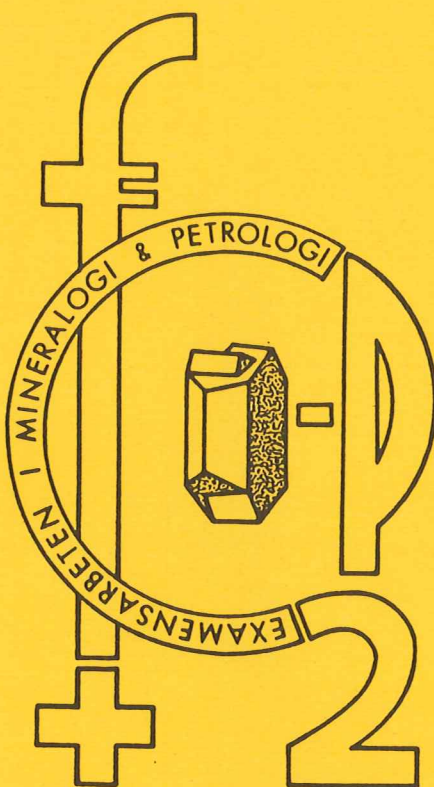


EXAMENSARBETEN I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Lunds universitet

Mineralogi och petrologi



KOBOLT I PYRIT FRÅN KIRUNA JÄRNMALMSGRUVA.

Kajsa Persson

LUND

GEOLOGISKA
INSTITUTIONENS BIBLIOTEK
LUND *per*

NR 8

Lunds univ. Geobiblioteket



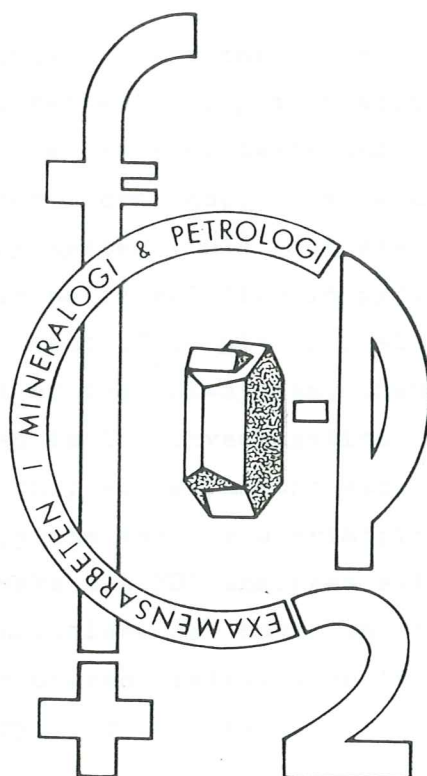
15000

600693680

STITUTIONEN LUNDS UNIVERSITET

EXAMENSARBETEN I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Mineralogi och petrologi



KOBOLT I PYRIT FRÅN KIRUNA JÄRNMALMSGRUVA.

Kajsa Persson

LUND

GEOLOGISKA
INSTITUTIONENS BIBLIOTEK
LUND

NR 8

GEOLOGISKA INSTITUTIONEN LUNDS UNIVERSITET

SUMMARY

The Kiruna ore is situated in northernmost Sweden, and it is one of the largest iron ore deposits that is known in the whole world. Small amounts of cobalt occur in the ore. This paper is devoted to the study of the distribution of cobalt in the Kiruna ore.

Results from studies under the polarizing microscope in both transmitted and reflected light in addition to chemical whole-rock analyses, ore dressing tests and mineral analyses in a scanning electron microscope (SEM) equipped with an energy dispersive X-ray system (EDX) indicate that most of the cobalt is found in solid solution in pyrite. No cobalt phases are present. The content of cobalt in chalcopyrite is below the detection limit of the EDX-system. Chemical analyses from 142 samples are used in the investigation, but polished sections were made from only eleven of the samples. The low content of cobalt in the pyrite and the overlapping peaks of cobalt and iron spectras make the EDX analyses extremely unreliable and most of the conclusions are based on the whole-rock analyses. Cobalt shows an uneven distribution in pyrite, and some samples are very poor in cobalt.

Pyrite occurs mainly in fissure veins, but also in fault zones and as impregnations in both the ore and the country rock. It is found as euhedral to subhedral grains. A grain-size analysis indicates that 97% of the grains are smaller than 3 mm in diameter. However, the grain size varies both within and between individual samples.

The investigation is restricted to the northern part of the Kiruna mine, where most of the pyrite is found. Most faults and fissure veins have a north-western strike but dip either in a south-western (dominating) or a north-eastern direction. It has not been possible to demonstrate a concentration of cobalt to certain areas or certain levels

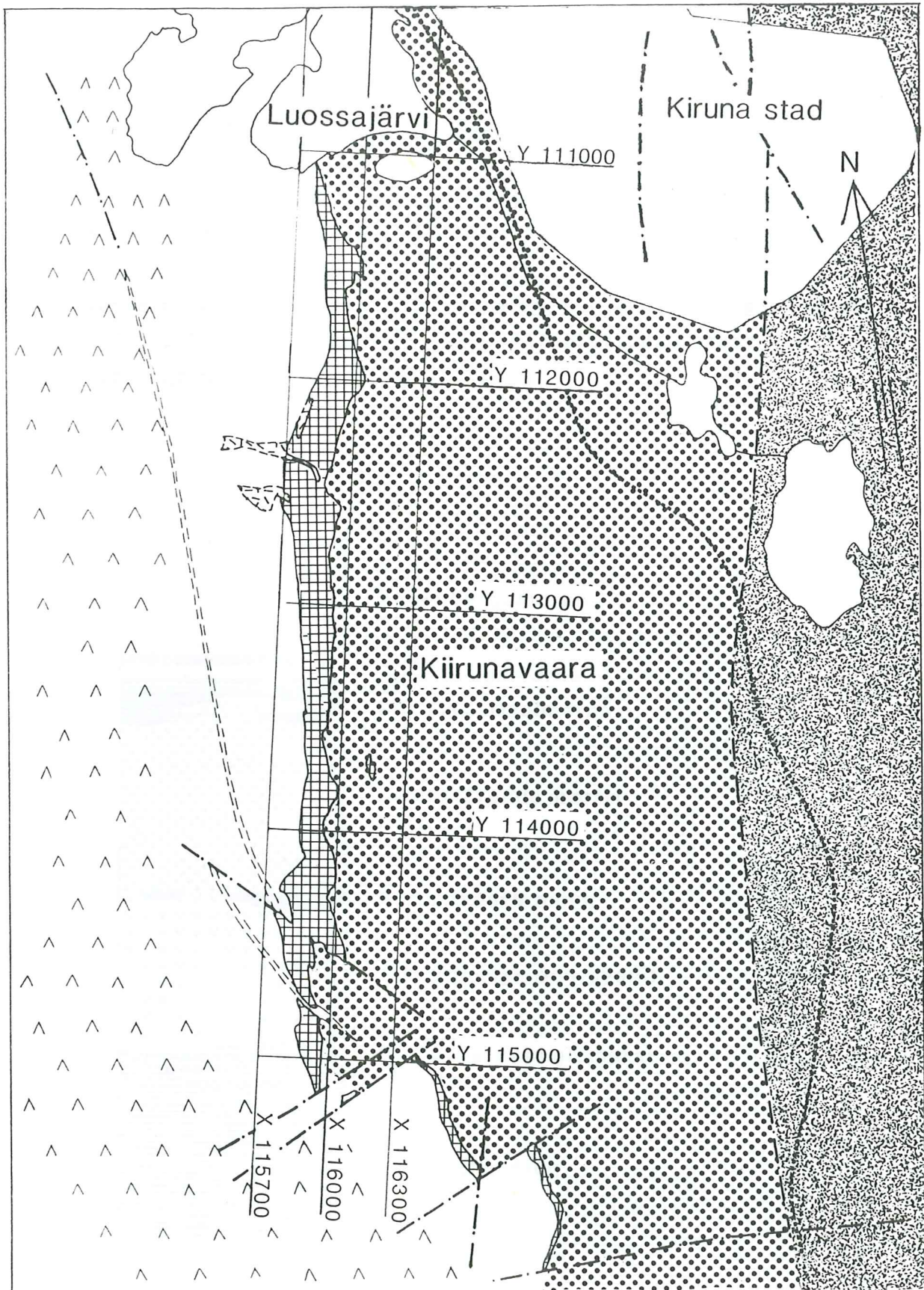
in the mine.

The low percentage of cobalt in the pyrite - maximum percentage 0.99 wt% - and the very irregular distribution of cobalt make mining operations for cobalt economically unprofitable.

Inledning.

I samband med diamantbörning av den så kallade Sjömalmen, som ej går i dagen men är en fortsättning på Kiirunavaaras huvudmalm (Fig 1) mot norr, upptäcktes ojämnt fördelade pyritkoncentrationer i järnmalmen. Vid en närmare undersökning visade sig dessa innehålla förhöjda kobolthalter (Ericsson 1977). Ett fåtal anrikningsförsök på pyrit gjordes i ett senare skede (Berg 1983).

Hösten 1983 påbörjades en större provtagning av i första hand pyritförande skölzoner i malm och sidoberg inklusive malmkontakter från tillgängliga orter och skivnivåer. Dessutom kompletterades denna provserie med pyrit från diamantbörnkärnor. Svavelkis förekommer även som impregnationer. Prov från impregnationerna kommer framför allt från börnkärnor (malm såväl som sidoberg). Undersökningsområdet är koncentrerat till Kiirunavaaras norra del Y 12-24, där de största och flesta pyritkoncentrationerna är belägna. Alla positionsangivelser i fortsättningen ges i gruvans koordinat-system. Y-axeln är horisontell med riktningen nord 11.96 nygrader öst, x-axeln är också horisontell och vinkelrät däremot (111.96 nygrader) och z-axeln är vertikal. Alla prover har analyserats på Co, Ni, Cu och S samt ett fåtal dessutom på andra element.



^ ^ Syenit och syenitporfyr

▨ Gångar av porfyr

▧ Malm

● Kvartsporfyr

▨ Gångar av kvarts-
porfyr, granofyr

▨ Förkastning

▨ Vakkosediment

Fig 1. Geologisk karta över Kiirunavaara malmkropp med gruvans koordinatsystem inlagt.

Kirunaområdets geologiska uppbyggnad.

Kirunaområdet består av en suprakrustal bergartsformation, vilken har en ungefärlig ålder av 1800 miljoner år.

Uppdelningen av bergarterna som görs här grundar sig på Parak (1975). Det äldsta ledet i bergartsformationen utgörs av Kirunagrönstenarna (Fig 2).

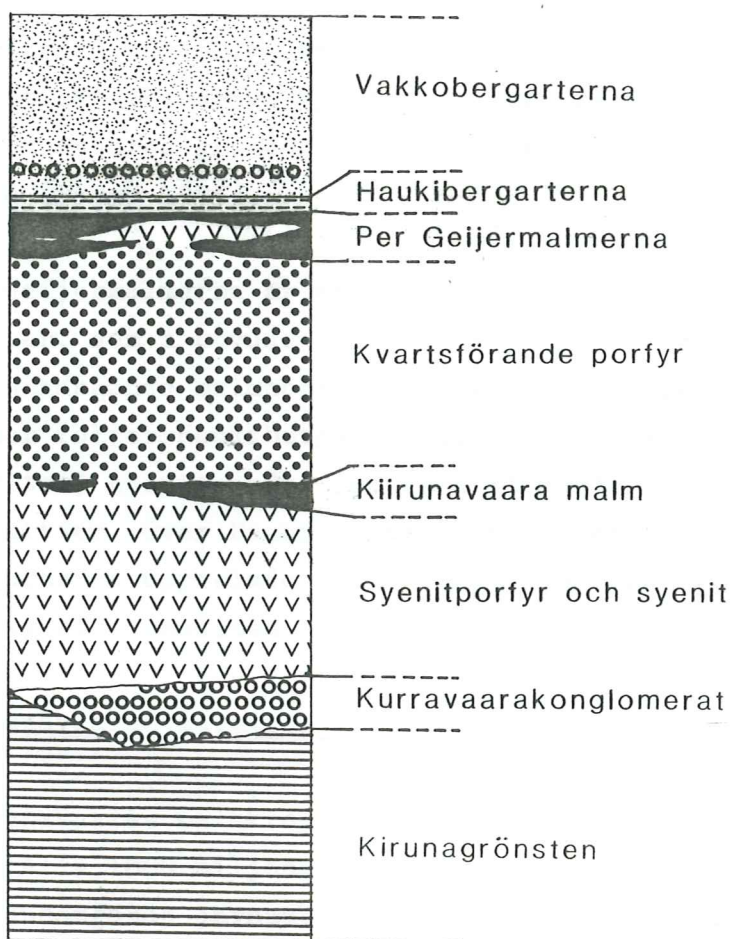


Fig 2. Stratigrafiskt schema över Kirunaområdets lagerföljd.

Förenklad efter Parak 1975.

Dessa består av spilitiska lavar med inlagringar av klastiska och kemiska sediment samt intrusiva grönstenar. På grönstenarna följer Kurravaarakonglomeratet vars avsättning påbörjades samtidigt med att extrusion av de "porfyrier" i vilken malmen ligger började.

"Porfyrierna" utgörs egentligen av keratofyrier och kvartskeratofyrier, men traditionellt kallas de här syenitporfyr och kvartsporfyr. Syenitporfyren utgör malmens liggvägg och ligger huvudsakligen direkt på Kurravaarakonglomeratet. Kvartsporfyren utgör huvudmalmens hängvägg.

Idag finns två olika hypoteser om malmens bildning. Dessa är den magmatiskt-intrusiva hypotesen, som framfördes av Geijer (1910) och en hypotes grundad på kemisk sedimentation i vulkanisk miljö (Parak 1973).

Per Geijermalmerna är en sammanfattande benämning på fem malmkroppar, som i huvudsak uppträder som en mer eller mindre sammanhängande malmhorisont på kvartsporfyren. Över dessa malmer följer Haukibergarterna, bland vilka ingår porfyridetritus, syenitporfyr och sericitkvartsit även kallad sericitskiffer. Över Haukibergarterna ligger slutligen Vakkobergarterna uppdelade i tre etager nämligen gråvacka, fyllit och kvartsitsandsten.

Kiirunavaaras malmkropp.

Kiirunavaaras malmkropp är en apatitjärnmalm och har beräknats innehålla 1800 miljoner ton malm. Den är en av de största sammanhängande järnmalmskroppar som man känner till. Malmkroppen kan liknas vid en skiva eller lins, som stryker i nära N-S och stupar c:a 55° mot öster. Den är c:a fem km lång, varav den norra spetsen (1 km), Sjömalmen, är nedsänkt genom förkastningar. Medelbredden är c:a 90 meter. Geofysiska mätningar indikerar ett

malmdjup till c:a 1800 m avv.

Malmmineralet är magnetit, Fe_3O_4 . Hematit kan ingå som aggregat eller körtlar med diameter upp till 0.5 m samt i anslutning till sprickzoner, men är ytterst underordnat. Det huvudsakliga gångartsmineralet är apatit, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$. Malmen utgörs av omväxlande fosforfattiga (B-malm $<0.10\%P$) och fosforrika (D-malm $>0.10\%P$) malmtyper. Andra gångartsmineral i malmen är kalcit, aktinolit, biotit, albit, kvarts, muskovit, titanit, talk, klorit, pyroxen, köpparkis och pyrit.

Kobolt - allmänt.

Kobolt beräknas utgöra 0.001% av berggrunden i övre delen av jordskorpan.

Den är en karbidbindare, som ger ökande hårdhet samt bättre korrosions- och värmebeständighet åt legeringar. Den ingår i många betydelsefulla legeringar i t ex motorer, rymdfarkoster och permanentmagneter. Av den totala förbrukningen används 60% inom stålindustrin, där kobolt i huvudsak ingår i snabbstål. Bland övriga större användningsområden kan nämnas tillverkningsindustri för färg, glas, emalj och keramik samt kemisk industri.

De viktigaste förekomstsätten för kobolt är:

1. Tillsammans med Ni och Cu i nickel-magnetkismineral.
Exempel är Sudbury-malmerna i Canada.
2. Tillsammans med kopparmineral i sediment, "kopparbältet" i Zaire och Zambia.
3. Vissa nickelhaltiga lateriter, t ex i Cuba och Nya Kaledonien.

Djuphavsnodulerna är en stor potentiell tillgång. De har en genomsnittshalt av 0.25% Co och de potentiella tillgångarna uppskattas till 5 miljoner ton kobolt. En utvinning av kobolt från dessa kan komma igång mot slutet av 1980-talet (SOU 1980:12). Kobolt förekommer nästan alltid tillsammans med andra metaller och utvinns i stor

utsträckning som biprodukt. Världens kända, brytvärda tillgångar beräknas till c:a 2.5 miljoner ton (SOU 1979:40).

Zaire och Australien har de största påvisade mineraliseringarna, eller 55% av de hittills kända tillgångarna. Den i särklass största gruvproducenten är Zaire som år 1977 svarade för 60% av världsproduktionen (SOU 1980:12). Koncentratet härifrån vidareförädlas delvis i Belgien. Övriga producenter är Zambia, Canada, Sovjetunionen, Cuba, Marocko och Finland. Inget av dessa länder har dock en produktionsandel överstigande 10%.

Fyndigheter i Sverige, där brytning tidigare skett, är t ex Los gruvor i Hälsingland, Gladhammar väster om Askersund, Tunaberg väster om Oxelösund samt Bolidengruvan. Det har dock inte förekommit någon brytning eller vidareförädling i Sverige på länge.

Den globala produktionen av kobolt är 30.800 ton (SOU 1980:12). Konsumtionen i Sverige uppskattas till 500-600 ton/år, men förbrukningen väntas i framtiden öka med 4-5% per år (SOU 1980:12). Sverige är således för sin försörjning helt beroende av import.

Det finns många mineral som innehåller kobolt, men bara ett fåtal är ekonomiskt viktiga. Bland dessa märks linneit Co_3S_4 , carrolite Co_2CuS_2 , koboltglans $(\text{Co},\text{Fe})\text{AsS}$ samt koboltförande pentlandit och pyrit. Eftersom Co^{2+} har liknande egenskaper som Fe^{2+} och Ni^{2+} förekommer substitutioner mellan dessa element. Exempelvis uppvisar pyrit FeS_2 , cattierit CoS_2 och vaesit NiS_2 fullständig blandbarhet. I pyrit från naturen är den högsta kända kobolthalten 13 viktsprocent.

Provtagning - metodik.

I norra delen av Kiirunavaara förekommer ett stort antal koboltförande svavelkisskölar i NNV-SSO. Dessa sammanfaller

med de dominerande strukturerna, d v s sprickplan och skölzoner i området. Bredden på pyritskölarna kan uppgå till flera meter. Förutom pyrit ingår också kalcit, klorit och kvarts som vanliga mineral i skölzonerna. Svavelkis finns även som impregnation i järnmalmen och förekommer dessutom i sidoberget.

En serie på hundra prover har tagits från skölzonerna i malm- och sidoberg. Provområdet har koncentrerats till området Y 12-24 (Fig 14) på nuvarande brytningsnivåer från 478 m avv till undersökningsnivån på 795 m avv. Dessa hundra prover har analyserats på kobolt, koppar, nickel och svavel och benämns Kuj Co 1-100 (Appendix). Söder om Y 24 förekommer de svavelkisförande sprickzonerna endast sparsamt. Till mitt förfogande har jag dessutom haft 42 stycken analyser på samma element gjorda vid andra tillfällen från både diamantborrkärnor och knackprov. Av de 142 proverna har 13 stycken anrikats på sulfidfasen, 3 av dessa även på magnetitfasen (Tabell 1).

Tabell 1.

Anrikningstester enligt M Berg, delvis ur "Kobolt i Kiruna-gruva" 1983.

Prov nr	Sulfidfasen(%):		Magnetitfasen(ppm):	
	Co	Ni	Co	Ni
Kuj Co 15	0.43	-	-	-
DBH 4520	0.27	-	-	-
Kuj Co 20	0.15	-	-	-
Kuj Co 120	0.19	-	-	-
Kuj Co 60	0.39	-	-	-
Kuj Co 61	0.24	-	-	-
Kuj Co 9	0.42	-	-	-
Kuj Co 57	0.48	0.0155	110	180
DBH 4515	0.13	0.0580	75	235
Kuj Co 10	0.99	0.0480	65	240
Kuj Co 17	0.068	-	-	-
Kuj Co 30	0.28	-	-	-
DBH 4515	0.044	-	-	-

Medelvärde för resp Co, Cu, Ni och S-halterna har beräknats på grundval av de 142 proverna. Även standardavvikelserna för Co och S är uträknade. Detta för att undersöka fördelning och kristallkemisk variation av kobolt inom undersökningsområdet. Medelhalterna samt standardavvikelsen framgår av Tabell 2. Av Fig 3 framgår att kobolthalterna i regel varierar mellan 0.04 och 0.28 vikts% Co.

Tabell 2.

Medelvärde och standardavvikelse, hela antalet prover (142 st.)

Co: 0.13%	S _{Co} : 0.11
Cu: 0.23%	S _S : 12.8
Ni: 0.037%	
S: 16.8%	

Medelvärde och standardavvikelse, provserie Kuj Co 1-100.

Co: 0.16%	S _{Co} : 0.11
Cu: 0.20%	S _S : 11.9
Ni: 0.042%	
S: 20.1%	

Med de kemiska analyserna som grund (appendix) har 11 stycken prover plockats ut, vilka gjutits in i plast och polerats. Dessa är studerade i reflekterande ljusmikroskop. Därefter har i storleksordningen 170 analyser gjorts med ett energidispersivt system. Resultaten av dessa analyser är dessvärre mycket otillförlitliga eftersom kobolthalterna är låga och ligger nära detektionsgränsen. Kobolt sitter främst i pyrit, FeS₂. Den begränsade våglängdsseparationen i ett energidispersivt system gör att K_β-strålning för Fe och K_α-strålning för Co delvis överlappar varandra. Då Fe-halten är mycket hög blir det nästan omöjligt även för avancerade korrektionsprogram att beräkna Co-andelen i den kombinerade Fe K_β- Co K_αtoppen. Mineralen vid sidan om de opaka har studerats i mikroskop med genomfallande ljus. Sju stycken tunnslip har undersökts, vilka alla utom ett kommer från skölzoner. Från denna mikroskopering ser man att skölzonernas mineralinnehåll främst är kalcit

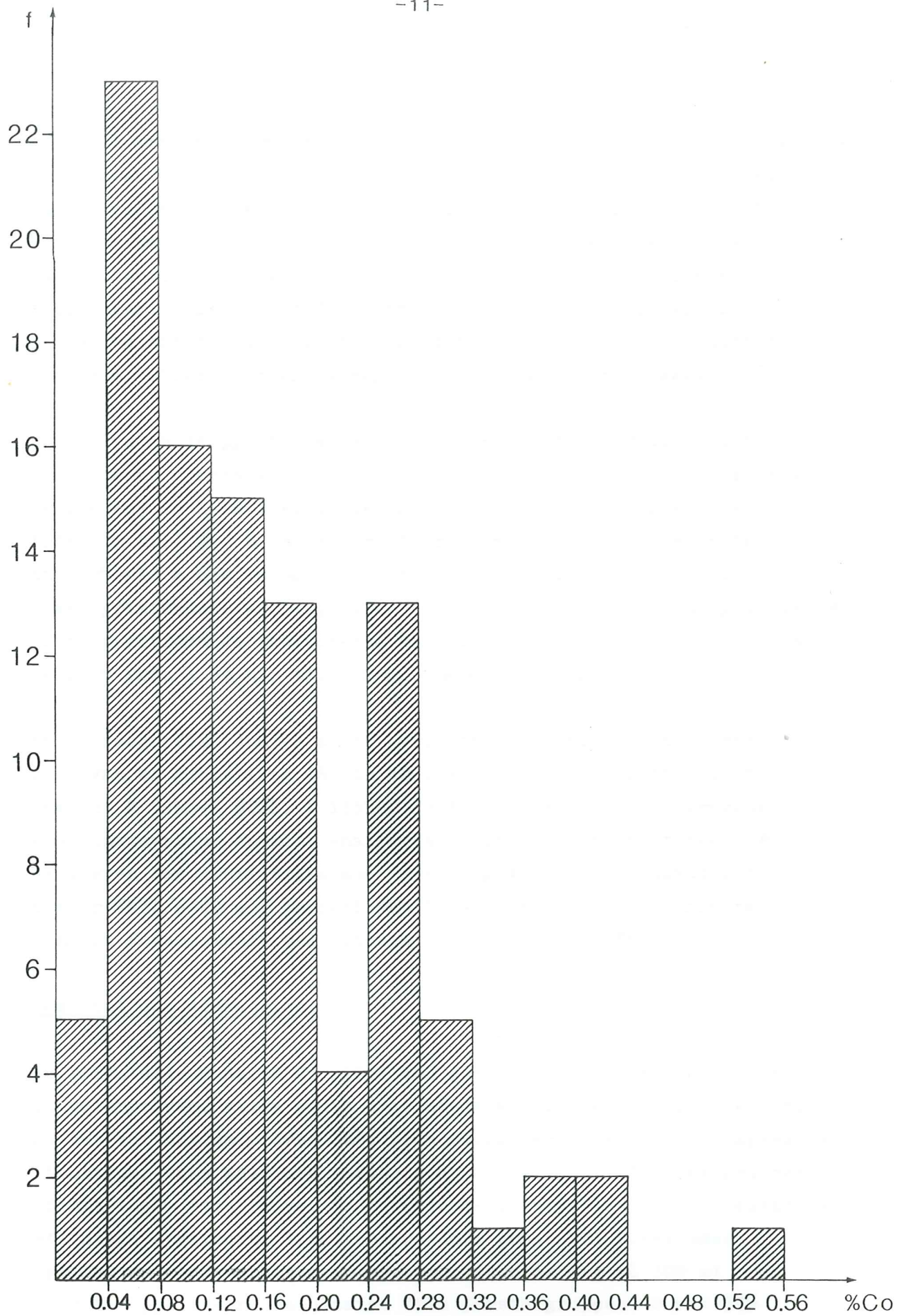


Fig. 3 Co-halten i %. Prov nr Kuj Co 1-100. (f=frekvens)

men även klorit förekommer rikligt. De båda sistnämnda mineralen har anhedral kristallform. Kvarts är vanlig och uppvisar undulös utsläckning. Även kalifältspat och plagioklas är rikligt förekommande. Andra ingående mineral är biotit, titanit, muskovit och apatit. Ett prov har syenitporfyr sammansättning och innehåller i huvudsak fältspat (plagioklas och kalifältspat) med välutbildade tvillingar. Underordnat förekommer kalцит och kvarts. Vid malmmikroskopering har förutom pyrit, magnetit och kopparkis även hittats maghemit. Observationen av maghemit är dock något osäker.

En analys av de pyritförande skölzonernas täthet är utförd. Mätningarna är gjorda i anslutning till provtagningspunkterna i provserien Kuj Co 1-100. Avståndet mellan skölzonerna varierar kraftigt från 1 m till 200 m. Medelvärdet är 19 m, men då kan det noteras att 62% \leq 10 m och 78% \leq 20 m. Parallellt med dessa skölar ligger icke-pyritförande skölar, vilka ej tagits med i denna analys. Bredden på de pyritförande skölzonerna varierar kraftigt, även inom samma skölzon från 1 dm upp till 10 m. (Se Appendix).

En stereografisk analys av de pyritförande sprickriktningarna i gruvan är gjord (Fig 4A och 4B). Mätningarna är gjorda inom området X 5956-X 6221, Y 1355-Y 3914 och Z 481-Z 795 i gruvans koordinatsystem. Antalet analyserade sprickor är 66 stycken (Fig 4A). Från den statistiska analysen (Fig 4B) fås två huvudriktningar N67W/62S, med variationen N56-83W/55-65S och en mindre vanligt förekommande med motsatt stupning N56W/55NE.

Resultat och diskussion.

En kornstorleksanalys är gjord med hjälp av ljusmikroskop på de 11 polerproven, vilka sedan även studerats i elektronmikroskopet. Då det rör sig om prover både från skölzoner i malmen och impregnationstyper från malm och sidoberg delas de in i två olika grupper I den första ingår åtta prover från skölzoner, varav två endast består av ett stort pyritkorn. I de tre proven i grupp två förekommer pyriten som impregnationer. Analysen grundar sig på 300 st uppmätta pyritkorn. Resultatet från första gruppen är att 57%

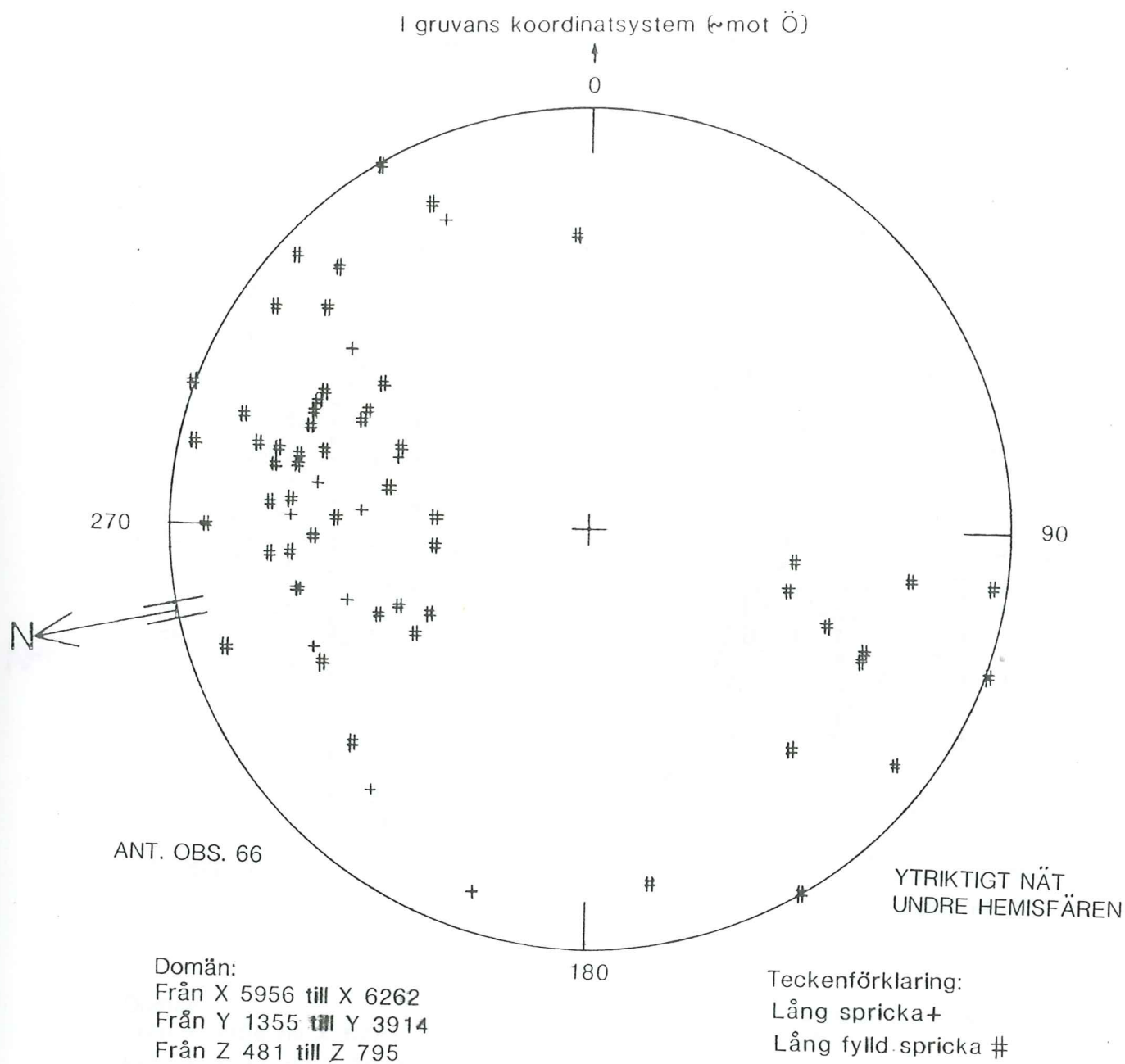
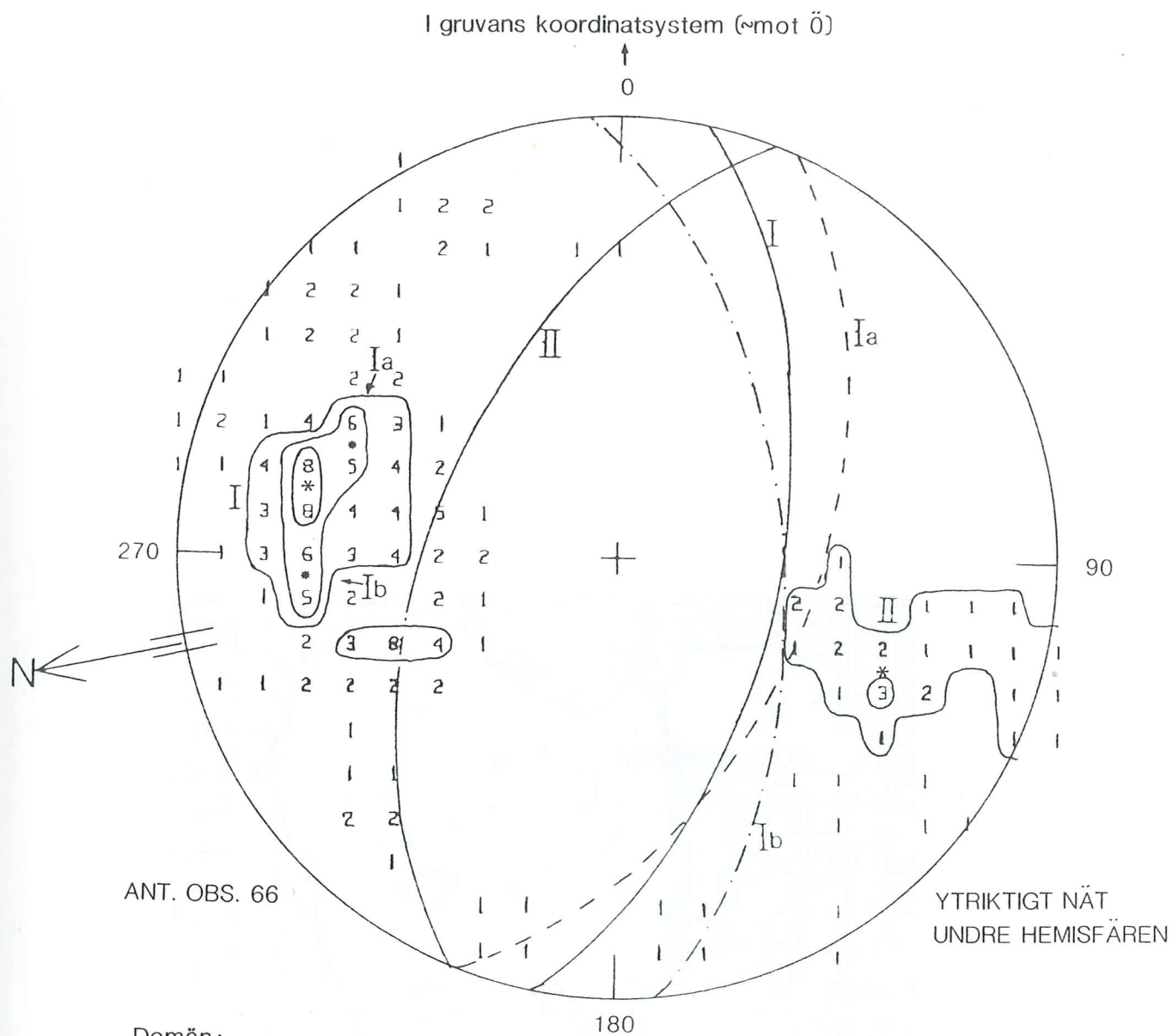


Fig 4A. Schmidt-nät på provtagna pyritförande sprickor.



Domän:
Från X 5956 till X 6221
Från Y 1355 till Y 3914
Från Z 481 till Z 795

täthetsanalys (%):
1-2
3-4
5-6
7-8

Huvudsprickriktningar :

- I N67W/62S
- Ia N56W/55S
- Ib N83W/65S
- II N56W/55NO

Fig 4B. Statistisk analys av sprickriktningarna. Storcirkklarna till polpunkterna utritade.

av pyritkornen är <0.5 mm, 68% <1 mm, 90% <2 mm och 97% <3 mm. I gruppen med impregnationspyrit blir resultatet liknande d v s 45% <0.5 mm, 65% <1 mm, 91% <2 mm och 97% <3 mm. Kornstorleken är mycket varierande både inom och mellan de olika proven. Pyritkornen är oftast eudrala eller subhedrala. Kraftig uppkrossning av kornen är vanlig, i synnerhet hos pyrit men även hos magnetit. Vissa pyritkorn måste antagligen betraktas som polykristallina aggregat med varierande kornstorlek. Kopparkis förekommer som inneslutningar främst i pyrit men sparsamt även i magnetit. Den förekommer också som sprickfyllnad i pyrit samt i enstaka fall som strökorn i silikaterna. Exempel på detta kan man se i Fig 5A och 5B.

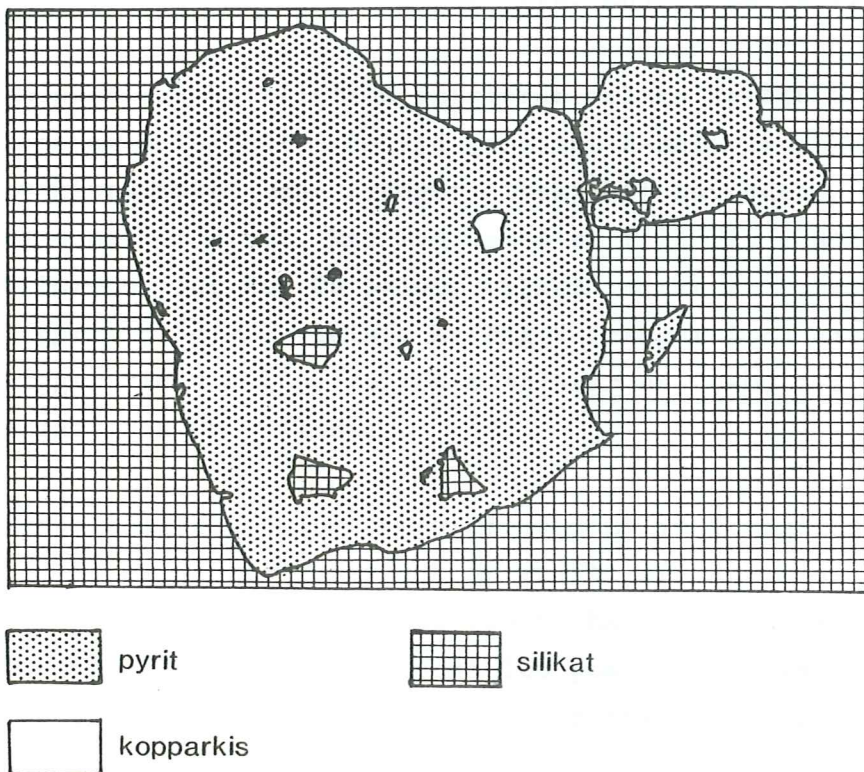


Fig 5a. Förenklat efter fotografi taget i SEM. Pyritkorn innehållande kopparkis och silikater. Förstoring 1000 ggr.

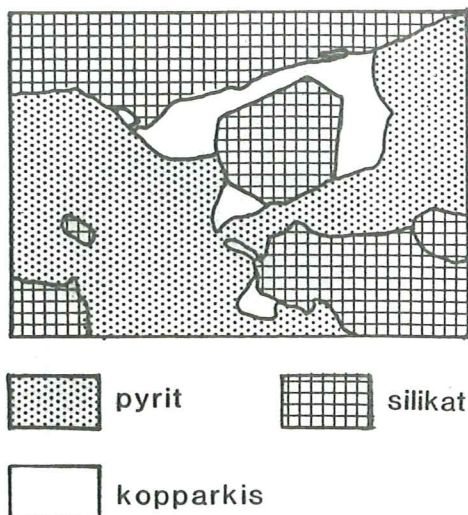


Fig 5b. Förenklat efter fotografi taget i SEM. Ingående mineral är pyrit, kopparkis och silikater. Förstoring 108 ggr.

Resultaten från undersökningen tyder på att kobolt till största delen sitter som fast lösning i pyrit; $(Fe, Co)S_2$. Detta framgår på två sätt:

1. En partiell korrelation existerar mellan Co och S (Fig 6). Den maximala halten Co vid konstant S-halt är ungefär linjär. Av mikroskoperingen framgår direkt att huvuddelen av svavlet är bundet i pyrit. Man kan också se från Fig 6 att minivärdet av $S/Co \approx 50$, för Kuj Co 1-100, vilket indikerar en maximal Co-halt i pyrit på c:a 1 vikts%. Av Fig 7 framgår dock att S/Co (medel) ligger vid c:a 100, vilket motsvarar en Co-halt i pyrit på endast c:a 0.5 vikts%.
2. Genom mikroskopering och mikrosondanalys framgår tydligt att det ej existerar faser som är kraftigare anrikade på Co än vad pyrit är. Enligt Parak (1975) har man t ex en maximal Co-halt i magnetit på endast 100 ppm, vilket kan jämföras med en maximal halt av 110 ppm i denna undersökning. Mikrosondundersökningen visar för övrigt att spår av Co även förekommer i rutil i sidoberget. I kopparkis, vilket är starkt underordnat pyrit, ligger Co-halten under mikrosondens detektionsgräns. Den obefintliga korrelationen mellan Cu och Co framgår också av Fig 8. Ingen zonering av pyriten med av-

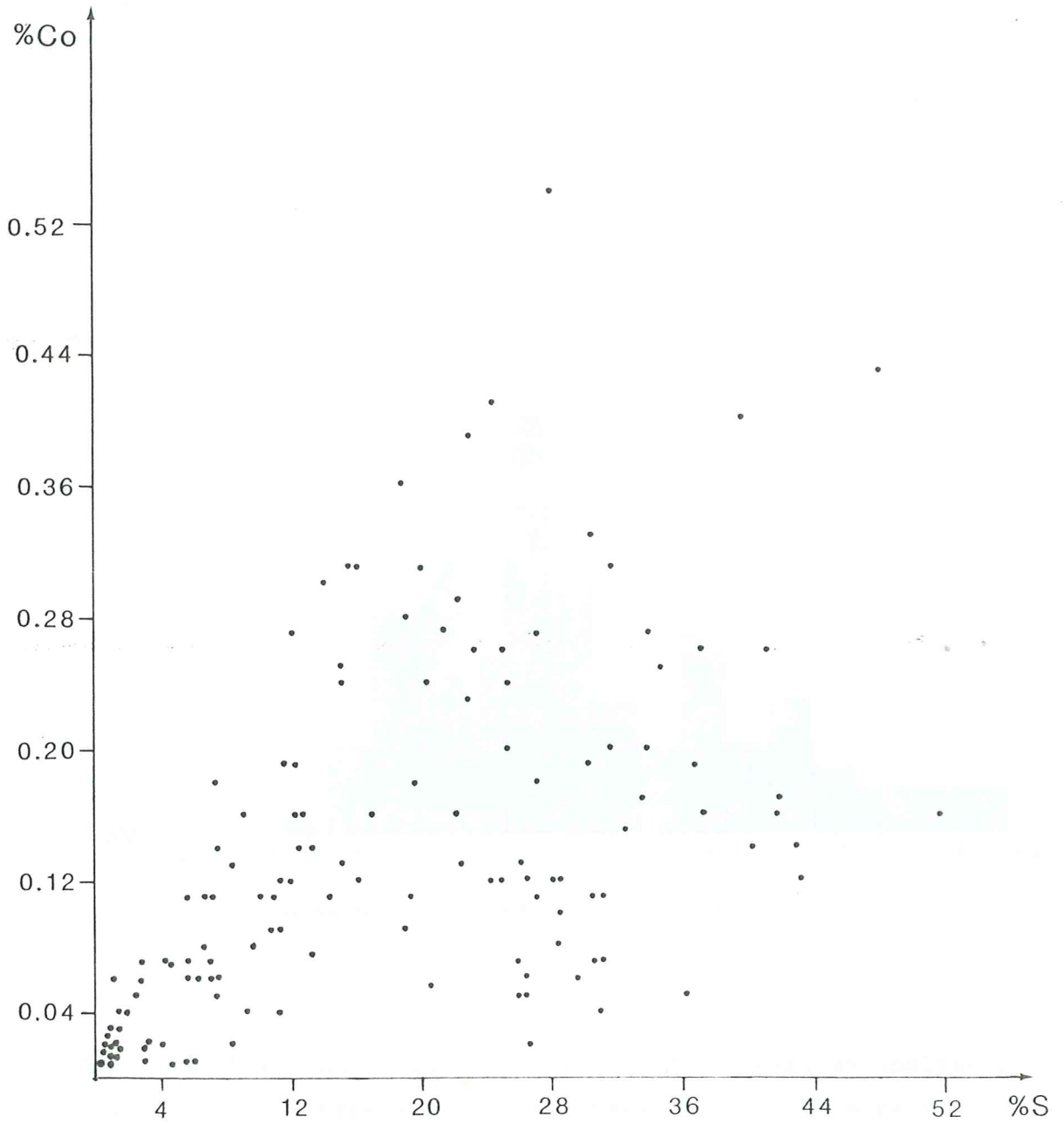


Fig 6. Variationen Co och S. Prov nr Kuj Co 1-100 samt delar av
borrhålen: 4515, 4507, 4403, 4508, 4503, 4520.

seende på Co har framgått av mikrosondundersökningen, vilket åskådliggörs i Fig 9A och 9B. I Fig 9A där Co-signalen är relativt jämnt fördelad i ett snitt tvärs över pyritkornet och i Fig 9B där man ser att kobolten sitter jämnt fördelad över hela kornet. Vidare kan noteras att inga rena koboltfaser detekterats.

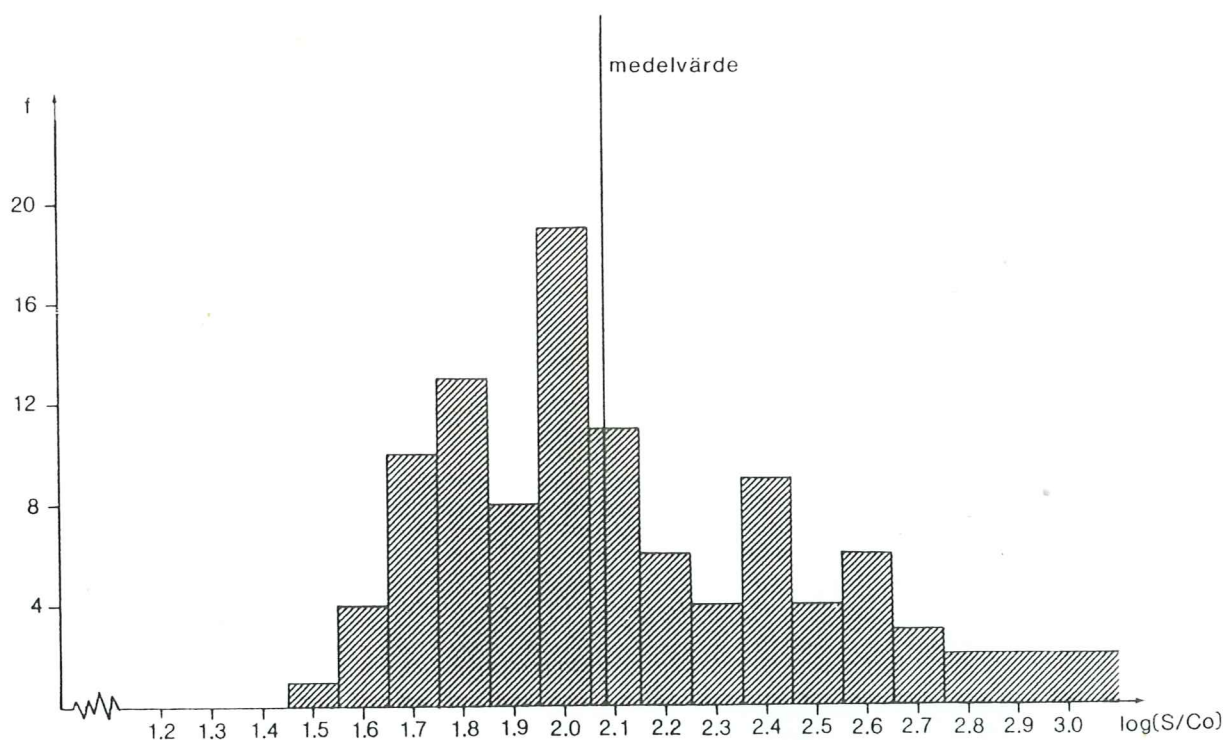


Fig 7. Frekvensen av log (Co/S) i prov nr Kuj Co 1-100. (frekvens).

I några få prover har guld kunnat spåras genom kemiska analyser. Högsta halt är 0.16ppm i ett prov, dessutom finns fyra prov med en halt ≤ 0.1 ppm (Appendix). Med hjälp av mikrosonden kan man inte spåra guldet, då halterna ligger långt under detektionsgränsen för guld.

Nickel har stora geokemiska likheter med kobolt och kan förväntas uppträda på likartat sätt (Stanton, 1972). Trots att

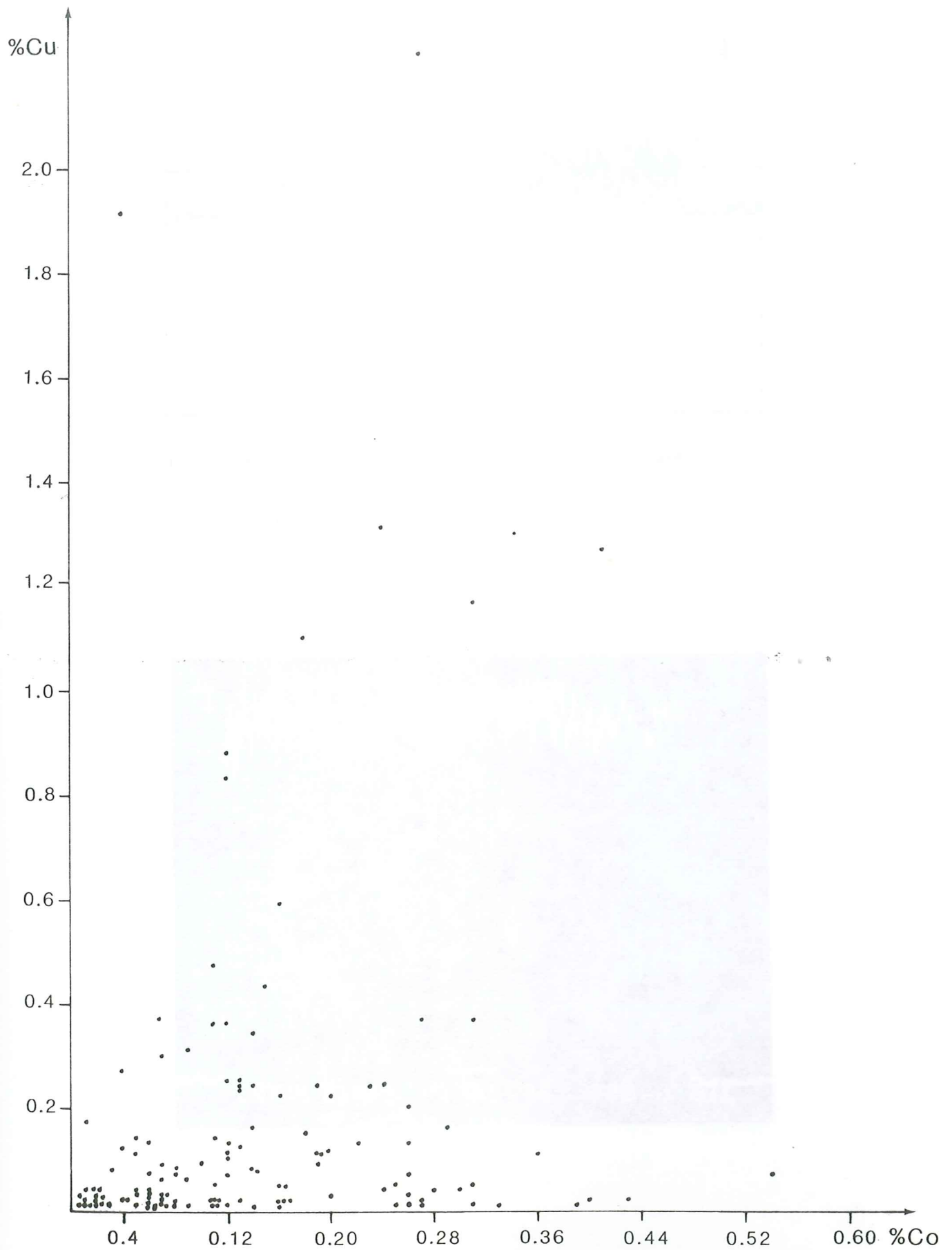


Fig 8. Variationen Cu och Co. Prov nr Kuj Co 1-100 samt delar av borrhålen: 4515, 4507, 4403 4508, 4548, 4503, 4520.

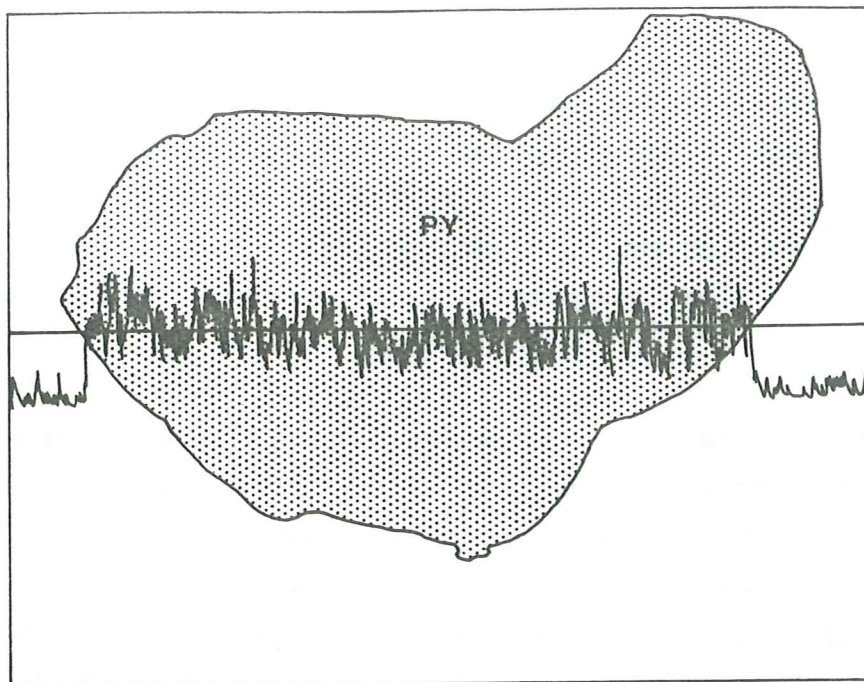


Fig 9a. Pyritkorn med Co-signal. Förstoring 100 ggr.

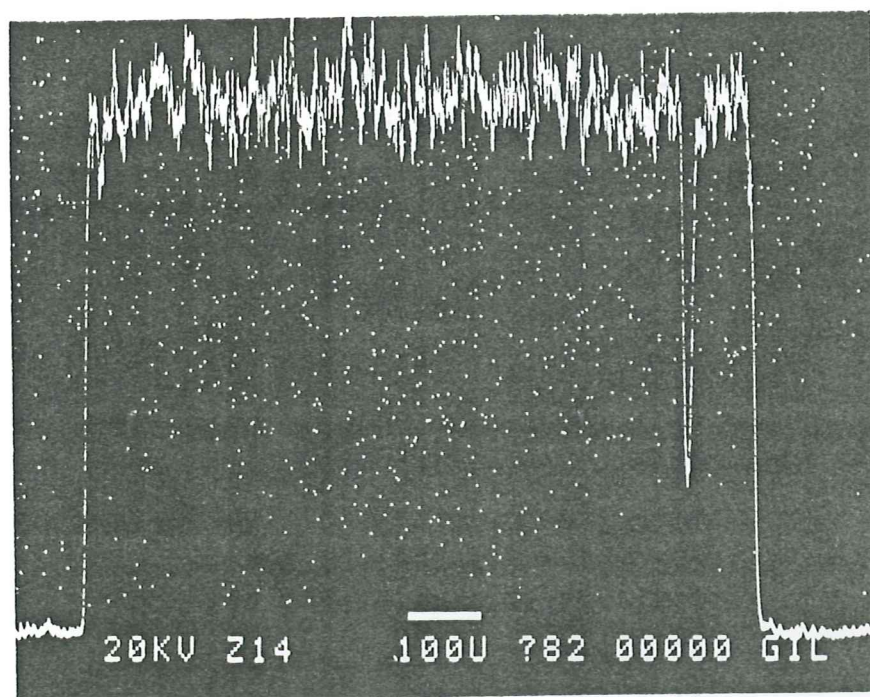


Fig 9b. Samma pyritkorn som Fig 9a med samma förstöringsgrad.
Co-fördelning samt Fe-signal.

halterna är mycket låga ($\leq 0.12\%$) kan man se ett likartat förhållande mellan Ni och S som mellan Co och S (Fig 10). Höga halter Ni förekommer alltså i regel endast i prov med hög pyrithalt, medan en hög pyrithalt ej nödvändigtvis är kopplad till hög Ni-halt. Korrelationen mellan Co och Ni är svag (Fig 11).

Redan i mikroskala finns det antydningar till att Co sitter ojämnt fördelad i pyrit (Tabell 3). Denna ojämvikt består även i stor skala. I Fig 12-17 kan man se att både absoluta Co-halten och Co-halten i pyrit varierar kraftigt både i vertikal och horisontell riktning. Ingen zonering i Co/S-förhållandet eller i den absoluta Co-mängden har framkommit ur statistiken.

Tabell 3.

Mikrosondanalyser - pyrit (atomprocent). Analyserna är utförda på Geol inst vid Lunds Universitet.

Prov nr	S(%)	Fe(%)	Co(%)	Ni(%)
Kuj Co 9	65.27	32.33	2.42	-
"	66.56	33.35	0.09	-
"	66.83	32.39	0.60	-
"	66.58	32.19	1.01	-
Kuj Co 57	67.05	31.44	0.59	-
"	67.47	31.28	0.64	-
"	67.60	31.44	0.30	-
"	67.43	31.87	0.32	-
Kuj Co 120	67.18	32.79	0.03	-
"	67.17	32.32	0.39	-
"	66.73	32.83	0.10	-
"	66.64	33.09	0.08	-
"	66.49	33.25	0.12	-
"	66.53	33.30	0.04	-
"	66.75	32.90	0.11	-
"	66.80	33.05	0.15	-

forts. Tabell 3.

Prov nr	S	Fe	Co	Ni
DBH 4403	66.83	33.17	-	-
"	66.09	33.10	0.23	-
DBH 4515	66.61	32.90	0.07	0.42
"	66.71	32.84	0.10	0.35
"	66.61	32.82	0.09	0.47
"	65.93	33.68	0.06	0.33
"	66.98	32.51	0.04	0.47
"	65.13	31.61	2.57	0.59
DBH 4520	67.13	32.57	-	0.30
"	66.80	32.44	-	0.52
"	67.45	32.40	0.15	-

Kvoten Co/Ni i pyrit har studerats ingående i olika malmtyper t ex Auger (1941), Fleicher (1955), Loftus-Hills och Solomon (1967). Enligt Fleicher (1955) och Loftus-Hills och Solomon (1967) skulle en Co-Ni-kvot <1 indikera sedimentär miljö medan en kvot >1 skulle tyda på hydrotermal eller magmatisk aktivitet. Proverna från Kiirunavaara har ett värde som mestadels överstiger 1, vilket alltså skulle kunna indikera en hydrotermal bildning (Fig 10).

Ett av syftena med denna undersökning har varit att kartlägga om det finns möjlighet att med lönsamhet utvinna kobolt från svavelkis i Kiirunavaaramalmen. Så är inte fallet. Ett anrikningstest gav en maximal kobolthalt i pyritkoncentratet på 0.99% (Tabell 1). De flesta proven har dock mycket lägre halter. Säkerligen förekommer även högre halter, men den mycket ojämna fördelningen försvårar en rationell utvinning.

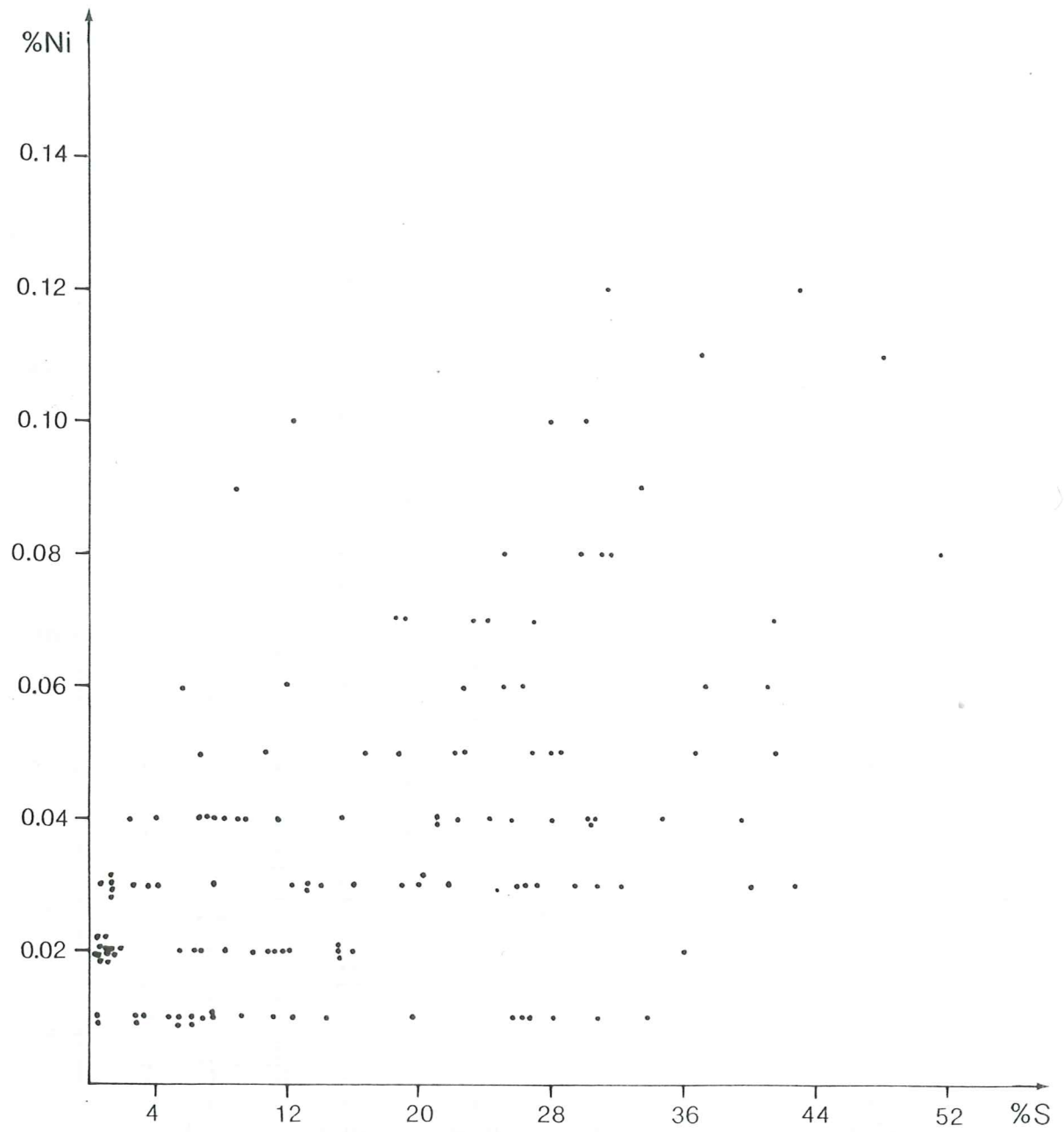


Fig 10. Variationen Ni och S. Prov nr Kuj Co 1-100 samt delar av borrhålen:
4515, 4507, 4403, 4408, 4548, 4520.

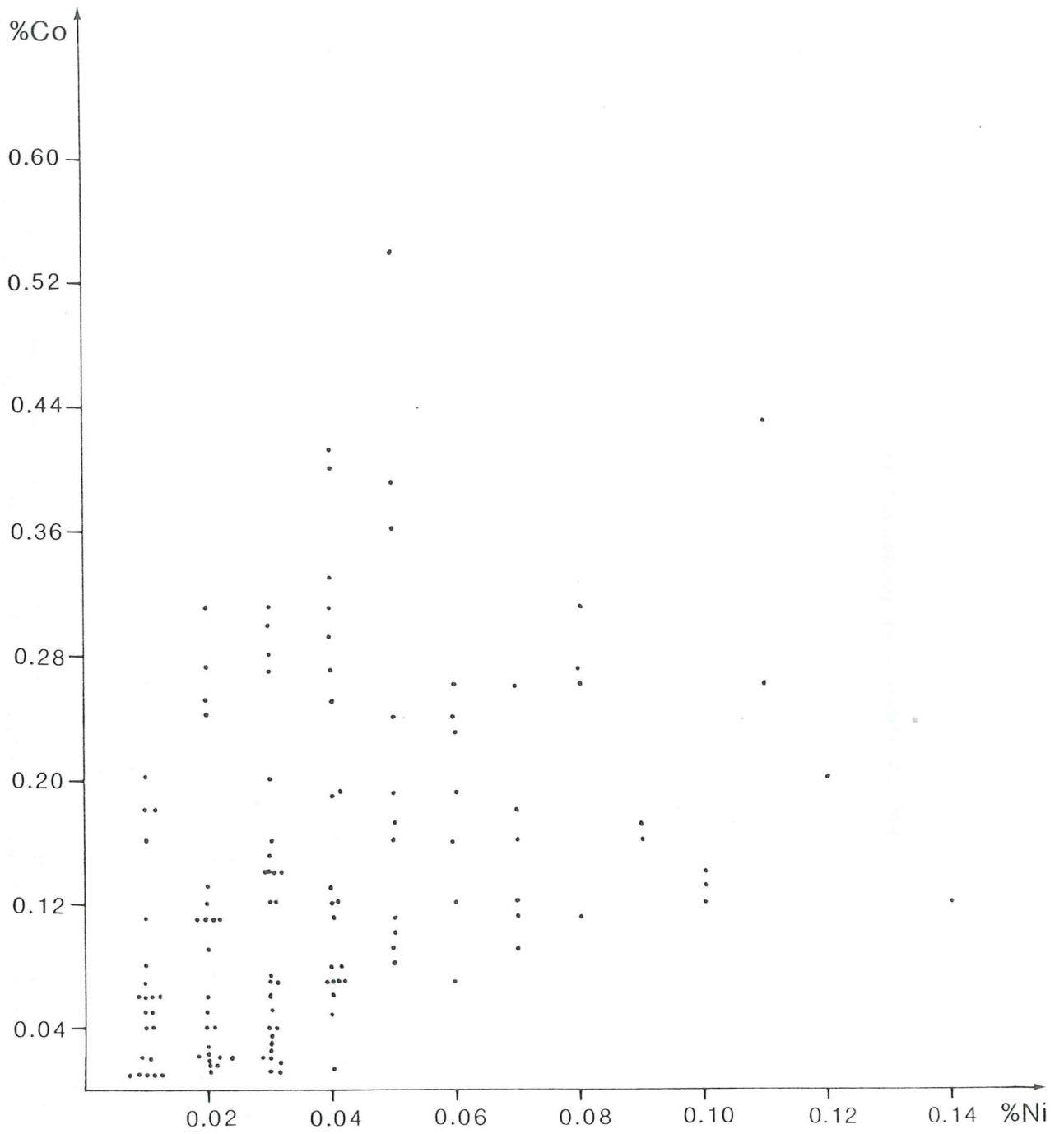


Fig 11. Variationen Co och Ni. Prov nr Kuj Co 1-100 samt delar av borrhålen:
4515, 4507, 4403, 4508, 4548, 4503, 4520.

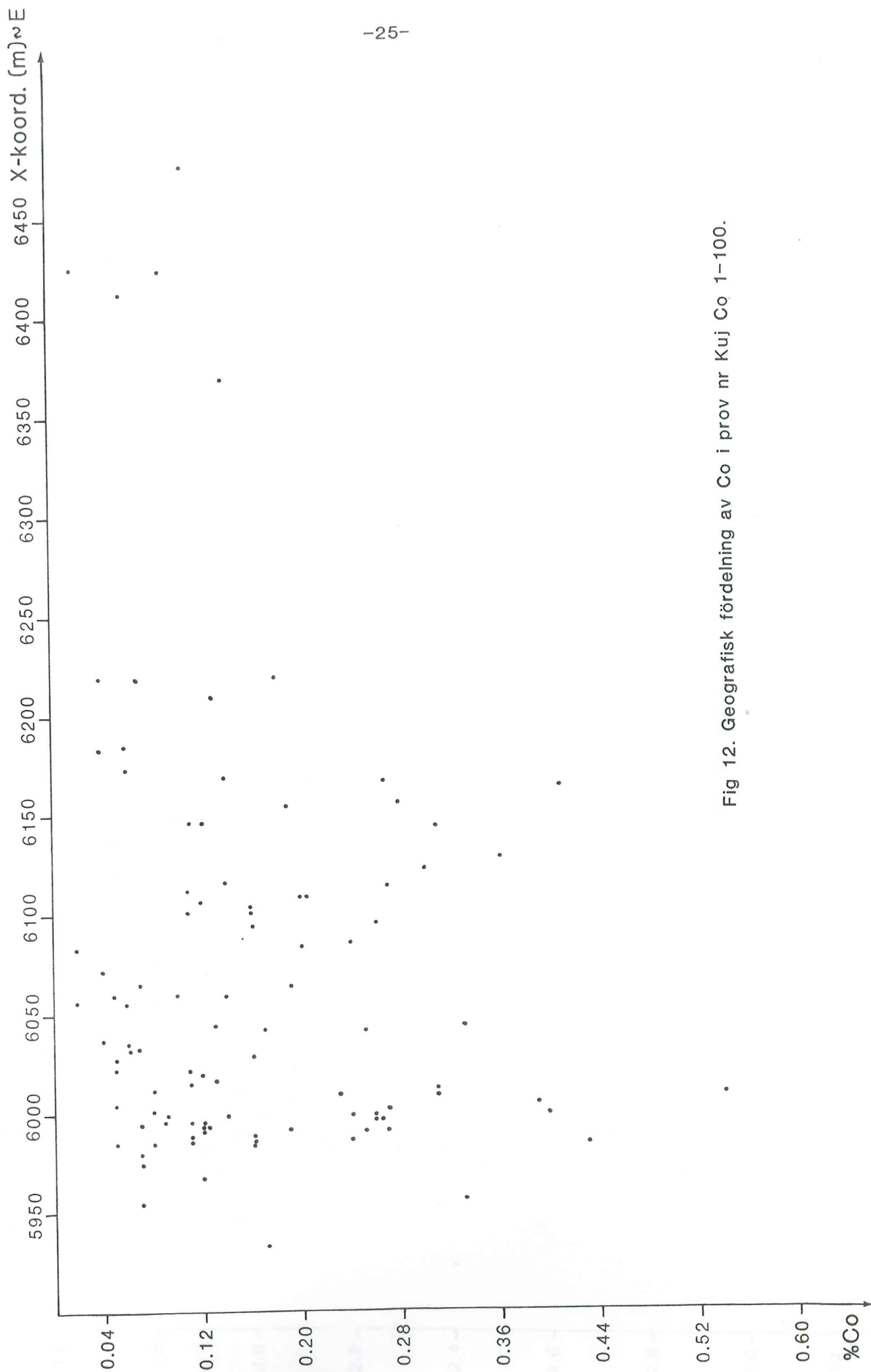


Fig 12. Geografisk fördelning av Co i prov nr Kuj Co 1-100.

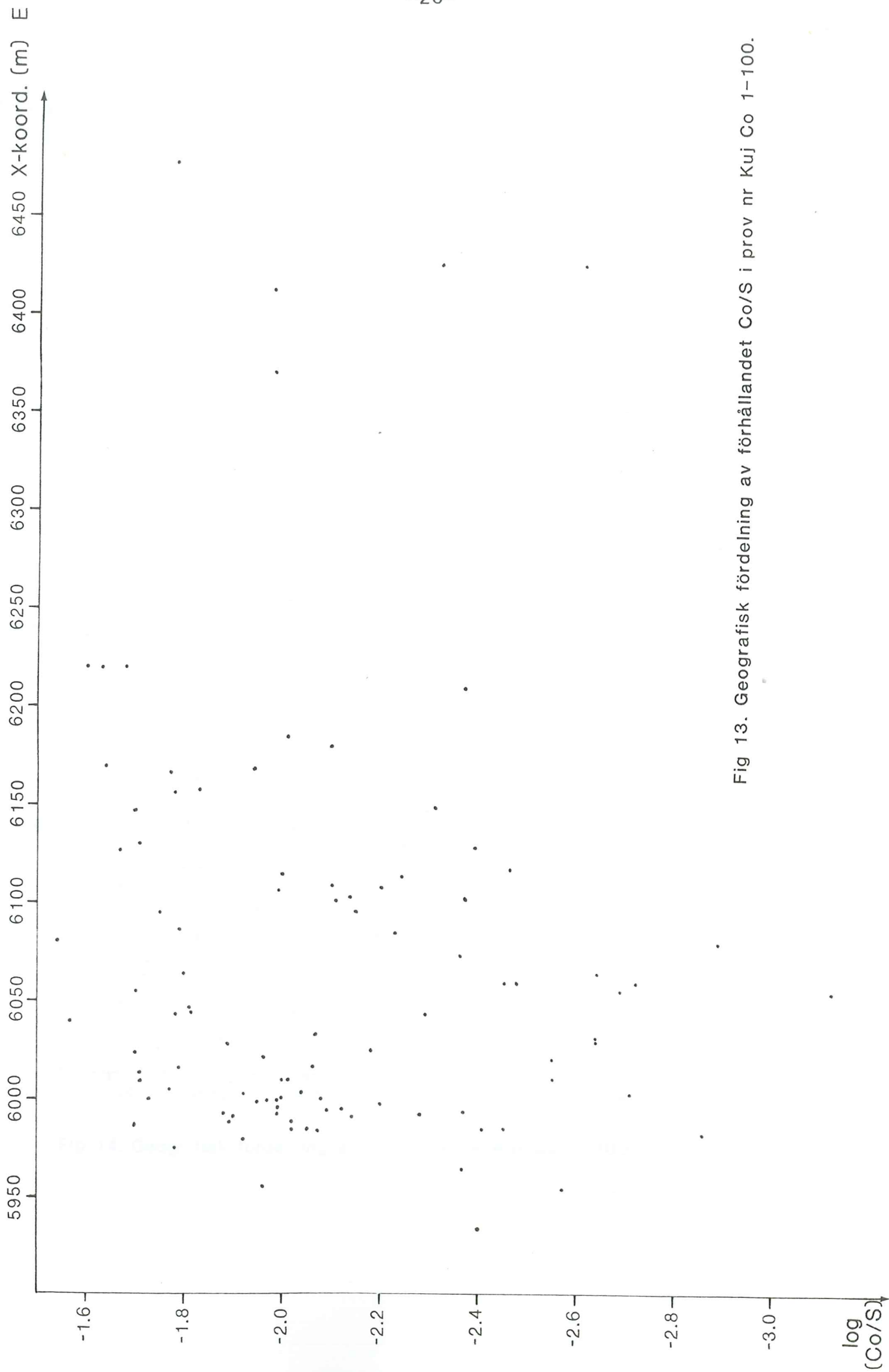


Fig 13. Geografisk fördelning av förhållandet Co/S i prov nr Kuj Co 1-100.

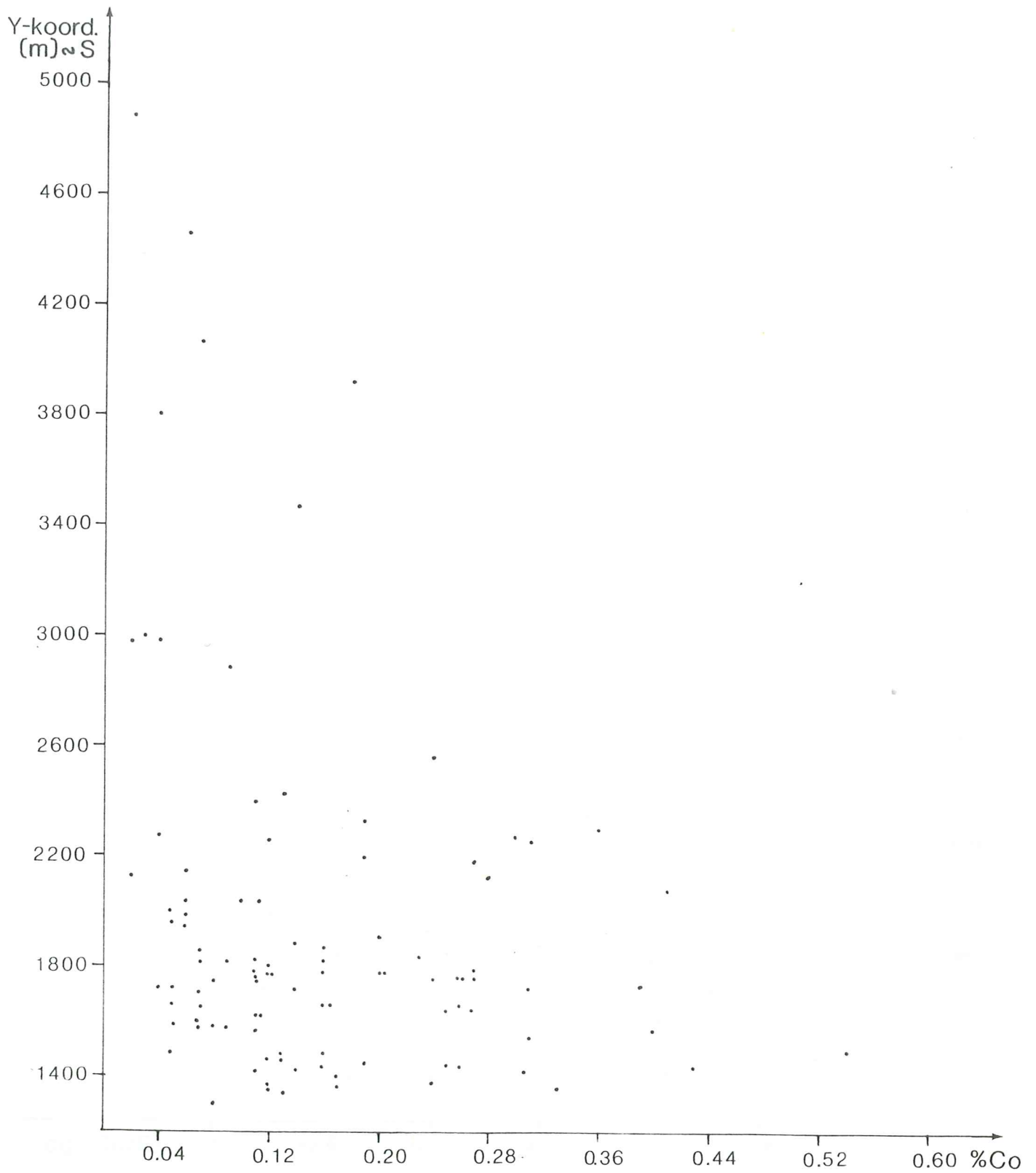


Fig 14. Geografisk fördelning av Co i prov nr Kuj Co 1-100.

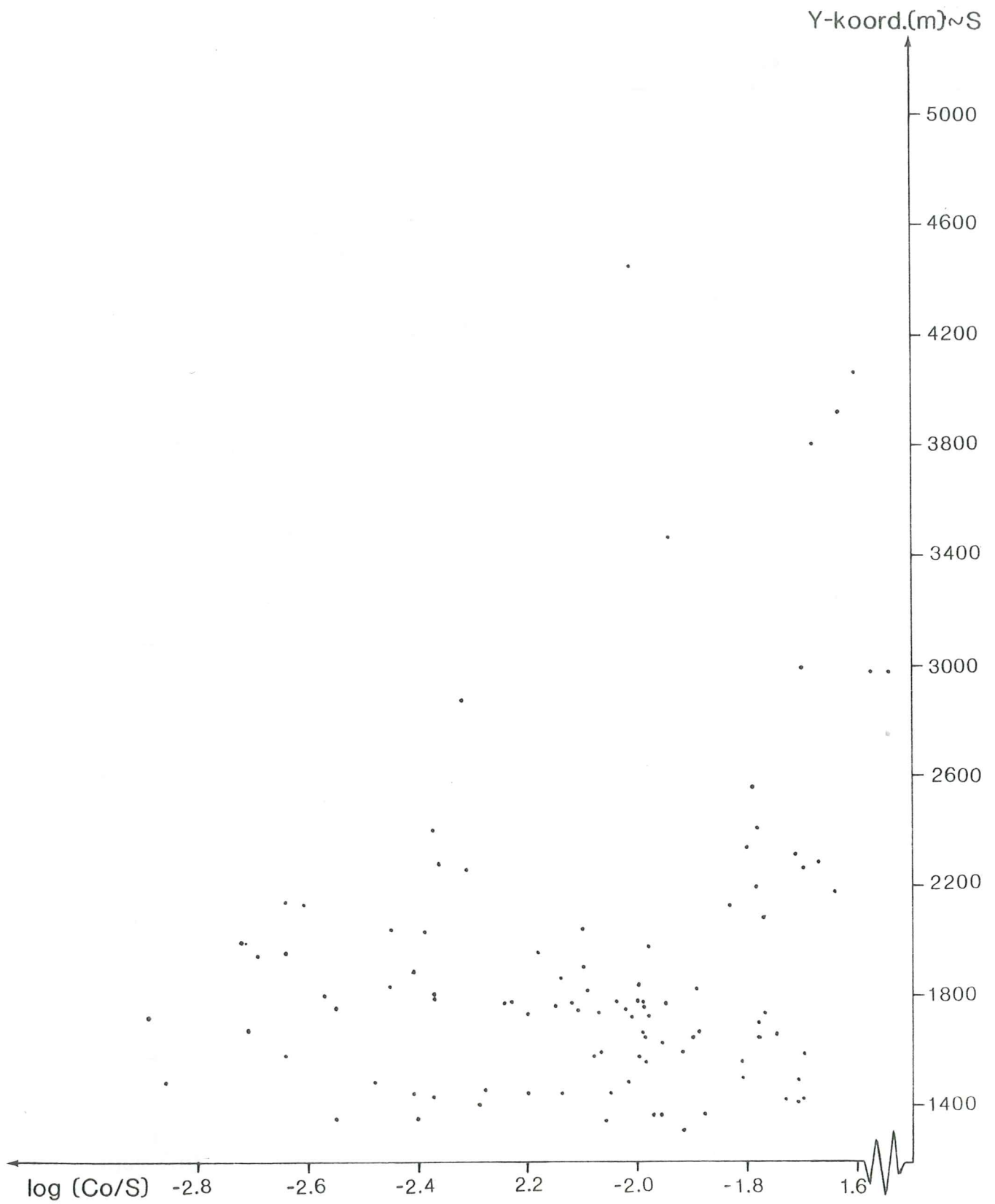


Fig 15. Geografisk fördelning av förhållandet Co/S i prov nr Kuj Co 1-100.

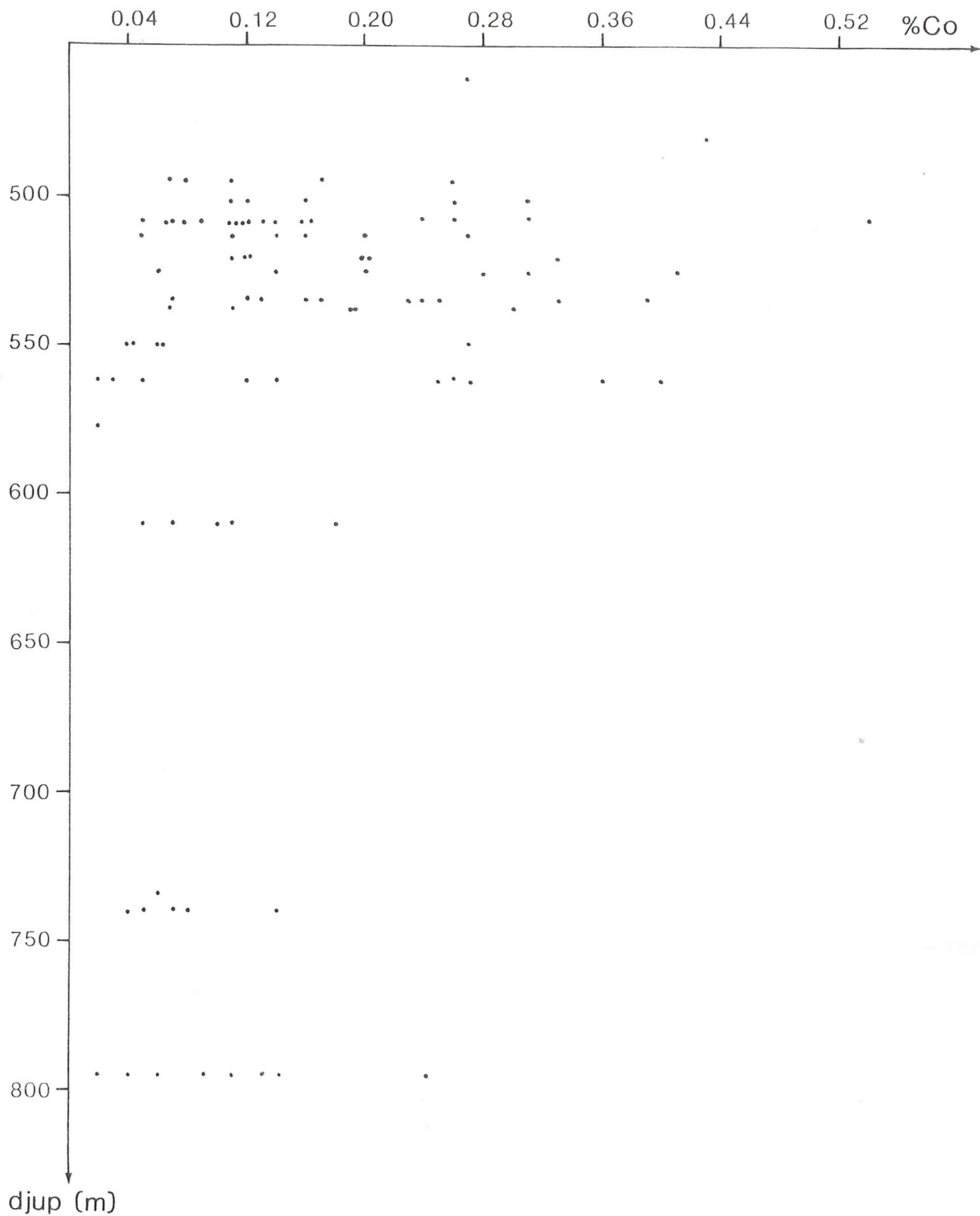


Fig 16. Geografisk fördelning av Co med djupet i prov nr Kuj Co 1-100.

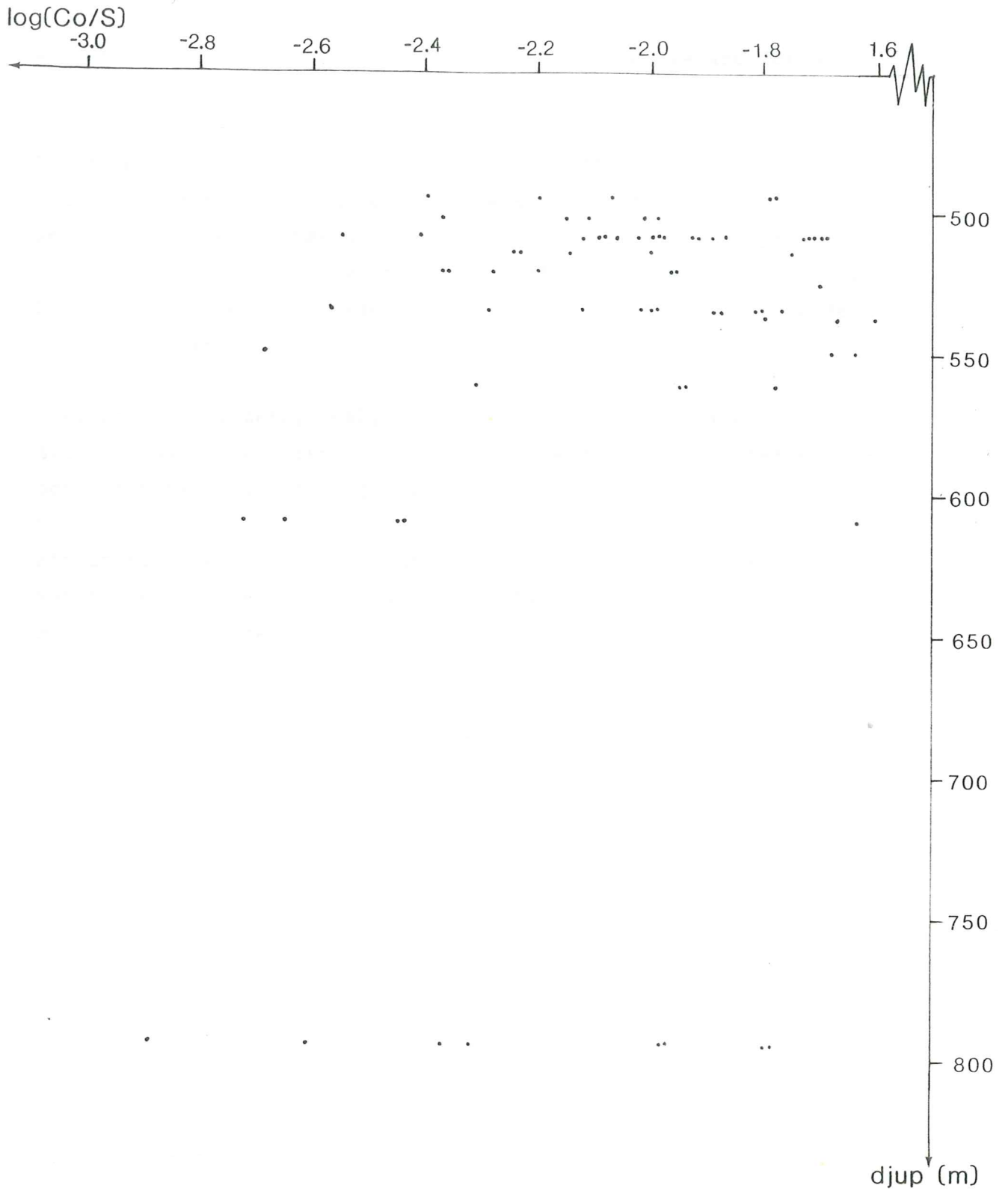


Fig 17. Geografisk fördelning med djupet av förhållandet Co/S.

Prov nr Kuj Co 1-100.

Avslutningsvis vill jag varmt tacka mina tre handledare för all värdefull hjälp.

Först går mitt tack till docent Örjan Amcoff, som jag från arbetets första början hade stor hjälp och stöd av. Docent Amcoff flyttade sedermera från Lunds Universitet till Uppsala Universitet och hans uppgift övertogs då av docent Anders Lindh, Lunds Universitet, som sedan dess och till arbetets slutförande visat mig samma stora välvilja.

Geolog Stig Liedberg, LKAB, Kiruna, på vars initiativ arbetet tillkom, har hela tiden följt mitt arbete med stort intresse och varit mig till stor hjälp.

Ett stort tack riktar jag slutligen till alla Er andra som varit involverade i - och på olika sätt hjälpt mig med - mitt uppsatsarbete.

Referenslista.

Auger, P.E., 1941: Zoning and district variations of the minor elements in pyrite of Canadian gold deposits. *Econ. Geol.*, 36, 401-423.

Berg, M., 1983: Kobolt i Kiruna gruva. Utredning, LKAB, Malmberget.

Björklykke, H. och Jarp, S., 1950: The content of cobalt in some Norwegian sulphide deposits. *Norsk Geol. Tidskrift*, 28, 151-156.

Ebner, F.S., 1978: The petrology, geochemistry and genesis of the Ballek copper deposit, northern Sweden. Akad. avhandling, Lunds Universitet.

Ekström, T., 1978: Koboltförande pyrit i två profiler från Kiskamavaara. Mineralogirapport 78/01, SGU.

Ekström, T., 1979: En jämförelse mellan koboltförande pyrit från Outokumpu och Kiskamavaara. Mineralogirapport 79/02, SGU.

Ericsson, P., 1977: Ang kobolt i Sjömalmen. Utredning, LKAB, Kiruna.

Fleischer, M., 1955: Minor elements in some sulfide minerals. *Econ. Geol.*, 5, 970-1024.

Geijer, P.A., 1910: Igneous rocks and iron ores of Kiirunavaara, Luossavaara and Tuollavaara. Akad. avhandling Uppsala Universitet.

Hålenius, E., 1982: Kobolthalten i pyrit. Mineralrapport 82/05, SGU.

Hålenius, E., 1983: Mineralogisk undersökning av kobolthaltig pyrit från Sautusvaara. Mineralogirapport 83/03, SGAB.

Hålenius, U., 1980: Kornstorleksfördelningen hos pyrit i kopparkis Kiskamavaara. Mineralogirapport 80/02, SGU.

Loftus-Hills, G. och Solomon, M., 1967: Cobalt, Nickel and Selenium in sulphides as indicators of ore genesis. *Min. Deposita*, 2, 228-242.

Parak, T., 1975: The origin of the Kiruna iron ores. Akad. avhandling, Stockholms Universitet.

Parak, T., 1975: Kiruna iron ores are not "intrusive-magmatic ores of the Kiruna type". *Econ. Geol.*, 70, 1242-1256.

Persson, G., 1980: Kiskamavaara koppar-kobolthaltfyndighet del 1. Prospekteringsrapport, SGU.

Persson, G. och Ros, F., 1977: PM gällande kobolthalten i pyrit i kopparmineraliseringen i Kiskamavaara. SGU.

Stanton, R.L., 1957: Studies of polished surface of pyrite some implications. *The Canadian mineralogist*, 6, del 1, 87-103.

Stanton, R.L., 1972: *Ore petrology*. McGraw Hill, New York, cop.

Statens offentliga utredningar, 1979: Malmer och metaller. SOU 1979:40.

Statens offentliga utredningar, 1980: Mineralpolitik. SOU 1980:12.

Sundgren, M., 1980: Förekomst och utvinning av kobolt ur avfall från Kiruna och MalMBERGET. Utredning LKAB, MalMBERGET.

Walker, R.T. och Walker, W.F., 1956: The origin and nature of ore deposits.

Analysresultat och sammanställning av provtagning. Proverna är tagna och analyserade av IKAB, Kiruna.

Prov	Nr	Nivå Avv(m)	X-koord.	Y-koord.	Sköldbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KujCo	1	495	5936	1352	0.5-1	0.08	0.17	0.05	41.5	-	Lokalt med malmmull i skölen, små kopparinslag
"	2	495	5997	1437	1-2	0.20	0.26	0.06	41.0	-	Lokal kopparutfällning i tät, lerig matrix
"	3	495	6016	1571	1-2	0.14	0.11	0.04	6.7	-	Svagt uppkrossad, med magnetit
"	4	495	5985	1587	1-2	0.07	0.08	0.04	9.5	-	Matrix krossad malmmull
"	5	495	5974	1699	0.2	0.06	0.07	0.03	4.2	-	Beläggningar i sidobergets sprickplan av hornblände och pyrit
"	6	509	6002	1298	1-4	0.02	0.08	0.05	6.7	-	Innehåller malmmull och pyrit
"	7	509	6017	1339	1-3	0.02	0.13	0.02	15.1	-	-
"	8	509	6021	1355	1-10	0.11	0.12	0.14	42.9	-	-
"	9	509	6000	1374	1-2	0.04	0.24	0.05	22.2	-	Jordiga till grusiga kristall- korn, fast form
"	10	509	6013	1413	1-2	<0.01	0.31	0.02	15.9	-	Jordig till grusig, fast form
"	11	509	6000	1419	0.5	<0.01	0.14	0.03	7.5	-	Mycket pyritimpregnation i sidoberget, plus kalcit
"	12	509	5986	1423	0.2-0.5	0.05	0.11	0.02	5.5	-	-
"	13	509	5986	1440	10	0.59	0.16	0.07	41.5	-	-
"	14	509	5985	1478	0.5	0.02	0.16	0.05	16.8	-	Jordig till sandig, fast form, malmskölar
"	15	509	6011	1489	5-10	0.07	0.54	0.05	27.9	-	-
"	16	509	6001	1577	1	<0.01	0.09	0.05	10.7	-	-
"	17	509	6023	1577	-	0.03	0.05	0.04	2.5	-	Impregnation i väggen
"	18	509	5980	1594	1-5	0.09	0.07	0.06	5.8	-	-
"	19	509	5996	1654	1-4	0.30	0.07	0.04	6.9	-	-

forts. Analysresultat

Prov	Nr	Nivå avv(m)	X-koord.	Y-koord.	Skölbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KufCo	20	509	6000	1650	0.2-1	0.03	0.26	0.08	25.3	-	-
"	21	509	5996	1765	1-2	0.36	0.11	0.02	10.7	-	-
"	22	509	5996	1771	2-3	0.10	0.12	0.03	16.0	-	Innehåller magnetit och kalcit
"	23	509	5996	1809	-	0.06	0.09	0.02	11.0	-	-
"	24	509	5988	1821	-	0.05	0.16	<0.01	12.3	-	Prov i ej karterad spricka, pyrit- beläggning på sprickplan
"	25	502	6010	1717	-	1.17	0.31	0.08	31.7	-	-
"	26	502	6102	1743	1-3	<0.01	0.11	0.01	14.3	-	-
"	27	502	6097	1765	1-2	0.07	0.26	0.11	37.0	-	Helt uppkrossad zon av pyrit
"	28	502	6107	1775	-	<0.01	0.12	0.02	11.8	-	-
"	29	502	6102	1793	-	<0.01	0.16	0.06	37.3	-	Grovkornig. Kubiska kristaller.
"	30	514	6095	1654	2-6	0.02	0.16	0.09	8.9	-	Blandad med grusig magnetit. Svavel- kis sandig till grusig
"	31	514	6086	1775	-	0.03	0.20	<0.01	33.7	-	Grus- och sandvittring
"	32	514	6114	1767	-	<0.01	0.27	0.03	27.3	-	Kalcit och grovkorniga kristaller (vältbildade pyritkristaller)
"	33	514	6113	1773	-	0.02	0.11	0.07	19.3	-	-
"	34	514	6103	1856	1-2	0.05	0.16	0.03	21.9	-	Sandig och grovkornig, välut- bildade kristaller
"	35	521	5956	1363	1-2	<0.01	0.33	0.04	30.3	-	Jordig till grusig
"	36	521	5967	1430	-	0.07	0.12	0.04	28.0	-	Malmgränsen i anslutning till diabasens norra sida, klorit-kalcit- inslag, pyriten tät och fast
"	37	521	5993	1451	1	0.24	0.19	0.05	36.5	-	Skölen är en diabas-magnetitkon- takt, norr om diabasen ligger en ren zon med klorit

forts. Analysresultat

Prov	Nr	Nivå avv (m)	X-koord.	Y-koord.	Sköldbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KujCo	38	521	6022	1616	0.1-0.5	<0.01	0.11	0.02	10.1	-	Lika mängder kalcit och pyrit, åt- skilda (strängad)
"	39	521	6108	1783	0.2-0.6	0.04	0.20	0.12	31.6	-	Pyrit delvis grovkrystallin, kalcit- inslag. Pyritimpregnation i sido- sprickor
"	40	521	5994	1798	0.2-5	0.25	0.12	0.10	28.0	-	Magnetitaggglomerat, matrix av kalcit, pyrit och kvarts, delvis grovkrystallin pyrit
"	41	535	5992	1358	1-3	0.36	0.12	0.04	9.2	-	Kalcit, klorit, pyrit (jordig)
"	42	535	6043	1396	0.1-3	0.02	0.17	0.09	33.4	-	Pyriten krossad. Malmmull
"	43	535	5992	1443	0.1-2	<0.01	0.25	0.04	34.6	-	Kalcit, pyrit (sandig), klorit, kopparkis. Diabaskontakt
"	44	535	6044	1502	0.2	0.23	0.13	0.04	8.3	-	Pyrit (finkornig, sandig)
"	45	535	6046	1553	0.3-2	0.05	0.31	0.03	20.1	-	Klorit, kalcit, pyrit (jordig)
"	46	535	6029	1664	1-5	0.22	0.16	0.03	12.3	-	Pyrit (sandig), kalcit
"	47	535	6005	1732	0.4	<0.01	0.39	0.05	22.8	-	Pyrit, jordig till grusig
"	48	535	5988	1749	0.2-4	0.24	0.24	0.06	25.3	-	Pyrit, sandig till grusig, dessutom kopparkis och kalcit (delvis grov- krystallin)
"	49	535	6010	1830	0.1-4	0.24	0.23	0.06	22.8	-	Pyrit (sandig till grusig plus pyrit- krystaller)
"	50	535	5954	1805	-	0.03	0.07	0.04	25.8	-	Jordig pyrit, malmmull, kalcit
"	51	562	5999	1757	0.1-0.5	0.01	0.26	0.07	23.4	-	Pyrit (grusig) och kalcit
"	52	562	6043	1641	-	<0.04	0.25	0.02	15.0	-	Pyrit (jordig)
"	53	610	5985	1803	3	0.47	0.11	0.08	31.0	-	Pyrit, kalcit, kvarts-jordig till grusig- (grova kristaller ingår)
"	54	610	6032	1957	1	0.02	0.07	0.04	30.4	-	Pyrit, krossad syenitporfyr i anslut- ning till skölen, sprickplansbelägg- ning av pyrit i sidoberget

forts. Analysresultat

Prov Nr	Nivå avv(m)	X-koord.	Y-koord.	Skölbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KujCo 55	610	6060	1989	0.2-1	0.14	0.05	0.03	26.1	-	Pyrit, grusig
" 56	610	6060	2030	0.1-0.3	0.09	0.10	0.05	28.4	-	Pyrit, kvarts, malmmull, matrix
" 57	562	6220	3913	0.1-1	0.10	0.18	0.01	7.6	-	Pyrit, kvarts, kalcit(matrix), malmsköl
" 58	550	6220	3795	1	1.91	0.04	0.02	1.9	-	Sköl i vägg, malmsköl, kalcit, pyrit
" 59	795	6081	1724	0.1-1	0.02	0.04	0.03	30.8	-	Innehåller pyrit, kalcit och magnetit, cementerad till grusig pyritbeläggning i sidobergets sprickplan
" 60	795	6370	1722	0.2-1	0.24	0.14	0.03	13.3	-	Pyrit, kvarts, grusig
" 61	795	6210	2403	1-2	0.12	0.13	0.10	30.2	-	Kalcitmatrix, ströckorn av pyrit. Gränskontakt malm
" 62	795	6425	2132	0.5	<0.01	0.02	0.02	8.2	-	Pyrit, klorit, kalcit
" 63	795	6412	1980	-	0.04	0.06	0.02	5.8	-	Drusrum i vägg, pyrit, kalcit, kvarts och klorit
" 64	795	6477	2398	1-2	0.02	0.11	0.02	6.7	-	Pyrit, kalcit
" 65	795	6086	2548	1	1.31	0.24	0.02	14.9	-	Drusrum i vägg, pyrit, kalcit, lerig matrix
" 66	795	6426	2895	1-2	0.31	0.09	0.07	18.7	-	Pyrit, delvis grovkornig, matrix av kvarts och röd krossad kvarts-porfyr
" 67	562	6169	3461	0.5	0.08	0.14	0.10	12.3	-	Kalcit. Krossad pyrit och magnetit
" 68	562	6149	2262	1-3	0.13	0.12	0.03	24.8	-	Pyrit och krossad malm
" 69	526	6146	2249	1-2	0.37	0.31	0.04	15.4	-	Pyrit i cementerad oxiderad järnmalm
" 70	538	6064	2326	1	0.05	0.19	0.06	12.1	-	Pyrit och malmmull
" 71	538	6126	2275	-	0.04	0.30	0.03	14.0	-	Drusrum i vägg innehåller pyrit
" 72	550	6169	2172	-	0.02	0.27	0.02	11.9	-	Pyrit, krossad malm, grusig

forts. Analysresultat

Prov Nr	Nivå avv(m)	X-koord.	Y-koord.	Skölbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KujCo 73	550	6056	1944	1-3	0.03	0.06	0.03	29.6	-	Pyrit, järnmalm, matrix-klorit
"	538	6220	4061	-	<0.01	0.07	0.03	2.8	-	Pyriten ligger i små körtlar, poröst berg med små drusrum
"	562	6131	2296	-	0.11	0.36	0.05	18.7	-	Rostig pyrit
"	562	6081	2972	0.5-1	0.03	0.02	0.03	0.7	-	Lokal pyritkonkretion i sköl med magnetitmull
"	562	6054	2987	1	0.01	0.03	0.03	1.5	-	Krossad pyrit, malmmull matrix, pyriten delvis oxiderad
"	550	6039	2974	1-10	0.12	0.04	0.03	1.5	-	Oxiderad pyrit i malmmull
"	538	6148	2028	0.5-1	0.02	0.11	0.05	26.9	-	Pyrit och amfibol i matrix
"	538	6156	2187	0.5	0.10	0.19	0.04	11.6	-	Rostig pyrit
"	538	6185	4455	-	0.07	0.06	0.01	6.2	-	Gråbergssköl, kvarts, kalcit, pyrit
"	526	6080	2028	0.5	<0.01	0.06	0.04	7.6	-	Pyrit, hornblände, apatit och kvarts. Skölen ligger i en gränsszon mellan gångporfyr och malm
"	526	6110	1905	-	0.22	0.20	0.03	25.3	-	I vägg. Impregnation i magnetit
"	526	6117	1883	-	0.34	0.14	0.03	40.1	-	Porös krosszon. Pyrit, kalcit, magnetit och hornblände
"	578	6055	4884	0.2-0.5	2.56	0.02	0.01	26.5	-	Kvarts, klorit och pyrit, gråbergs-sköl
"	526	6157	2119	0.5	0.04	0.28	0.03	19.1	-	Malmsköl, pyrit, krossad kalcit
"	526	6166	2084	0.2-0.5	1.27	0.41	0.04	24.3	-	Malmsköl, pyrit
"	514	6027	1955	1-2	0.11	0.05	0.01	7.5	-	Gråbergssköl, pyrit, kalcit och klorit. Syenitporfyr i skölen
"	562	5984	1482	1-3	0.04	0.05	0.02	35.9	-	Gråbergssköl, pyrit, grusig
"	562	6003	1766	-	0.37	0.27	0.08	29.8	-	Malmsköl, pyrit, kalcit

forts. Analyseresultat

Prov	Nr	Nivå avv(m)	X-koord.	Y-koord.	Sköldbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KuJCo	91	740	6011	1746	-	0.08	0.08	<0.01	28.2	-	Gråbergssköl, pyrit, klorit, små kopparutfällningar. Grusig till sandig matrix av krossat sidoberg
"	92	740	6065	1584	-	0.03	0.07	<0.01	30.8	-	Gråbergssköl, pyrit jordig, matrix av krossad fältspat, kalcit och malmmull
"	93	740	6004	1669	1-2	<0.01	0.05	0.01	25.8	-	Gråbergssköl. Pyrit i matrix av krossad fältspat
"	94	734	6031	2140	0.5	0.13	0.06	0.01	26.3	-	Gråbergssköl. Pyrit i matrix av krossad fältspat, kalcit och magnetit-mull
"	95	740	6073	2271	1	0.02	0.04	0.01	9.2	-	Gråbergssköl. Pyrit, kalcit, magnetit-mull, jordig
"	96	481	5985	-	-	0.02	0.43	0.11	48.0	-	Sandig och grusig
"	97	481	5989	1587	-	2.22	0.27	0.04	21.4	-	Pyritsköl, jordig
"	98	740	6063	1485	-	0.02	0.40	0.04	39.6	-	Grusig
"	99	550	6034	1732	-	0.02	0.06	0.01	7.1	-	Pyrit. Sliror i vägg. Sandig.
"	100	562	6002	1570	-	0.02	0.40	0.04	39.6	-	Gråbergssköl, pyrit, klorit. Grusig

Övriga analyseresultat. Proverna är tagna och analyserade av LKAB, Kiruna.

Prov	Nr	Nivå avv(m)	X-koord.	Y-koord.	Sköldbredd (m)	Cu (%)	Co (%)	Ni (%)	S (%)	Au (ppm)	Anmärkning
KuJCo	117	562	-	14 ^{x/}	-	0.15	0.18	0.01	19.8	-	
"	118	526	-	188 ^{x/}	-	0.09	0.19	0.04	30.2	-	
-	20	740	6000	16 ^{x/}	-	0.40	0.14	0.02	-	0.16	
-	21	740	6000	16 ^{x/}	-	0.38	0.06	0.03	-	<0.01	
-	22	518	6115	3390	-	6.9	<0.01	<0.01	-	0.01	
-	5271	502	6150	1820	-	0.37	0.16	0.08	51.9	-	Pyritsköl

^{x/} Mindre noggrann Y-koord.

forts. Övriga analysresultat.

Borrhålsnr	Borrhålsdjup (m)	Cu(%)	Co(%)	Ni(%)	S(%)	Au (ppm)	Anmärkning
DBH 4403	162.7 - 163	<0.01	0.06	<0.01	2.73	-	
" 4503	27.80 - 28.80	0.17	0.01	-	0.85	-	
" 4507	114.70 - 116	1.11	0.18	0.07	27.1	-	
" "	116. - 118	0.88	0.12	0.06	26.3	<0.1	
" "	118 - 119	0.83	0.12	0.07	24.2	-	
" "	127.70 - 128.50	0.27	0.04	0.01	11.4	-	
" 4508	67.30 - 69.20	0.03	0.02	0.02	0.78	-	Pyrit i malm
" "	106.20 - 106.60	0.24	0.13	0.03	25.1	-	Pyritsköl
" "	106.80 - 107.40	0.25	0.13	0.04	22.3	-	Pyritsköl
" "	108.10 - 108.40	0.37	0.07	0.03	20.3	-	Diabas
" "	108.40 - 108.55	0.43	0.15	0.03	32.3	-	Pyritsköl
" 4515	51.00 - 52.00	0.04	0.02	<0.01	4.0	-	
" "	54.00 - 55.00	0.01	0.01	<0.01	6.1	-	
" "	55.00 - 56.00	0.01	0.02	<0.01	3.1	-	
" "	215.10 - 216.70	<0.01	<0.01	<0.01	0.47	-	
" "	216.70 - 217.50	<0.01	0.01	<0.01	0.47	-	
" "	252.10 - 254.00	<0.01	0.01	0.03	0.13	-	
" "	256.00 - 258.00	0.04	0.02	0.03	3.8	-	
" "	258.00 - 260.00	0.01	0.07	0.03	1.2	-	
" "	264.00 - 266.00	0.08	0.03	0.03	1.1	-	
" "	278.00 - 280.00	0.01	0.02	0.02	1.0	-	
" "	280.00 - 282.00	0.01	0.02	0.02	1.2	-	
" "	282.00 - 284.00	<0.01	0.02	0.02	0.74	-	

forts. Övriga analysresultat

Borrhålsnr	Borrhålsdjup (m)	Cu(%)	Co(%)	Ni(%)	S(%)	Au (ppm)	Anmärkning
DBH 4515	292.00 - 294.30	<0.01	0.01	0.02	1.23	-	
"	294.30 - 295.30	0.01	<0.01	<0.01	3.0	-	
"	321.00 - 322.00	0.01	<0.01	<0.01	4.7	-	
"	323.00 - 324.00	0.03	<0.01	<0.01	5.4	-	
"	324.00 - 325.00	0.04	<0.01	<0.01	4.7	-	
" 4520	192	0.01	0.08	0.04	13.1	-	Pyrit i malm
"	213	<0.01	0.02	0.02	0.86	-	Pyrit i malm
"	225	<0.01	0.02	0.03	0.55	-	Pyrit i malm
"	229	0.03	0.02	0.03	0.32	-	Pyrit i malm
"	233.80 - 234	0.07	0.03	0.02	0.57	-	Pyrit i malm
" 4548	192.8	0.16	0.29	0.04	21.2	-	
"	196	<0.01	0.07	0.04	4.14	-	
" 4549	82	0.05	0.01	<0.01	0.66	<0.05	Kvartsporfyr

Tidigare publicerade arbeten i serien "Examensarbeten i Geologi vid Lunds Universitet":

1. Claeson, D., Nilsson, M.: Beskrivning av och relationer mellan karlshamnsgraniten och leukograniten i Blekinge. 1984.
2. Möller, C.: Eklogitiska bergarter i Roan, Vestranden, Norge. En mineralinventering och texturstudie. 1984.
3. Simeonov, A.: En jämförelse mellan Jorandomens tennanomala graniter och revsundgranitens (Västerbotten) mineralogiska och petrografiska karaktär. 1984.
4. Annertz, K.: En petrografisk karakteristik av en sent postorogen mafisk intrusion i östra Värmland. 1984.
5. Sandström, K.: Kartläggning av grundvattenförhållandena i ett delområde av provinsen Nord Kordofan, Sudan. 1984.
6. Gustafsson, B.-O., Ralfsson, S.: Undersökning av högsta kustlinjen på Rydsbjär vid Margreteberg i södra Halland. 1985.
7. Helldén, J., Nilsson, A.-G.: Undersökning av den baltiska moränleran vid Svalöv, NV-Skåne. 1985.

17/2-87