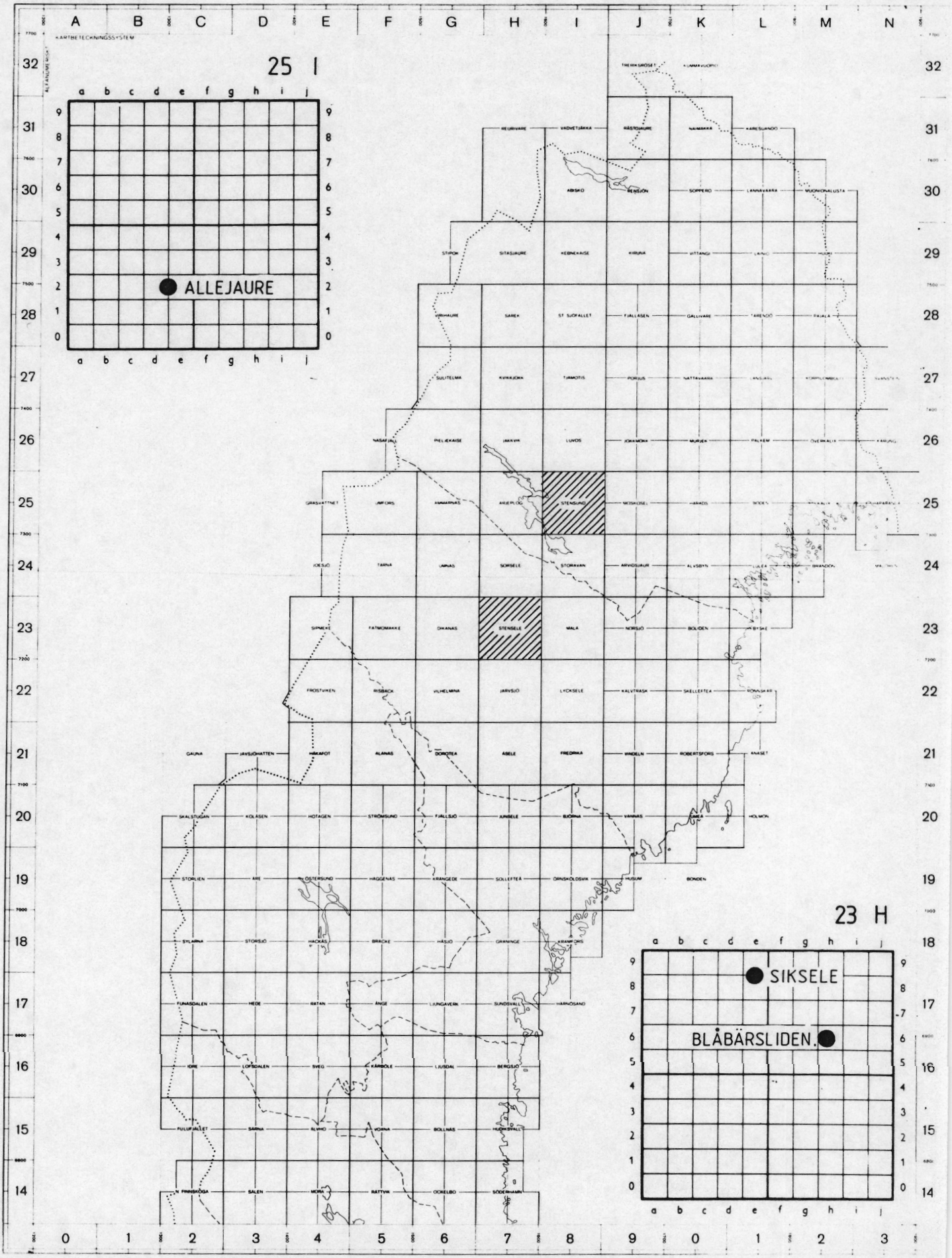
Kvoteringar från genomsnittliga resultat av markspektrometermätningar och kemiska analyser av K från olika jordarter från hela landet (se tabell fig.19).

Fig.20 illustrerar kvoteringen för K
Fig.21 illustrerar kvoteringen för U
Fig.22 illustrerar kvoteringen för Th

BLADINDELNINGSKARTA ÖVER SVERIGE FIG. 24

RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK

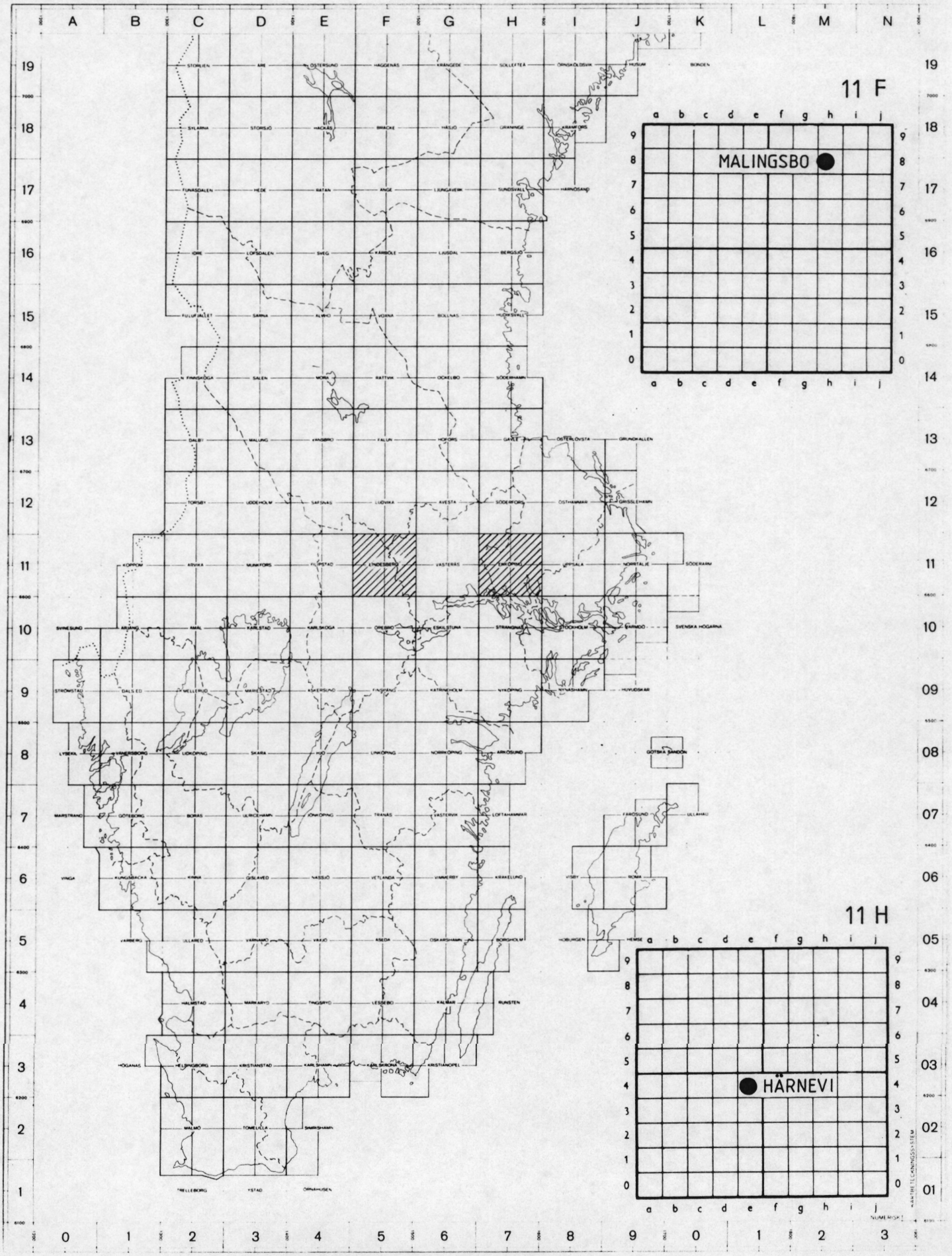
NORRA SVERIGE



BLADINDELNINGSKARTA ÖVER SVERIGE FIG. 25

RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK

SÖDRA SVERIGE



7.2 Resultat

7.2.1 Markmätning

Resultat från markmätning, flygmätning och kemanalyser är redovisade i figur 26. I tabellen framgår även undersökningsområde, jordart och torvtjocklek samt i figur 27 - 30 kvoten vid markmätning över torv respektive frilagd yta för uppmätta halter av ekvivalent uran, ekvivalent torium och kalium. Värdena från markmätningar är angivna från det aritmetiska medelvärdet för de mätningar som utförts. Värdena från flygmätningarna är endast medtagna där den undersökta jordarten täcker en större areal. Värdena för flygmätningarna är tagna av det aritmetiska medelvärdet av de fem punkter som ligger närmast undersökningsytan. I de fall där den undersökta jordarten är representerad inom en begränsad yta har mindre än fem punkter från flygmätningen använts. Sådana flygmätningar är satta inom parentes.

			KEMANALYS			MARKSPEK			FLYGSPEK		
Lokal	Jord	cm	K	U	Th	K	eU	eTh	K	eU	eTh
Siksele	Humus	2				1.5	1.3	5.2	(0.60	0.61	3.1)
a	Silt	fri	2.5	2.4	22.5	1.6	1.7	5.7			
	Humus	10				0.85	1.6	2.5			
b	Silt	fri				1.6	1.7	5.9			
	Humus	4.5				2.0	2.6	8.3	(0.52	4.8	2.0)
c	Sten	fri				2.4	2.7	9.2			
	Humus	4				1.3	1.4	4.1	0.72	1.0	2.8
d	Morän	fri	1.8	2.6	12.6	1.6	1.9	4.8			
Blåb.li.	Humus	3				5.0	4.4	7.0	(2.9	1.9	5.8)
e	Block	fri	4.7	3.1	11.8	6.2	4.5	8.9			
	Humus	4				4.6	2.5	6.4	2.3	2.2	3.7
f	Morän	fri	2.0	2.8	19.6	5.8	3.4	7.8			
	Humus	4				3.0	4.2	9.7	1.7	2.8	3.0
g	Morän	fri	2.8	2.5	17.6	4.2	4.3	12.4			
	Humus	3				3.1	3.3	6.5	1.8	1.2	3.4
h	Morän	fri				3.5	3.4	7.3			
	Humus	7				1.8	1.5	5.1			
i	Morän	fri				2.8	3.2	8.7			
	Humus	4				3.0	2.4	6.0	1.9	2.1	3.5
j	Morän	fri	2.3	2.1	13.8	3.7	2.7	6.5			
Allei.	Humus	4				2.5	3.2	7.7	1.2	2.5	4.2
k	Morän	fri				3.6	4.2	12.7			
Mal.bo	Humus	2		2.8	10.0	1.3	2.2	7.0	(1.7	5.5	11.6)
l	Mjäla	fri	2.2	3.5	11.7	1.5	2.7	7.7			
	Humus	3		1.6	6.7	1.9	0.9	2.3	(1.1	0.3	2.8)
m	Gr.mo	fri	2.5	1.0	6.4	2.4	1.8	3.0			
Härnev.	Humus	4				1.6	3.3	12.2	1.3	3.1	11.6
n	Lera	fri	3.5	4.1	33.4	2.4	4.6	15.2			
	Humus	3				1.9	1.8	6.7	1.7	2.8	6.8
o	Mo	fri	2.8	2.1	15.9	2.5	3.7	10.9			

Fig.26 Skillnaden i markspektrometermätning över jordart med skärmande humuslager (i detta fall främst torvtäcket) samt med borttaget humuslager Kemproven är tagna i jord som ligger under markprofilens urlaknings och anrikningsskikt. För analys av moränprover har tagits kornstorlekar under 4 mm.

			MARKMÄTNING	HUMUSTÄCKE / FRI YTA	
Lokal	Yta	Humus djup cm	$\frac{K_{Hum}}{K_{fri}}$	$\frac{eU_{Hum}}{eU_{fri}}$	$\frac{eTh_{Hum}}{eTh_{fri}}$
Siksele	a	2	0.91	0.74	0.91
	b	10	0.53	0.92	0.44
	c	4.5	0.83	0.97	0.90
	d	4	0.79	0.76	0.85
	e	3	0.81	0.98	0.79
	f	4	0.79	0.73	0.82
	g	4	0.73	0.98	0.78
	h	3	0.88	0.96	0.89
	i	7	0.62	0.45	0.58
	j	4	0.81	0.90	0.92
	k	4	0.70	0.77	0.61
	l	2	0.86	0.83	0.91
	m	3	0.79	0.47	0.78
	n	4	0.66	0.67	0.79
	o	3	0.76	0.49	0.63

Fig.27 Kvoter över markspektrometermätningar på jordarter med skärmande humuslager respektive borttaget humuslager (fri minerogen yta). Värdena i tabellen är illustrerade i diagram fig.28 för kalium, fig.29 för uran och fig.30 för torium.

Kalium visar den mest enhetliga trenden i diagrammet för kvoter mellan $\frac{\text{humustäcke}}{\text{fri yta}}$ från markmätningarna (fig.27, 28). Kvoten $\frac{\text{humustäcke}}{\text{fri yta}}$ kommer ner mot 0.5 när humustäcket börjar närma sig en tjocklek av 10 cm (fig.27, 28).

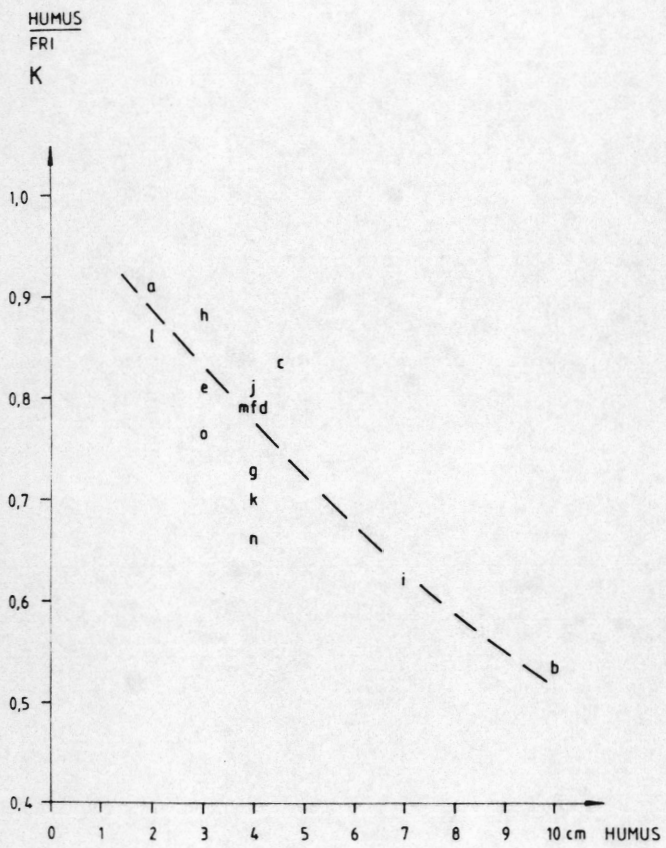


Fig.28

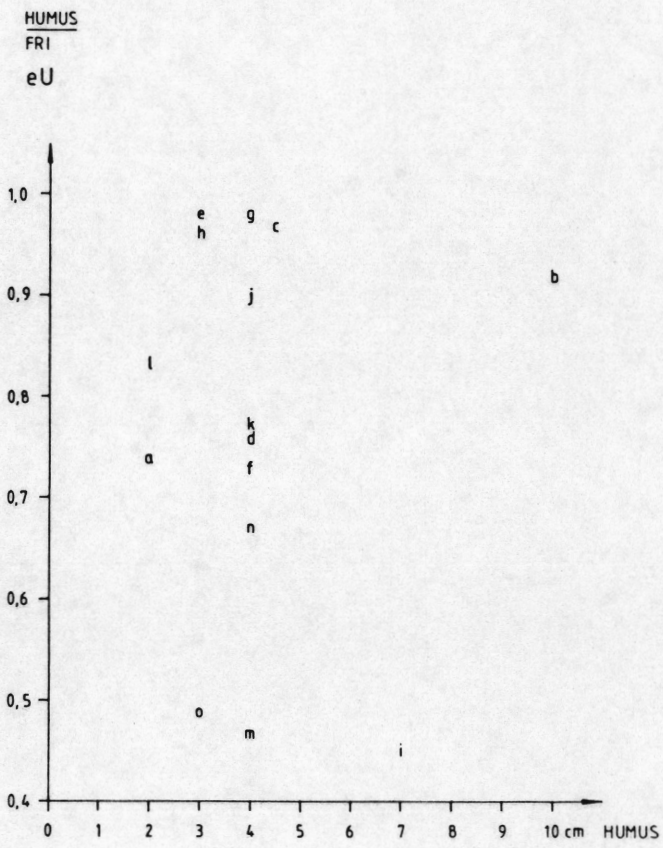


Fig.29

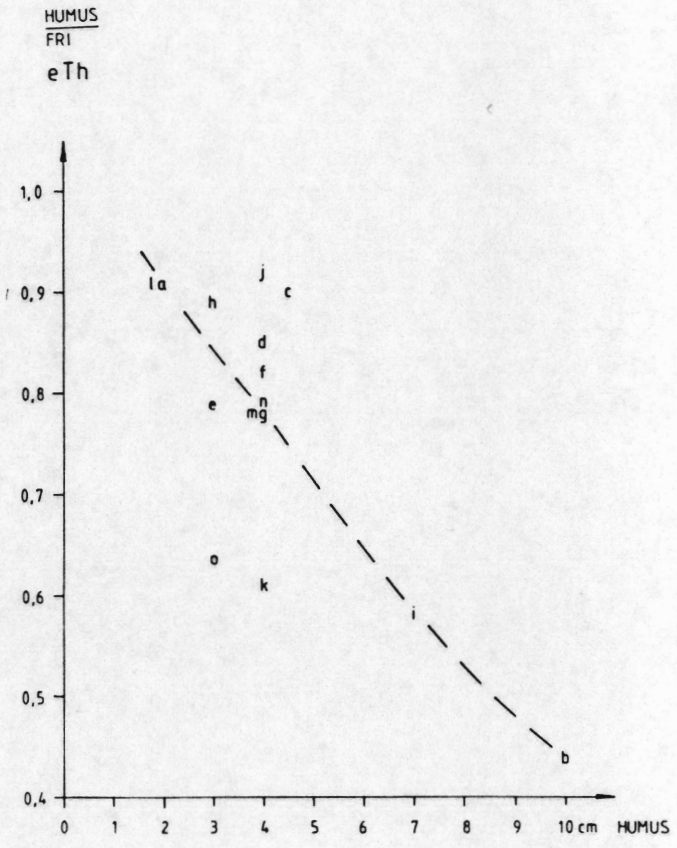


Fig.30

Diagram över det skärmande humuslagrets (i detta fall främst torvtäckets) inverkan på markspektrometermätning. Fig. 28 för kalium, fig. 29 för uran; fig. 30 för torium.

*avser ekvivalent

Y-axeln anger humuslagrets tjocklek. X-axeln anger kvoten mellan markspektrometermätning över torvtäckets yta respektive markspektrometermätning över blottad minerogen yta med en diameter på 4 meter.

För "uran" kan ingen trend urskiljas (fig. 27, 29). Variationen är påtaglig och oberoende av torvtjocklek.

De låga kvotvärdena kan inte förklaras. De höga kvotvärdena i tjock torv kan bero på gammastrålning från Bi-214 som tillsammans med andra radondöttrar absorberas i torven eller humuslagret. Tillförsel av radondöttrar kan förklaras med att de vid regn tvättas ut ur atmosfären och vid vattnets transport ner genom torvskiktet fastnat på torven. Det är också tänkbart att radongas som diffunderar från underliggande jordlager absorberas i torven och sönderfaller i mätbara dotterprodukter. Överhuvud taget är radonhalterna i markens ytlager varierande och svårtolkade, (jämför Israelsson, 1978).

För "torium" kan en trend urskiljas som visar att kvoten $\frac{\text{humustäcke}}{\text{fri yta}}$ liksom kaliumvärdena kommer ner mot 0.5 när humustäcket börjar närma sig en tjocklek av 10 cm (fig.27, 30). Emellertid finns några värden som klart avviker från de övriga och som gör att trenden inte blir lika enhetlig som hos kalium.

7.2.2 Skärmning av skog-undervegetation vid flygmätning

Vid friläggning av torv har det varit svårt att hitta lämpliga områden där skärmningseffektens betydelse vid flygmätning kunnat göras. I fig.31 har därför gjorts en sammanställning över resultat från områden med och utan skog. Områdena är enhetliga med avseende på jordart. I det ena området (lera Härnevi 11 H 4e, fig.31) är en del av området beklätt med granskog och en påtaglig undervegetation och torv. Den öppna delen är odlad och innehåller endast en svag humusblandad lera över plogdjup. I det andra området består ena delen av skogsklädd morän (Ranakgielas 25 I 4b, fig.31), den andra delen av kalhygge. På kalhygget är undervegetationen betydligt torrare.

Från kvoteringen ur fig.31 framgår att avskärmningen av skog ger en kvot $\frac{\text{flygspek skog}}{\text{flyg öppet}}$ för K och Th på omkring 0.7, medan eU ger en kvot som ligger nära 0.9. Kvotresultaten för K och eTh får ses som resultat av en normal avskärmningseffekt (se fig.32) medan den högre kvoten för eU kan tänkas bero på att strålningstillskott från luftburna radondöttrar och/eller radondöttrar som absorberas på undervegetation och torv.

	FLYGSPEK			FLYGSPEK SKOG/ÖPPET		
				K skog	eU skog	eTh skog
	K	eU	eTh	K öppet	eU öppet	eTh öppet
Odlad lera	1.7	2.6	10.0	0.72	0.89	0.61
Skog + torv på lera	1.2	2.3	6.1			
Hygge på morän	2.4	7.2	16.4	0.67	0.88	0.70
Skog på morän	1.6	6.3	11.5			

Fig.31 Flygspektrometermätningar över öppen terräng samt över skogsklädd terräng med motsvarande jordart. Kvoterna vill visa skärmningens inverkan från skog med saftig undervegetation.

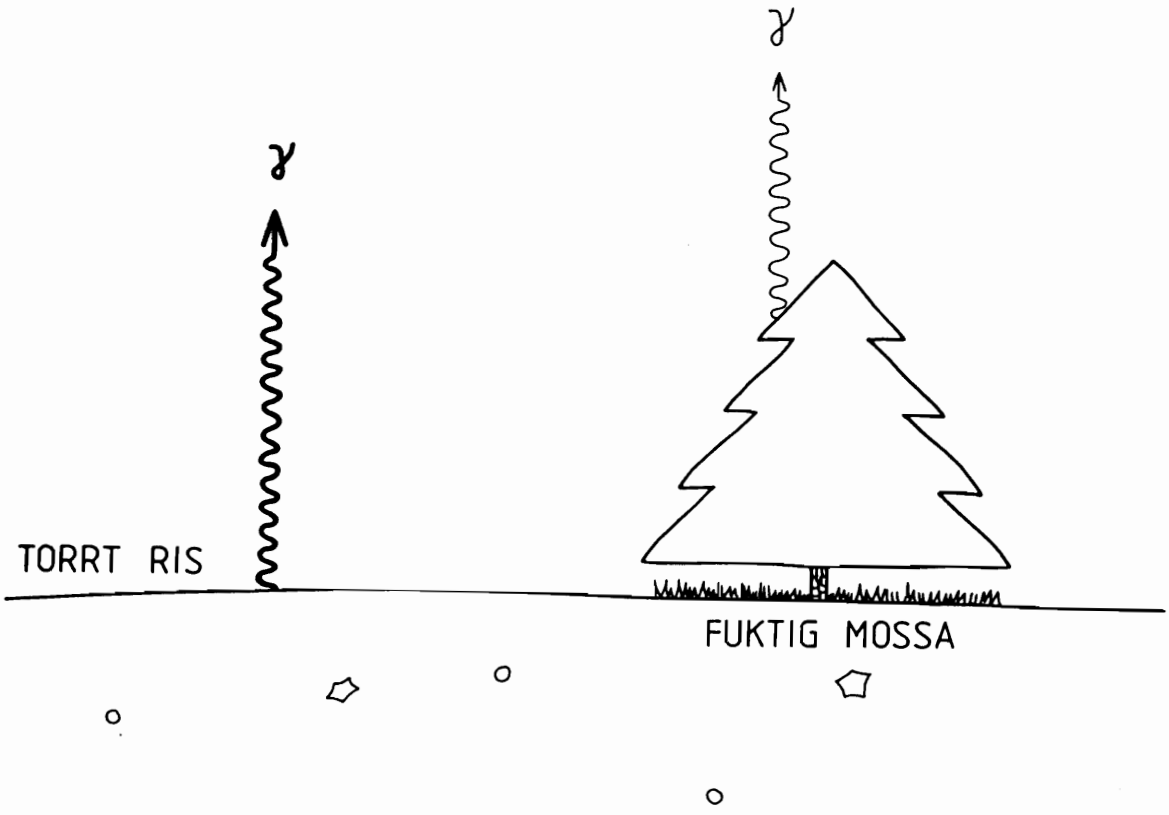


Fig.32 Schematisk skiss över gammastrålningens skärmning av kraftig vegetation.

8 INVERKAN AV MARKPROFILENS URLAKNINGSSKIKT OCH ANRIKNINGSSKIKT PÅ GAMMASPEKTROMETERMÄTNINGAR

Syftet med denna undersökning var att få en uppfattning om urlakningens omfattning hos de radioaktiva elementen i markprofilens övre lager. Mobiliteten av kalium samt uran med dess dotterprodukter och torium med dess dotterprodukter är direkt avgörande för hur väl markmätningen indicerar den underlagrande opåverkade jordarten. För att få en uppfattning om ovanstående metallers mobilitet gjordes analyser och markmätning över jordar med urlakningsskikt, anrikningsskikt, opåverkade lager och grundvattenzon.

8.1 Val av område

Undersökningar i markprofiler med tydligt urlaknings och anrikningsskikt det vill säga en A, B och C horisont gjordes dels i mjäla och dels i grovmo. De mest ingående undersökningarna valdes på två lokaler i Malingsbo (Lindesberg 11 F 8h, fig.33).

Undersökningar i grundvattenzonen gjordes i leror, mjäla och morän. Dessa jordarter saknade vittringshorisonter på grund av dålig percolation och hög kapillaritet. Jämförande undersökningar gjordes istället vid några tillfällen från torrskorpa ner mot grundvattensnivå. Lokalerna ligger i Malingsbo 11 F 8h (mjäla), Fiholm 10 H 8a (lera), Boxholm 8 F 0-1a (morän), Rögle 3 C 6c (lera) (fig.33). Samtliga av ovanstående lokaler låg inom sådan terräng att ingen anrikning i form av långtransporterade element från ytvatten kunnat äga rum. Vid några av lerlokalerna kan emellertid en lång transport av grundvattnet spela roll för jämviktförhållanden inom uranserien speciellt mot djupet. De flesta områden valdes i öppen icke skogsklädd terräng.

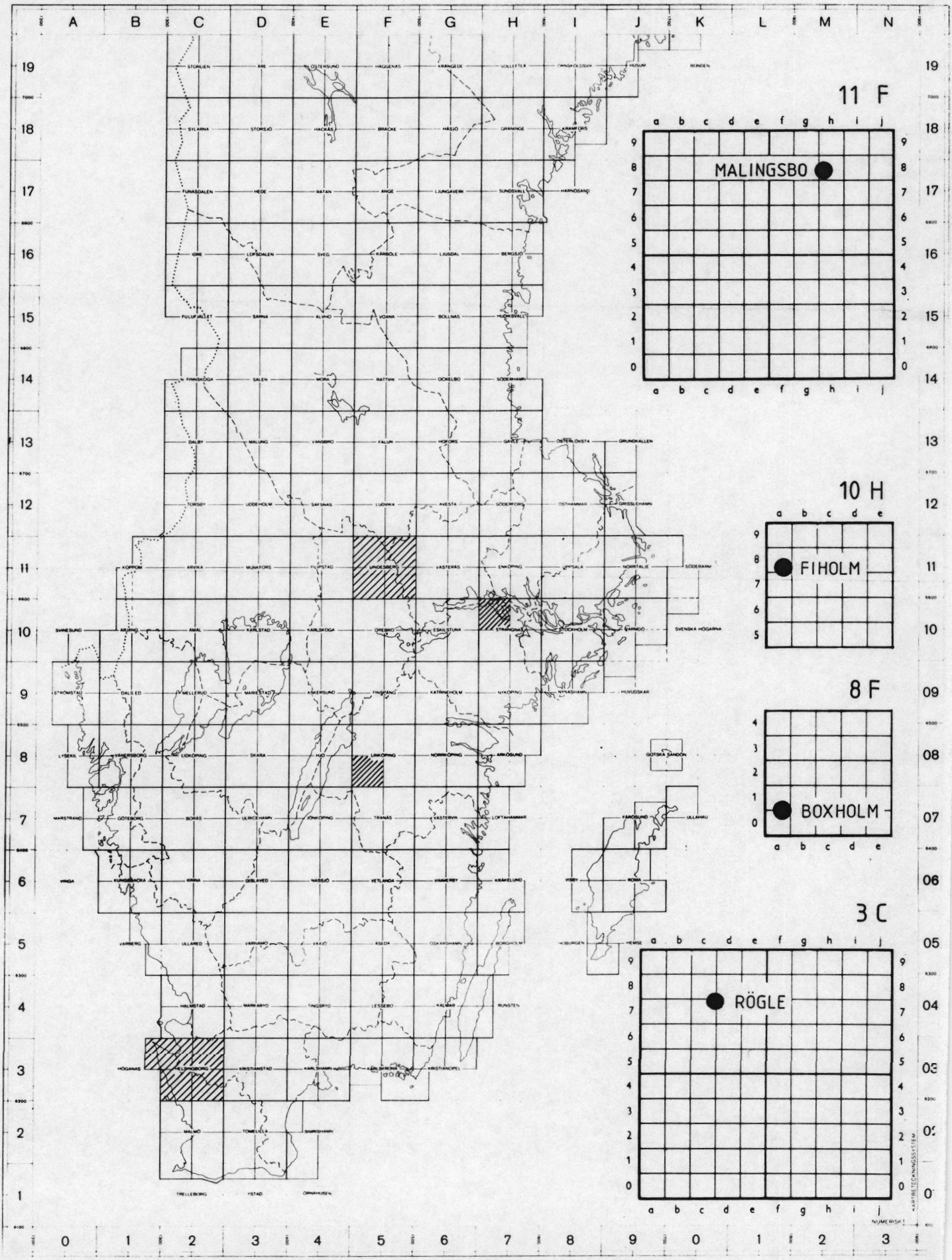
8.2 Utförande

I två fall gjordes markspektrometermätningar över olika horisonter i jordarterna mo och mjäla genom att skala av horisonterna efter hand. Avskalningen skedde inom en cirkelrund yta med fyra meters diameter. Prov för analys av andra element än de radioaktiva togs i syfte att lättare associera till markprocessen. Sammanlagt nio prov togs inom olika skikt i respektive markprofil. På de fyra lokalerna utan vittringshorisont gjordes markmätning endast på orörd överyta. I dessa fall var det frågan om jordarter med hög kapillaritet utan perkolation där inga vittringsytor kunde urskiljas.

BLADINDELNINGSKARTA ÖVER SVERIGE FIG. 33

RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK

SÖDRA SVERIGE



Ett prov togs i lerornas översta ytlager respektive kapillärvattenzonen omedelbart över grundvattenytan för att se fördelningen av element mot större djup.

8.3 Tidigare undersökningar

En mängd undersökningar har tidigare gjorts om urlakning och anrikning i olika markprofiler. De mest elementära processerna i en podsolprofil är så likartade och kända att det i detta fall är lämpligast att referera till aktuella textböcker (Lundegårdh, P.H et al 1964. Hawks and Webb 1968).

Podsolsprofilen består i stort sett av en urlakningsdel och en anrikningsdel (fig.34). Urlakningsdelen (A) består av horisonter med olika humusgrad och olika urlakningsgrad. Det översta skiktet som består av förmultnade växtrester A_{00} (förnan) underlagras av helt nedbrutna växtrester A_0 (måren), som successivt blir alltmer uppblandat av minerogent material A_1. Humusmaterialet blir helt underordnat och urlakningen av minerogent material tilltar mot A_2 blekjord. Anrikningsdelen (B) består av en övergångshorisont som underlagras av en anrikningshorisont B_1 där bland annat humus utfälls. Under B_1 kommer rostjorden B_2 (horisonten). De av markprocesserna föga påverkade jordarterna kallas C-skiktet. I C-skiktet kan emellertid uppträda en av grundvattnet påverkad horisont G. Strävan har också varit att undersöka G-horisonten i leror med låg genomsläpplighet. Generellt har följande slutsatser dragits på processer i podsolprofilen. Det största beroendet vid urlakning-anrikning är pH samt red-ox-processer. De senare sker dessutom nästan alltid med hjälp av mikroorganismer. De första processerna börjar i A_{00}-skiktet där luftens syre oxiderar växtligheten varvid kolsyra och humussyror bildas. Syrorna tränger ner tillsammans med syrerikt regn och smältvatten som nu påverkar vittringen starkt (A-skiktet).

Vittringen är starkast i glimmermineral (särskilt järnhaltiga) samt silikatmineral med Ca, Mg och Fe (hornblände samt Ca-rika fältspater).

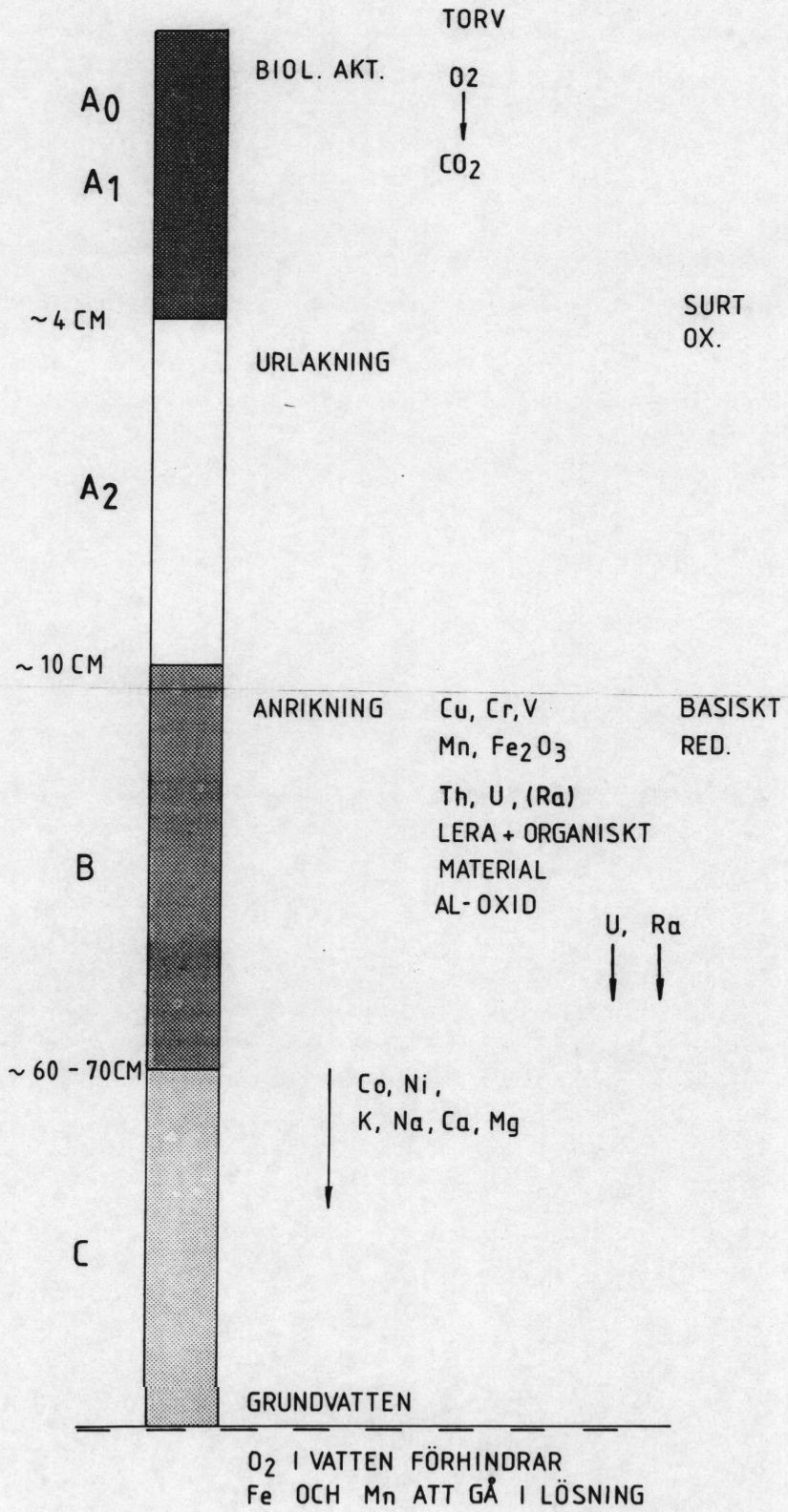


FIG. 34 PODSOLPROFILEN

Främst utlöses Fe, Mn, Al men även K, Ca, Mg och Na samt SiO_2. Förflyttning av lermineral sker.

Uranets kemi är komplex. Uranet är lättlösligt i oxiderande miljö speciellt vid lågt pH, dessutom påverkas uranets löslighet genom att det lätt bildas komplex med karbonat och hydroxyljoner $UO_2(CO_3)_3^{-4}$ respektive $(UO_2OH)^{+1}$. Dessa joner utfälls visserligen lätt av humus syror och lera i kolloidal form men utsätts troligtvis för vidare transport åtminstone i grövre jordarter (lerfattigare) (Armands 1963).

Om vattnet håller stora mängder katjoner med hög valens och hög atomvikt såsom Ca^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+} etc kan dessa mätta jonbytaren och därmed försämra fixeringseffekten för uran (Armands 1963).

En del uran kan bindas i torv från underifrån uppstigande kapillärvatten. Radium (Ra-226) är besläktad med de alkalina metallerna (Mg, Ca, osv). Lösligheten för radium är mindre än för uran. Torium är tämligen svårlösligt, men kan vid vittring adsorberas av lera och transporteras med den (Tieh, T.T, 1980).

Mot djupet avtar syrehalten successivt med oxidationsprocesserna och med tillförseln av salter stiger pH (neutralt-basiskt) varvid Fe-, Mn- och Al-oxider utfälls tillsammans med lera, humus och kiselsyra i B-skiktet. I övre B-skiktet anrikas också metaller som Cu, Cr, V märkbart (Hawks, H.E, Webb, J.S, 1968). En tendens till anrikning av Co och Ni finns också.

Uranet fälls lätt ut i B-skiktet på grund av det stigande pH-värdet och den sjunkande oxidationen. Dessutom utgör de anrikade humusämnena och lermineralen jonbytare som kan adsorbera ytterligare uran om de inte redan är mättade. Även den negativt laddade uranyljonen kan adsorberas i anjonbytare framför allt seskvioxiderna (ferrioxider och Al-oxider) (Eriksson, E och Holtan, H, 1974). En stor del av uranet fortsätter mot grundvattnet. Radium har betydligt mindre löslighet än uran. Det är också känt att radium fälls ut i oxiderande miljö varvid urlakningen från A-skiktet bör vara relativt begränsad.

Emellertid visar Ra^{2+} en tendens att adsorberas framför allt i limonit och Mn-hydroxider men också i lermineral och humus (Hawks, H.E, and Webb, J.S, 1968), varför en viss anrikning kan ske genom dessa. Större delen av det radium som urlakas fortsätter troligtvis ner mot grundvattnet.

Torium som är tämligen svårlösligt och till större delen är fixerat vid lermineral anrikas med dessa (Tieh, T.T, 1980). Övriga metaller som K, Na, Ca, Mg, Co, Ni passerar huvudsakligen B-skiktet mot grundvattnet.

Markens grundvatten är i allmänhet mycket komplex och varierande. Sammanfattningsvis kan sägas att grundvattnet i granitiska bergarter har en svagt sur pH-reaktion med tämligen låga salthalter medan omvända förhållandet råder i basiska bergarter (Knutsson, G. och Morefeldt, C-O, 1973). Grundvattenzonen är reducerande med utbyte av metaller i basisk miljö.

En upptransport av metalljoner från grundvattenzonen kan ske genom kapillär stigning i finkorniga jordarter.

8.4 Resultat

Resultaten är redovisade i fig. 35 - 38 där det i tabellerna framgår jordart, torv och humustjocklek, markmätning, analys, undersökt markhorisont samt i fig. 42 - 43 kvoteringar mellan olika markhorisonter. Fig. 39 - 41 utgör diagram för fördelningen av övriga ämnen i markprofilen. Flygvärden är ej angivna på grund av den hetrogena terrängen (omväxlande torv, mjäla, morän)med varierande grundvattentillstånd.

8.4.1 Kemiska analyser

Vad som framgår av kemanalyser där markmätning utförts är att flera metaller följer det mönster som tidigare konstaterats beträffande urlakning och anrikning. Vissa avvikningar finns emellertid liksom en viss skillnad mellan profilen i mjäla och profilen i grovmo (fig.35-41) I mjäla ökar SiO_2 och Na_2O ända ner i C-horisonten figur 39.

MJÄLA PROFIL			KEMAN			MARKSPEK		
Skikt	Jordtyp	Djup cm	K	U	Th	K	eU	eTh
A_0	Torv	2		2.8	10.0	1.3	2.2	7.0
A_0	Humus	4	2.2	3.2	11.6			
A_1	Bland.	6	2.2	3.5	11.7	1.5	2.7	7.7
A_2	Urlak.	10	2.2	3.5	9.5			
B_1	Rost	18	2.5	3.4	15.0	2.0	2.6	9.0
B_1	Rost	32	2.6	3.9	10.7			
B_2	Gul	48	2.7	4.9	10.4			
B_2	Gul	62	2.6	5.2	10.2			
C	Opåv.	77	2.5	4.5	11.5			

Fig.35 Aritmetiska medelvärden från kemiska analyser och markspektrometermätningar inom olika skikt i en podsolprofil av mjäla. Vid markmätning på ett visst skikt skalades överlagrande skikt bort över en rund yta med 4 m diameter.
(Observera att kemanalys är gjord på torkat prov och står för procentandel utan vatten).
Illustration av markprofil och halter i fig.36.

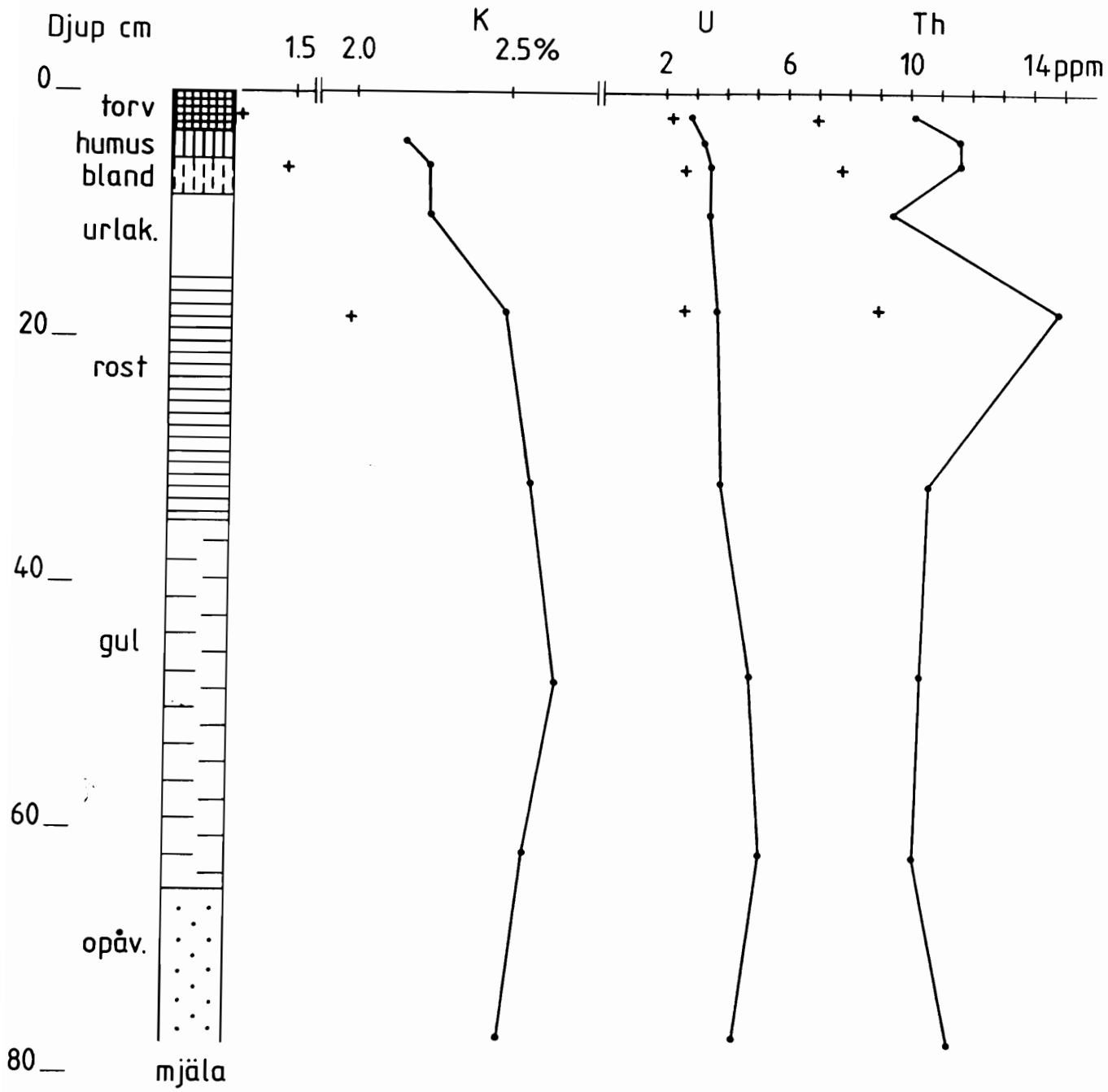


Fig 36 Halter från kemiska analyser av K, U och Th (punkter) och med markspektrometer bestämda halter av K, eU och eTh (kryss) inom olika skikt i en podsolprofil av mjäla (se tab.fig. 35).

MO PROFIL			KEMAN			MARKSPEK		
Skikt	Jordtyp	Djup cm	K	U	Th	K	U	Th
A_0	Torv	2		1.6	6.7	1.9	0.87	2.3
$A_0 + A_1$	Humus	4	2.4	1.4	9.0			
A_2	Urlak.	6	2.5	1.0	6.4	2.4	1.8	3.0
B_a	Rost	12	2.6	1.4	9.7	2.7	1.8	4.6
B_2	Röd	26	2.6	1.9	8.8			
B_3	Gul	38	2.7	2.0	7.1			
B_3	Gul	50	2.7	1.8	8.0			
B_3	Gul	62	2.7	2.0	10.7			
C	Opåv.	74	2.5	1.9	8.4			

Fig. 37 Aritmetiska medelvärden från kemiska analyser och markspektrometermätningar inom olika skikt i en podsolsprofil av mojord. Vid markmätning på ett visst skikt skalades överlagrande skikt bort över en rund yta med 4 m diameter. Illustration av markprofil och halter i fig. 38.

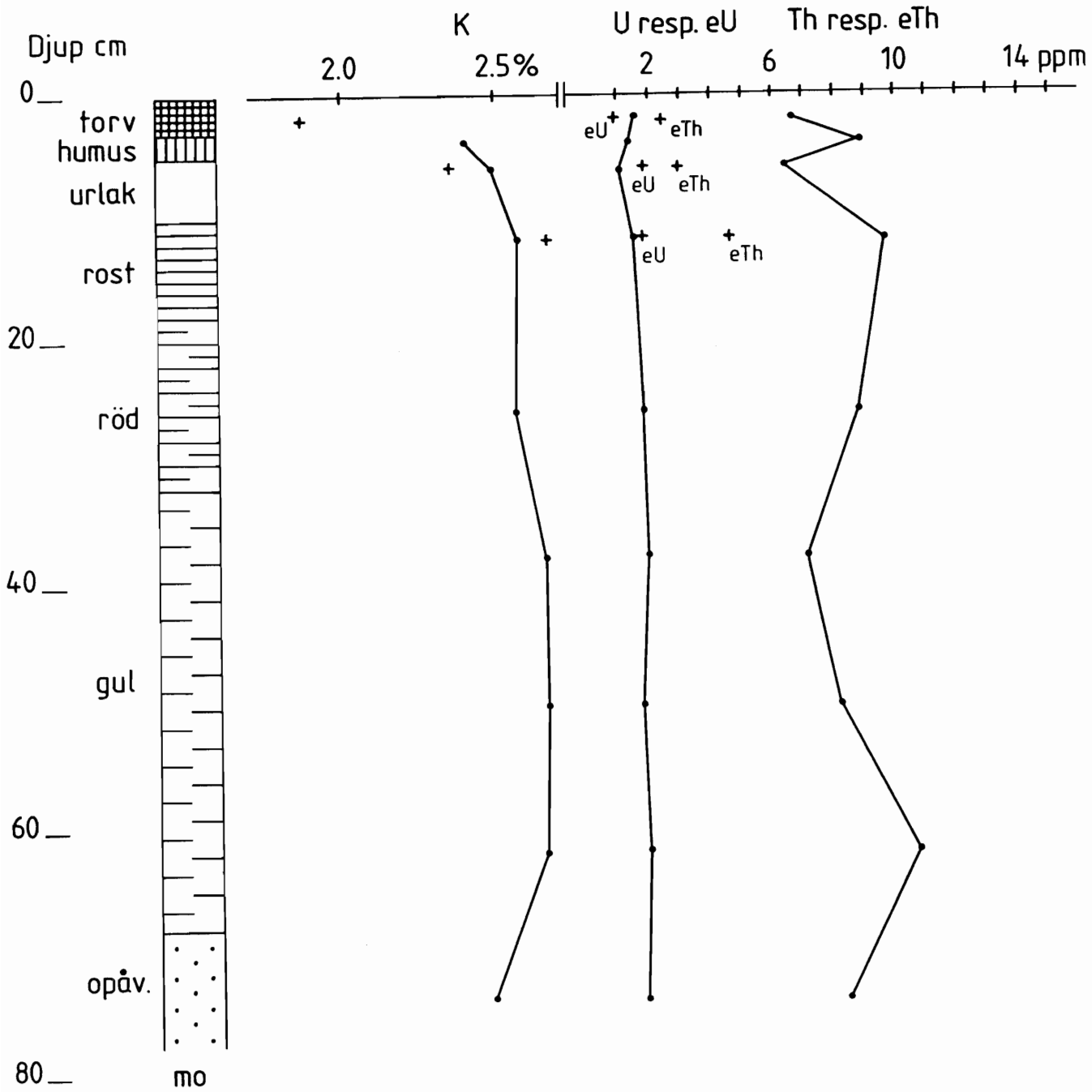


Fig. 38 Halter från kemiska analyser av K, U och Th (punkter) med markspektrometer bestämda halter av K, eU och eTh (kryss) inom olika skikt i en podsolprofil av Mo (se tab. fig. 37).

MJÄLAPROFIL KEMANALYSER

Skikt	Jorddjup	Djup cm	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
A_0	Humus	4	69.7	0.46	8.7	>0.1	2.6	0.05	1.0	0.46	1.6	2.6
A_1	Bland.	6	72.8	0.49	9.2	>0.1	2.4	0.06	1.0	0.50	1.7	2.7
A_2	Urlak.	10	72.3	0.49	9.4	0.9	1.6	0.08	1.0	0.51	1.7	2.7
B_1	Rost	18	74.1	0.54	10.4	1.5	1.6	0.07	1.1	0.60	1.8	3.0
B_1	Rost	32	76.0	0.50	11.2	1.5	1.4	0.05	1.2	0.82	2.1	3.1
B_2	Gul	48	77.1	0.52	11.0	2.1	0.9	0.07	1.2	0.87	2.1	3.2
B_2	Gul	62	77.1	0.49	10.9	2.2	0.8	0.06	1.3	0.82	2.2	3.1
C	Opåv.	77	78.8	0.47	10.1	1.4	1.0	0.05	1.5	0.67	2.4	3.0

Fig. 39 Fördelningen av vissa element inom olika skikt från en podsolprofil i mjäla.

MOPROFIL KEMANALYSER

Skikt	Jorddjup	Djup cm	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	Mgo	Na_2O	K_2O
A_0A_1	Bland.	4	81.8	0.16	8.0	0.1	0.8	0.03	0.7	0.14	1.8	2.9
A_2	Urlak.	6	85.6	0.16	8.0	0.2	0.5	0.02	0.6	0.11	1.7	3.0
B_1	Rost	12	78.8	0.30	10.5	2.2	0.8	0.04	1.2	0.43	2.5	3.1
B_2	Röd	26	78.5	0.22	11.2	1.3	1.0	0.04	1.3	0.50	2.7	3.1
B_3	Gul	38	79.2	0.20	11.0	1.0	0.8	0.04	1.3	0.50	2.7	3.2
B_3	Gul	50	79.5	0.16	11.0	0.8	0.8	0.03	1.3	0.48	2.8	3.2
B_3	Gul	62	80.4	0.20	11.1	0.9	0.9	0.04	1.3	0.50	2.8	3.2
C	Opåv.	74	80.4	0.23	10.2	1.1	0.9	0.04	1.4	0.57	2.5	3.0

Fig. 40 Fördelningen av vissa element inom olika skikt från en podsolprofil i mojord.

MJÄLAPROFIL						ATOMABSORBT			
Skikt	Jorddjup	Djup cm	Humus	Glöd	Ler	Ni	Co	Cu	Zn
A_0	Humus	4	8.3		14.1	0.001	<0.001	0.002	0.004
A_1	Bland.	6	5.1		13.3	0.001	<0.001	0.001	0.004
A_2	Urlak.	10	5.0	11.6	6.1	<0.001	<0.001	0.001	0.004
B_1	Rost	18			5.1	<0.001	0.001	0.001	0.004
B_1	Rost	32		3.0	9.8	0.001	0.001	0.001	0.003
B_2	Gul	48				0.001	0.001	0.001	0.003
B_2	Gul	62				0.001	0.001	0.001	0.002
C	Opåv.	77				<0.001	<0.001	0.002	0.001

Fig. 41 Fördelningen av några spårelement inom olika skikt från en podsolprofil i mjäla. Analys för ler, humushalt samt glödförlust är endast gjort i de övre lagren.

I grovmo visar SiO_2 en minskning i B-horisonten, medan Na_2O visar en ökning i nedre B-horisonten (fig. 40). I mjäla är Fe_2O_3 högst i nedre Bo-horisonten medan grovmo visar högsta värde i övre B-horisonten. I mjäla är FeO-halten högst i övre A-horisonten och minskar nedåt för att i C-horisonten nå ett något högre värde än i lägre B-horisonten.

I grovmo är FeO-halten högst i B-horisontens övre del.
I mjäla är MnO-halten högst i nedre A- och övre B-horisonten.
I grovmo är MnO-halten högst i B- och C-horisonten.

Båda jordartsprofilerna har följande gemensamt. TiO_2 har sina högsta halter i övre B-horisonten. Al_2O_3 har sina högsta halter inom hela B-horisonten. K_2O har sina högsta halter i nedre B-horisonten.

CaO visar en successiv ökning ända ner i C-horisonten.
MgO visar en ökning i B-horisonten. I grovmo visar emellertid MgO ett maxvärde i C-horisonten.

Av de metaller som endast analyserats i mjäla (fig. 41) kan man skönja en minskning av Zn ända ner i C-horisonten. En minskning av Cu i nedre A- och hela B-horisonten. En ökning av Co i hela B-horisonten. En minskning av Ni i undre A- och övre B-horisonten samt i C-horisonten.

Från övriga metaller kan ingen tydlig trend urskiljas. I mjäla är ler- och humusinnehållet störst i övre A-horisonten, för att sedan minska ner mot B-horisonten, (fig. 41). Leran ökar längre ner i B-horisonten där humusandelen är minimal.

Följande kan konstateras om U- och Th-halterna (fig. 35 - 38). Uranhalten är högst i nedre B-horisonten för både mjäla och grovmo.Th-halten är högst i övre B-horisonten för mjäla och varierar för övrigt inom markprofilen. I grovmo visar Th-halten max värden i både övre och nedre B-horisonten.

Min-värdet för U ligger för mjäla i humustäcket och för grovmo i nedre A-skikten. Min-värdet för Th ligger för både mjäla och grovmo i nedre A-skiktet. Resultaten från markmätning indicerar en successiv ökning mot djupet av både kalium, ekvivalent uran och ekvivalent torium, (fig. 35 - 38).

8.4.2 Markmätningar och kvoteringar

I markprofilen för mjäla (fig. 35, 36) överensstämmer kvoteringen (fig. 42) markspek/kemanalys för både K, eU/U och eTh/Th väl med kvoteringen markspek/kemanlays för andra frilagda finkorniga jordarter (fig. 18). I vissa leror varierar kvoten markmätning/kemanalys mellan 0.65 - 0.85 med avseende på både K, eU/U och eTh/Th vid mätning över såväl torr som vattenmättad lera. I den här undersökta mjälaprofilen ligger variationen på 0.60 - 0.78 med avseende på både K, eU/U och eTh/Th i fuktig mjäla.

I markprofilen för grovmo (fig. 37, 38) visar kvoteringen $\frac{\text{markspek}}{\text{kemanalys}}$ (fig. 43) en motsvarande trend som vid mätning över sand i Ängelholm (fig. 9). K ger en kvot som ligger nära 1 och omedelbart över. eU/U ger en kvot som ligger över 1.25. I den här undersökta grovmoprofilen ligger emellertid $\frac{\text{markspek}}{\text{kemanalys}}$ extremt högt 1.80 för eU/U i A_2-horisonten och 1.25 i B_1-horisonten.

eTh/Th ger en relativt normal kvot för $\frac{\text{markspek}}{\text{kemanalys}}$, generellt - omedelbart under 0.5.

MJÄLAPROFIL						KEMAN A_2/KEMAN B_1			MARKSP A_2/MARKSP B_1		
Skikt	Jordtyp	Djup cm	$\frac{K_{marksp}}{K_{keman}}$	$\frac{eU_{marksp}}{U_{Keman}}$	$\frac{eTh_{marksp}}{Th_{keman}}$	$\frac{K_{A_2}}{K_{B_1}}$	$\frac{U_{A_2}}{U_{B_1}}$	$\frac{Th_{A_2}}{Th_{B_1}}$	$\frac{K_{A_2}}{K_{B_1}}$	$\frac{eU_{A_2}}{eU_{B_1}}$	$\frac{eTh_{A_2}}{eTh_{B_1}}$
A_0	Torv	0 - 2		0.79	0.69						
A_2	Bland.	4 - 8	0.66	0.77	0.73	0.90	1.02	0.64	0.74	1.01	0.85
B_1	Rost	16-44	0.80	0.78	0.60						

Fig. 42 Kvotvärden från de övre skikten av en podsolprofil i mjäla. Tabellen vill visa skillnaden i marspektrometermätning över det orörda ytlagret respektive kemanalyser från det övre humuslagret samt skillnaden mellan urlakningsskikt och anrikningsskikt med avseende på kemanalys och med avseende på markspektrometri.

MOPROFIL						KEMAN A_2/KEMAN B_1			MARKSP A_2/MARKSP B_1		
Skikt	Jordtyp	Djup cm	$\frac{K_{marksp}}{K_{keman}}$	$\frac{eU_{marksp}}{U_{keman}}$	$\frac{eTh_{marksp}}{Th_{keman}}$	$\frac{K_{A_2}}{K_{B_1}}$	$\frac{U_{A_2}}{U_{B_1}}$	$\frac{Th_{A_2}}{Th_{B_1}}$	$\frac{K_{A_2}}{K_{B_1}}$	$\frac{eU_{A_2}}{eU_{B_1}}$	$\frac{eTh_{A_2}}{eTh_{B_1}}$
A_0	Torv	0 - 2		0.55	0.34						
A_2	Bland.	4 -10	0.95	1.80	0.46						
B_1	Rost	10 -21	1.03	1.25	0.47	0.97	0.71	0.66	0.88	1.02	0.64

Fig.43 Kovtvärden från de övre skikten av en podsolprofil i mojord. Tabellen vill visa skillnaden i markspektrometermätning över det orörda ytlagret respektive kemanalyser från det övre humuslagret samt skillnaden mellan urlakningsskikt och anrikningsskikt med avseende på kemanalys och med avseende på markspektrometri.

Kaliumhalten för kemanalys av frilagt urlakningsskikt (A_2) och övre B-horisonten $\frac{\text{kemanalys } A_2}{\text{kemanalys } B_1}$ ligger i mjäla på 0.90 (fig. 35,36) och grovmo på 0.97 (fig. 37,38). Kvoten för marksp mellan motsvarande horisonter $\frac{\text{markspek } A_1}{\text{markspek } B_2}$ blir något lägre - för mjäla 0.74 och för grovmo 0.88.

"Uranet" visar betydligt större variation. Kvoten av kemanalysresultaten $\frac{\text{keman } A_2}{\text{Keman } B_1}$ i mjäla ligger på 1.02 (obs! den maximala kvoten för A_2 och nedre B-horisonten ligger på 0.66) och i grovmo på 0.71 (den maximala kvoten för A_2 och nedre B-horisonten ligger på 0.51). Kvoten för markspek $\frac{\text{markspek } A_2}{\text{markspek } B_2}$ ligger högt både i mjäla 1.01 och grovmo 1.2 (fig. 35-38).

"Torium visar den största enhetligheten. För mjäla ligger kemanalyskvoten på 0.64 och markmätn.kvoten på 0.85. För grovmo ligger kemanalyskvoten på 0.66 och marksp.kvoten på 0.64.

Man kan dra följande slutsatser från markspektrometermätning och kemanalysresultat i jordartsprofilerna. Kalium visar en svag anrikning i B-horisonten. Skillnaden framgår starkare vid markmätning än för analys.
"Torium" visar en tydlig urlakning-anrikning där resultaten från kvotering av analyser nästan är korrelerbar med kvotering av markmätning.(Jämför de högra tabellerna i fig. 42 och 43).

Om analyserna stämmer framgår det också att torium är fixerat vid överlagrande torv och humusskikt. Från markmätning kan man också misstänka att en del av toriums dotterprodukter är urlakade. Det gäller då främst radium-228 som har en halveringstid på 6.7 år.

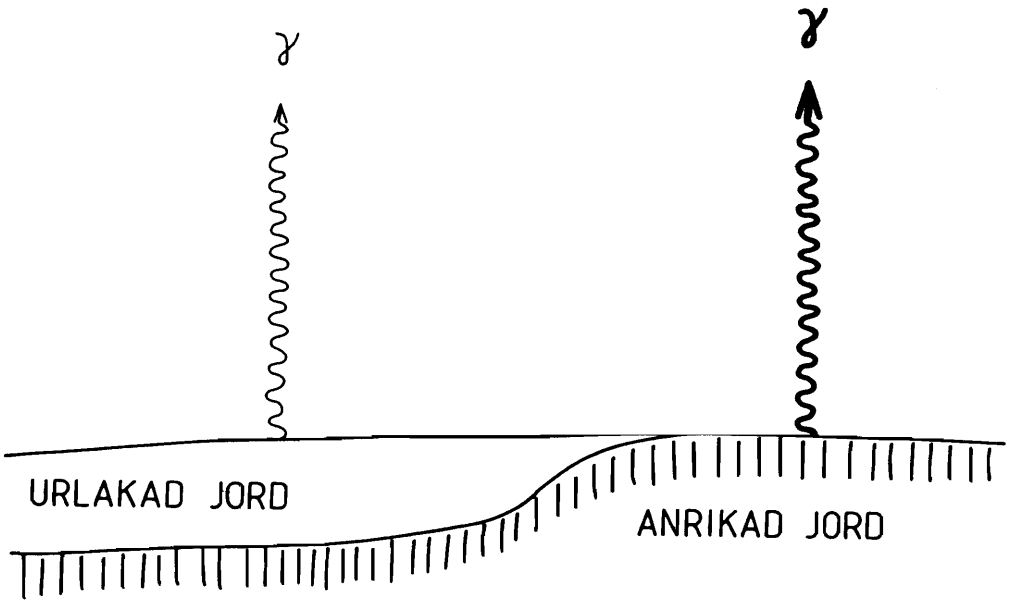


Fig. 44 Schematisk skiss över gammastrålningens skärmning av urlakad jord.

"Uranet" visar en tydligare tendens till uppdelning med avseende på dotterprodukter. Från analyserna visar "uranet" en tydlig urlakning främst från A_1, A_2 och övre B-horisonterna och en lika tydlig anrikning i nedre B-horisonten (skillnaden är nästan den dubbla). Från markmätning i mjäla är detta också tydligt korrelerbart men från markmätning på grovmo (med mer uttalad perkolation) så blir indikationen i urankanalen betydligt högre. Kvoten för analyserna i A_2/B_2 är 0.71 medan kvoten för markmätning är 1.02. Dessutom är kvoten mellan markspek/kemanan extremt hög i A_2-horisonten (1.80) vilket talar för en urlakning av uranet med kvarlämnande av mätbara dotterprodukter. Man kan också tänka sig att detta beror på en anrikning av radium i lägre A_2 högre B_2-horisonten. Det är främst radium-226 med halveringstid på 1622 år som här avses. Radium-226 sönderfaller i sin tur till radon-222 (gas med halveringstid 3.82 dagar) och vidare till en rad dotterprodukter Po-218, Pb-214 och den mätbara vismut-214 (med halveringstider på under 1/2 timme se fig. 1).

I grovmoprofilen framgår också tydligt uranets bundenhet vid torv och humus medan dotterprodukterna visar sig betydligt mindre fixerade. Torvanalysen ger här 1.58 ppm uran medan markmätningen indikerar 0.87 ppm ekvivalent uran.

Vad som bör påpekas är den ringa mäktighet som är utslagsgivande vid markmätning för att indikera variationen av relativt låga kalium-, uran- och toriumhalter. Teoretiskt vet man att ca 50 % av gammastrålning kommer från de övre 5 centimetrarna och ca 80 % från de övre 12 centimetrarna vid markspektrometermätning.

8.4.3 Grundvattenzonen

Grundvattenzonens betydelse har främst undersökts stratigrafiskt med avseende på analyser av de radioaktiva metallerna samt de element som är redovisade i fig. 45. Undersökningarna har gjorts i leror där den kapillära stigningen är hög (det kan röra sig om 4 - 12 meter i Malingsbo, Fiholm, Boxholm och Rögle se kap. utförande). De analysresultat som här redovisas från undre stratigrafi avser kapillärvattenzonen eller den övre grundvattenzonen.

Samtliga resultat från kapillärvattenzonen i finkorniga starkt lerhaltiga jordarter visar en tydlig förhöjning av både U och Th (fig. 45 - 46). I en lokal (Malingsbo) är elementfördelningen ungefär den samma som i markprofilen det vill säga elementhalterna i anrikningsskiktet går att jämföra med elementfördelningen i kapillärvattenzonen. Avvikningar finns emellertid speciellt inom två lokaler (Fiholm och Rögle lertag) där elementen har en helt annan fördelning (fig. 45) FeO, MnO, Ni, Co och Zn ger en påtaglig förhöjning i kapillärvattenzonen, vilket de inte gjort i markprofilens anrikningsskikt. Förklaringen kan ligga i att kapillärvattnet som transporterats från grundvattnet och uppåt har en helt annan elementfördelning än perkolationsvattnet som transporteras uppifrån och ner. Grundvattnet kan alltså ha högre halter av järn, mangan, Ni, Co och Zn. Järn och mangan kan utfällas vid lämpligt pH och Eh värde och samtidigt bidra till fixeringen av övriga element som Ni, Co och Zn, samt Th. Denna elementfördelning talar också för en starkt reducerande miljö där även uran och radium fälls ut.

KEMANALYSER

	Djup cm	K	U	Th	FeO	MnO	Ni	Co	Zn
Malingsbo									
Mjäla	0	2.5	3.9	8.0	0.9	0.06	<0.001	0.00a	0.003
Kapillärt	80	2.7	8.1	12.7	0.7	0.09	0.001	0.001	0.004
Fiholm									
Lera	10	3.6	5.7	30.2	2.5	0.07	0.003	0.002	0.011
	40	3.4	8.4	31.4	2.5	0.07	0.003	0.001	0.012
Kapillärt	70	3.3	12.7	33.5	3.7	0.12	0.006	0.003	0.015
Rögle									
Lera	100	2.6	2.9	21.2	1.1	0.08	0.003	0.001	0.003
	200	2.9	3.3	23.6	1.0	0.05	0.003	0.001	0.003
	300	2.8	3.8	19.9	2.6	0.08	0.004	0.001	0.003
Kapillärt	400	3.2	4.2	30.5	3.0	0.08	0.004	0.002	0.004
Boxholm									
Morän	40	2.6	3.9	15.3					
Kapillärt	80	3.3	4.7	20.2					

Fig. 45 Skillnaden i elementfördelningen mellan ytlagret och underliggande kapillärtvattenzon i några jordarter utan vittringshorisonter, (se diagram fig. 46 för Fiholm).

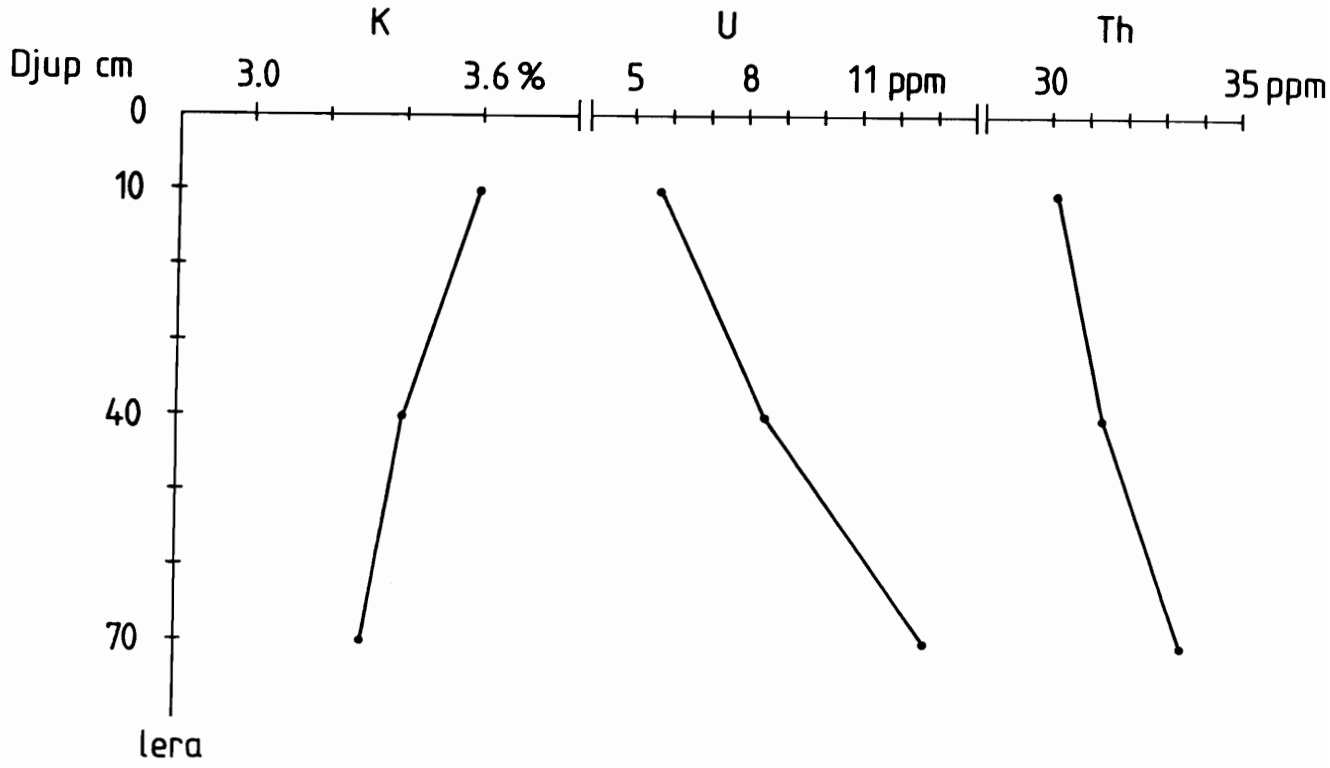


Fig. 46 Haltfördelningen mellan ytlager ner till kapillärvattenzonen i en jordart (lera) utan vittringshorisont. Den förhöjda kaliumhalten i ytlagret kan vara orsakad av konstgödning (jämför tabell fig. 45). Diagrammet avser Fiholm.

9 NÅGRA METALLERS UPPTRÄDANDE INOM OLIKA KORNSTORLEKAR

Syftet med denna undersökning var att få en uppfattning om de radioaktiva elementens fördelning inom olika kornstorlekar i en jordart. Vissa mineral kan förekomma rikligare inom en kornstorleksgrupp. Dessutom kan en finfraktion med viss vidhäftningsförmåga ge en omfattande anrikning av vissa element på grund av den stora totalytan som alla korn ger tillsammans. Se nedanstående tabell.

9.1 Tidigare arbeten

Ett arbete har tidigare gjorts som behandlar fördelningen av uran och dess dotterprodukter inom olika fraktioner av en vittrad granit (Megumi and Mamuro, 1977). Undersökningarna gjordes på kornstorlekar mindre än 1 mm och resultaten visar att under en kornstorlek av 0.15 mm ökar uranet och dess mätbara dotterprodukter med minskad kornstorlek'

9.2 Val av område

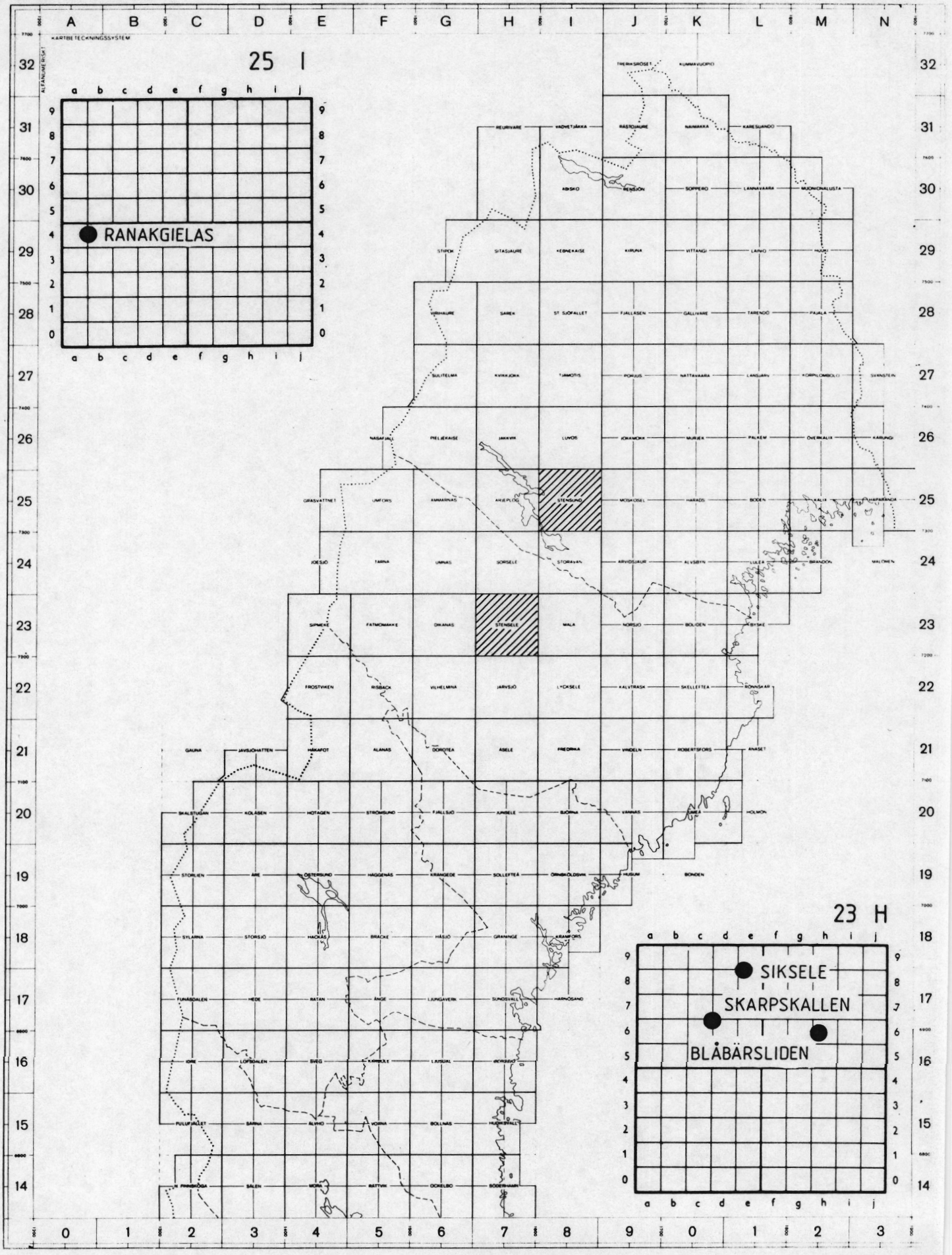
För undersökningar valdes ett antal av tretton moränlokaler och fyra lokaler med lerjordar. Ett prov togs i varje lokal. Samtliga lokaler låg inom sådan terräng att ingen anrikning av långtransporterade element från yt- eller grundvatten kunnat äga rum, Såväl skogsklädd som öppen terräng utanskog valdes.

Jordart		Fraktion	Antal partik./cm^3	Spec. yta
Sten		20-200 mm		
Grus	grov	6-20	1	6 cm^2/cm^3
	fin	2-6		
Sand	grov	0,6-2	10^3	60
	mellan	0,2-0,6		
Mo	grov	0,06-0,2	10^6	600
	fin	0,02-0,06		
Mjäla	grov	6-20 µ	10^9	6000
	fin	2-6		
Ler	< 2 µ	0,6-2	10^{12}	6 m^2/cm^3
		0,2-0,6	10^{15}	
				60

BLADINDELNINGSKARTA ÖVER SVERIGE FIG. 47

RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK

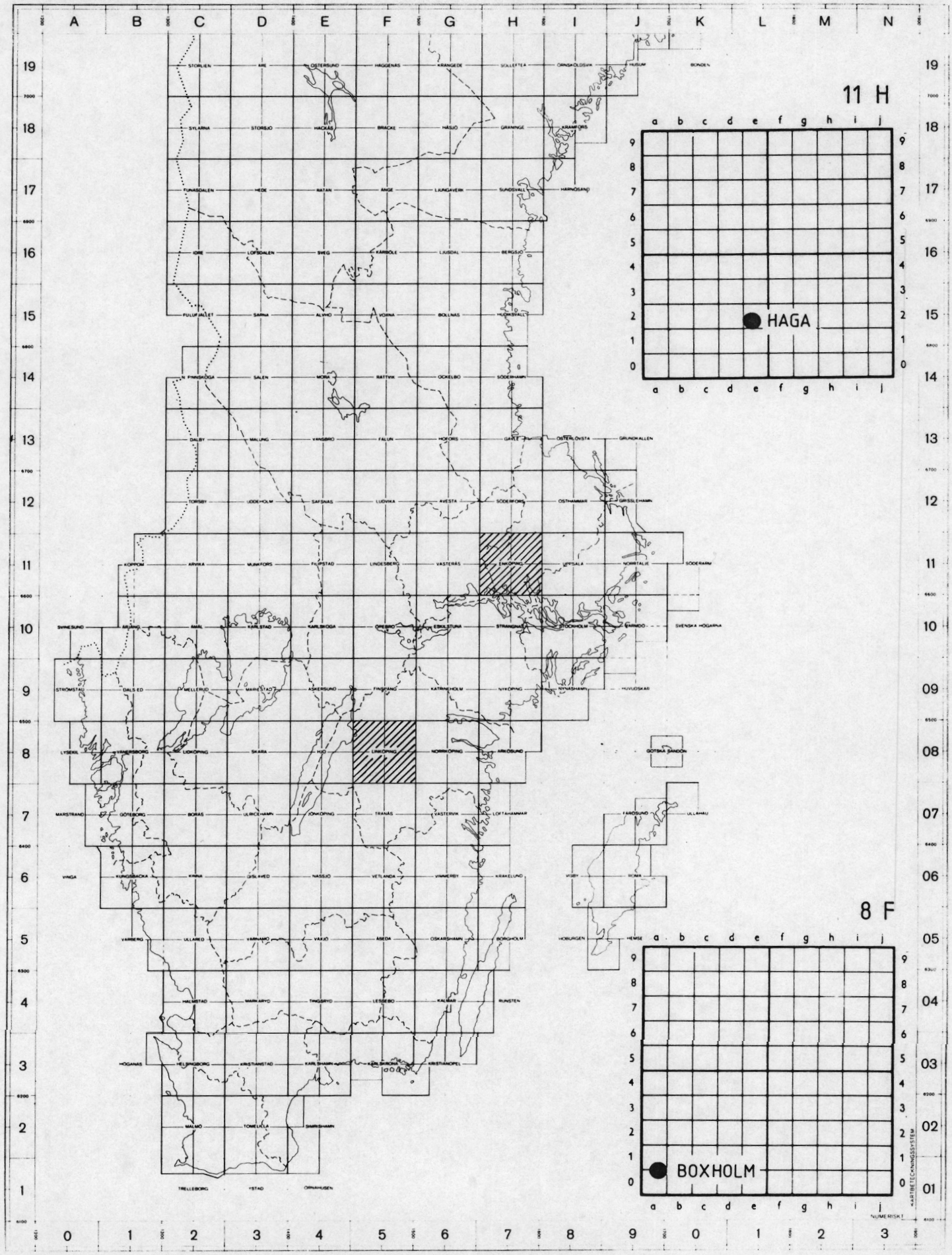
NORRA SVERIGE



BLADINDELNINGSKARTA ÖVER SVERIGE FIG. 48

RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK

SÖDRA SVERIGE



9.3 Provtagningsmiljö för moräner

Siksele 23 H 8e (fig. 47)

7784:207. Moig sandig normalblockig morän. Grövre bergartsfragment i sten och block består huvudsakligen av gråvacka och pegmatitisk granit. Den underliggande berggrunden består huvudsakligen av gråvacka och pegmatitisk granit.

7784:222. Sandig moig blockfattig morän. Bergartsfragmenten är starkt blandade och består av skilda graniter av långtransporterat ursprung. Den underliggande berggrunden består av gråvacka.

7784:429. Sandig moig blockfattig morän. Blocken består främst av olika graniter såväl lokala som långtransporterade och gråvacka. Stenfragmenten består till större delen av gråvacka. Den underliggande berggrunden består av gråvacka med ställvisa inslag av pegmatitisk granit.

Blåbärsliden 23 H 6h (fig. 47)

7784:338, 445, 449, 450. Samtliga moräner är av sandig moig typ med normal blockhalt. Bergartsfragmenten domineras av mikroklinrik revsundsgranit. Underliggande berggrund består av mikroklinrik revsundsgranit.

Skarpskallen 23 H 6c (fig. 47)

7784:499. Grusig sandig till sandig normalblockig morän. Bergartsfragmenten domineras av en ljusröd medelkornig granit. Den underliggande berggrunden domineras av ljusröd medelkornig granit,

Ranakgielas 25 I 4b (fig. 47)

7784:091. Grusig sandig rik och storblockig morän. Bergartsfragmenten domineras helt av en felsitisk porfyr. Den lokala berggrunden består av felsitisk porfyr.

Boxholm 8 F 0-1a (fig. 48)

7764:007, 009, 014, 018. Samtliga moräner är av sandig moig typ med normal blockhalt. Bergartsfragmenten domineras av en röd medelkornig granit. Den underliggande berggrunden består av röd medelkornig granit.

Provtagningsmiljö för lera.

Lerprov togs inom områden med kristallin berggrund.
Härnevi (11 E 4e), Haga (11 H 2e), Fiholm (10 H 8a), Boxholm (8 F 0-1a), (fig. 48).

9.4 Utförande

Undersökningarna grundar sig till större delen på analyser från olika moränfraktioner och lerfraktioner. Moränens grövre fraktioner har tagits ut genom siktning medan moränens finare fraktioner och lerornas fraktioner har tagits ut genom elutriationsförfarande och utfällning i basisk miljö. Jämförelser mellan olika varv i leror gjordes.

Markmätningar har utförts men kan bara användas som genomsnittlig jämförelse av bakgrunden. Prov för analys togs på större djup än 0.7 meter för att i möjligaste mån undvika vittringshorisonter.

9.5 Resultat

Fig. 49 utgör en sammanställning över jordartstyp, fraktion, analysresultat samt av de aritmetiska medelvärdena från markmätning och flygmätning över berörda provtagningspunkter samt de aritmetiska medelvärdena från de analyserade fraktionerna.

Halterna av K, U och Th visar sig klart följa de olika fraktionerna inom en jordart (fig. 49-50).

Kalium har de högsta halterna i moränens grövre fraktioner. Halten minskar med finare fraktioner men stiger till höga värden i lerfraktionen. De lägsta kaliumhalterna följer fraktionen för grovmo.

"Uran" har de högsta halterna i lerfraktionen och de lägsta halterna inom fraktionen för mellansand.

"Torium" har de högsta halterna i lerfraktionen och de lägsta inom fraktionen för grovmo och mellansand.

Metallhalternas bundenhet till jordartens olika fraktioner är föga beroende av berggrundens variation i området eller bergartstillhörigheten i moränen. Några undantag finns där den underliggande berggrunden är anomal med avseende på någon metall och där den lokala berggrunden samtidigt är starkt uppkrossad och uppblandad i moränen. Det är främst de grövre fraktionerna som här i första hand får förhöjda halter. Variationen av metallhalter inom de finare fraktionerna har ett betydligt mer regionalt beroende.

Metallhalternas fraktionsberoende får i första hand tolkas som att mineralfördelningen är olika inom olika fraktioner. I den grövre fraktionen där kornen ungefär motsvarar storleken på kristallerna kan mineralfördelningen väntas vara ungefär densamma som i berggrunden vilket också analyserna visar. I mellanfraktionerna grovmo och mellansand, där de lägsta halterna av såväl kalium, uran som torium uppträder dominerar de kristaller vars storlek och hållfasthetsanisotropi ligger inom fraktionsgränserna. Främst uppträder kvarts och fältspat.

Kvarts är hårt och har en underordnad vittring medan fältspat är mjukare och har starkare vittringsbenägenhet. Inom finmofraktionen dominerar därför den motståndskraftiga kvartsen starkt vilket ger låga halter för kalium.

FRAKTIONSBEROENDE

MORÄN	FRAKT mm	K	U resp eU	Th resp eTh
Keman	< 4 urspr.	2.9	3.5	17.1
	1-4	3.6	3.6	17.2
	0.062-1	2.8	2.8	15.4
	< 0.062	2.4	4.7	22.3
	< 2 µ	1.9	3.7	23.5
Markspek		2.5	3.5	10.2
Flygspek		1.6	2.8	5.7
Keman	1-4	3.2	2.8	17.6
	0.25-1	2.8	2.4	14.3
	0.062-025	1.9	2.7	14.3
	< 0.062	3.6	7.3	32.1
LERA	urspr.	3.3	5.6	29.9
Keman	> 2 µ	2.8	5.4	21.5
	< 2 µ	3.7	7.5	40.9
GROVLERA	urspr.	2.9	5.2	25.6
Keman	> 15.6 µ	2.6	3.9	15.8
	2-15.6	3.1	6.5	24.1
	< 2	3.8	6.5	38.3

Fig. 49 Aritmetiska medelvärden från kemanalyser av K, U och Th från ol-ka kornstorlekar ur morän och lera.
Haltfördelningen är också illustrerad i fig. 50.

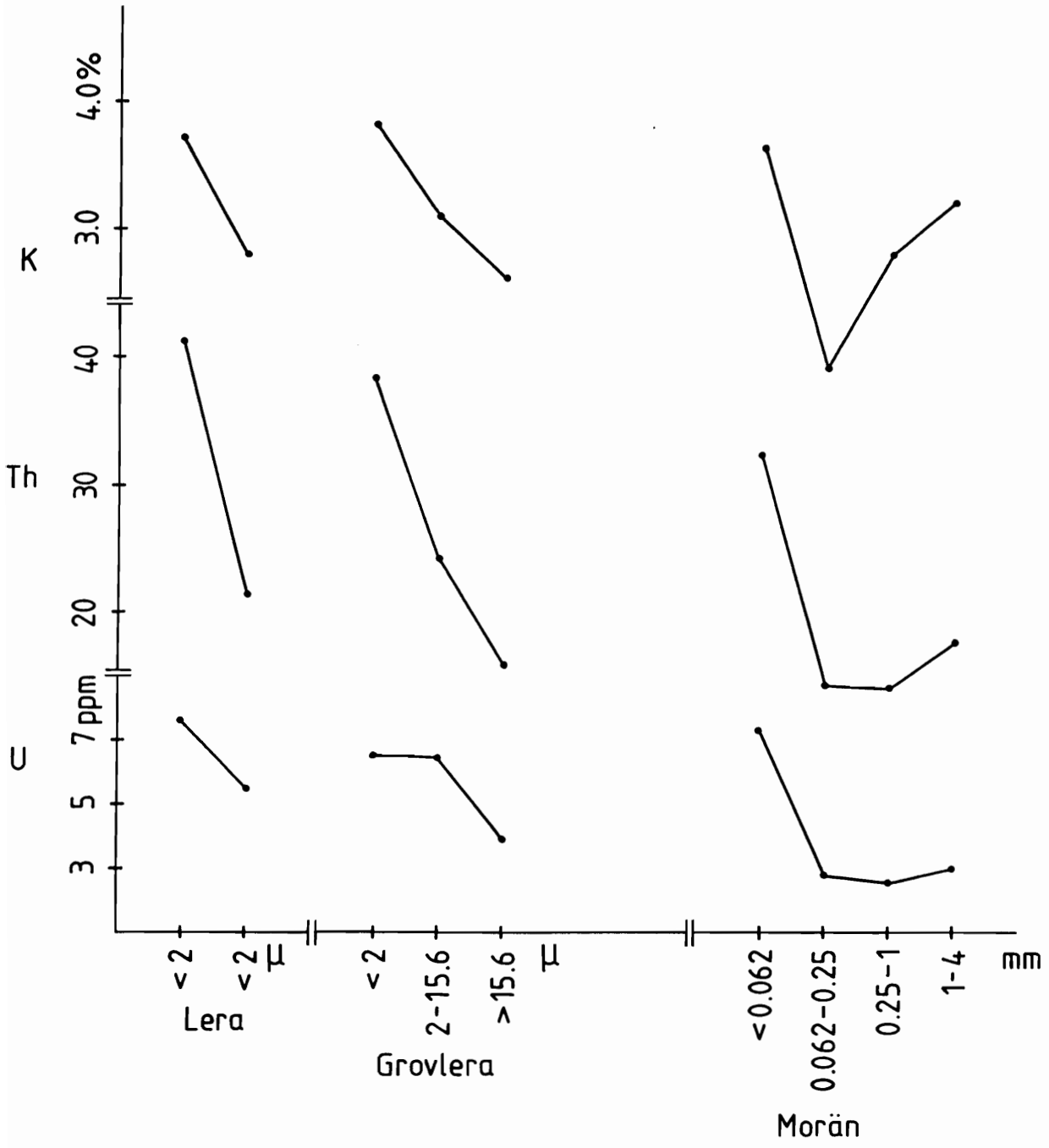


Fig.50 Haltfördelningen av K, U och Th mellan olika kornstorlekar i lera, grovlera och morän, (jämför tabellen i fig. 49)

Inom fraktionen för mellansand erhålls i flera fall de lägsta värdena för uran och torium, vilket kan förklaras som en följd av de mineral som uran och torium är bundna till. Det är främst mörka mineral som uppträder i blad- och nålform, (biotit, hornblände) eller som ansamlingar av mycket små kristaller efter tunna skikt i bergarterna. De mörka mineralen har därvid ingen hållfasthetsbenägenhet inom mellanfraktionen utan frigörs i stor utsträckning direkt till finare fraktioner i samband med den mekaniska nedbrytningen och påtagliga vittringsbenägenheten.

I den finare lerfraktionen erhålls nästan samma kaliumhalt som det troliga genomsnittet i berggrunden. Uran- och toriumhalten blir högre (upp mot det dubbla) i lerfraktionen än det troliga genomsnittet i berggrunden (se fig. 51, 52 -Boxholm med värden från bergartsanalyser och värden från kemanalyser av lerfraktioner och moränfraktioner). Den kaliumhalt som normalt uppträder i de flesta bergarter regionalt återfinns inte i moränens mellan- och finfraktioner. För Boxholmområdet är kaliumhalten i lera vanligtvis lägre än genomsnittet för berggrunden (fig. 51 och 52). Denna avsaknad av K betyder på en lakning och borttransport från mellan- och finfraktionen. Den kaliumhalt som uppträder i leror får ses som normal för lermineralen i sig själva. Framför allt märks detta i havslerorna som till större delen består av det kalirika lermineralet illit.

Den höga uran- och toriumhalt som uppträder i ler får ses som en direkt följd av att mineralen i lerfraktionen < 2 mikron nästan helt består av illit och chlorit. Illit ("ler-chlorit") har främst bildats från biotit i vilken en stor del av både uran och torium sitter. Dessutom kan troligen lermineral till mycket stor del adsorbera - absorbera uran- och toriumjoner ur vattnet. Uran och torium är huvudsakligen också bundna till berggrundsmineralen epidot, chlorit, titanit och magnetit. Dessutom förekommer uranet bundet till berggrundsmineralen muskovit, apatit, rutil och zirkon samt torium bundet till hydroxijärnoxider (Frondel, J. W., et el, 1967). Av dessa genomgår åtminstone epidot, klorit och muskovit en omvandling till lermineral där eventuellt fristället uran kan utfällas av kolloidala Si-aggregat eller basiska lerpartiklar.

BOXHOLM	K	U	Th
Häll stuff	4.4	4.5	23.2
	3.9	3.8	25.1
	3.7	9.8	48.7
	4.1	4.6	41.3
	3.6	3.3	20.1
aritmet.medelv.	3.9	5.2	31.7
max	4.4	9.8	48.7
min	3.6	3.3	20.1
Grovlera			
> 2	2.8	5.2	18.0
< 2	3.6	8.3	40.0
Morän < 4 mm	3.3	4.7	20.2
1-4	3.7	5.2	21.9
0.062-1	3.1	3.6	16.8
< 0.062	3.0	6.3	26.4

Fig. 51 Jämförelser av kemanalysresultat från berggrunden och olika kornstorlekar av morän och grovlera inom ett begränsat område (ca 4 km^2, Boxholm). Haltfördelningen är också illustrerad i fig. 52.

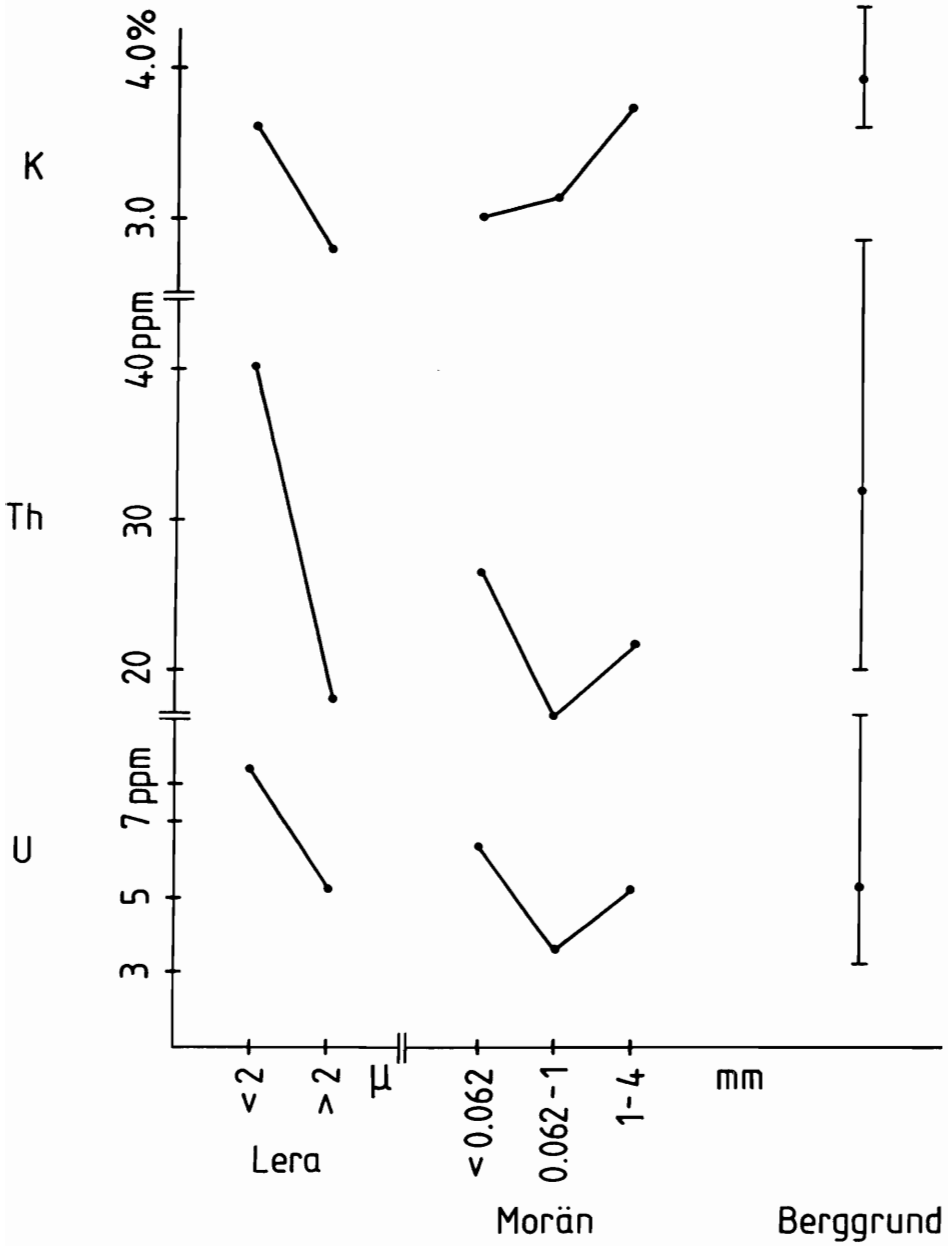


Fig. 52 Halternas fördelning av K, U och Th i berggrund, morän och lersediment inom samma begränsade område ca 4 km^2 (se tabell fig. 51).
För berggrundsanalyserna visas (punkter) medelvärdet och (streckat) max och min värde.

Titanit, magnetit, apatit, rutil och zirkon uppträder vanligtvis så finfördelat i den ursprungliga berggrunden att en stor del hamnar inom lerfraktionen primärt (se fig. 53).

Radium är besläktad med de alkalina jordartsmetallerna Mg, Ca, Sr och Ba. Ra har samma valens och ungefär samma jonradie som Sr och Ba. Samtliga metaller har en svag löslighet. Från de kemiska analyserna visar det sig att halterna av Sr och Ba är lägre i den finare lerfraktionen, än i den grövre (fig. 53).

I lerfraktionen är kvoten mellan eU-bestämt med markspektrometer och U-bestämt med kemisk analys, lägre än för grövre jordarter. Detta kan bero på att markspektrometermätningarna görs på radondottern Bi-214, varför denna bestämning främst ger halten av Ra-226. På grund av den korta tid som gått sedan leror bildades, i detta fall för ca 5 000 - 10 000 år sedan har sönderfallsjämvikt inte uppnåtts mellan U-238 och Ra-226 (jämvikt till 80 % mellan Ra-226/U-238 uppnås efter ca 1 miljon år). Medan det Ra-226 som från början fanns i leror till största delen hunnit sönderfalla.

Torium är svårlösligt och försvinner inte vid vittringen utan binds snarare till lerpartiklarna. Dessutom fälls torium ut av hydratiserat Fe^{3+} och Mn^{3+} (fig. 53) (Roger and Adams, 1967), som bildas vid vittringen av ferromagnesiumsilikater (huvudsakligen till illit och montmorillonitgruppen).

SPÅRÄMNEN I FINFRAKTIONER

		ATOMADSORBTION %							OPT. EMISS. SP ppm							
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	Na_2O	K_2O	Cu	Zn	Ni	Cr	V	Sr	BaO%
Härnevi	> 2 µ	65.7	0.71	15.4	3.2	1.5	1.9	2.0	3.8	36	76	27	81	215	166	0.067
	< 2 µ	50.4	0.98	20.2	6.0	2.0	3.0	1.2	4.2	58	122	51	108	232	109	0.058
Boxholm	> 2 µ	73.5	0.70	11.6	2.3	0.8	0.87	2.0	3.3	35	59	35	53	191	186	0.086
	< 2 µ	54.0	0.84	20.7	8.0	1.3	2.7	0.8	4.5	78	89	55	76	290	115	0.079

Fig. 53 Fördelningen av några ämnen inom den grövre respektive finare fraktionen i en grov lera (Boxholm fig. 37)

10 FÖRDELNINGEN AV KALIUM, URAN OCH TORIUM I OLIKA JORDARTER

Fördelningen av kalium, uran och torium skiljer sig också i naturliga jordar (fig. 10 och Minell, 1983). Olika skärmningseffekter varierar emellertid avsevärt, som tidigare visats och det blir dessutom svårt att jämföra de olika metallernas fördelning på en gammastrålningskarta med blotta ögat. Kvoteras de olika metallerna mellan varandra så kan en tydligare bild framträda av olika jordarter förutsatt att en och samma jordart förekommer inom en stor sammanhängande yta och att inte skärmningseffekterna är för kraftiga eller halterna för låga. Figur 54 - 57 vill illustrera förhållandet mellan olika metaller (kvoter) över olika jordarter från genomsnittet av markmätningar över hela landet. Resultat från kemiska analyser är med som jämförelse.

JORD	LOKAL	KVOTER KEMAN			MARKSPEK			FLYGSPEK		
		$K/_U$	$K/_{Th}$	$Th/_U$	$K/_U$	$K/_{eTh}$	$eTh/_{eU}$	$K/_{eU}$	$K/_{eTh}$	$eTh/_{eU}$
LERA	Mälardalen	0.52	0.10	5.17	0.53	0.14	3.69	0.43	0.12	3.42
	Boxholm	0.42	0.11	3.7	0.33	0.17	1.98	0.43	0.20	2.14
	Skåne	0.78	0.12	6.27	0.77	0.24	3.15	0.83	0.26	3.18
	Hela landet	0.54	0.11	5.10	0.50	0.15	3.18			
GROV-LERA	Malingsbo	0.36	0.17	2.12	0.68	0.22	3.12			
	Helan landet	0.48	0.14	3.46	0.69	0.22	3.18			
MJÄLA, SILT	Malingsbo	0.69	0.17	3.97	0.66	0.25	2.62			
	Hela landet	0.73	0.17	4.26	0.67	0.23	2.92			
MO	Malingsbo	1.57	0.27	5.79	1.29	0.41	3.10	6.12	0.32	19.24
	Hela landet	1.13	0.19	5.90	1.06	0.31	3.36			
SAND	Malingsbo	1.19	0.22	5.52	1.15	0.41	2.85	0.82	0.23	3.59
	Hela landet	0.90	0.16	5.99	0.76	0.34	2.27			
GRUS	Hela landet	0.89	0.15	5.95	0.53	0.22	2.39	0.79	0.23	3.16
MORÄN	Siksele blockf.	0.79	0.15	5.34	0.71	0.27	2.64	0.47	0.21	2.27
	Blåb.lid rikbl.	1.00	0.17	5.94	1.12	0.49	2.31	0.67	0.49	1.38
	Skarpsk. rikbl.	0.64	0.15	4.47	0.41	0.22	1.84	0.32	0.18	1.77
	Ranak rikbl.	0.87	0.14	6.32	0.85	0.23	3.69	0.73	0.31	2.38
	Boxholm normalbl.	0.65	0.16	4.14	0.54	0.18	2.93	0.51	0.21	2.37
	Hela landet	0.75	0.15	5.10	0.60	0.25	2.45	0.51	0.26	1.98

Fig. 54 Aritmetiska medelvärden vid kvoteringar av $K/_U$, $K/_{Th}$, $Th/_U$. 1. från kemiska analyser. 2. från markspektrometermätningar. 3. från flygspektrometermätningar. Undersökningarna är gjorda över olika jordarter där tabellen visar medelvärden från samtliga områden samt vissa regioner där analyser utförts. För kemiska analyser av moränprov har tagits kornstorlekar < 4 mm. Diagrammen i figur 55-57 jämför kvoteringen från kemiska analyser med kvoteringen från markspektrometermätningar av olika jordarter.

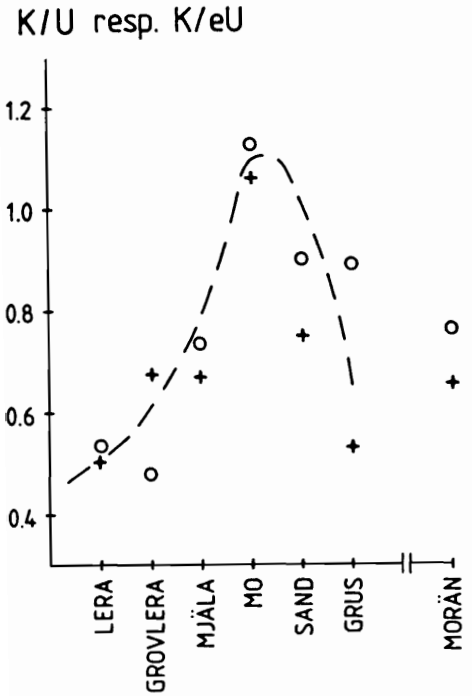


Fig. 55

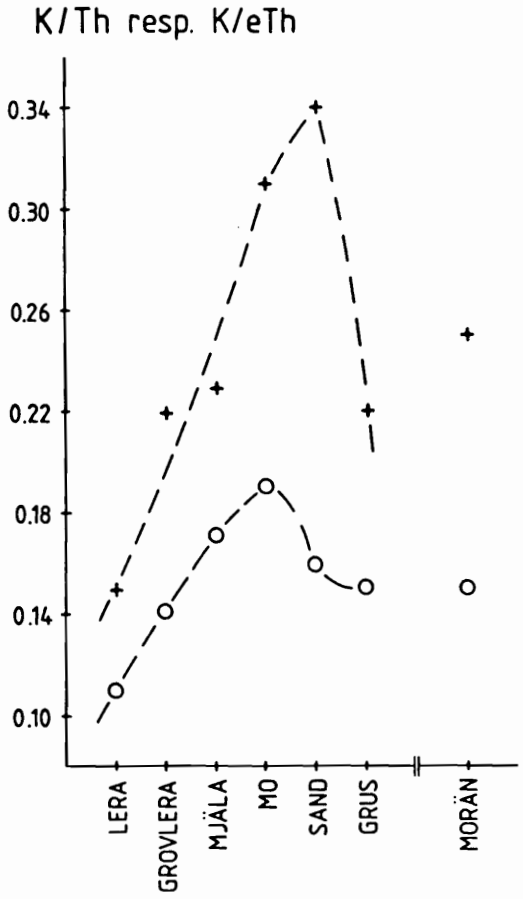


Fig. 56

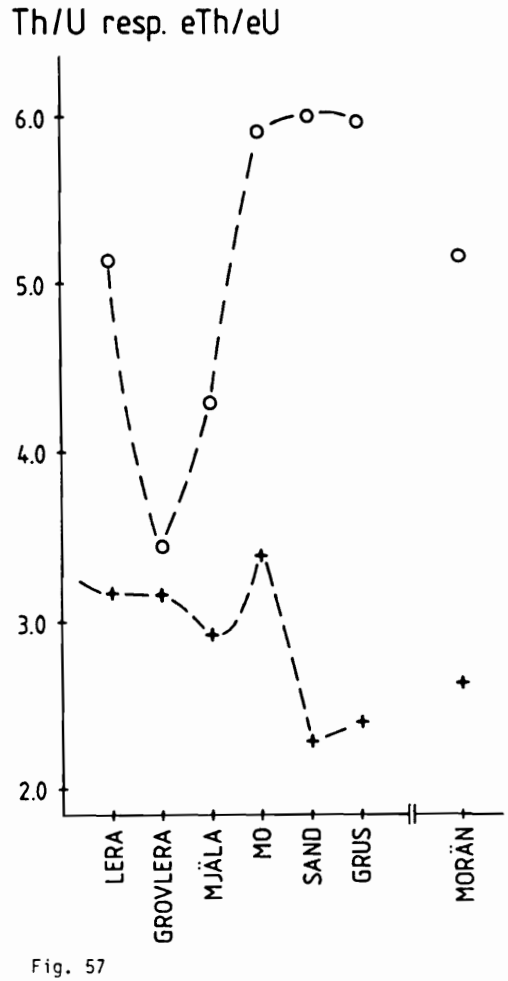


Fig. 57

Kvoteringar mellan $^{K}/_{U}$ (fig. 55), $^{K}/_{Th}$ (fig. 56) $^{Th}/_{U}$ (fig. 57) dels från kemiska analyser (ring o) och dels från markspektrometermätningar (+) av olika jordarter från hela landet. Kvoterna är gjorda från det aritmetiska medelvärdet av halterna från resp. jordart.

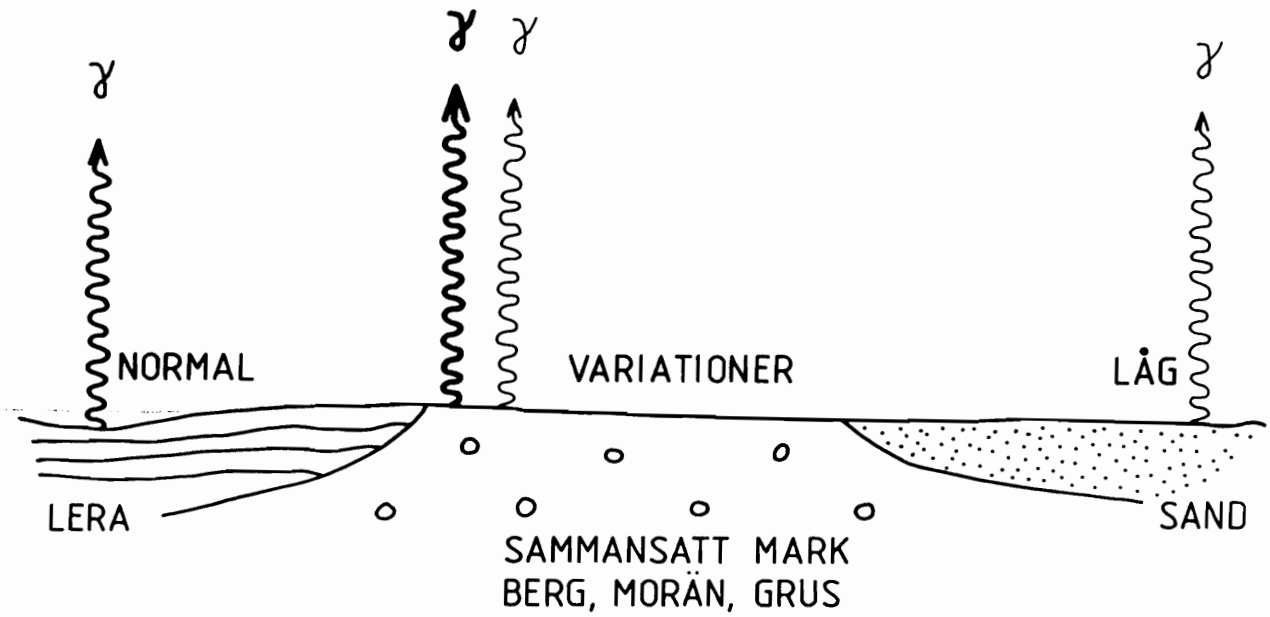


Fig. 58 Schematisk skiss över gammastrålningens generella fördelning från olika mark och jordar. Gammastrålningen varierar mest från berggrund och grövre jordar. Strålningen är vanligtvis homogen och normal från leror och homogen och låg från mo och sand.
Ovanstående gäller fördelningen av såväl kalium, "uran" som "torium."

Sammanfattningsvis kan sägas att kristallina bergarter generellt vittrar ner till kvartskorn, kolloidal kisel, lermineral med adsorberad K och järnhydroxid tillsammans med andra lösningar, fig. 53 (Read and Watson, 1962). Uran och torium som inte binds i lermineralens kristallgitter binds i viss mån kemiskt till lermineral och kollioddalt kisel samt järnoxid.

Av det uran som urlakas lättast märks främst U-234 vilket har sin förklaring i att de vid sönderfallet av U-238 bildade atomerna av Th-234 och Pa-234 genom recoil-effekt rubbas ur kristallgittret vilket har till följd att U-234 atomerna lakas (Tanner, 1978), Kahlos and Asikainen, 1973), (Konfeld and Vogel, 1980).

11 LÅNGTRANSPORTERADE ELEMENTS INVERKAN PÅ GAMMASPEKTROMETERMÄTNINGAR

11.1 Val av området

Vid de regionala undersökningarna påträffades en del lokaler där handburen scintillometer visade högre utslag än bakgrunden. Det höga utslaget fick man där grundvattenytan låg nära markytan. Undersökning gjordes därför för att få en uppfattning om hur ojämnvikten kunde ligga hos några av elementen inom sönderfallskedjorna för uran och torium.

För att inte få någon påverkan från grövre bergartsfragment med anomala metallhalter gjordes undersökningarna i områden med lerjordar: Malingsbo (11 F 8h), Härnevi (11 H 3e), Haga (11 H 1e), (fig. 59).

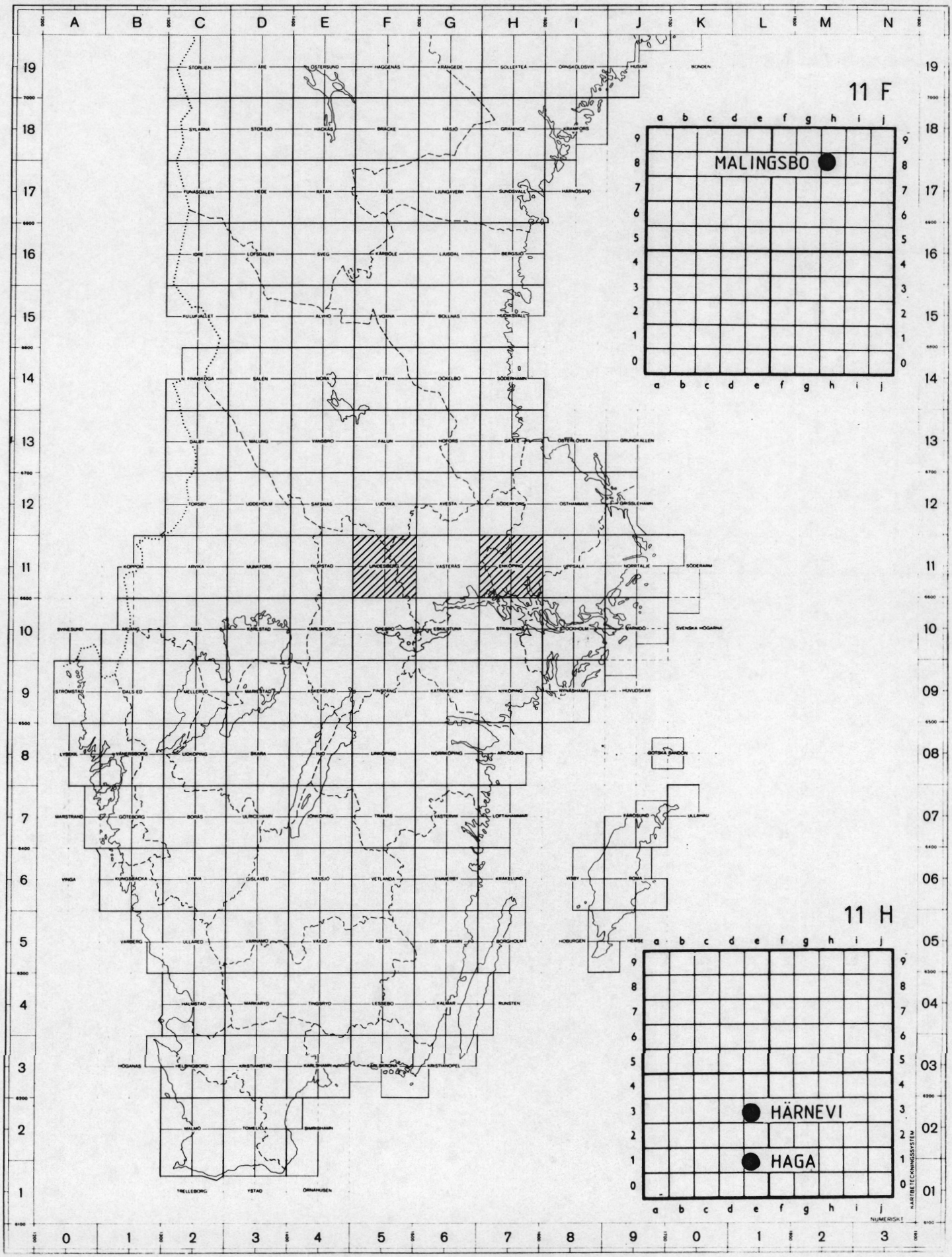
I ett tidigare kapitel behandlades mobiliteten av olika element från urlakningsskikt, anrikningsskikt och i några fall ner mot grundvattenytan. Det var här frågan om en huvudsakligen vertikal transport.

Vid grundvattnets transport i sidled rör det sig ofta om betydligt mer massiva och kontinuerliga transporter som förr eller senare mynnar ut i lågområden där inom vissa områden en omfattande anrikning av vissa element kan äga rum. I följande undersökningar rör det sig om områden där grundvattnet går i dagen eller ligger mycket nära markytan.

BLADINDELNINGSKARTA ÖVER SVERIGE FIG. 59

RIKETS ALLMÄNNA KARTVERK

SÖDRA SVERIGE



11.2 Utförande och områdesbeskrivning

Markmätningar gjordes efter en profil parallellt med flygprofilen över det aktuella området. Stratigrafiska undersökningar gjordes på några platser där markspektrometern gav högt utslag för uran eller en påfallande skev fördelning mellan K, U och Th.
Två prov togs på varje lokal.

MALINGSBO 11 F 8h

En dalgång med svagt undulerande topografi omedelbart under HK (högsta kustlinjen). Terrängen är uppodlad. Jordarterna domineras av grova leror. Ställvis uppträder mo. De lägre svackorna i dalgången är i de flesta fall täckta av ett tunt torvlager. Dalgångens sidor består av små berg vars sidor ner mot dalgången täcks av morän. Mot dalgångens flackare delar täcks moränen av sediment. Berggrund och morän innehåller förhöjda halter av U och Th.
Analyser gjordes på överlagrande torv respektive underlagrande mo i ett lågområde.

HÄRNEVI 11 H 4e

Ett vidsträckt lerområde med en svagt konvex bassäng. Bassängen gränsar mot öster till en grusås. Terrängen är uppodlad. Analyser gjordes på överlagrande gyttja respektive underlagrande mjäla i ett lågområde.

HAGA 11H 2e

Ett vidsträckt, svagt konvext lerområde. Området ligger omedelbart över Mälarens nivå.
Analyser gjordes på överlagrande gyttja respektive underlagrande lera i ett lågområde.

11.3 Resultat

Från tidigare kapitel (8, fig. 42.43) har det visat sig att samtliga tre metaller kalium, uran och torium förflyttar sig. Kalium urlakas ur A-horisonterna och i B-horisonten sker en svag anrikning. Uranet urlakas i A-horisonten och en del anrikas i B-horisonten men mycket fortsätter ner mot grundvattnet. Torium förflyttar sig i någon form troligtvis genom humus eller lera men transporten är begränsad till de över jordlagren.

Det är här främst en fråga om dessa metaller fastnar någonstans under grundvattentransporten.

De undersökningar som här presenteras är begränsade eftersom de grundar sig på miljöer där gammastrålningen från Bi-214 varit hög eller där man förväntat sig hög uranhalt.

Resultaten visar också att det i samtliga fall varit frågan om höga uranhalter men med proportionellt sett låg strålningsindikation.

11.3.1 Analyser

I fig. 60-63 framgår att uran främst har bundits till organiskt material. I minerogent material som lera och mjäla uppgår uranhalten endast till några ppm över det normala. Mojorden i Malingsbo visar däremot extremt hög uranhalt, 7.20 ppm, vilket är mer än tre gånger så mycket som det normala för mo (fig. 10).

Förklaringen torde ligga i att halterna i grundvattnet varit så höga att en utfällning skett även i mojorden.

Kalium och torium tycks visa en normal minskning med ökat humusinnehåll. Undantag är Härnevi där toriumhalten är proportionellt högre, 19.47, i en gyttja med glödförlust på 45.5 %.

Från analyser med optisk emissionsspektrograf och atomadsorbtion av gyttjan i Härnevi visar följande element halter som tydligt kan associeras till fixering i organiskt material, fig. 64, Cu, Mo, Ni, Co, Ca och Sr. Element som SiO_2, Fe_2O_3, MnO, BaO visar endast en svag fixering till organiskt material. Övriga element tycks helt bundna till det minerogena materialet. Till dessa hör Pb, Zn, Cr, MgO, V, TiO, Al_2O_3, Na_2O, K_2O och Rb.

11.3.2 Markmätningar

K och eTh visar en lägre indikation vid markmätning än vad analyserna ger (fig. 60). Delvis kan detta tillskrivas skärmningseffekt på grund av hög vattenhalt i organiskt material. Främst märks detta i Härnevi där markmätningen ger en extremt låg indikation.

	Jord	Djup dm	KEM K	KEM U	KEM Th	MARKSPEK K	MARKSPEK eU	MARKSPEK eTh	FLYGSPEK K	FLYGSPEK eU	FLYGSPEK eTh
Malingsbo	Torv	4		212.0	0	0.2	32.2	1.9	0.9	3.7	4.4
	Mo			7.2	8.1						
	Gyttja	3	2.2	20.5	11.4	1.5	1.7	9.2	2.5	2.5	5.0
	Mjäla		2.5	6.3	18.7						
Härnevi											
	Gyttja	3	1.2	57.6	19.5	0.3	1.7	4.1	0.4	0.09	3.9
	Lera		3.5	9.5	29.8	2.7	4.6	21.5	1.1	5.9	5.7

Fig. 60 Områden där anrikning ägt rum av vissa elelement genom grundvattentransport. (Se illustrationer fig, 61. 62. 63).

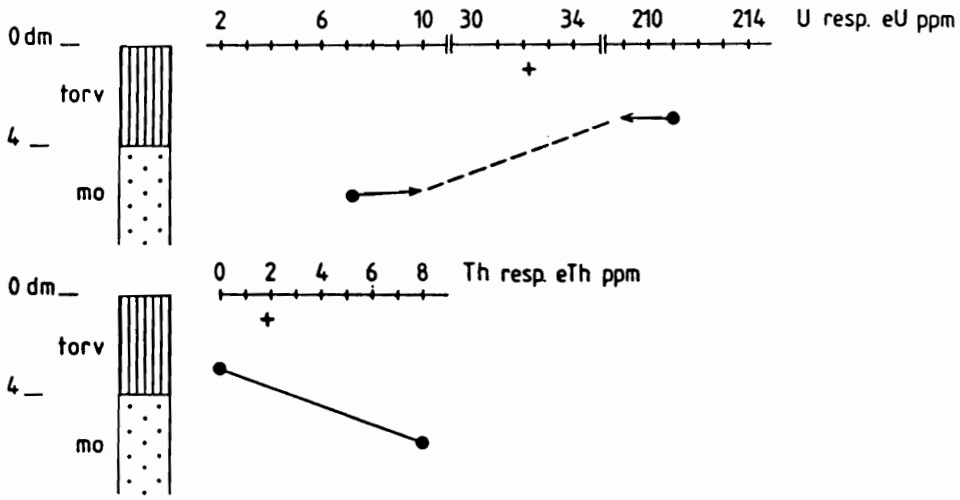


Fig 61 Malingsbo

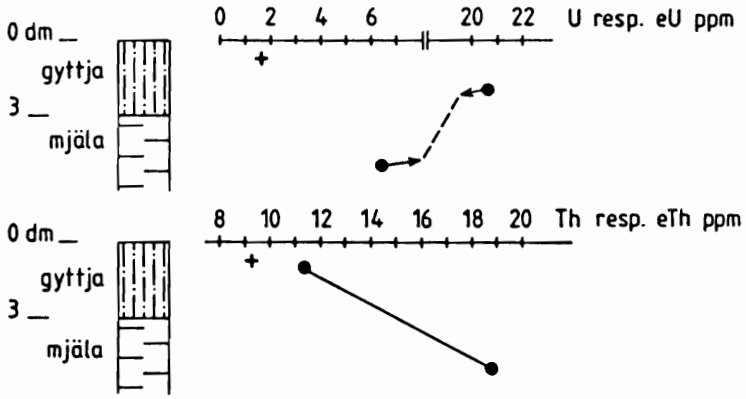


Fig 62 Malingsbo

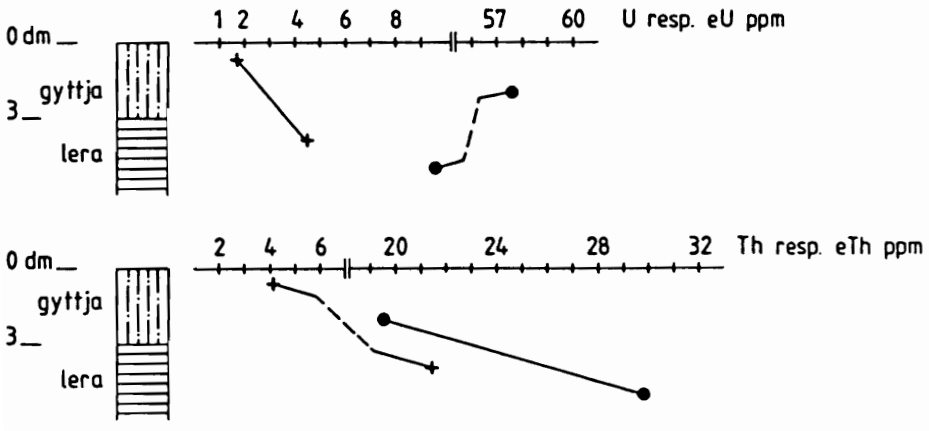


Fig 63 Härnevi

Jämförelse mellan resultat från kemiska analyser av U och Th (ring o)samt markspektrometermätningar (kors+) på platser där anrikning från grundvatten ägt rum främst i organiskt material som lagrar på oorganiskt material (jämför tabeller fig. 60).

Fig. 61

Fig. 62

Fig. 63

		ATOMADSORBTION %					OPT. EMISS. SP. ppm					
Härnevi	Gyttja	Glödförl.	SiO_2	Fe_2O_3	MnO	BaO	Cu	Mo	Ni	Co	CaO%	Sr
		45.5	40.9	4.7	0.05	0.05	54	15	47	21	3.0	164

Fig. 64 Anrikning av vissa element i gyttja genom grundvattentransport (Härnevi fig. 60).

Den största variationen gör sig gällande för Th som till stor del kan skyllas på variation inom analysresultaten. Vid analyserna ger höga uranhalter en stor standardavvikelse för torium varför det är vanskligt att spekulera med utgångspunkt från detta. Det finns emellertid en klar trend hos kvoten $\frac{\text{markspek}}{\text{kemanalys}}$ för eTh/Th som indikerar högre värden för markmätning över grundvattenbassänger än på andra jordarter.

Den högre indikationen vid markmätning talar för att Ra-228 (halveringstid 6.8 år) kan vara utsatt för grundvattentransport och ackumulation i bassänger.

I övriga jordarter når aldrig kvoten $\frac{\text{markspek}}{\text{kemanalys}}$ för eTh/Th så höga värden som i Malingsbo och Härnevi (∞ 0.81 resp. 0.72) se fig 10.

Markmätningen indikerar extremt låga ekvivalenta uranhalter i jämförelse med analysresultaten. Detta visar att uranet är i klar ojämvikt med sina dotterprodukter och att uranet är fixerat i torven.

Dotterprodukterna har inte analyserats varför vissa slutsatser från markmätning måste göras. Markmätningarna indikerar endast i en undersökningsbassäng extremt höga värden - Malingsbo 32.14 ppm eU. Sönderfallet för rent uran är inte tillräckligt för att förklara denna halt eftersom sönderfallstiden är för lång. Transport av radongas kan heller inte förklara den uppmätta halten eftersom det inte är frågan om strömmande vatten utan en stagnant bassäng.

Gammastrålande dotterprodukter bör med all sannolikhet därför komma från Ra-226 (halveringstid 1622 år) som fixerats i torven. Ra-226 sönderfaller via Rn-222 → Po-218 → Pn-214 och vidare till med gammaspektrometern mätbar Bi-214 (fig. 1).

Radium är besläktad med de alkalina jordartsmetallerna Mg, Ca, Sr och Ba. Ra har samma valens och ungefär samma jonradie som Sr och Ba. Samtliga metaller har en svag löslighet. Från de kemiska analyserna visar sig Sr och Ba (fig. 64) ha en tendens att fixera sig vid organiskt material. Man kan av markmätningarna att döma konstatera samma egenskap hos Ra. Ra brukar fixeras på limonit och mangan krustor i myrmalm.

11.3.3 Flygmätningar

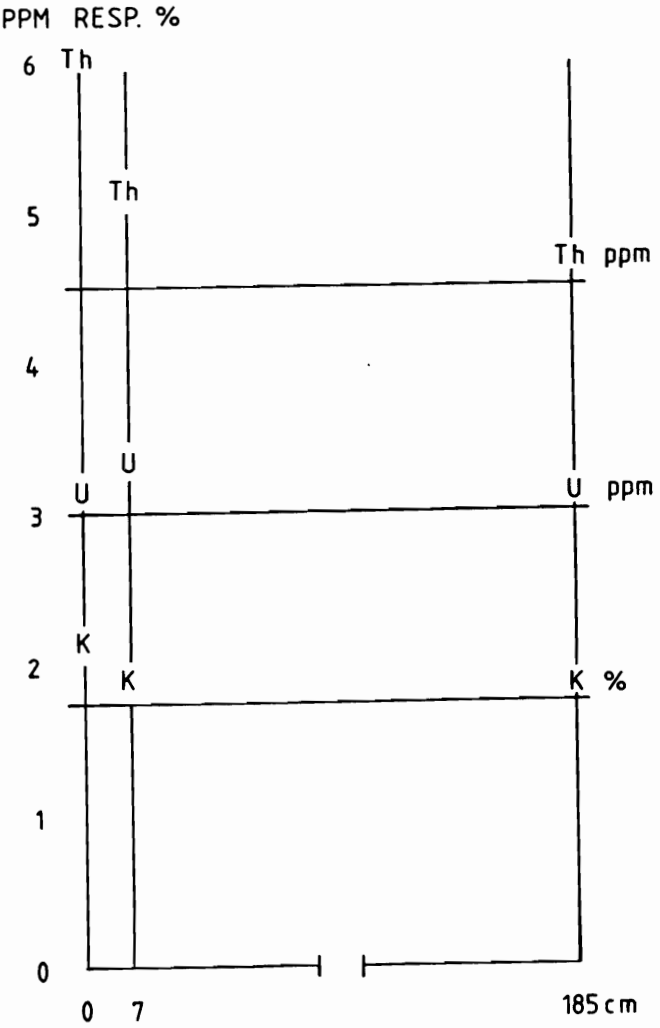
Flygmätningarna i fig. 60 utgör det aritmetiska medelvärdet för 4 - 6 punkter. K visar ett lågt värde vilket kan jämföras med markmätningarna och kan förklaras som en skärmningseffekt. "Uranet" varierar beroende på hur stor mätyta det varit frågan om men indikationen är hög där markmätningen varit hög. "Torium" ger liksom markmätning relativt höga värden. Främst märks detta i Härnevi som utgör en stor bassäng och där kalium ger ett aritmetiskt medelvärde från sex mätpunkter på 0.40 %, U på 0.09 ppm och Th på 3.85 ppm.

APPENDIX

Tre stycken markspektrometermätningar utfördes under fyra minuter vardera på olika höjd över en markyta på mojord (Boxholm).

Resultaten enligt figur 65 visar att de högsta värdena för kalium och "torium" erhölls vid mätning i direkt markkontakt. För "uranet" blev det högsta utslaget em liten bit över markytan.

FIG. 65



12 RESULTAT

Undersökningarna har givit följande resultat för:

Flygspektrometermätning

- Flygspektrometermätning ger lägre värden än kemanalyser och markmätning vilket är en naturlig följd från den gemensamma skärmningseffekten av jordarternas porvatten, vegetationen samt jordens urlakningsskikt.

  För K och U ger kvoteringar mellan $\frac{\text{flygspek}}{\text{kemanal.}}$ respektive $\frac{\text{flygspek}}{\text{markspek}}$ värden på 0.50 - 0.75. För Th är kvoten betydligt lägre, troligtvis på grund av att kemanalyserna givit för höga Th-halter.

Jordarters fysiska egenskaper

- Utspädningseffekten eller skärmningen vid markmätning är proportionellt till vatteninnehållet i jordarten.

- Uranet är mer urlakat än radium i permeabla jordarter ovan grundvattenytan.

Skärmning av humus

- Skärmningen av humus vid markspektrometermätning är ett synbarligen linjärt beroende av torvtjockleken. 5 cm torv ger en kvot $\frac{\text{torvtäcke}}{\text{fri yta}}$ för kalium och "torium" på under 0.7. "Uran" varierar starkt. Kvoten vid flygmätning för $\frac{\text{skogsklädd}}{\text{fri yta}} \sim 0.7$ för kalium och "torium" medan "uran" ligger på ~ 0.9 vilket i första hand talar för direkt skärmning.

Markprofilens urlaknings- och anrikningsskikt

- Kalium visar en svag urlakning - anrikning vilket tydligast framgår vid markmätning i de övre jordlagren.

- För torium visar både analys och markmätning en tydlig urlakningsanrikning. Uranet visar den tydligaste urlakningen i mojords A-horisont. Anrikningen är tydligast i nedre B-horisonten främst i mjäla. Markmätningen indikerar att radium urlakats i mindre utsträckning än uranet i A-horisonterna. Uranalyserna visar att uranet urlakats i A-horisonterna men anrikats i överlagrande humus, främst på mojordsprofilerna.

- Trots friläggning av tunna lager i markprofilen har markmätningen indikerat stora skillnader lagren emellan. Detta talar för att haltskillnaden av kalium och ojämnvikten hos uran och toriums dotterprodukter kan vara större än vad som resultaten visar eftersom en mäktighet på 2 cm i ytan endast utgör 25 % av strålkällan mot djupet.

Kornstorleksberoende

- Halterna av kalium, uran och torium följer i stort sett mineralfördelningen inom moränfraktioner. Kalium är högst i grövre fraktioner och lägst i grovmo.

  Uran är högst i ler och lägst i mellansandsfraktionen. Torium är högst i ler och lägst i grovmo-mellansandsfraktionerna. Den tydliga fördelningen är en följd av att bergartsmineralen huvudsakligen vittrar ner till kvartskorn, kolloidal kisel, ler med adsorberat K och järnhydroxider. Kalium är bundet till fältspat i grövre fraktioner och till lermineral främst illit i lerfraktionen. Uran och torium i lera tycks vara fixerade till lermineral vilka är vittringsprodukter av de mörka mineral som uran och torium primärt varit bundna till.

- Vid kvotering av halten Th med halten K från kemanalys eller markspektrometermätning finns en tydlig skillnad mellan olika jordarter som beror på skillnad i haltfördelning vid olika kornstorlekar.

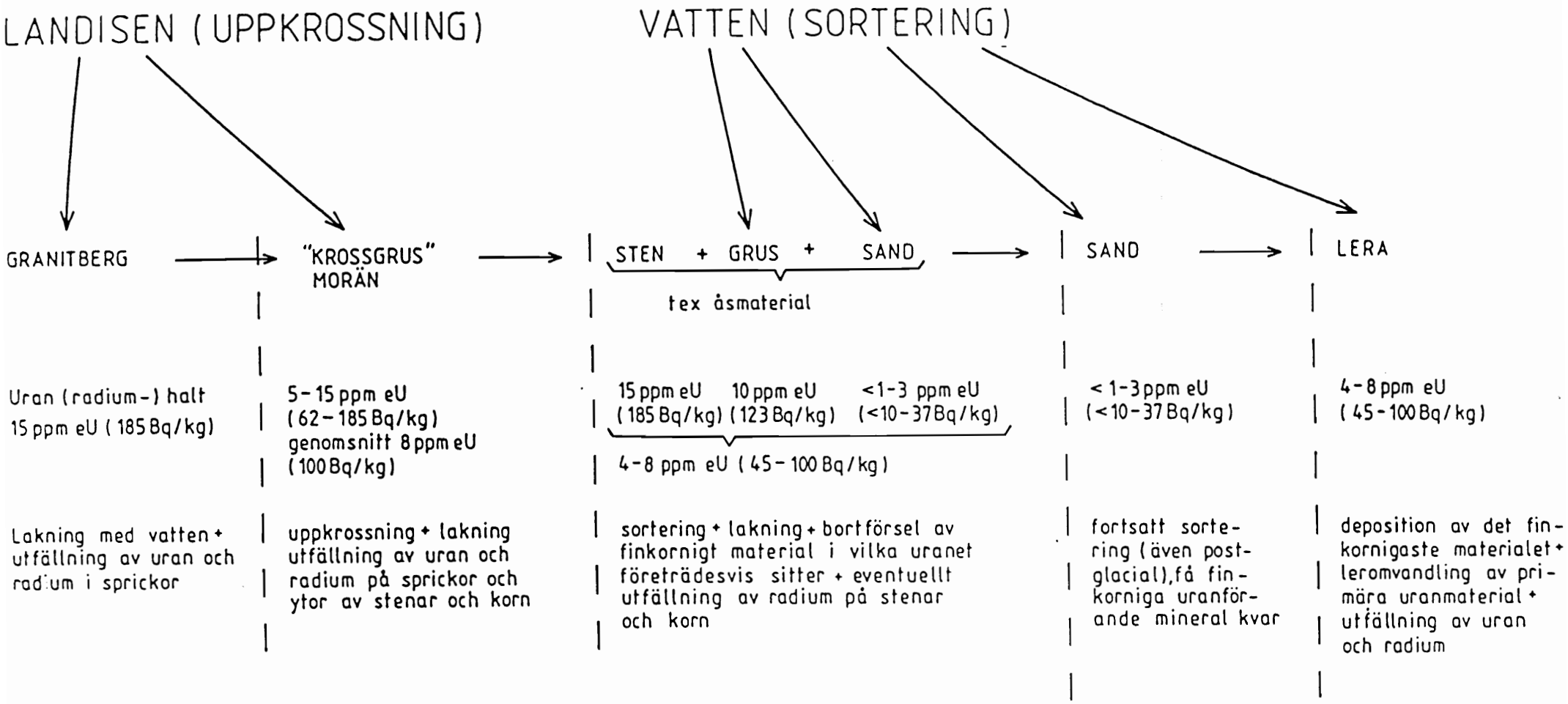


Fig. 66 Schematisk redovisning av effekten av landisens uppkrossning av en granitisk berggrund med en antagen uranhalt av 15 ppm U. Genom uppkrossningen av berget och bildningen av morän kommer vatten (smältvatten, rinnande vatten samt sjöar och hav) åt att transportera och sortera det krossade berget varvid jordarter som grus, silt och lera bildas. Därvis sker även en bortförsel av uranmineral. En fortlöpande lakning av uran och radium sker med detta vatten, perkolerande vatten och med grundvatten. Samtidigt sker en utfällning av uran och radium på sprickor i berggrunden, i stenar och i mineralkorn samt på ytorna av kornen. En del av det i vattnet lösta uranet och radiumet absorberas åter på de sedimenterade lerpartiklarna.

Grundvatten

- Kalium har inte givit någon tydlig indikation på grundvattentransport och anrikning.
  Torium kan indikera en viss ackumulation av dotterprodukter i grundvattenbassänger vilket framgår vid kvotering av analys, mark och flyg.
  Uranet har ställvis anrikats kraftigt medan radium tycks helt underordnat med avseende på anrikning.

13 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Jordarters fysiska egenskaper

Modell av en homogen porös jordart med normala halter av K, U och Th.
Markmätning skall kunna utföras över torrt material som kan fuktas eller mättas med vatten, för att få en riktig modell över porernas skärmande effekt.

Skärmning

Förut beskrivna modeller som med olika fuktighetsgrad kan täckas med spånplattor.
Markmätning skall även här utföras över samma spånplattor med olika fuktighetsgrad, för att få en riktig modell över vegetationens och vattnets skärmning.

Markprofilens urlaknings- och anrikningsskikt

Ytterligare undersökningar i markprofiler där även analyser av radium görs. I detta fall bör även en spektrometer med GeLi detektor användas på provtaget material för att se fördelningen av alla gammastrålande isotoper.

Kornstorleksberoende

Undersökning av lerfraktioner dels från olika leromräden dels från moräner som gränsar till respektive leromräde. Analyser av radium från olika fraktioner som ovan. Lera tycks inte enbart vara regionalt mekaniskt transporterade partiklar. Kemisk adsorbtion av bland annat uran och torium från relativt lokalt ursprung kan i hög grad ha ägt rum. Vid förhållandet mellan Ra-226/U 238 i ler från glacial-lera, postglacial lera och morän samt prov från berggrunden kan man spåra detta samband.

Grundvatten

Undersökning av ett grundvattenutflöde med hög radioaktivitet där analyser skall utföras med avseende på uran och dess döttrar. Prov bör tas från minerogent material under utflödet, vid utflödet samt av vatten och organiskt material.

Flygmätningar

Framställning av kvotkartor över områden med stora och sammanhängade stråk av olika jordarter på känd berggrund.

Användningsområde

Flygmätningar kan ge en grov uppfattning om vilka sediment som dominerar inom ett område till exempelvis om finsediment (lera), mellansediment (grovmo, mellansand) eller grovsediment (grus) dominerar. Flygmätningarna kan användas för urskiljning av tunn torv på morän och för urskiljning av blockfält kontra myr.

Det är också möjligt att leror, som antytts på föregående sida, avspeglar den underliggande berggrunden relativt väl.

Kvotkartor kan ge en klarare bild och ge större möjlighet för urskiljning av jordarter åtminstone om inte berggrunden varierar för mycket.

Vid metallprospektering är kartorna viktiga för att få en uppfattning om moräntransporten. Man kan tydligt se lokalt material med förhöjda halter av kalium, uran och torium. Man kan också skönja starkt uppblandat och långtransporterat moränmaterial.

14 LITTERATUR

Adams, J.A.S. and Weaver, C.E., 1958: Thorium - to - Uranium ratios as indicators of sedimentary processes - an example of geochemical facies. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists 42.387.

Armands, G., 1963: Berggrundens inverkan på grund- och ytvattens sammansättning med avseende på uran och radium, samt försök till radiometrisk bestämning av bergartsgränser på Billingen. AB Atomenergi, Tekniskt PM KOP-55.

Eriksson, E. och Holtan, H., 1974: Hydrokemi. Kemiska processer i vattnets kretslopp. Nordic IHD rapport nr 7, Oslo.

Frondel, J.W. et al, 1967: Glossary of uranium an thorium - Bearing Minerals. Geological Survey Bulletin 1250, Washington.

Hawkes, H.E. and Webb, J.S., 1968: Geochemistry in Mineral Exploration New York and Evanston.

Hålenius, U., 1978: Delrapport över berggrundskartering och gamma-spektrometriska mätningar på kartbladet 23 H Stensele NV. SGU, Uranrapport.

Israelsson, S., 1978: Meteorological influences on atmospheric radio-activity and its effects upon the electrical environment. Department of meteorology university of Uppsala, Sweden.

Kahlos, H. and Asikaninen, M., 1973: Natural radioactivity of ground water in the Helsinki area. Report SFL-A19. Institute of radia-tion Physics, Helsinki.

Knutsson, G. och Morefeldt, C-O., 1973: Vatten i jord och berg. Ingenjörsförlaget.

Kroonfeld, J and Vogel, J.C., 1980: U fingerprints in groundwater. Nuclear active 22 (1980) p. 30-32, Johannesburg.

Lindén, A. and Åkerblom, G., 1976: Methods of detecting small or indistinct radioactive soruces by airborne gammaray sepctrometry. Institution of Mining and Metallurgy, London.

Lindskog, G., 1973: Geoteknik, Norstedt & Söner.

Lundegårdh, P-H., Lundqvist, J och Lindström, M., 1964: Berg och jord i Sverige. Almqvist & Wiksell.

McGregor, B. J. et al. (Dickson, B.L. and Clarrk, G.J.) 1978: Technique for correcting for overburen effects in ground level surveys of uranium orebodies. Australian Conference on nuclear techniques of analysis. L. Proceedings Lucas Heights, NS.W. 15 - 17 May 1978.

Megumi, K. and Mamuro, T., 1974: Emanation and Exhalation at Radon and Thoron Gases from Soil Particles. Jour of Geophys Research Vol. 79. No 23, pp 3357 - 3360.

Megumi, K and Mamuro, T., 1976: The Bearing of Uranium Series Nuclides in soil. Annual Report of the Radiation Center of Osaka Prefecture, Vol 17.

Megumi, K and Mamuro, T., 1977: Concentration of Uranium Series Nuclides in soil Particles in Relation to Their Size. Jour of Geophysical Research, Vol. 82, No 2, pp 353 - 356.

Mellander , H., Österlund, S-E., Åkerblom, G., 1982: Gammaspektrometri - en metod att bestämma radium- och gammaindex i fält. SGAB, rapport, BRAP 82072.

Minell, H., 1983: Fördelning av lösa jordlager - en tolkning från gammastrålningskartan, 9 E Askersund NO. SGAB, rapport ID-nr: 83010.

Peck, E.L. et al, 1980: Operational aerial snow surveying in the United States. Hydrological Science Bull. des Sciences Hydrologiques 25, 1. 3, pp 51 - 62.

Read, H.H. and Watson, J., 1962: Introduktion to Geology, MacMillan & Co LTD, London.

Rogers, J.J.V. and Adams, J.A.S., 1967: Thorium in ed. Wedepohl. Handbook of Geochemistry, 10-1, Springer-Verlag, Berlin. Hejdelberg, New York.

Schroeder, G.L. et al, 1965: Diffusion of Radon in Several Naturally Occuring Soil Types. Journ. of Geophys. Res., Vol. 70, No 2, pp 471 - 474.

Soonawala, N.M. och Telford, W.M., 1980: Movement of radon in overburden. Geophysics Vol. 45, No 8.

Tanner, A. B. 1978: Radon migration in the ground: A supplementary review, in Gesell, T F and Lowder, W M eds.: Natural radiation environment III. Proceedings of a meeting held at Houston, Texas, April 23-28, 1978. (Technical Information Center/U.S. Department of Energy.) Volume 1, p. 5 - 56. Springfield, Virginia. ISBN 0-87079-119-2.

Tieh, T.T. et al, 1980: Release of uranium from granitic rocks during in situ weathering and initial erosion (Central Texas). Chemical Geology, 29, pp 227 - 248.

Troedsson, T. och Nykvist, N., 1973: Marklära och Markvård. Almqvist & Wiksell.

Österlund, S-E., 1979: Gamma spektrometri, modellförsök med SGU.s flygspektrometer. Examensarbete. 1979:003E, Högskolan, Luleå.