

**Tungmetal fordelingen i sedimenter
fra fjordkomplekset ved Maarmorilik**

Teknisk rapport

Udarbejdet af:

Karsten Dahl

Reference:

Dahl, K. 1994: Tungmetal fordelingen i sedimenter
fra fjordkomplekset ved Maarmorilik.
Grønlands Miljøundersøgelser, december 1994, 99 pp.

Grønlands Miljøundersøgelser, december 1994

INDHOLD

RESUME	1
GRØNLANDSK RESUME	3
SUMMARY	5
1. INDLEDNING	7
2. MILJØBESKRIVELSE	9
2.1 Regional geologi	9
2.2 Geomorfologi og hydrografi	9
2.3 Naturlige sedimenter	13
2.4 Antropogene sedimenter.	14
3. FELT- OG LABORATORIEMETODER	16
3.1 Sedimentprøver	16
3.2 Kemisk analyser	16
3.3 Vægtberegning for metal	17
3.4 Isotopanalyser	18
4. STATISTISK BEHANDLING	19
4.1 Geostatistik	19
4.2 Principal komponent analyse og korrelationsmatricer.	20
4.3 General liniær modellering.	20
5. RESULTATER	22
5.1 Variation af tung-metal forekomster som tidsserie	22
5.2 Geografisk fordeling af tungmetal i indre Qaamarujuk fjord, 1986.	30
5.3 Metalfordeling i de antropogene sedimenter	43

6. DISKUSSION	47
6.1 Malmdannende mineraler	48
6.2 Oxidation og opløsning af sulfider	49
6.3 Sorptionsprocesser	50
6.4 Adsorbanter og ligander	50
6.5 Pb og Zn transportveje i det sedimentært miljø	51
7. SAMMENFATNING	56
REFERENCER	59
BILAG 1	63
BILAG 2	74
BILAG 3	77
BILAG 4	83
BILAG 5	96

RESUME

Sedimentprøver fra fjordene Affarlikassaa og Qaamarujuk omkring Zn-Pb minen, Den Sorte Engel, ved Maarmorilik er indsamlet gennem årene 1972-93 og analyseret for indholdet af bly, zink og cadmium. De indsamlede prøver har både været af overfladesedimentet ned til 2 cm dybde og 10-20 cm dybe havbunds-profiler.

Resultaterne beskriver den tidslige variation af metalindholdet i overfladesedimentet fra forskellige prøvestationer, sammenholdt med sedimentprofiler fra 1991 indsamlet året efter lukningen af minen. Sedimentationsraten er estimeret ud fra dybden til det ukontaminerede sediment (2x baggrundsværdien i området) relateret til den forløbne tid. Desuden beskrives den geografiske fordeling i 1986 af kontamineret sediment i den indre del af Qaamarujuk fjord samt en karakteristik af to antropogene sedimenter, tailings og gråbjerg.

Fordelingen af de kontaminerede sedimenter er kompleks og afspejler relationer til minimum 3 forurenings kilder. Tailings deponeringen i Affarlikassaa, gråbjergdumpene og støv fra malmbrydningen og andre diffuse støvkilder.

Da aflejringmiljøerne, både på landjorden og havbunden har været iltholdige forekommer der et potentiale for oxidation og opløsning af de malmdannende sulfider, FeS_2 (pyrit), ZnS (sphalerit, zinkblende) og PbS (galena, blyglans). Ligeledes har de antropogene sedimenter været udsat for påvirkninger i 3 forskellige kemiske (diagenese) miljøer: Et terrestisk miljø (støv og gråbjerg dumpe på landjorden), et marint miljø (tailings og Gl. gråbjerg dump) og en kombination heraf (Gl. gråbjerg dump i tidevandszonen).

Beliggenheden af forureningskilderne, mobilisering og transport af sulfiderne og de opløste metaller har i kombination med hydrografien i området været bestemmende for fordelingen af forureningen i fjordene.

Den regionale indflydelse af Wegenerelven, Gl.gråbjergdump og munden af Affarli-

kassaa fjord på sedimentfordelingen kan beskrives ved generel liniær modellering. Kontur/iso-kort over metalfordelingen i indre Qaamarujuk fjord (1986) er fremstillet ved brug af variografi og kriging og den totale mængde af tilført metal er estimeret. På 3.6 km² er ca. 150 tons zink, 90 tons bly og 2 tons cadmium tilført sedimentet.

For metallerne ses i sedimenterne en stor samhörighed mellem zink og cadmium, hvilket antyder, at disse er aflejret som uomdannede mineraler, ZnS og CdS (hawleyit). Sedimentprofilerne viser, at zink, som er det mest mobile af sulfidmetallerne, sandsynligvis er aflejret som sulfid på havbunden. Bly aflejres hovedsageligt som en kemisk omdannet fase, sandsynligvis som karbonat (cerrusit) eller sulfat (anglesit).

GRØNLANDSK RESUME

NAALISARLUGU IMAQARNERSIUGAQ

Maarmorilimmi zink-imik aqerlumillu piiiaffiusimasup eqqaani kangerluni Affarlikassaani Qaamarujummilu kinnganerit misissugassat katersorneqartarsimapput ukiuni 1972-93, kiisalu aqerlumik, zink-imik cadmium-imillu akoqarnerinik misissorneqarsimallutik. Misissugassat katersorneqarsimasut tassaasimapput kinnganerit qalliit 2 cm ammut tikkillugu kiisalu 10-20 cm tikkillugu immap naqqata qaleriaassornerata isikkua.

Inernerit takutippaat piffinni assigiinngitsuni kinnganerit saffiugassanik akoqarnerisa piffissap ingerlanerani allanngorarnerat, tamatumunngalu naleqqiullugu kinnganerit 1991-mi aatsitassarsiorfiup matuneqarnerata kingorna katersorneqarsimasut qanoq qaleriaarsorsimanerat. Kinnganerit qanoq sukkatigisumik qaleriaattarnerat naatsorsorneqarsimavoq kinnganernut akoqanngitsunut itissusaanik uuttuinikkut tamatuminngalu piffisamut ingerlasimasumut naleqqiussinikkut. Tamatuma saniatigut 1986-mi kinnganerit akoqalersimasut Qaamarujuup ilua tungaani piffinni siammartitersimanerat nassuiarneqarpoq, kiisalu kinnganerit assigiinngitsut marluk inunnit pilersinneqarsimasut nalunaarsorneqarput: eqqakkat kiisalu pitsarlukut.

Kinganerit akoqalersimasut siammartitersimanerat tunngaviusut arlaliupput ersersillugulu mingutsitsisuusut minnerpaamik pingasuusut. Affarlikassaani eqqakkat, pitsarlukut kiisalu aatsitassamik piiiaanernit pujoralak allalu pujoralatserisut.

Kiviorarsimasut katagarsimasullu inissisimaffiini nunami immallu naqqani ilt-eqarsimammat aatsitassat manngertornertutut ilillutik arrortinneqarsinnaanerit pisinnaasimavoq, aatsitassallu tassaapput FeS₂ (pyrit), ZnS (sphalerit, zinkblende) kiisalu PbS (galena, blyglans). Taamatutaaq kinnganerit inunnit pilersinneqarsimasut avatangiisinit assigiinngitsunik pingasunit

sunnerneqarsimapput: nunami (pujoralak pitsarluqullu nunap qaavaniitsut), immami (kiversakkat pitsarluqullu) taakkulu taaneqartut marluk akuleriinnerisigut (pitsarluqut tinittarfiani).

Mingutsitsisuusut inissisimaneri, aatsitassat saffiugassallu katagarnerat ingerlaarnerallu immap naqqata ilusilersorsimanerat peqatigalugu aalajangiisuusimapput kangerlunni mingutsitsinerup qanoq siammartitersimaneranut.

Wegenerelven-ip, pitsarluqut kiisalu Affarlikassaata paavata kinganerit qanoq siaruarsimanerannut sunniuteqarnerat naatsorsuuserisarnertigut toqqaannartumik nassuiarneqarsinnaavoq. Qaamarujuup iluani (1986) saffiugassat siammartitersimanerisa allanngorarnerat ilutigalugu nunap assignanut titartorneqarsimapput, saffiugassallu ataatsimut annertussusaat naatsorsorneqarsimalluni. Piffimmi 3,6 km²-mi annertutigisumi zink-i 150 tons-it miss., aqerloq 90 tons kiisalu cadmium 2 tons kingarnenut akuliussorsimapput.

Kinnganerni erserpoq saffiugassat zink ammalu cadmium immut assut attuumassuteqartut, tamatumalu pasinarsitippaa taakku aatsitassataut allanngorsimanngitsutut kivorarsimasut, tassa ZnS kiisalu CdS (hawleyit). Kinnganerit qaleriiaarnerisa ersersippaat zink-i saffiugassani sulfid-iusuni aalassarinneraasoq, sulfid-itut kivorarsimasoq. Aqerloq amerlanertigut allanngorluni akoqalernermigut kivorartarpoq, ilimanartumik karbonat-itut (cerrusit) imaluunniit sulfat-itut (anglesit).

SUMMARY

Distribution of heavy metals (lead, zinc) in sediments of the fjords at Maarmorilik, West Greenland.

Samples of sediments from the fjords Affarlikassaa and Qaamarujuk surrounding the abandoned zinc-lead mine "The Black Angel", at Maarmorilik have been collected through the period 1972-93 (figs. 1-2) and analyzed for the contents of lead, zinc and cadmium. The collected samples represent the surficial bottom sediments (0-2 cm) and small sediment cores (0-20cm).

The results describe the time variation of the metal concentrations in of the surface sediment for different sample locations, compared to sediment profiles collected in 1991, the year after the mine closed down (figs. 3-6). Accumulation rates are estimated by measurements of the distance from the seabottom to reach uncontaminated sediment (2x the background concentration of metals) (fig. 8-9). Also described are the geographical distribution patterns of the sedimentation rates (fig.10) and the concentration of contaminated sediments (figs. 11-13) in the inner part of Qaamarujuk fjord in 1986 and characterisation of two anthropogenic sediments: Tailings and wastedumps (fig. 16).

The distribution of the contaminated sediments is complex and reflects interrelations between at least 3 anthropogenic sediment sources. The deposition of tailings in Affarlikassaa, the wastedumps and dust from the mining incl. diffused dust sources.

The depositional environments on the continental ground and the fjord-bottom are characterized by the occurrence of oxygen, creating a potential for oxidation and dissolution of the oreforming sulphides FeS_2 (pyrite), ZnS (sphalerite) and PbS (galena). Furthermore, the anthropogenic sediments have been exposed to affections from 3 different diagenetic/chemical environments: A meteoric vadoze regime (dust and wastedump, located on the continent), a marine regime (tailings and Old wastedump) and a combination between the two (Old wastedump, located in the

tidalzone).

The location of the anthropogenic sediments, mobilization and transportation of the sulphides and the dissolved metals have in combination with the hydrography been the main controls on the distribution of the pollutants in the fjords.

The regional influence of the Wegener river, Old wastedump and the mouth of Affarlikassaa is described by general liniar modelling (fig.13-14). Contour maps of the metaldistribution in inner Qaamarujuk fjord (1986) have been performed by variography and kriging and the totale amounts of anthropogenic metals are estimates. In an area covering 3.6 km² approximately 150 tons Zn, 90 tons Pb and 2 tons Cd are deposited.

In the sediments, Zn and Cd exhibit large co-existence indicating detritale occurences of spalerite and hawleyit (CdS). The sediment profiles indicate Zn, the weakest calchofile element and as consequence the most mobile element of the sulphides, probably are deposited as sulphide at the fjordbottom. Pb is mainly deposited as a non-detritale phase, probably as carbonate (cerrusite) or sulphate (anglesite).

Tabel 1. Correlationsmatrice of the surficial (0-1cm) sediments, 1986.

Tabel 2. Correlationsmatrice of the sediment cores, 1986.

Tabel 3. Principal component analysis (PCA) of the surface sediments, 1986.

Tabel 4. PCA of totale sediment cores, 1986.

Tabel 5. General liniar modelling. The ability of the single sample locations to satisfy the proposed model, at different significant levels.

Tabel 6. Liniar regression of Pb and Zn for various sediments.

Tabel 7. Descriptive univariate statistics for various sediments.

1. INDLEDNING

Zink-bly minen, Den Sorte Engel, ved Maarmorilik, Uummannaq kommune, Vestgrønland, blev taget i drift af mineselskabet Greenex A/S i efteråret 1973 efter forundersøgelser af malmen havde vist en rentabel lødighed. Maarmorilik er beliggende ved Affarlikassaa fjordens udmundning til Qaamarujuk, se fig. 1. Indtil 1987 foregik malmbrydningen på den modsatte side af Affarlikassaa, herefter tilføjedes en mindre brydning syd for Maarmorilik. I juli 1990 var forekomsten udtømt og driften blev indstillet. Det efterfølgende oprydningsarbejde afsluttedes sommeren 1991.

Ved udvinding af malmen, som bestod af sulfiderne galena (PbS) og sphalerit (ZnS), påførtes omgivelserne en betydelig mængde tungmetaller. Efter brydningen blev malmen grovknust, hvorefter malmen blev transporteret via tovbaner til et flotationsanlæg, hvor der oparbejdedes zink- og blykoncentrater til senere udskibning. Restprodukterne (opberedningssand) fra flotationsprocessen udledtes i en saltvandssuspension (tailings) til bunden af Affarlikassaa og udgør/udgjorde en væsentlig forureningskilde.

Ved sprængning og knusning af malmen blev der frigjort metalholdigt støv, som blev transporteret som luftbårne partikler/aerosoler. Støv er også frigjort under transport af malmen og ved udskibning af det oparbejdede koncentrat. Støvet er sedimenteret både på land og i fjordene omkring Maarmorilik. Støv som er faldet på landjorden vil sekundært direkte tilføres fjordene grundet nedbør eller via de i området lokaliserede elve eller som æolisk (vind) transporteret sediment.

Som konsekvens af malmbrydningen blev der bortsprængt en del af bjerget som omgav malmen. Dette affald, gråbjerg, blev placeret på forskellige dumpe i området og består hovedsagelig af marmor, men indeholder også metalsulfider. I forbindelse med oprydningen i 1990 blev en af disse dumpe, Gl. gråbjergsdump gravet op og deponeret på bunden af Affarlikassaa fjord ovenpå tailingsdepotet samt i det tidligere koncentratlager, grundet en potentiel risiko for vedvarende kontaminering af vandet i Qaamarujuk fjord, fordi en del af dumpen var placeret i tidevandszonen.

Eksponeringen af gråbjergsdumpen til tidevandszonen medførte dels kysteroderende processer samt sandsynligvis en øget opløsning af sulfider, forårsaget af den store væske gennemstrømning af sedimentet.

Forureningen i området overvåges ved hyppig indsamling og analyse af tungmetallindholdet i biota, sedimenter og havvandet. Denne rapport beskriver undersøgelserne af tungmetal indholdet i bundsedimenter indsamlet i fjordene Affarlikassaa og Qaamarujuk i perioden fra 1972 til 1993.

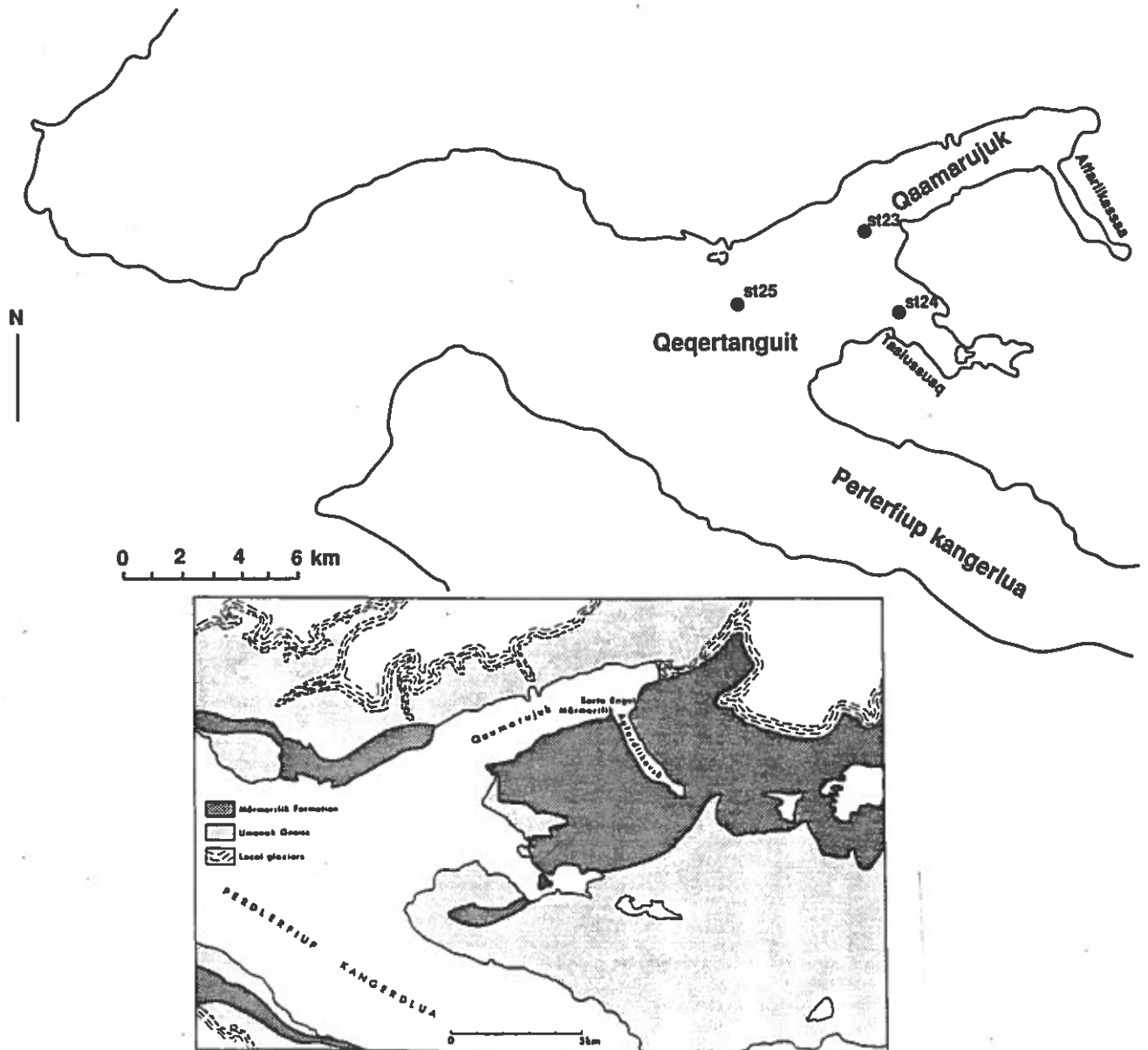


Fig. 1. Sketch-map of the fjord system around Marmorilik, with the main geological units indicated.

Fig. 1

Oversigtskort af Affarlikassaa og Qaamarujuk fjord, hvor de yderste prøvetagningsstationer er medtaget. Det geologiske kort er fra Bondam, (1978).

2. MILJØBESKRIVELSE

2.1 Regional geologi

Maarmorilik formationen er lokaliseret i det Arkæiske Rinkianske kompleks, beskrevet af f.eks. (Henderson & Pulvertaft, 1967) og (Escher & Pulvertaft, 1976) og består af et tektonisk præget karbonatkompleks (metasedimenter) i en gneiss region, se fig. 1. Aldersbestemmelse antyder, at formationen er ca. 1.700 millioner år gammel (Garde & Pulvertaft, 1976). Maarmorilik formationen har en mægtighed på ca. 1.400 m og er foldet i 2 store nappe strukturer. Den nedre sektion af Maarmorilik formationen består af grafit-skifer, kvartsit og semipeliter. Den øvre del består af en dolomitisk og kalcitisk marmor. Adskillige mineraliseringer og parageneser er fundet i området. (Nielsen, 1976), hvor malmlegemet udgøres af pyrit, sphalerit (galena, kobber, chalcopyrit), der forekommer som linser og pladelignende aflejringer. De brudte malmlegemer var lokaliseret midt i formationen, konkordant med marmorsekvensen og dannelsen var sandsynligvis relateret til udfældning af sulfider i og på den daværende havbund.

2.2 Geomorfologi og hydrografi

Maarmorilik er beliggende ved to mindre fjorde, Affarlikassaa og Qaamarujuk, i den indre del af Uummanaq fjordkomplekset, se fig. 2. Området er lokaliseret tæt på indlandsisen, hvilket indfluere på det lokale/regionale klima med en sparsom nedbør og dominans af østlige vinde. Tilisningen begynder oftest i oktober og isen bryder op i maj/juni.

Affarlikassaa er den inderste fjord, ca. 4 km lang og ½ km bred med et areal på 2 km². Fjorden er adskilt fra Qaamarujuk af en tærskel i ca. 23 m dybde. Den maximale dybde er ca. 70 m og er blevet opfyldt med tailings som blev deponeret fra et rør i den øvre del af fjorden, på minimum 30 m dybde. Der forekommer et moderat tidevand med en amplitude på omkring 1 m. Vandmassens temperatur ligger i intervallet fra -2 til 5 grader C, aftagende mod dybden og variationen er størst i overfladen, grundet varmeudveksling med atmosfæren. Saliniteten er omkring 31-34 ppt og øges nedefter. Den største variation forekommer i overfladen grundet tilførsel af ferskvand.

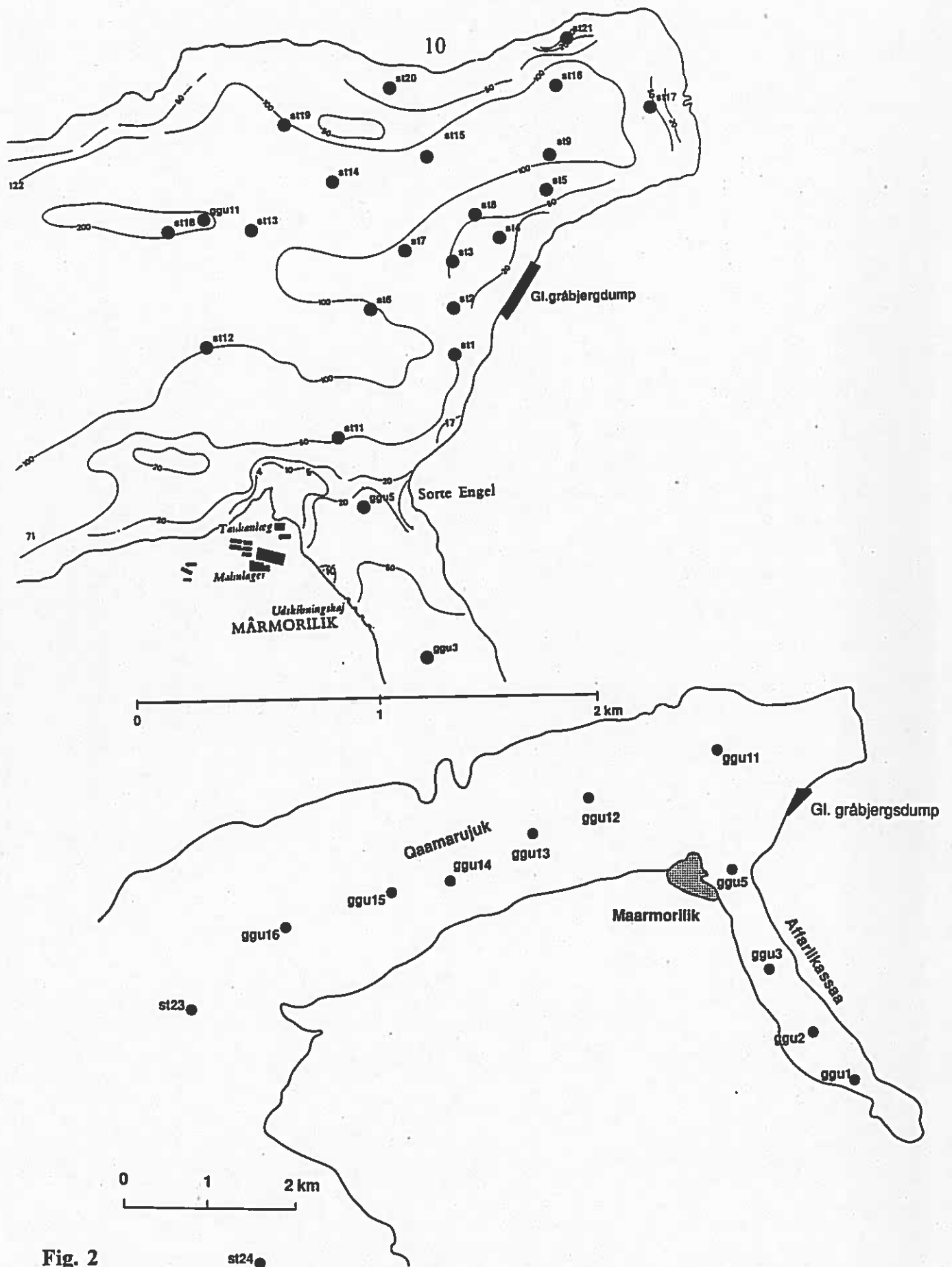


Fig. 2
 Oversigtskort over prøvelokaliteter. Prøver indsamlet i 1986 og 1991 har hhv betegnelse: st og ggu.

Sommerperioden er stabil uden opblanding af bundvandet. Den indre del af fjorden modtager fra slutningen af juni til begyndelsen af september omkring 90 millioner m³ ferskvand fra 2 elve, hvoraf den største har sit udspring fra Sydsøerne, hvilket resulterer i udstrømning af opblandet overfladevand til Qaamarujuk i et kvantum på 10-100x ferskvandsmængden. Herved sker en kompensation ved indstrømning af salint vand fra Qaamarujuk. De vertikale forskelle i temperatur og salinitet (vægtfylde) af vandmasserne danner et springlag, som medfører, at bundvandet i Affarlikassaa ikke berøres af det indstrømmende vand.

Om vinteren sker der opblanding af det tunge bundvand grundet 3 mekanismer. Interne bølger skabes af resonans mellem bølger på grænsefladen mellem let og tungt havvand og tidevand. Dette forårsages af ophøret af ferskvandstilstrømning, der medfører en nedbrydning af det lette vandlag. Saliniteten i Qaamarujuk ved tærskelen kan stige ved østlige storme, hvorved en strøm kan passere tærskelen og udskifte bundvandet i Affarlikassaa. Saltudskildelse grundet tilisning bevirker en høj salinitet i den umiddelbart underliggende vandmasse. På de lavvandede områder i Affarlikassaa vil vandmassen, grundet densitetsforøgelsen, strømme ned langs bunden og forårsage opblanding med bundvandet og derved mobilisere sedimentet (Møller, 1984).

Total opblanding af vandet i Affarlikassaa fjord har foregået vinteren 77-78, 79-80, 80-81, 83-84, 84-85, 85-86, 86-87, 87-88, 88-89, 90-91, 1991, mens der ingen opblanding foregik i vinteren 78-79, 81-82, 82-83 og 89-90. Dette har betydning for distributionen af metalforekomster i hele området, da det medfører en transport af opløst metal og suspenderet materiale til Qaamarujuk fjord. Opblandingen bevirker at tailings-sedimentet mobiliseres, hvilket resultere i en forøgelse af oxidations- og opløsningspotentialer. Ligeledes udskiftes det metal mættede havvand under springlaget. Undersøgelser af Asmund (1993) tyder på, at hovedparten af metalkontamineringen af havvandet sker i det tidlige forår.

Qaamarujuk fjorden danner, sammen med Tasiussuaq, den nordlige del af et fjordkompleks som via Perlerfiup kangerlua udmunder i Uummannaq fjord, der udgør forbindelsen til oceanet (Den Baffinske Bugt).

Qaamarujuk er ca. 1 km bred i den indre del af fjorden, hvor Wegener elven har sit udløb og delta. Den årlige vandføring, forårsaget af gletcherafsmeltning, er ca. 22 millioner m³. En minimal ferskvandstilførsel forekommer også fra en mindre hængebroglletscher beliggende på nordsiden af fjorden, ca. 4.5 km fra den indre fjord. Den submarine topografi er præget af et aflangt trug, med enkelte forhøjninger, og dybden stiger udad til ca. 800 m. Arealet af indre og ydre Qaamarujuk er ca. 64 km² (Pedersen et al. 1987).

Havvandsundersøgelser er jævnligt foretaget og havvandet udgør et veloxideret moderat basisk miljø, pH er omkring 8.1 i overfladen og falder til ca. 7.8 mod bunden (Recipientundersøgelse 1974). Iltindholdet i havvandet er om sommeren ca. 11.2 mg/l og falder om vinteren grundet tilisning og lavere biologisk aktivitet til ca. 7.5 mg/l.

Mængden af suspenderet partikulært materiale (SPM) er bestemt i forbindelse med havvandsundersøgelserne, f.eks. Loring & Asmund (1989) og Asmund (1993). Filtringen af havvandet har tilbageholdt partikler større end 0.45 µm. I 1983, fandtes ca. 0.95 mg/l SPM i Affarlikassaa med stigende koncentration mod dybden. Mængden i Qaamarujuk var omkring 0.62 mg/l. Efter ophøret af minedriften er mængden af SPM blevet reduceret.

I september, 1992 fandtes i den indre del af Affarlikassaa (ggu1) ca. 0.7 mg/l SPM, som gennemsnittet af 3 målinger i hele vandsøjlen. Den høje værdi afspejler sedimenttilførselen fra elvene. Over tailings depotet var indholdet reduceret til ca. 0.46 mg/l (ggu3). I Qaamarujuk fjordens indre del var værdierne ca. 0.35 mg/l (ggu10) og 0.65 mg/l (ggu12). Den mellemste del af Qaamarujuk havde et indhold på 0.43 mg/l og 0.48 mg/l, mens i ydre Qaamarujuk var værdierne omkring 0.47 mg/l og 0.73 mg/l. Reference stationen havde et indhold på 0.26 mg/l. Der forekommer ligeledes en årlig variation af mængden af SPM med maximum om efteråret. Placeringen af prøvestationerne er vist på fig. 2.

2.3 Naturlige sedimentter

Affarlikassaa fjorden er fuldstændigt omgivet af Maarmorilik formationens marmor,

se fig. 1, således den recente naturlige sedimentation består af grågrøn velsorteret siltet slam af uforvitret marmor, ca. 76.3% vægt (letopløselige karbonater beregnet som kalцит ved opløsning i kold fortyndet saltsyre), med en dolomitisk sammensætning. Lermineraller er ikke tilstede (Bondam, 1978). Kornstørrelses-fraktionen mindre end 2 μm udgør 35-62% vægt, mens den maximale kornstørrelse i Affarlikassaa fjorden er omkring 50 μm .

Den indre Qaamarujuk fjord er mod nord omgivet af gneiss, dog forekommer Maarmorilik formationen som grænse ca. 9 km vest fra den indre fjord. Mod syd er fjorden omgivet af Maarmorilik formationen. Dette medfører en variation i bundsedi-mentets mineralogi, grundet det forskellige kildemateriale. Mineralkorn større end 60 μm udgøres primært af kvarts og andre mere abrasive silikater stammende fra forvitringen af gneiss. Kornstørrelses fraktionen mindre end 2 μm udgør ca 16-28%, og består primært af dolomit. Den maximal kornstørrelsesfraktion er medium til fin sand, 350-150 μm . Karbonatindholdet er omkring 24% vægt og mindre end i Affarlikassaa fjord.

I den ydre del af Qaamarujuk fjord er sedimentet mere usortet, da gruspartikler bliver hyppigere. Den grovkornede fraktion er sandsynligvis tilført af omkring dri-vende isfjelde og fra hængebræen på den nordlige fjeldside. Karbonatindholdet aftager til ca. 13% mod munden til Tasiussaq. Kornstørrelses-fraktionen mindre end 2 μm udgør omkring 20%.

Kemiske undersøgelser af sedimenter indsamlet i 1971-72 (Bondam, 1978) muliggør en bestemmelse af det naturlige baggrundsniveau for indholdet af tungmetaller i Maarmorilik området. Heraf fremgår at mineralogien af de omgivende bjergarter kontrollere sporelement indholdet i fjordsedimentet. Middelkoncentrationerne i sedimenter fra det Rinkianske bælte er: Zn 77 ppm, Pb 23 ppm og Cd 0.11 ppm (Loring & Asmund, in prep). De højeste værdier for zink forekommer i Affarlikassaa fjord, mens variationen af bly indholdet er lille.

I sedimenter fra Affarlikassaa er den naturlige mængde af zink 205 ppm, 25 ppm bly

og 1.5 ppm cadmium. I indre Qaamarujuk fjord er de tilsvarende værdier 138 ppm, 27 ppm og 0.9 ppm. I ydre Qaamarujuk er Zn indholdet 75 ppm, Pb 29 ppm, mens Cd ikke er detekteret. Korrelationskoefficienten mellem Zn og Pb i det naturlige sediment i Affarlikassaa fjord er 0.09 og i Qaamarujuk fjord 0.18 og afspejler derfor ingen umiddelbar relation mellem de to metaller.

2.4 Antropogene sedimenter.

Deponering af opberedningssand i Affarlikassaa. Tailings er et sort findelt materiale i havvands suspension med et tørstofindhold på ca. 22-45%, bestående primært af marmor/kalksten (dolomit og calcit) og pyrit. I 70'erne var tørstofmængden af tailings ca. 450.000 tons og steg til ca. 600.000 tons i 1986. Efter tilsætning af diverse flotationskemikalier (kalk, Al- og Cu-sulfat og magnaflok) for at opnå en bedre udnyttelse af malmen i flotationsanlægget blev mængden af bly reduceret fra ca 1.600 tons/år i 70'erne til 880 tons i 1985 og 709 tons i 1986. Zink mængden faldt fra 4.500 tons/år til h.h.v. 1.373 tons og 1.262 tons, mens cadmium indholdet blev halveret til ca. 12 tons. I alt blev ca. 8 millioner tons tailing indeholdende 22.000 tons bly og 50.000 tons zink deponeret i Affarlikassaa fjord, se bilag 5.

Indholdet af metaller omregnet til sulfidindhold af den samlede tørstofmængde var i 1986 0.17% galena, 0.34% sphalerit og 28.34% pyrit. Tailings indeholder også signifikante mængder af kobber, arsen og kviksølv, hvoraf der af sidstnævnte udledes ca. 500 kg/år i 1985 og 1986.

Spredning af støv. Malmbrydningen medførte tilførsel af støv til det omgivende miljø. Målinger af blyemissionen fra grubens ventilationsluft, knuseranlægget, koncentratlageret og opberedningsanlægget antyder en signifikant indflydelse fra diffuse kilder, når blyindholdet i nedbøren måles (Pedersen 1989). Disse kilder er bl.a. støv fra malmbanen, koncentratlastesystemet, dumpning af affaldsbjerge og resuspension. Målinger af Pb indholdet i nedbør og lav viser, at mængden faldt fra ca. 6.4 tons/år til 1.7 tons/år i tidsrummet fra 1979 til 1987. (Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1972-87, 1988).

Deponering af affalds bjerge. I området omkring Maarmorilik er 7 depoter af affalds bjerge placeret. De tidligst etablerede gråbjergsdumpe har et indhold på ca. 0.8% Pb, mens i de yngre dumpe er indholdet mindre end 0.1% Pb, se bilag 5. Afsmeltning fra gletschere medfører, at metalholdigt støv og dumpmateriale udvaskes med vandløbene. Ligeledes har vandstrømning gennem dumpe medført en forøget tilførsel af metaller til fjordene. Gl. gråbjerg dump blev opgravet i 1990, grundet placeringen i tidevandszonen i Qaamarujuk fjord og 320.000 tons blev deponeret ovenpå tailingsdepotet i Af-far-likassaa i 1990, men har i det forudgående tidsrum medvirket til en forøgelse af metalmængderne i havvandet og sedimenterne i Qaamarujuk fjord. Gl. gråbjerg dump havde et sulfid indhold på 0.80% galena, 2.95% sphalerit og 6.61% pyrit, (Pedersen et al, 1987).

3. FELT- OG LABORATORIEMETODER

3.1 Sedimentprøver

I 1972 og 1973 indsamledes sedimenterne ved hjælp af en stødbundhenter, der består af et 1 m langt plastikrør, som presses ned i havbunden. Herved fyldes røret med sediment, som senere opskæres i skiver. Fra 1974 til 1982 benyttedes en lysekroner-bundhenter med 3 korte plastikrør som presses ned i sedimentet. Her blev der tilstræbt en udtagning af prøver som bestod af de øverste 2 cm sediment. Resultaterne fra denne periode er gennemsnittet af op til 3 prøver, udtaget med ca. 1 meters mellemrum. Fra 1983 er der optaget 20 cm dybe kerner af uforstyrret sediment (diameter 13.2 cm) ved hjælp af en HAPS bundhenter. Efter indsamling og opskæring af prøverne er sedimentet blevet dybfrosset. Sedimentprøver er indsamlet af Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU), Grønlands Miljøundersøgelser (GM) og Greenex A/S. Indsamlingsstationerne er benævnt med følgende forkortelser: Greenex station (st), GGU og GM station (ggu). Lokalteterne er vist på fig. 2.

3.2 Kemisk analyser

GGU laboratorium. Sedimenterne er tørret, knust, afvejet og derefter opløst i en blanding af kogende saltsyre og salpetersyre. Efter inddampning til tørhed er prøverne forbehandlet inden analyse med et Varian-Techtron AA-6 atom absorption spektrofotometer (AAS) med luft-acetylen flamme. Afhængig af metalmængden i prøven er indholdet af Pb bestemt ved h.h.v. opløsning i NH_4 -acetat (mere end 1% Pb), fortyndet HCl (100 mg/kg til 1%), fortyndet HNO_3 (mindre end 100 mg/kg), hvor ligeledes grafitovn er benyttet. Zn er bestemt i en opløsning af fortyndet HCl. Enkelte af prøverne er analyseret for Cu og Cd. En udførlig beskrivelse af analysemetoderne findes i "Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1972-1987" (1988).

GM laboratorium. 200 mg knust sediment afvejes i teflonbombe og tilsættes 1 ml kongevand (HNO_3 :HCl, 1:3). 3 ml HF tilsættes og prøverne placeres i varmeskab ved 120 grader C i 4 timer. Dernæst afvejes 2.8 g borsyre-krystaller H_3BO_3 + 10 g vand, hvortil bombens indhold overføres og der efterfyldes til ca. 50 g. Omrøring fortsættes til alt borsyren er opløst. Standarder fremstilles i følgende opløsning: 56 g borsyre-

krystaller + 200-300 ml vand + 5 ml HNO₃ + 15 ml HCl + 60 ml HF. Der efterfyldes med vand til 1000 g. Der benyttes kemikalier af Suprapur kvalitet, deioniseret vand og beholdere af plast, da HF kan medføre kontaminering fra glasvare. Flammeatomabsorption er benyttet til høje koncentrationer, mens grafitovn er benyttet ved lave koncentrationer. Prøverne er analyseret for bly og zink på et Perkin Elmer 3030 AAS og Zeman grafitovn.

Greenex A/S driftslaboratorium. Her henvises til rapporter: Pedersen et al (1987) og Pedersen (1989) og opmærksomheden henledes på en stor analyse usikkerhed på bestemmelserne af cadmium indholdet.

Resultaterne af de kemiske analyser for de enkelte laboratorier er vist i bilag 1.

3.3 Vægtberegning for metal

Ud fra metalbestemmelsen i µg/g og den målte tørstof % i den enkelte prøve, kan den akkumulerede metalmængden i de enkelte sediment søjler bestemmes. Hertil er udført følgende beregninger:

$$D_{\text{våd}} = \frac{100}{\frac{100 - \text{TS}\%}{D_{\text{vand}}} + \frac{\text{TS}\%}{D_{\text{sed}}}}$$

hvor $D_{\text{våd}}$ er densiteten af det våde sediment (vådvægt), TS% er den målte tørstofprocent, D_{vand} er densitet af porevæske og D_{sed} er densitet af sediment.

Densiteten af porevæsken er sat til 1.032 g/cm³ for alle prøver, mens densiteten af sedimentet er beregnet på grundlag af Bondams (1978) undersøgelser af sedimentets mineralogi i fjordkomplekset. For Affarlikassaa fjord er densiteten af sedimentet estimeret som 76.3% dolomit og 23.7% kvarts, $D_{\text{sed}} = 2.810 \text{ g/cm}^3$ ($D_{\text{dol}} = 2.86 \text{ g/cm}^3$, $D_{\text{kvarts}} = 2.65 \text{ g/cm}^3$, Deer et al. 1983).

For indre Qaamarujuk fjord er mineralfordelingen i sedimentet 23.9% dolomit og 76.1% kvarts, hvilket medfører $D_{\text{sed}} = 2.700 \text{ g/cm}^3$. For ydre Qaamarujuk fjord er

mineralfordelingen 13% dolomit og 87% kvarts. $D_{\text{sed}} = 2.677 \text{ g/cm}^3$.

$$D_{\text{tør}} = \frac{\text{TS}\%}{D_{\text{våd}}} * 100$$

hvor $D_{\text{tør}}$ er densiteten af sedimentets tørvægt (vægten af tørsediment pr. volumen vådsediment). Herved reduceres tørstofmængden for indholdet af opløste salte i havvandet.

$$M_{\text{tsx}} = D_{\text{tør}} * x$$

hvor M_{tsx} er den absolutte vægt af tørstofmængden i prøveintervallet og x er den vertikale udstrækning af prøveintervallet.

$$M_{\text{mex}} = M_{\text{tsx}} * C_{\text{mex}}$$

hvor M_{mex} er den absolutte vægt af metal og C_{mex} er koncentrationen af metal i det pågældende prøveinterval. Endelig summeres M_{mex} for at beregne mængden af metal pr. areal.

Resultaterne er vist i bilag 2, hvor ligeledes den antropogene tilførsel er beregnet ved at fratække baggrunds niveauets metalindhold.

3.4 Isotopanalyser

Sedimentationsrater er bestemt (Isotopcentralen/ATV, 1987) ved måling af indholdet af Pb-210 under antagelse af, at der ikke er forekommet opblanding af sedimentet og den fra atmosfæren tilførte mængde Pb-210 har været konstant. Alle sedimentprøver er taget fra Qaamarujuk fjord.

4. STATISTISK BEHANDLING

4.1 Geostatistik

For at belyse fordelingen af sedimenter og tungmetaller i Qaamarujuk fjord er data undersøgt ved hjælp af forskellige statistiske metoder. Til estimation af metalmængden i 1986 i den indre del af Qaamarujuk-fjord er data fra 20 stationer, se fig. 2, som er placeret i et netværk benyttet. (Pedersen et al, 1987). Til bestemmelse af metalmængder i g/m^2 for de enkelte sedimentsøjler benyttes lineær interpolering mellem de enkelte prøve-intervaller, hvor der ikke er foretaget kemisk analyse af metal indholdet.

Til beskrivelse af den rumlige variabilitet af analyseresultaterne er der udført eksperimentelle variogrammer. Et variogram er et plot af variansen af tal-par målt som funktion af afstand (og evt. retning) mellem tal-parrene. Herved opnås et kvantitativt mål for at målinger, der er lokaliseret tæt sammen, hyppigt har mere ens værdier end målinger, som er lokaliseret fjernt fra hinanden. Til beskrivelse af de eksperimentelle variogrammer benyttes matematiske modeller, der typisk vil bestå af en kombination af en nugget model og en gaussisk, eksponentiel eller sfærisk model.

Variogram analysen danner grundlaget for blok-kriging for derved at indbygge en rumlig fordelingskorrelation i kontureringsprocessen. En mere udførlig beskrivelse og de enkelte variogrammer for de undersøgte variable er placeret i bilag 3. Grundet det lave antal data er der ikke taget hensyn til anisotropi og omnidirektionelle modeller er benyttet i den ordinære blokkriging.

Den bedst egnede matematiske model danner grundlag for ordinær blok-kriging. Herved tages der hensyn til 2 vigtige aspekter vedrørende estimering af talværdier. Afstand og klyngedannelse (clustering). Ordinær blok-kriging estimerer værdien af en blok/felt, med et vægtet gennemsnit af talværdierne i en defineret afstand fra det pågældende felt. Hertil er anvendt 4x4 blok og et søgevindue med radius 500 m. Dette har som konsekvens, at minimum og maximum værdierne bliver udjævnet.

Procedurene og teori for de eksperimentelle variogrammer og kriging er beskrevet af

bl.a. Isaks & Srivastava (1989), Englund & Sparks (1988) og Journal & Huijbregts (1978). Tolkninger og anvendelser af bl.a. Atteia et al. (1994), Bawiec & Grundy (1992) og Kushnir & Yarus (1992).

4.2 Principal komponent analyse og korrelationsmatricer.

Til bestemmelse af korrelationsmatricerne og udførelse af principal komponent analyse (PCA) mellem de enkelte prøvestationer er benyttet rådata, dvs. der ikke er foretaget midling mellem prøve intervallerne, så den enkelte prøve er kun repræsentativ for det pågældende interval som det stammer fra.

Ved principal komponent analyse, f.eks. Huang et al. (1994), reduceres et større antal af korrelerbare variable til et mindre antal faktorer. De enkelte faktorer er karakteriseret ved at være en lineær kombination af beslægtede variable og kan derved substituere de oprindelige variable, hvilket medføre en reduktion af antallet af variable. Ligeledes kan oplysninger om interrelationerne mellem variable detekteres. I nærværende rapport er foretaget PCA, der medfører en simpel eigenværdi-eigenvektor analyse af korrelationsmatricen.

4.3 General liniær modellering.

En modellerings undersøgelse ved hjælp af generale lineære modeller (glm), f.eks. Searle, (1971) og Draper & Smith, (1966). Det primære sigte med den statistiske analyse har været at undersøge om hvorvidt de enkelte stationer ud fra tungmetal-indholdet i sediment-søjlerne kan grupperes i kategorier, der evt. kan indikerer de forskellige antropogene sedimentkilder. En simpel model, hvor det antages at koncentrationen af Pb i sedimentet er lineær sammenhængende med koncentrationen af Zn og at der ligeledes forekommer en lineær sammenhæng med dybden af det pågældende prøve interval. Af empirisk vej fandtes det bekvemt også at medtage et led med kvadratet på dybden. Ligeledes gennemførtes en Box-Cox transformation (Box & Cox, 1964) for at sikre en homogen varians.

Den valgte model er af følgende karakter:

$$Pb_i^{-0.05} = A + B * \log(Zn_i) + C * x_i + D * x_i^2$$

hvor x_i er dybden til det i 'te interval i sedimentsøjlen.

Modelleringen er udført på samtlige stationer fra 1986 (Greenix A/S data) og 1991 (GM-data) og koefficienterne er estimeret. Interceptet A og koefficienterne B, C og D kan således relateres til de pågældende stationer.

Den benyttede software til variogramanalyse og kriging er public domain, Geo-Eas (Geostatistical Environmental Assessment Software). Environmental Monitoring Systems Laboratory. Office of research and development. U.S. Environmental Protection Agency. Las Vegas, Nevada. 89193-3478. (Englund & Sparks, 1988).

Den benyttede software til beregning af korrelationsmatricer og principal komponent analysen er public domain: Scout, Lockheed Engineering & Sciences Company. Chemometrics Section. Quality Assurance Department. Las Vegas, Nevada. Contract number 68 03 3249 by the United States Environmental Protection Agency.

Generel linjær modellering er udført på SAS. Statistical Analysis System, SAS Institute.

5. RESULTATER

5.1 Variation af tung-metal forekomster som tidsserie

Den tidsmæssige udvikling af Pb og Zn indholdet i overflade sedimentet i Affarlikassaa fjord er vist på fig. 3ab. Stationerne ggu3 og ggu4 er beliggende i udkanten af det egentlige tailings deponeringscenter og det fremgår, at der straks fra starten af minedriften fås meget høje værdier af bly og zink. Placeringen af stationerne er vist på fig. 2. Fra 1982 falder koncentrationerne af metallerne ved ggu3 konsekvent indtil 1991. Dette antyder at aflejringskapaciteten er opbrugt, således det er regulære tailingsprodukter som aflejres, modsat tidligere, hvor finkornede tailings blev aflejret. Som for Gl. gråbjerg dump indeholder de finkornede partikler mere tungmetal. (Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1972-87, 1988). Endvidere må det tages i betragtning, at selve koncentrationen af metaller i tailings sedimentet har været aftagende siden slutningen af 1970'erne.

I 1991 stiger indholdet markant ved ggu3 grundet deponering af Gl. gråbjerg dump. Variationen ved station ggu1 er væsentlig større end ved station ggu2. Dette kan skyldes varierende afstrømning fra elvene gennem årene. For station ggu5 ses ligeledes en stigning i 1991 grundet dumpningen af Gl. gråbjerg. Sedimentprofilet (ggu5), se fig. 4ab har også en stigende tendens, men forholdsvis lave værdier, som antyder udledningen af tailings generelt er sedimenteret i Affarlikassaa fjord og kun meget finkornede partikler har overskredet tærsklen som suspenderet materiale til Qaamarujuk fjord i forbindelse med både tailingsudledningen og vinteropblandingen.

En sammenligning af maximumsværdierne i overfladesedimentet (1978) for station ggu3, ca. 12.000 µg/g Pb og 49.500 µg/g Zn (fig. 3) med maximumsværdierne i sedimentprofilet, h.h.v. ca 10.000 µg/g og 24.000 µg/g (fig. 4) antyder en væsentlig større opløselighed af Zn i tailingsproduktet. (Værdierne fra 1991 afspejler også dumpningen af Gl.gråbjerg og er derved måske ikke sammenlignelige og relevante, da det evt. kun er Gl.gråbjerg, som forekommer i sedimentprofilet fra 1991 og tailings sedimentet er begravet herunder eller der er sket en opblanding af gråbjerg og tailing). For station ggu2 er værdierne h.h.v. 6.200 µg/g Pb og 13.000 µg/g Zn, (1985) stigende

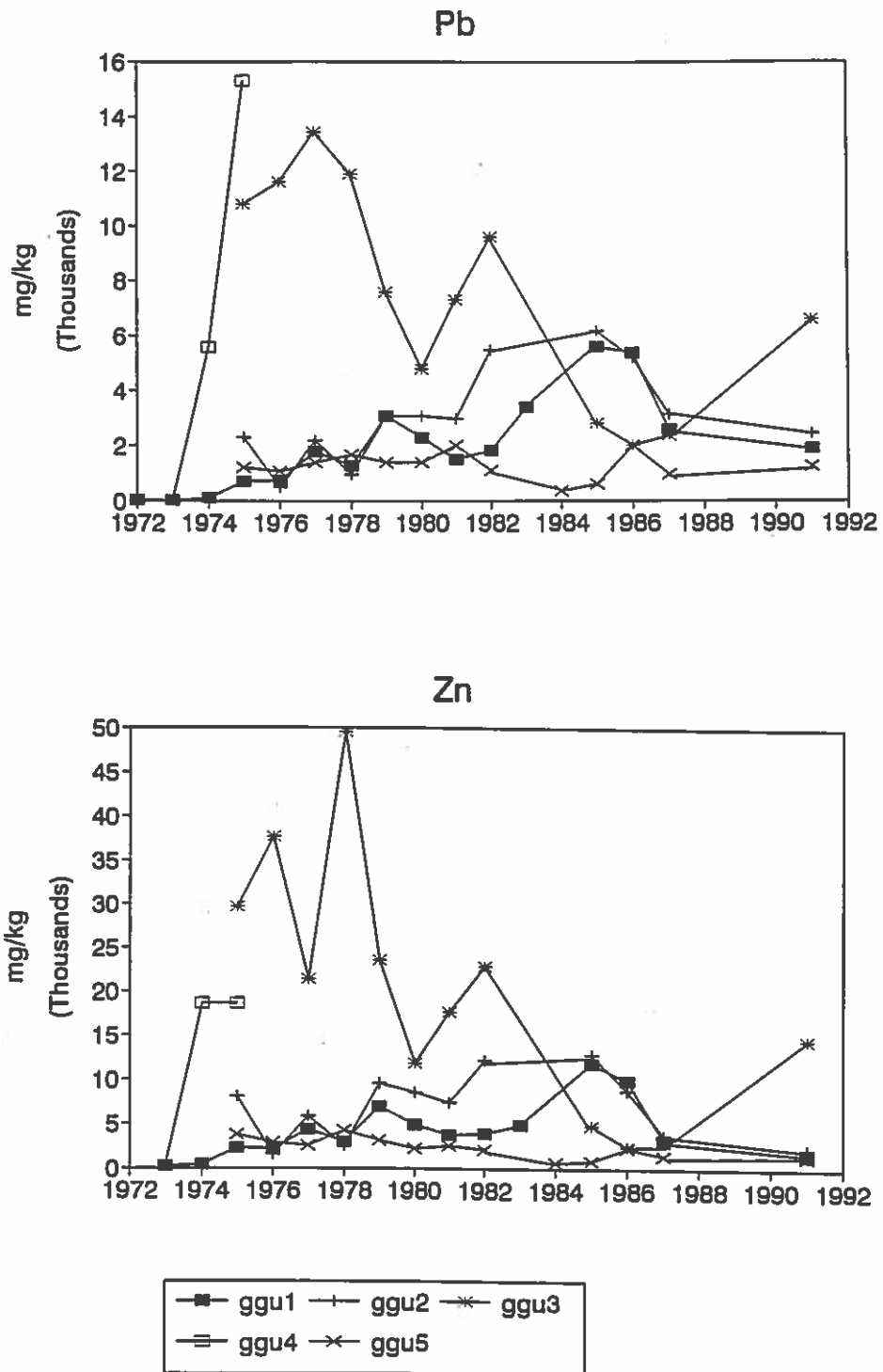


Fig. 3
 Tidsserie 1972-1991 for overfladesediment i Affarlikassaa fjord. a) Indholdet af Pb, mg/kg, b) Indholdet af Zn, mg/kg.

Affarlikassaa fjord, 1991

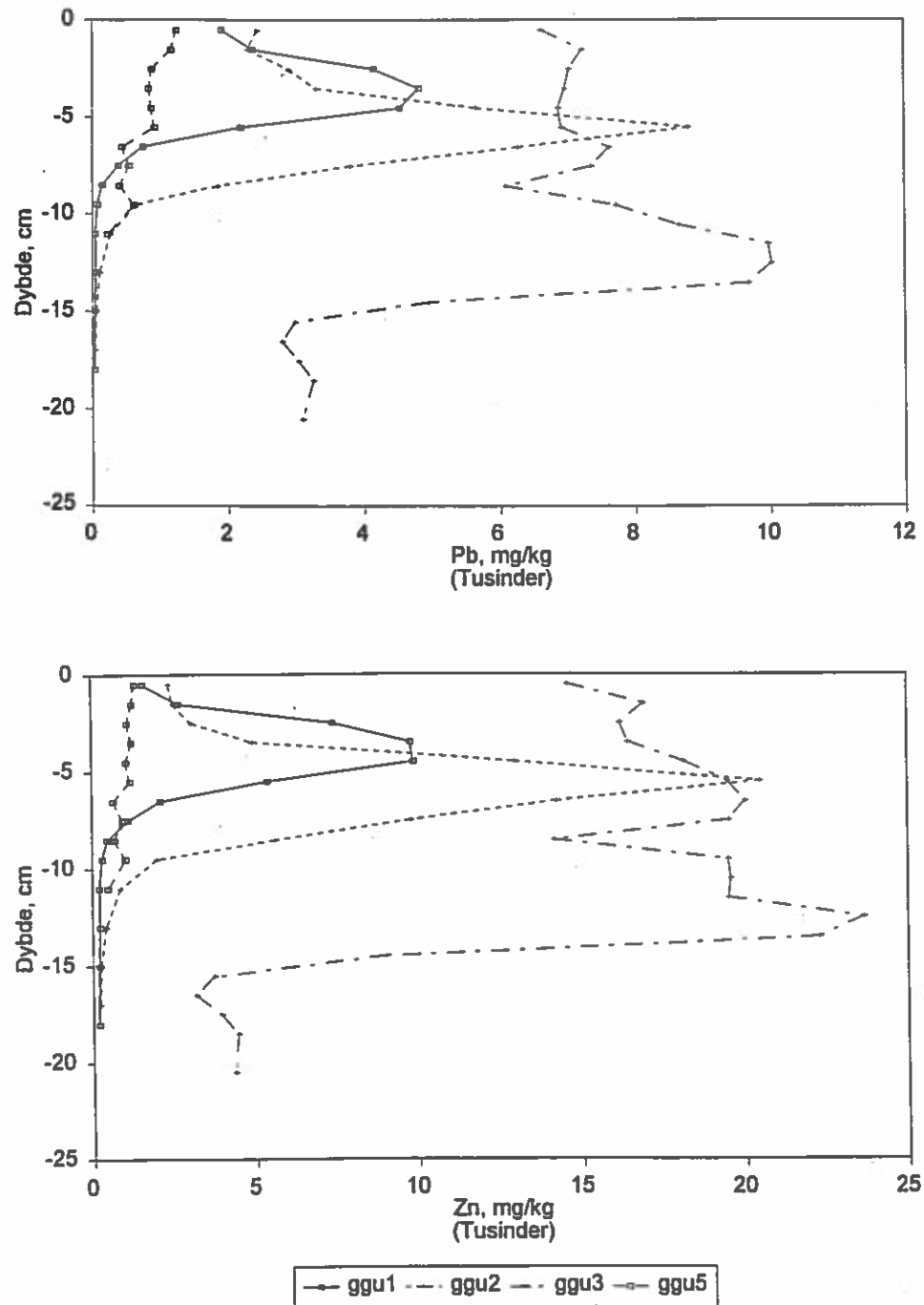


Fig. 4

Koncentrationsprofiler af tungmetal for Affarlikassaa fjord, 1991, GM data. a) Pb koncentration i $\mu\text{g/g}$ plottet med sedimentdybden. b) Zn koncentration i $\mu\text{g/g}$ plottet med sedimentdybden.

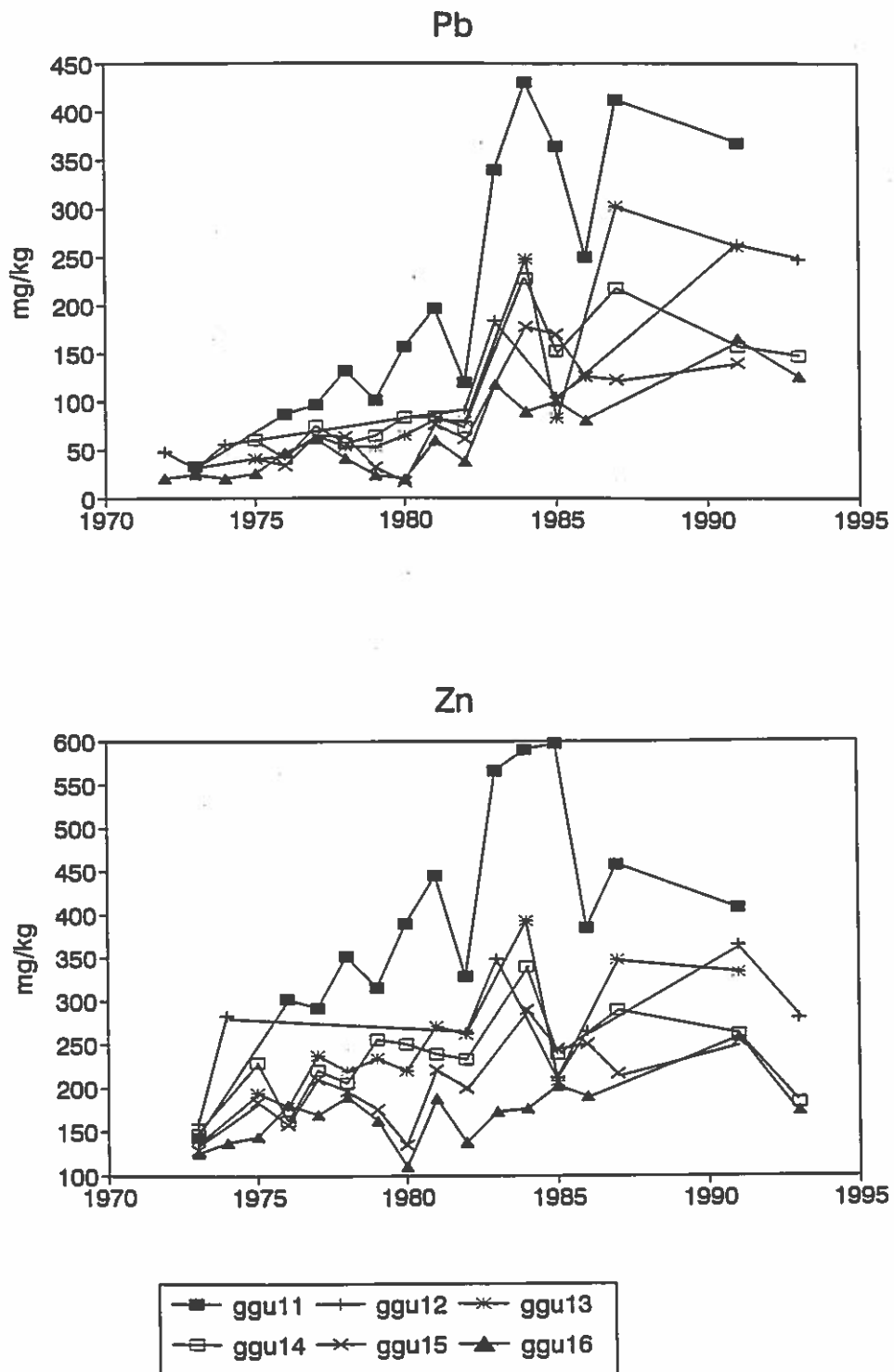
til 8.800 $\mu\text{g/g}$ Pb og 15.000 $\mu\text{g/g}$ Zn (1991). For ggu5 er værdierne h.h.v. ca. 1.700 $\mu\text{g/g}$ Pb og 4.200 $\mu\text{g/g}$ Zn, (1986) faldende til 1.250 $\mu\text{g/g}$ Pb og 1.300 $\mu\text{g/g}$ Zn. (1991). For station ggu1 ses en tydelig reducereing i metalindholdet, hvilket kan afspejle tilførslen af ferskvand fra elvene.

Den tidsmæssige variation i Qaamarujuk fjord er vist på fig. 5ab. Her ses en forholdsvis jævn stigning til 1982. I 83-84 stiger koncentrationen kraftig og efterfølges af et fald i 85-86, hvorefter koncentrationerne stiger i 1987. Ligeledes ses en stigning til 1991 for stationerne ggu12, ggu15 og ggu16. I brug tagningen af gråbjergdumpen på Tributary gletcheren er en sandsynlig kilde til stigningen i 1983.

Af sedimentprofilerne ses generelt faldende værdier for metalindholdet jo længere ude i Qaamarujuk fjorden stationen er beliggende, se fig. 6ab. Zn har et svagt, men signifikant fald i overfladen. Maximum værdierne for Zn ved station ggu11 er ca. 630 $\mu\text{g/g}$, mens overfladesedimentet havde en maximumværdi på ca. 600 $\mu\text{g/g}$ i 1985. Dette antyder en forskel af sedimenttypen i Affarlikassaa og Qaamarujuk fjord.

Sedimentprofilerne fra 1991 for Pb, se fig. 6b viser en generel stigning op mod havbunden. Der ses en stigning for de 3 yderste stationer i overflade sedimentet, mens der ses et svagt fald for de 3 inderste stationer. Dette kan afspejle en langsom sedimentation af suspenderet materiale, mobiliseret i forbindelse med dumpningen i 1990. Maximumværdien for station ggu11 er ca. 370 $\mu\text{g/g}$, som sammenholdt med tidsserien (430 $\mu\text{g/g}$) viser en svag reducereing af bly indholdet.

Ved undersøgelse af Zn/Pb forholdet i samtlige prøver for 1991, se fig. 7a findes også en signifikant forskel på de to fjord miljøer. Af den beregnede regressionlinie fremgår, at hældningskoefficienten (koncentration af Zn plottet mod Pb) i Qaamarujuk fjord er 1.16, mens i Affarlikassaa fjord er koefficienten 2.39. Af fig. 7b ses, at stigningen af Zn/Pb ned gennem sedimentet foregår med forskellig hastighed i fjordene. I Qaamarujuk fjord falder koncentrationen af bly forholdsvis hurtigere ned gennem sedimentet end mængden af zink, hvilket sandsynligvis er betinget af en større sedimentationsrate i Affarlikassaa fjord.

**Fig. 5**

Tidsserie 1972-1991 for overfladesediment i Qaamarujuk fjord. a) Indholdet af Pb, mg/kg, b) Indholdet af Zn, mg/kg.

Qaamarujuk fjord, 1991

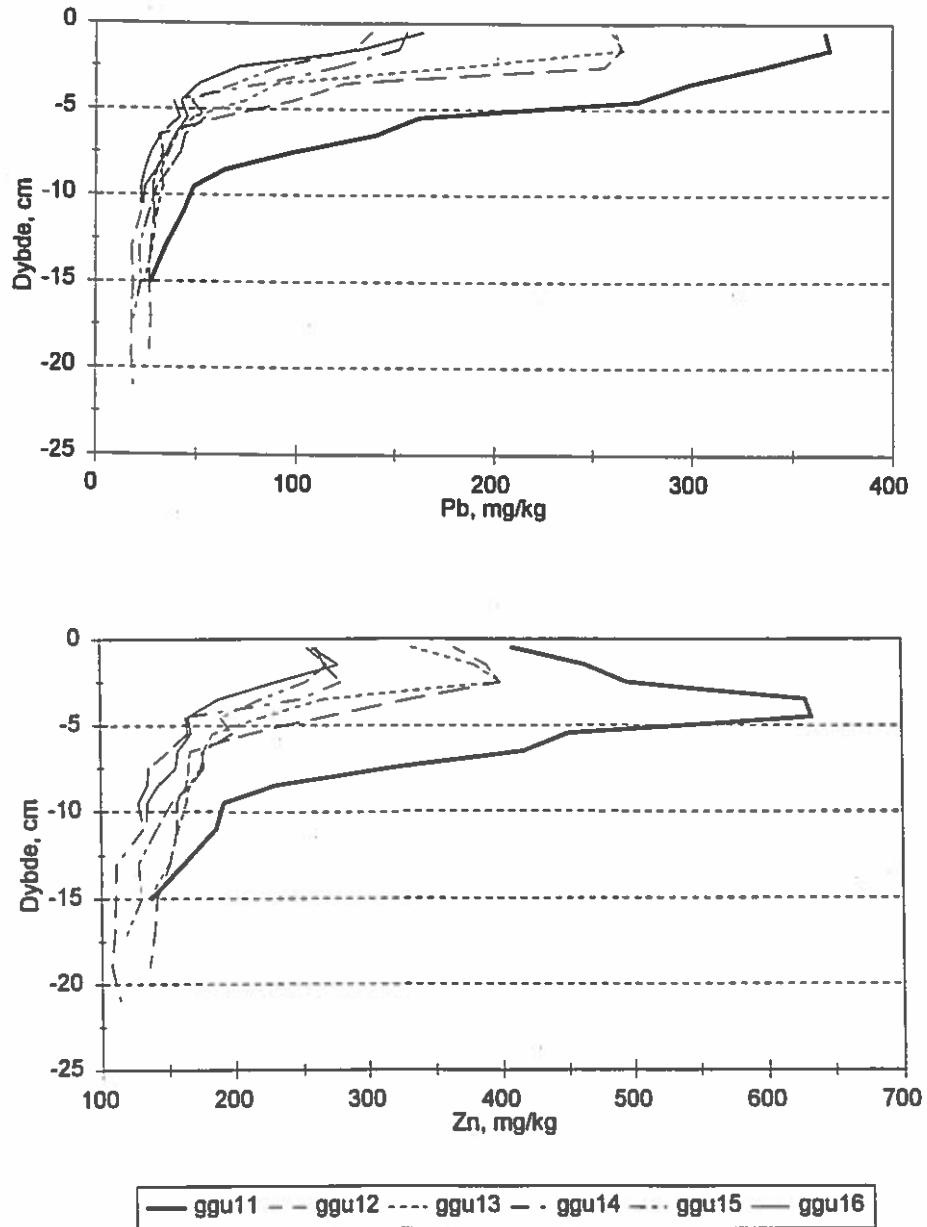


Fig. 6

Koncentrationsprofiler af tungmetal for Qaamarujuk fjord, 1991, GM data. a) Pb koncentration i $\mu\text{g/g}$ plottet med sedimentdybden. b) Zn koncentration i $\mu\text{g/g}$ plottet med sedimentdybden.

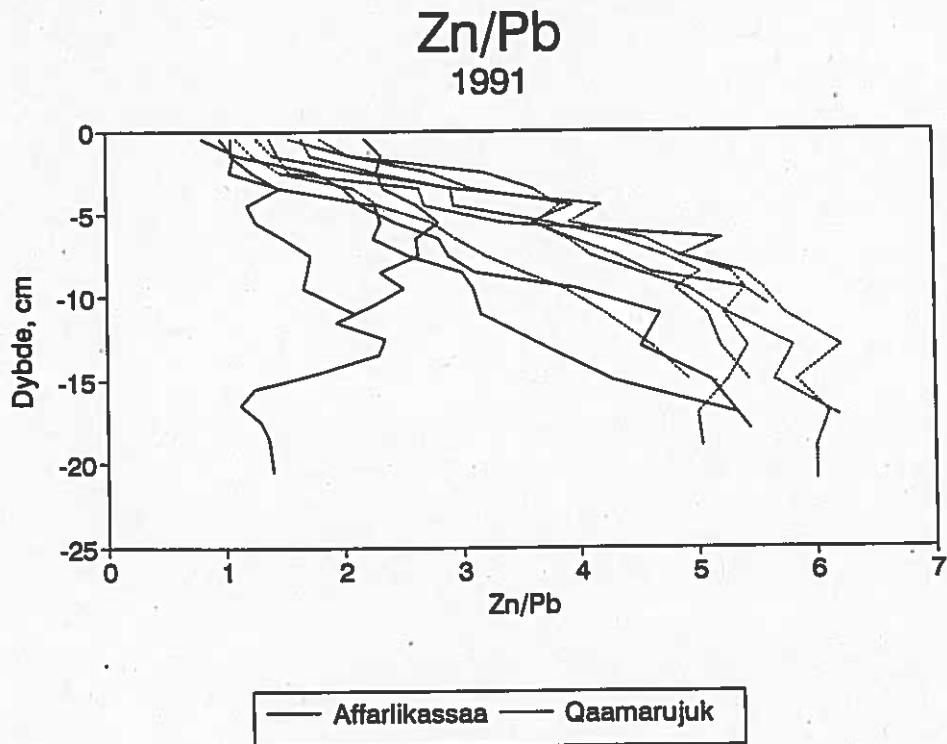
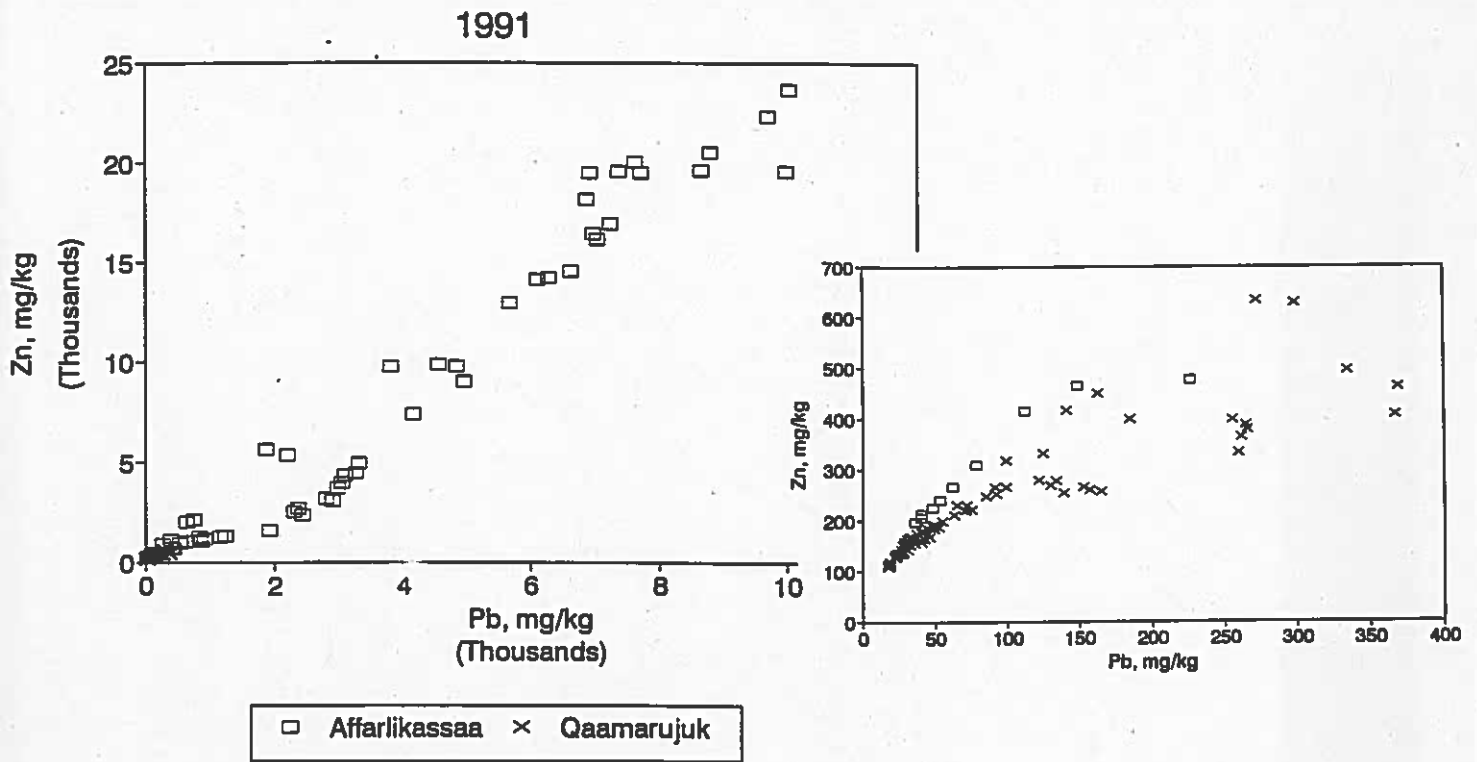
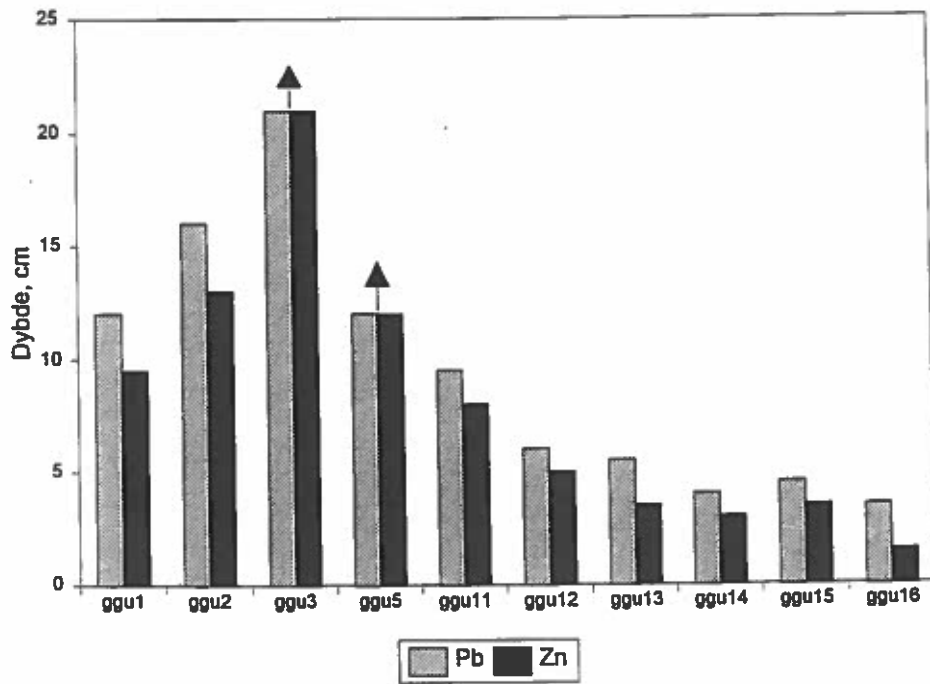


Fig. 7

a) Scatterplot af Zn og Pb koncentration i ppm, 1991. Lineær regression i Affarlikassaa-fjord $y=2.39x - 851$, $R^2 = 0.956$. Lineær regression i Qaamarujuk fjord $y=1.16x + 123$, $R^2 = 0.827$. b) Zn/Pb som funktion af dybden i h.h.v. Affarlikassaa og Qaamarujuk fjord.

Dybde til 2x baggrunds niveau, 1991



Sedimentationsrate, 1991

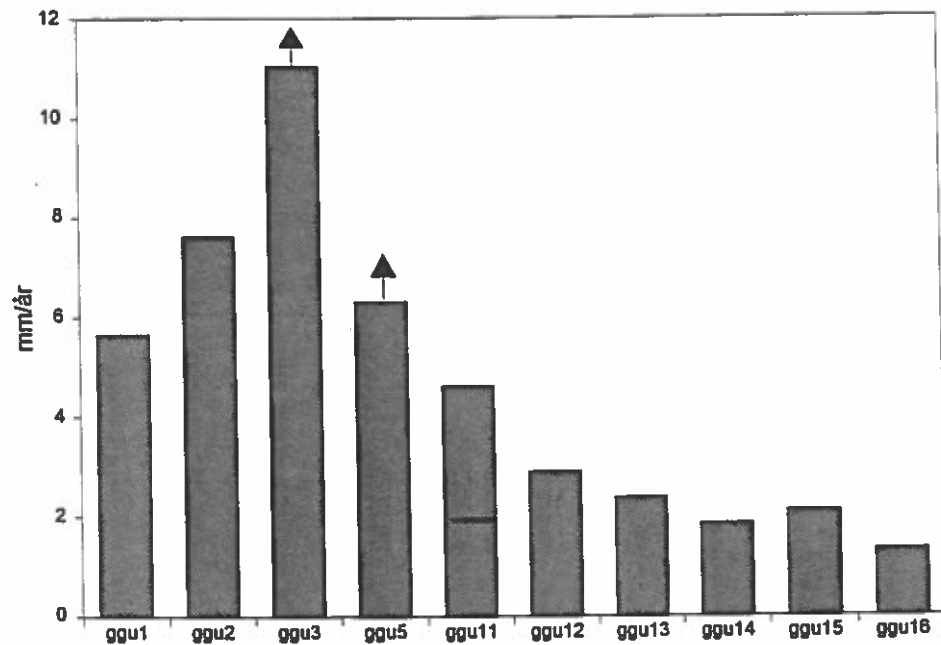


Fig. 8

Sedimentationsrater. a) Dybde i sedimentsøjle for stationerne i 1991, hvor der opnås værdier, som svarer til 2xbaggrunds niveauet for Pb og Zn. Pilene indikerer, hvor sedimentsøjleens dybde har været utilstrækkelig for at nå baggrunds niveauet. b) Sedimentationsrater for 1991 stationerne inkl. Pb-210 data fra 1984, ggu11, markeret med linie.

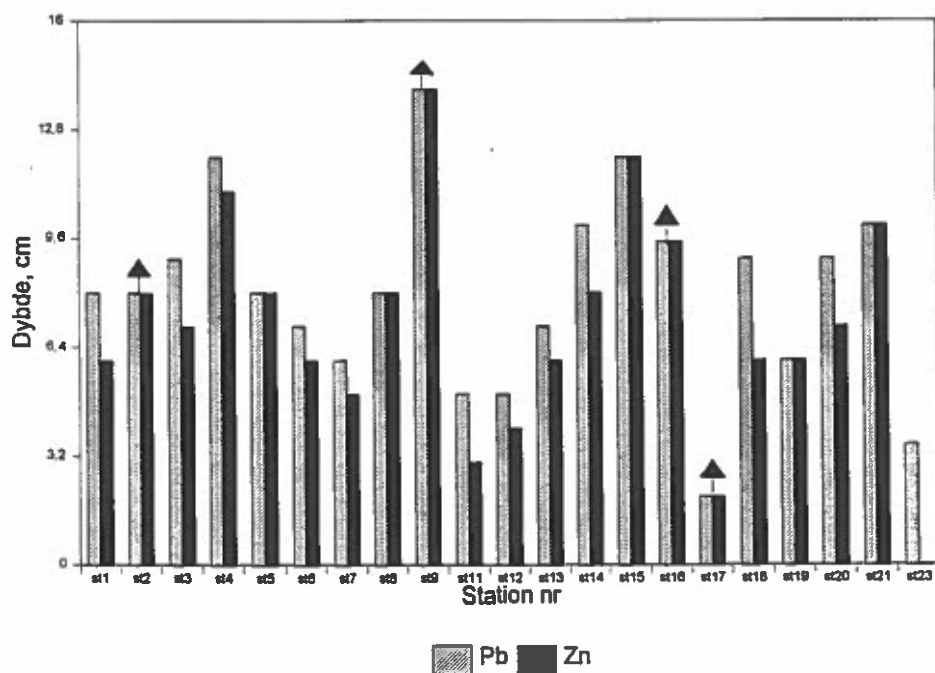
En vurdering af sedimentationsraterne kan foretages ud fra fig. 8a. Plottet viser den pågældende sedimentdybde for den enkelte station i 1991, hvor der opnås koncentrationer værdier for Pb og Zn som er 2x større end baggrundsværdien. (Affarlikassaa: Pb 28ppm, Zn 205 ppm, Qaamarujuk: Pb 27 ppm, Zn 138 ppm, Bondam (1978)). Pilene indikerer de stationer, hvor sedimentsøjlerne har været af utilstrækkelig længde for opnåelse af 2x baggrundsniveauet. Den årlige akkumulation er vist på fig. 8b, beregnet på grundlag af, at tilførselen af de kontaminerende antropogene sedimenter startede 19 år tidligere under antagelse af, at der ikke er sket nogen opblanding af sedimentet, (f.eks. bioturbation og diffusion). Den største sedimentationsrate ses ved tailingsudløbet, mens de akkumulerede sedimentmængder ved tærskelen til Qaamarujuk fjord (ggu5) og udmundingen af Sydsøernes elve (ggu1) ikke er store.

5.2 Geografisk fordeling af tungmetal i indre Qaamarujuk fjord, 1986.

Af de målte sedimentprofilerne er sedimentationsraterne estimeret som ovenstående, blot startede tilførslen af tungmetal 13 år tidligere. se fig. 9ab. Heraf fremgår at den betydeligste sedimentation findes ved stationerne st9, st15, st4, st21, st16 og st2, se fig. 2. Sedimentationsraterne er plottet på fig. 9b, sammen med de af Isotopcentralen bestemte rater på basis af 210-Pb. Heraf fremgår, at værdien bestemt af baggrundsniveauet er ca. 50% større. Årsager hertil kan skyldes hovedsageligt, at 210-Pb akkumuleringsraten er baseret på vægten af det akkumulerede sediment, mens ovenstående resultater betragter sedimentets vertikale udstrækning, hvor der er sket en kompaktering af det underliggende sediment. En anden årsag kan være at baggrundsværdien er for lille, grundet lokal variation, selvom der anvendtes en faktor på 2. Ligeledes kan en nedadgående diffusion af metalioner medføre afvigelsen, hvad der dog næppe er sandsynligt.

For at undersøge fordelingen af de målte og estimerede data i overfladesedimentet (0-1cm) er der i tabel 1 opstillet en korrelationsmatrice. Heraf fremgår det bl.a. at sedimentationsraten korreleres bedst med mængden af tørstof, hvilket forekommer delvis indlysende, da større partikler (silt og sand) ved aflejringen pakkes forholdsvis tæt, mens kolloider og partikler af lerstørrelse pakkes løst, senere vil der ske en frigivelse af interstitielt vand p.g.a. massen af sedimentet. Der ses ligeledes en rimelig

Dybde til 2x baggrunds niveau, 1986



Sedimentationsrater, 1986

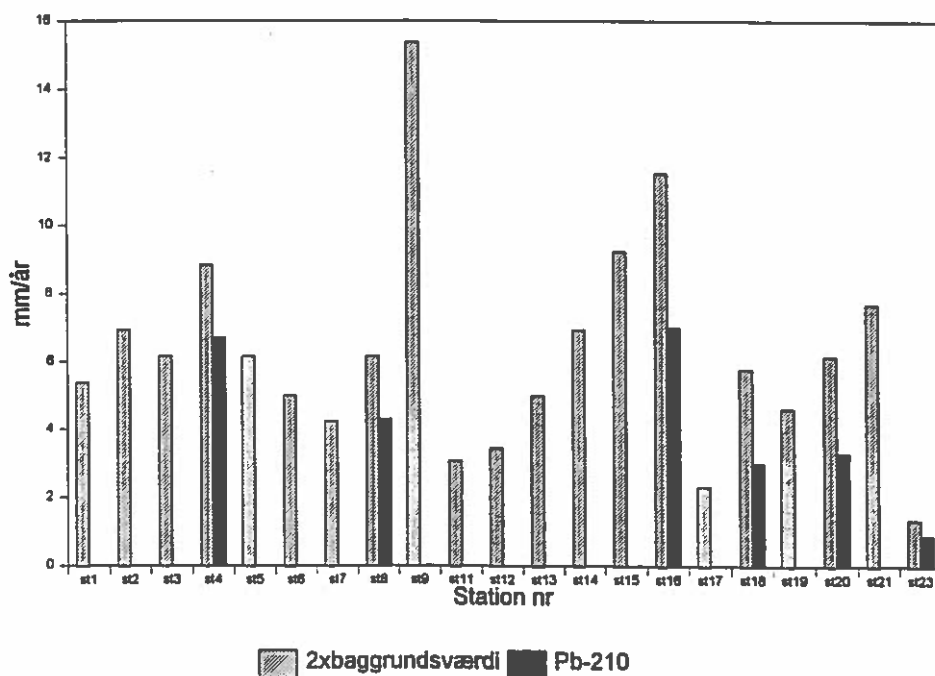


Fig. 9

a) Dybde i sedimentsøjle for stationerne i 1986, hvor der opnås værdier, som svarer til 2xbaggrundsniveauet for Pb og Zn. Pilene indikerer, hvor sedimentsøjleens dybde har været utilstrækkelig for at nå baggrundsniveauet. b) Sedimentationsrater for 1986 stationerne inkl. data fra Isotopcentralen. Det bemærkes at 210-Pb bestemmelserne giver signifikant lavere værdi for den årlige akkumulering.

god korrelation mellem sedimentationsraten med Zn og Cd. Formodningen om en negativ korrelation mellem havdybde og sedimentationsrate kan ikke bekræftiges, hvilket kan afspejle et uligevægtigt system og derved en antropogen effekt. Havdybden korrelerer kun med de geografiske retninger. For metallerne har bly en moderat korrelation med zink. Zink korrelerer pænt med cadmium og ligeledes ses en tendens til en øget zink koncentration mod øst. Cadmium korreleres ligeledes pænt mod øst, Zn/Pb forholdet og sedimentationsraten.

	Øst	Nord	Dybde	Pb	Zn	Cd	Tørstof	Zn/Pb	sedirate
Øst	1.0		-0.501		0.485	0.544			
Nord		1.0							
Dybde			1.0						
Pb				1.0	0.518				-0.549
Zn					1.0	0.879			0.524
Cd						1.0		0.558	0.643
Tørstof							1.0		0.668
Zn/Pb								1.0	
sedirate									1.0

Tabel 1
Korrelationsmatrice for overflade sediment i Qaamarujuk fjord, 1986, kun kvotienter > 0.45 er medtaget.

Korrelationsmatricen for den totale metalmængde i Qaamarujuk fjord er vist i tabel 2 og illustrerer et mere homogent billede (gennemsnittet af sediment- og antropogene processer gennem 13 år). Sedimentationsraten korrelerer igen bedst med zink og cadmium og dernæst bly. Havdybdens indflydelse på de sedimentologiske parametre er minimal. Zn og Cd har en glimrende korrelation, som i overfladesedimentet. Samhørigheden mellem zink og bly er større end ved sammenligning med korrelationskoefficienten opført i tabel 1. Zn og Cd samhørighed afspejler, at Cd gerne substituere Zn i sphalerit og antyder derved en detrital kilde af zinkblende.

	Øst	Nord	Dybde	Pb	Zn	Cd	sedirate
Øst	1.0		-0.501		0.492		
Nord		1.0					
Dybde			1.0				
Pb				1.0	0.902	0.787	0.643
Zn					1.0	0.911	0.849
Cd						1.0	0.876
sedirate							1.0

Tabel 2
Korrelationsmatrice for det totale sediment i Qaamarujuk fjord, 1986, kun kvotienter > 0.45 er medtaget.

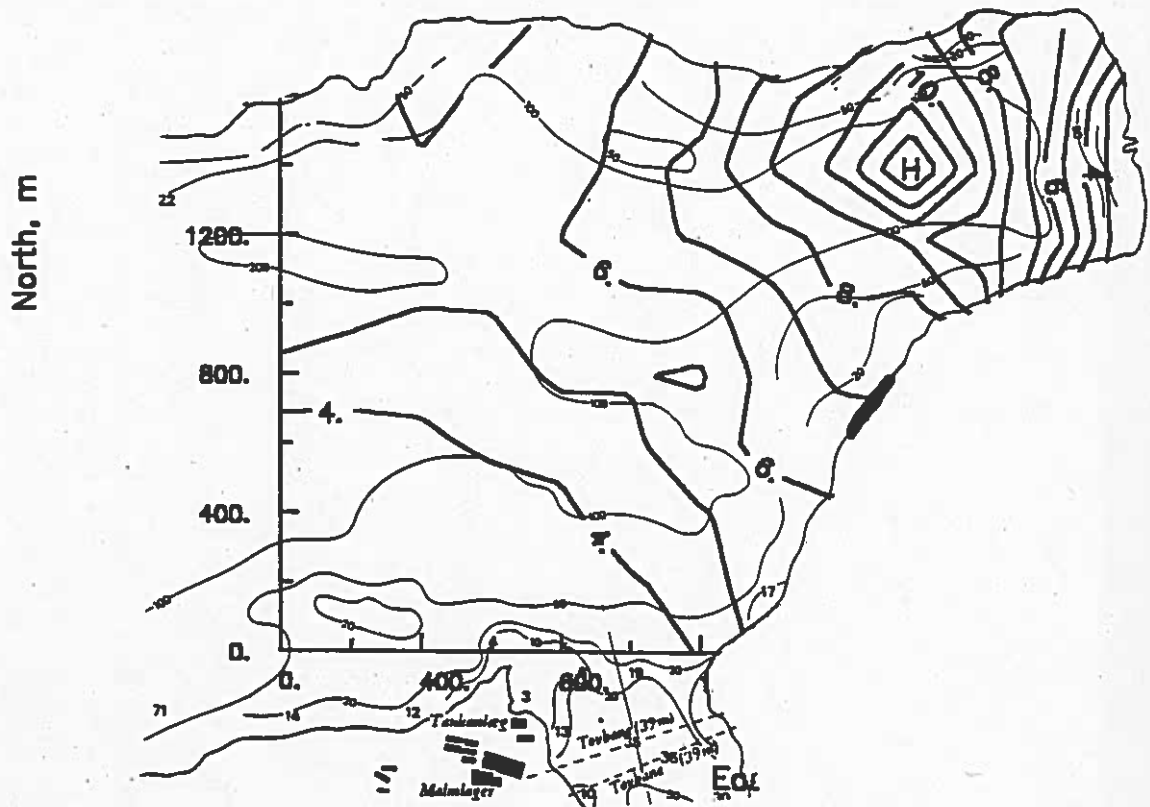


Fig. 10
Sedimentationsrate 1973-1986 i mm/år i indre Qaamarujuk-fjord. Gl. gråbjergdump er markeret med fed linie på den SØ bred.

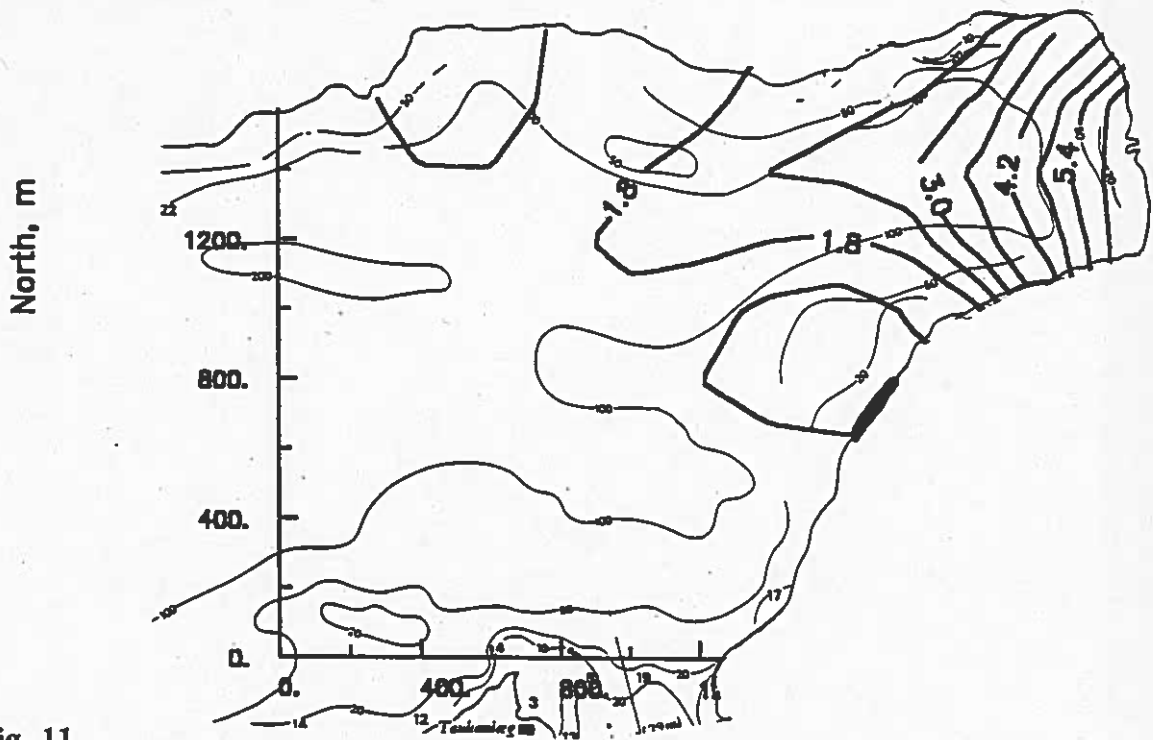


Fig. 11
Zn/Pb forholdet (1986) i overfladesediment (0-1cm) af indre Qaamarujuk-fjord.

Af iso-sedimentrate kortet, se fig. 10, bestemt ved kriging, fremgår det at sedimentakkumulationen har sit maximum, omkring 12 mm/år, NØ for Gl. gråbjerg dump. Der forekommer 3 primære sedimentkilder i Qaamarujuk fjord: Gråbjerg dumpen, Wegener elven og suspenderet materiale fra Affarlikassaa. Sedimentationsrater falder ind mod Wegener elvens delta, hvor akkumulationen er omkring 3-6 mm/år. Akkumuleringsraten i den indre del af Qaamarujuk fjord (inklusiv tidevandszonen) er begrænset og det fremgår, at sedimentet generelt aflejres i den nordlige del af fjorden. Ud for Gl. gråbjerg dump er raten ca. 7 mm/år. Dette antyder, at det aflejede sediment i tidevandszonen og fra Wegener elven bliver resuspenderet, mobiliseret og genaflejret af en NØ gående strøm, som transporterer sedimentet. En svag cirkulær tidevandsinduceret strøm gående mod uret er beskrevet af Møller, (1986). Den lave akkumuleringsrate ca. 4 mm/år ved udmundingen af Affarlikassaa fjord skyldes sandsynligvis sedimentets finkornede karakter.

Zn/Pb i overfladesedimentet (0-1 cm) af indre Qaamarujuk fjord er vist på fig. 11. Maximum, ca. 6, er lokaliseret i tidevandszonen og Wegener elvens delta, mens minimum ses udfør Gl. gråbjerg dump, hvor forholdet er mindre end 1.2. Der forekommer et generelt fald i Zn/Pb forholdet når afstanden fra indre Qaamarujuk fjord øges, samtidig med at havdybden øges. Dette fremgår også af korrelationskoefficienten, se tabel 1, hvor der ligeledes ses en samhörighed mellem havdybden og Zn/Pb forholdet. Dette kan forklares ved, at jo længere tid sedimentet er suspenderet i havvandet jo mere zink vil opløses eller som en konsekvens af finkornethed, da det må forventes, at partikelstørrelsen bliver mindre jo længere bort fra sedimentkilderne det aflejres.

Ved betragtning af fig. 12a, hvor mængden af Pb i overfladesedimentet er illustreret, ses, at maximum for bly akkumulationen i 1986 var NV for Gl. gråbjerg dump, på en havdybde omkring 10-100 m; mens minimum findes i tidevandszonen og i Wegener elvens delta. Affarlikassaa fjordens udmunding har ingen umiddelbare konsekvenser for fordelingen af Pb.

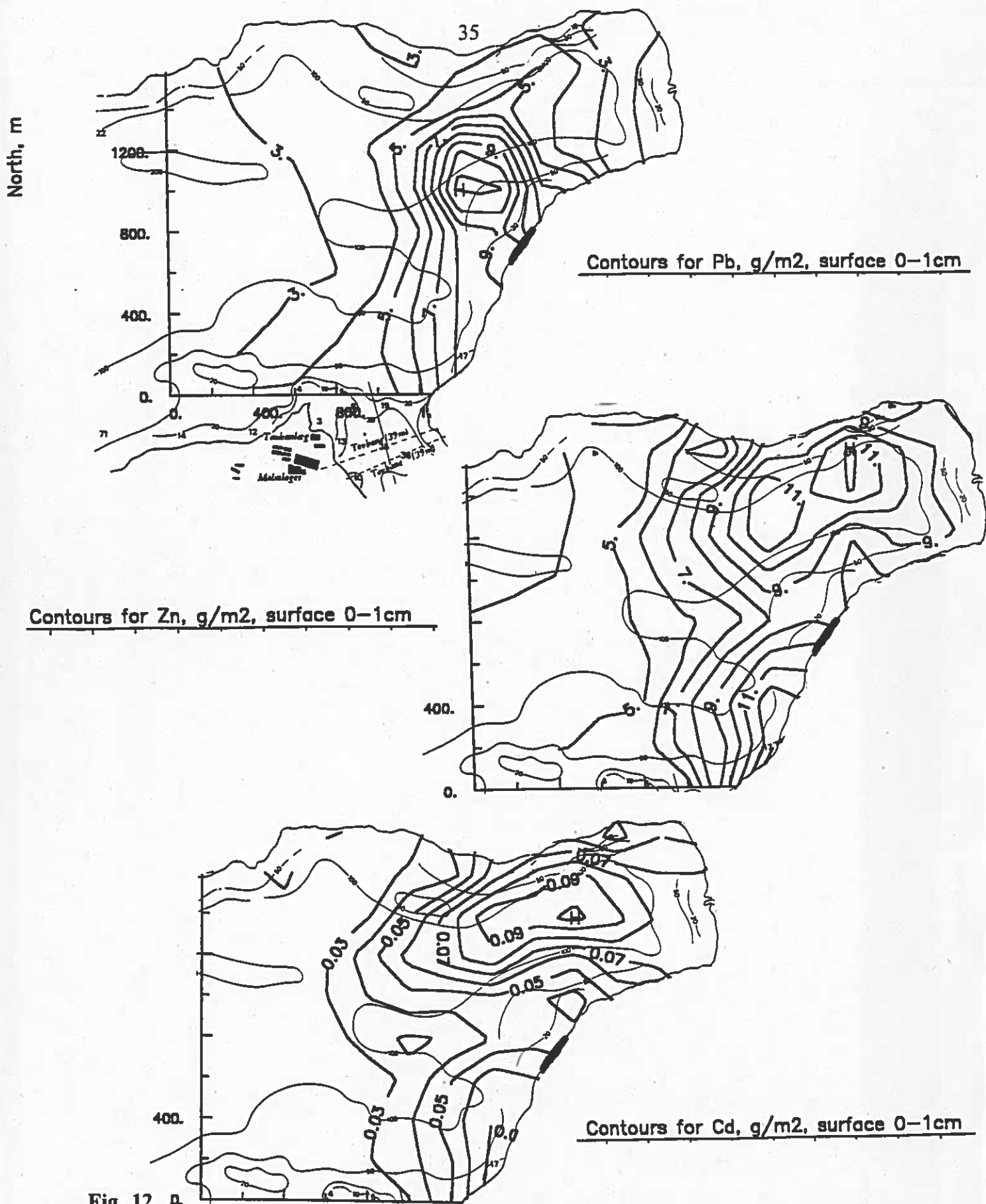


Fig. 12 a
 Vægt af metal g/m^2 (1986) akkumuleret i overfladesediment (0-1cm) af indre Qaamarujuk-fjord. a) Pb, b), Zn, c) Cd.

Fordelingen af Zn er vist på fig. 12b og mønstret forekommer mere kompleks. Der forekommer 2 aflejringscentre. Maximum er lokaliseret NØ og SV for Gl. gråbjerg dump, og kan indikere en tilførsel af Zn fra Affarlikassaa. Cadmium, se fig. 12c, har sin maximale koncentration NØ for Gl. gråbjerg dump sammenfaldende med Zn. Havdybden er større end 100 m og isokurvernes forløb har en tendens til parallelitet med dybdekurverne. Ligeledes bemærkes et forholdsvis højt niveau i den inderste del af fjorden.

Når den totale mængde metal estimeres ses et mere ensartet billede, se fig. 13abc. Det maximale indhold af metallerne ses NV for Gl. gråbjerg dump, dog har Zn og Cd et mere nordligt gående forløb. Ligeledes ses for disse metaller et ensartet forløb mod vest, mens bly forekommer mere koncentreret. Dette antyder igen en stor samhørighed mellem cadmium og zink og en lettere mobilisering. Dersom det er sulfider, der aflejres kan forskellen i massefylden af galena og zinkblende forklare fordelingsmønstret, da galena er væsentligt tungere end zinkblende. Årsagen er dog mere kompleks, da galena sædvanligvis er mere finkornet end zinkblende.

Ved opmåling af arealet som dækkes af de enkelte iso-linier er metalmængden i den indre del af Qaamarujuk fjorden (i alt 3.6 km^2) estimeret. Mængden er bly er ca. 89.8 tons, zink ca. 152.7 tons og cadmium ca. 1.9 tons. Sammenlignet med Pedersen et al. (1987), hvor metalmængderne er estimeret på grundlag af en trekantsinddeling af arealet mellem stationerne (ialt 2.7 km^2) var mængderne 73.5 tons bly og 126.4 tons zink. Ved opmåling af 2.7 km^2 fås 82.2 tons bly og 135.9 tons zink. Afvigelsen afspejler metodevalget og ligeledes, at nærværende opmåling har medregnet tidevandszonen i arealet.

Principal komponent analysen (PCA) i overfladesedimentet (0-1 cm) resulterer i 5 faktorer som redegør for knap 94% af den totale varians, se tabel 3. De sedimentologiske parametre: metal- og tørstof indhold, sedimentationsrate er fordelt på 2 komponenter. 1. komponent (33.8%) er primært influeret af Zn og Cd indholdet og sedimentationsraten, mens den 5. komponent (8.8%) er influeret af Pb og tørstofmængden. De geografiske parametre, øst, nord, havdybde og stationsnummeret udgør 2., 3. og 4.

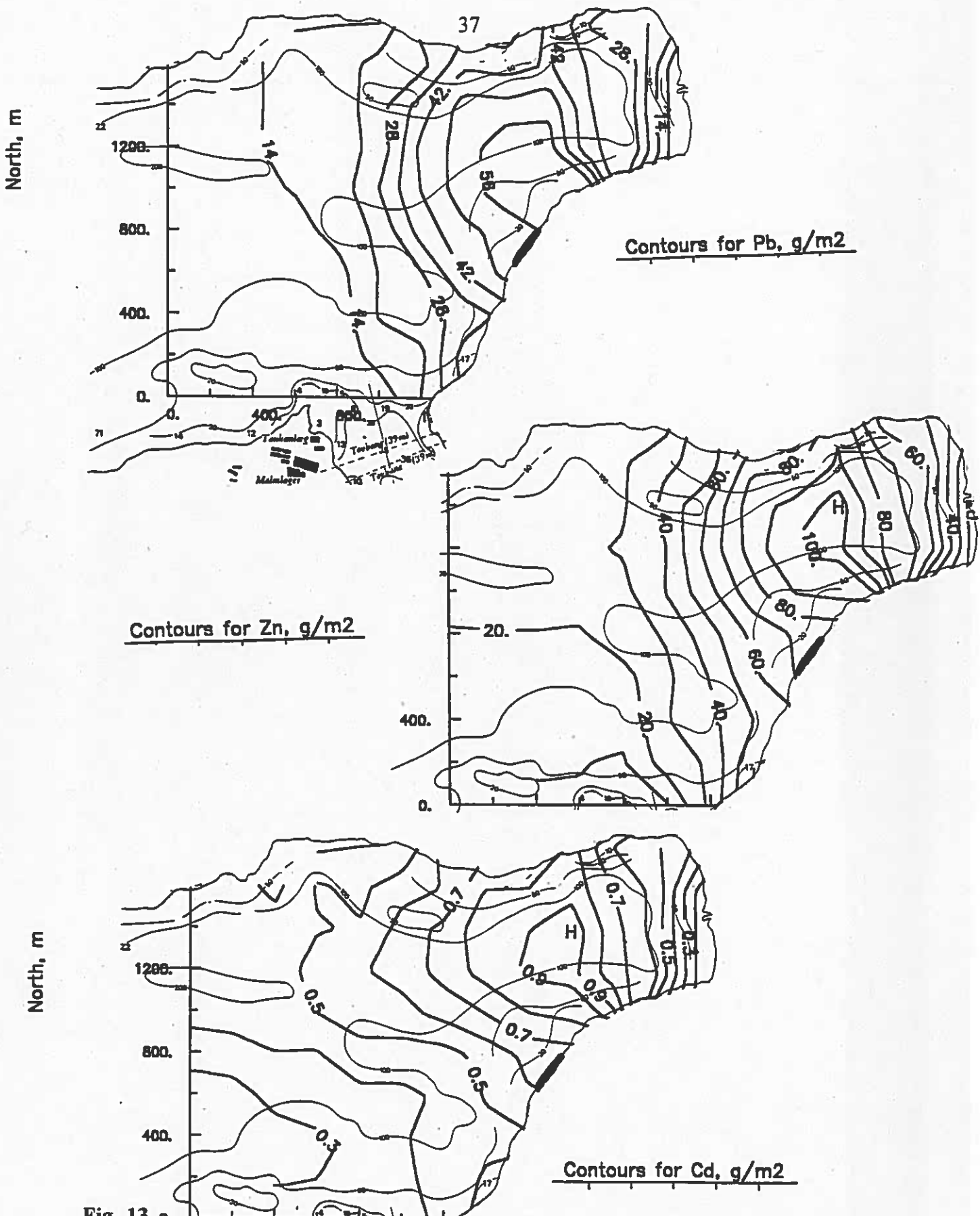


Fig. 13 a. Total vægt af antropogent metal g/m² akkumuleret i perioden 1973-1986 i indre Qaamarujuk-fjord. a) Pb, b), Zn, c) Cd.

komponent, hvor bly også har vægtig komponent. Zn/Pb forholdet er ikke tilknyttet en entydig komponent.

Komponent	1	2	3	4	5
Eigenv.	3.38	2.46	1.65	1.03	0.88
Prop.	33.76%	24.64%	16.46%	10.27%	8.81%
Kumulat	33.76%	58.39%	74.86%	85.13%	93.93%
Zn g/m ²	0.45	-	-	-0.31	-
Cd g/m ²	0.50	-	-	-0.28	-
Sedi mm/år	0.43	-	0.32	0.36	-
Stnr	-	0.57	-	-	-
Dybde m	-	0.28	0.55	-0.37	0.34
Øst	0.38	-	-0.50	-	-
Nord	-	0.43	-	0.45	0.33
Zn/Pb	0.28	0.33	-0.29	-0.44	-0.31
Tørstf g/m ²	-	-	0.50	0.28	-0.52
Pb g/m ²	-	-0.50	-	-	0.54

Tabel 3

Principal komponent analyse. Kumulativ varians og komponenternes vægt i overfladesedimentet i Qaamarujuk fjord 1986. Kun vægt overstigende 0.25 er medtaget i tabellen. Fed skrift angiver primær faktoren. Sedimentationsraten (sedi), stationsnummer (Stnr), tørstof (tørstf). Dybde er afstanden til fjordbunden.

Resultatet af PCA i de totale sedimentprofiler er vist i tabel 4. Heraf fremgår, at 4 faktorer redegør for omtrent 95% af variansen. Den 1. komponent udgør knap 56% og består primært af de sedimentologiske parametre. Cd, Zn, Pb og sedimentationsrate. Bly udgør ligeledes en del af komponent 3 og har sin maximale vægt i den 4. komponent (3.8%). 2. og 3. komponent afspejler hovedsageligt de geografiske faktorer: Nord, øst, dybde.

Komponent	1	2	3	4
Eigenv	3.89	1.49	1.04	0.26
Prop.	55.64%	21.25%	14.96%	3.75%
Kumulat	55.64%	76.89%	91.84%	95.59%
Zn g/m ²	0.49	-	-	-
Cd g/m ²	0.48	-	-	-
Dybde m	-	0.78	-	-
Øst	0.29	-0.57	0.29	-0.31
Nord	-	-	0.83	0.43
Pb g/m ²	0.43	-	-0.38	0.61
Sedi mm/år	0.46	-	-	-0.58

Tabel 4

Principiel komponent analyse. Kumulativ varians og komponenternes vægt i det totale sedimentprofil i Quamarujuk fjord 1986.

Det overordnede resultat af (PCA) viser en forskellighed i metallernes variation, således, at bly mængden i sedimentet er underlagt andre mekanismer vedrørende de observerede forekomster. Dette kan afspejle en fase forskel af bly sammenlignet med Zn og Cd eller diagenetiske modificeringer efter aflejring af sedimentet.

De enkelte sedimentprofilers evne til at opfylde den undersøgte model (glm) er vist i bilag 4 og er summeret for signifikansniveauerne $p < 0.005$, $p < 0.05$ og $p > 0.05$ i tabel 5. For $p < 0.005$ ses 1991 stationerne: ggu1, ggu11, ggu12, ggu13, ggu14 og ggu15 og 1986 stationerne: st4, st5, st7, st12, st13, st19 og st20 at opfylde modellen.

Stationsnummer	Koefficienter		
	B	C	D
ggu 1	-	-	-
ggu 2	-	-	*
ggu 3	-	+	*
ggu 5	-	*	*
ggu 11	-	-	-
ggu 12	-	-	-
ggu 13	-	-	-
ggu 14	-	-	-
ggu 15	-	-	-
ggu 16	*	*	*
st 1	-	*	*
st 2	-	-	*
st 3	-	-	*
st 4	-	-	-
st 5	-	-	-
st 6	-	*	*
st 7	-	-	-
st 8	-	*	+
st 9	-	+	+
st 11	-	*	+
st 12	-	-	-
st 13	-	-	-
st 14	-	-	*
st 15	-	*	*
st 16	*	+	+
st 18	-	-	+
st 19	-	-	-
st 20	-	-	-
st 21	-	+	+
st 23	-	-	*
st 24	-	*	*
st 25	-	*	*

- $p < 0.005$, * $0.005 < p < 0.05$, + $p > 0.05$

Tabel 5

Oversigt af de enkelte stationers opfyldelse af GLM på signifikansniveauerne 0.005 og 0.05. Placeringen er vist på fig. 2.

For $p < 0.05$ opfyldes modellen af de samme ggu stationer fra 1991. Af 1986 stationerne opfylder: st4, st5, st6, st7, st12, st13, st14, st19, st20, st23, st24 og st25 modellen. De estimerede værdier inklusiv standardafvigelser for interceptet A og koefficienterne B, C og D er vist på fig. 14ab. For $p < 0.05$ er der på fig. 15 vist hvilket stationer der opfylder modellen og heraf fremgår, at der kan foretages en inddeling af fjorden relateret til de 3 tidligere omtalte sedimentkilder.

For ggu stationerne ses den største afvigelse fra den undersøgte model ved ggu16. Dette er temmelig overraskende, da de øvrige ggu stationer i Qaamarujuk fjorden alle opfylder modellen. En årsag kunne være den lange afstand fra kontaminerings kilderne, hvilket også ses for de fjerneste stationer fra 1986. En alternativ mulighed er en langsom sedimentationsrate, der medfører at havbundssedimenterne er eksponeret længere til havvandet og muliggør en stor frigivelse af metal. Ligeledes kan der tænkes et relativt større input af klastisk detritalt materiale, der vil have en fortydende effekt på metalkoncentrationerne. ggu3 i Affarlikassaa fjorden er præget af den direkte tilførsel af tailing og gråbjerg, hvilket betyder, at modellen ikke opfyldes, grundet de varierende antropogene kilder. ggu5 er sandsynligvis udsat for sedimentation af meget finkornede partikler i forbindelse med vinter opblandingen af fjordvandet og deponeringen af Gl. gråbjerg dump.

Situationen i 1986, hvor minen var i drift viser, at st16 afviger mest fra den undersøgte model. Stationen er sammen med de øvrige stationer i området, st21 og st9, der også afviger fra modellen, karakteriseret af de højeste sedimentationsrater. Dette kunne antyde en indflydelse af ferskvandstilførsel fra Wegenerelven. Sedimentationsraten ved Sydsøelvenes udmunding (ggu1) er knap 6 mm/år og på basis af vandføringen, som er ca. 4 x større end Wegener elven, må det formodes, alt andet lige, at sedimentmængden tilført af Wegener elven er betydelig mindre. Station st17, som er nærmest beliggende station har en sedimentationsrate på ca. 2 mm/år. Effekten af Wegener elven er evt. at ferskvands inputtet kan medføre en lettere mobilisering af Zn, da st16 ikke opfylder relationen mellem $(Pb)^{0.05}$ og $\log(Zn)$, kvotient B.

Stationerne ud for Gl. gråbjerg dump opfylder modellen moderat, st2, st3, st4, st5 og

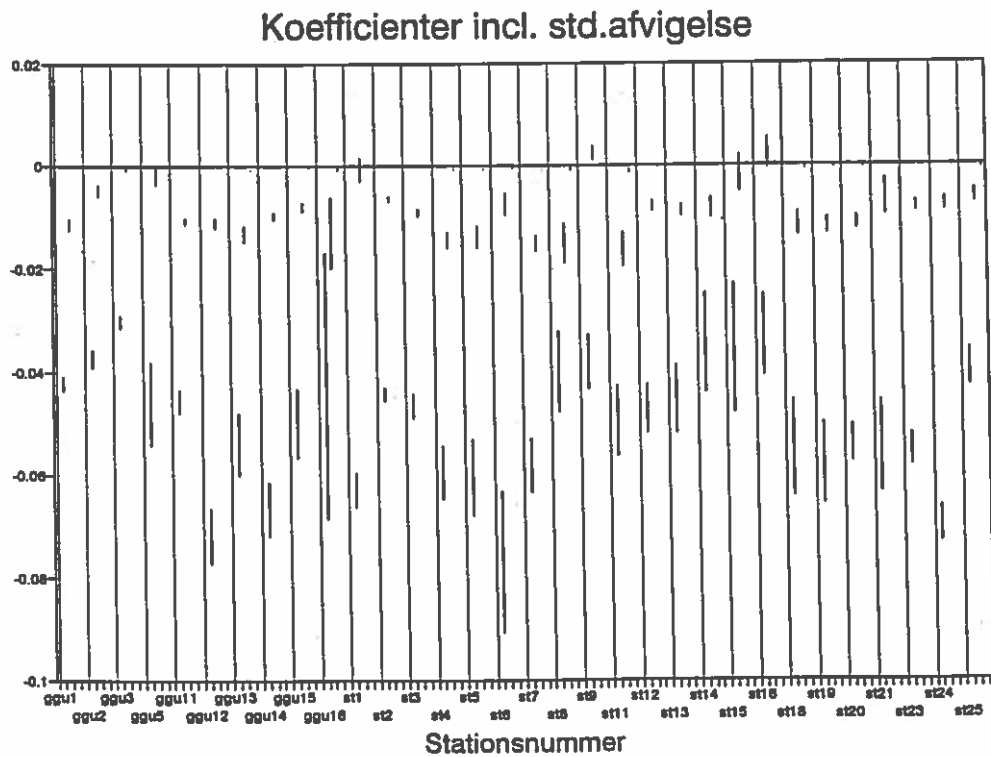
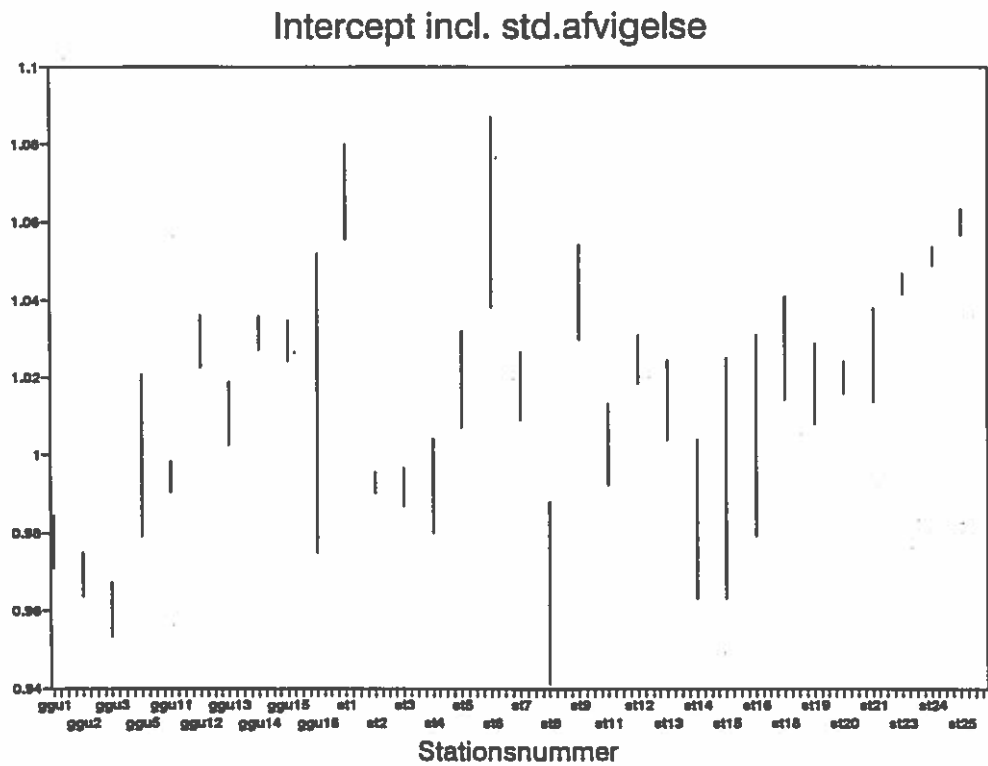
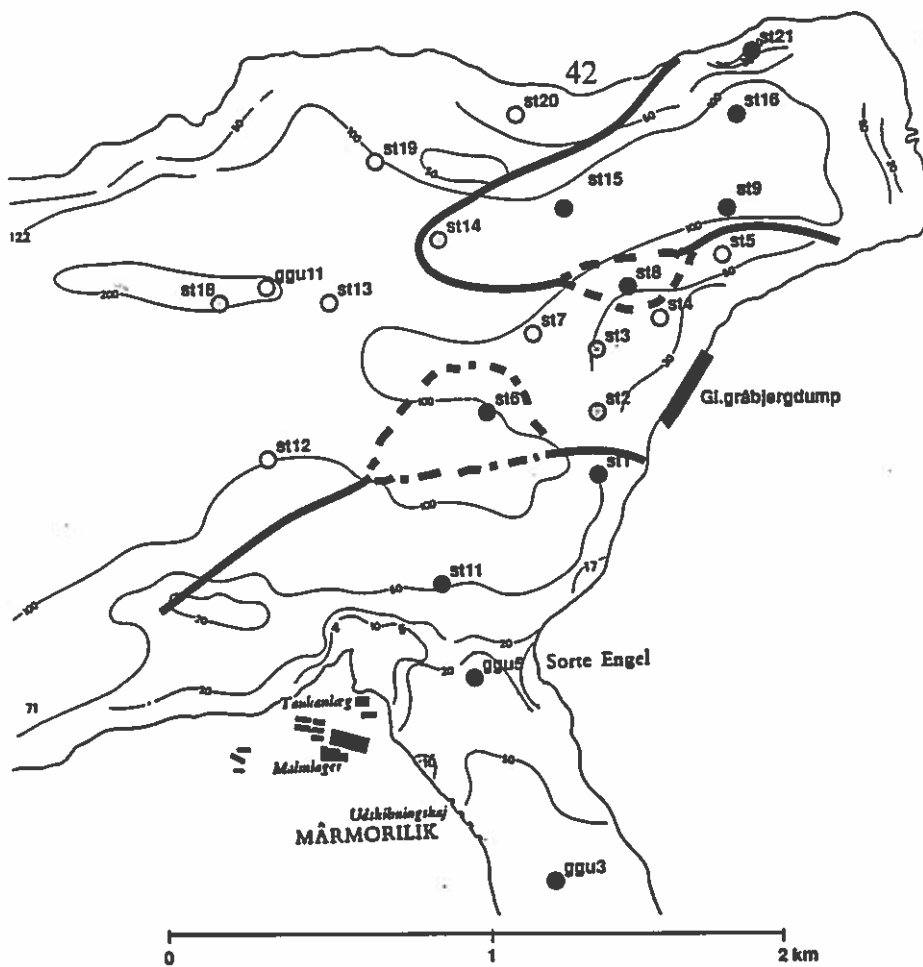


Fig. 14

Resultater inklusiv standardafvigelse fra generel lineær modellerings analyse, $Pb^{-0.05} = A + B \cdot \log(Zn) + C \cdot x + D \cdot x^2$, hvor x er dybden i sedimentsøjlen, a) Intercept A for de enkelte stationer, b) koefficienter for de enkelte stationer. Rækkefølgen er B, C og D mod højre.



- Model opfyldt for $p < 0.05$
- ◉ Dybde2 ikke signifikant for $p < 0.05$
- Dybde + dybde2 ikke signifikant for $p < 0.05$
- Log(Zn) + dybde + dybde2 ikke signifikant for $p < 0.05$

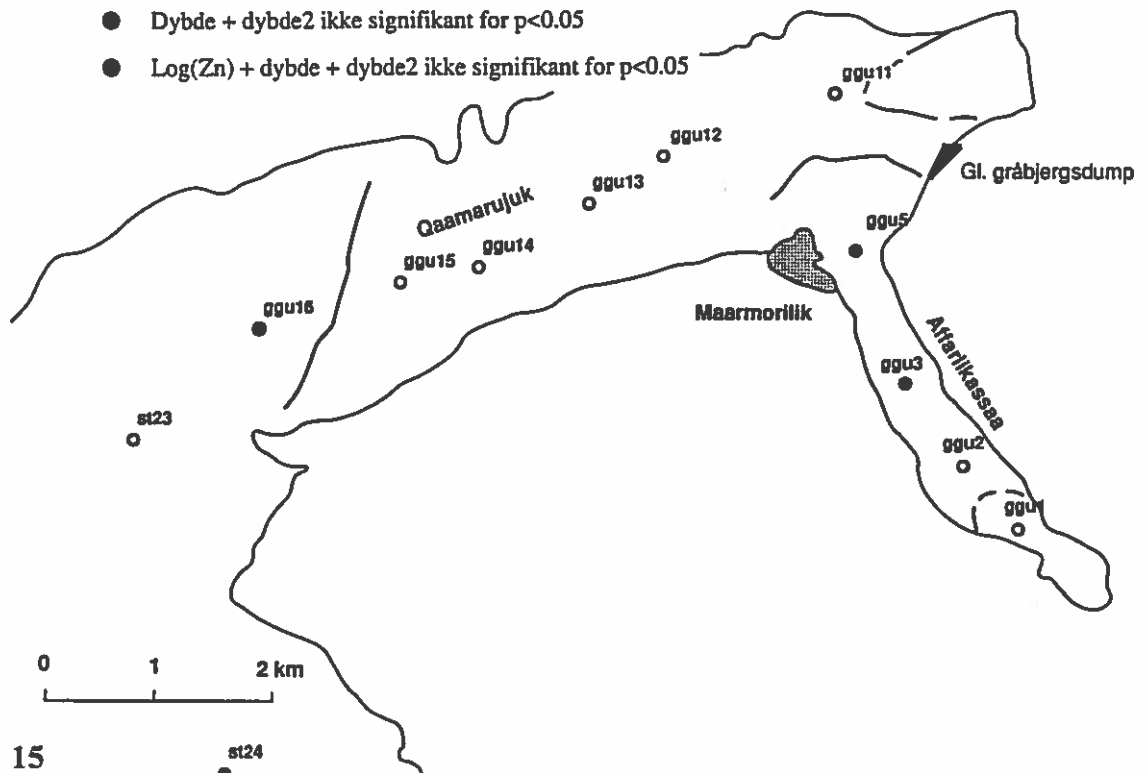


Fig. 15
 Inndeling af Qaamarujuk fjord på grundlag af de enkelte stationers afvigelser fra den statistiske undersøgelse.

st7. Afvigelser ses mod Affarlikassa fjordens munding, st11, st1 og st6, antydende eneffekt herfra. Stationerne lokaliseret fjernere fra indre Qaamarujuk fjord opfylder modellen, mens stationer (st23, st24 og st25) i ydre Qaamarujuk fjord giver afvigelser.

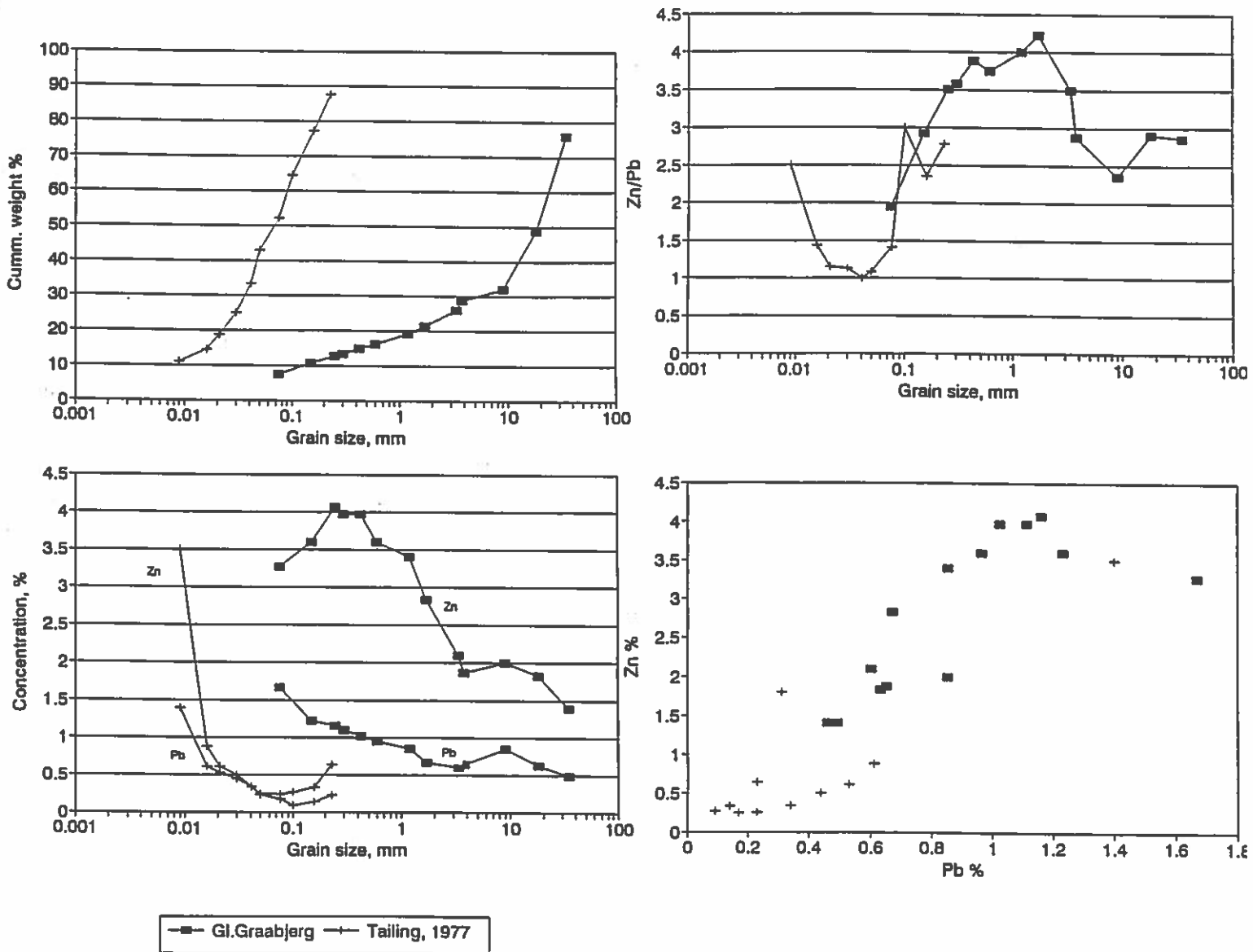
5.3 Metalfordeling i de antropogene sedimenter

Data fra Pedersen (1989) og Mathiesen (1979) muliggør en sammenligning af kornstørrelsesfordelingen og metalindholdet af affaldsbjerge (Gl. gråbjerg dump) og tailings. Kornstørrelsen er plottet på fig. 16a, hvoraf det fremgår, at 80 % vægt af gråbjerg sedimentet har en kornstørrelse større end 1.25 mm og 10 % vægt har en kornstørrelse mindre end 0.16 mm. Fra 1978 findes data over kornstørrelsesfordelingen i tailing-sedimentet, og af fig. 16a ses, at kornstørrelsesintervallet og variationen er væsentlig mindre end for gråbjerg. 11% vægt er mindre end 0.009 mm og knap 12% vægt er større end 0.23 mm.

De enkelte kornstørrelsesfraktioner er analyseret for indholdet af Pb og Zn. På fig. 16b ses fordelingen heraf. Pb indholdet er konsekvent svagt stigende jo mindre kornstørrelse partiklerne har, mens Zn har sit maximum i det analyserede interval ved en partikel størrelse omkring 0.25 mm. Jern (Fe) indholdet (ikke plottet), der er bundet som pyrit har maximum ved 0.7 mm (11.3%). For tailing ses også en markant stigning i metalindholdet jo finere partiklerne er, dog forekommer der et minimum omkring 0.1 mm.

For begge sedimenttyper, tailings og Gl. gråbjerg, forekommer der en generel stigning af zink med bly. Sammenhængen mellem Zn og Pb er plottet på fig. 16c. For Gl. gråbjerg ses, at begge elementer stiger lineært indtil et vist niveau, Zn 4% og Pb 1.15%, hvorefter Zn falder med stigende Pb.

Ved normalisering m.h.t. partikelstørrelsen ses for affaldsberget, at jo mindre kornstørrelse partiklerne har jo lavere er forholdet mellem Zn og Pb, se fig. 16d. For tailings-sedimentet har kurven et parabel lignende forløb og der ses en stigning i Zn/Pb forholdet jo finere partiklerne bliver. Endelig bemærkes, at indholdet af Pb og Zn i Gl.gråbjerg er væsentlig større end i tailings, samt at tailings sedimentet markant

**Fig. 16**

Karakteristik og sammenligning af de 2 antropogene kilder, Gl. gråbjerg dump og tailing. a) Kornstørrelsesfordeling i % vægt, b) Metalkoncentrationer i % for de enkelte kornstørrelsesintervaller. c) Zn/Pb forholdet som funktion af kornstørrelsesintervallet. d) Scatterplot af Zn og Pb koncentrationen i %. Lineær regression for Gråbjerg, $y = 2.23x + 0.837$, $R^2 = 0.56$. Tailing, $y = 2.33x - 0.103$, $R^2 = 0.75$.

er mere finkornet end Gl.gråbjerg. Kornstørrelsesfordelingen af Gl. gråbjergsdump er sandsynligvis et udmærket udtryk for den generelle størrelsesfordeling i samtlige dumpe, da affaldsbjergene er dannet under de samme processer. Fra 1982 blev der indført et forureningsregulerende påbud om, at nyetablering af dumpe, placeret i det fri maksimalt må indholde 0.1% Pb. Metalindholdet af Gl. gråbjergsdump kan derfor ikke sammenlignes med dumpe etableret efter 1982.

En sammenligning af de antropogene kilder (tailing og gråbjerg) og bundsedimenterne fra hhv. Affarlikassaa og Qaamarujuk fjord er udført ved lineær regressioner af Zn og Pb indholdet. Resultatet er vist i tabel 6. For fjordsedimenterne er data fra 1983, hvor minen var i drift og 1991 medtaget. Den primære sedimentkilde i Affarlikassaa var tailings og senere deponeringen af Gl. gråbjerg. Hældningskoefficienterne bestemt ved lineær regression af Zn og Pb for årsgennemsnittet af tailings i perioden 1973-1990, se bilag 5, samt metalindholdet relateret til kornstørrelsesfordelingen i tailings (1978) og metal-indholdet relateret til kornstørrelsesfordelingen i Gl. gråbjerg ses ved sammenligning med sedimenterne fra fjordbunden i Affarlikassaa at være forholdsvis ens. Sedimentet fra Qaamarujuk fjord har en markant lavere hældningskoefficient og ligner ikke gråbjerg, som tidligere var eksponeret til fjorden. Dette antyder et mere kompleks kildemateriale til beskrivelse af metalfordelingen i Qaamarujuk fjord.

	α	Intercept	R ²	n
Tailing, 1973-90	3.48	-2823	0.77	18
A-fjord, 1991	2.39	-851	0.96	59
Tailing, kornstr.	2.33	-1037	0.75	11
Gråbjerg, kornstr.	2.23	8365	0.56	14
A-fjord, 1983/84	1.94	-118	0.93	38
Q-fjord, 1983	1.48	57	0.87	51
Q-fjord, 1991	1.16	123	0.83	82
Indre Q-fjord 86	0.97	225	0.87	240

Tabel 6

Lineær regression af Zn og Pb, data fra 1983 og 1991 for fjordsedimenter, tailing og gråbjerg. Resultaterne er sorteret efter hældningskoefficient ($\alpha = \text{mg Zn/mg Pb}$). Intercept er skæring med y-aksen (mg Zn når mg Pb = 0).

Den generelle deskriptive statistik af tungmetal indholdet i sedimenterne for samtlige prøvestationer er vist i tabel 7. Zn/Pb indholdet ses i 1991 at være temmelig forskellig mellem Affarlikassa fjord og Qaamarujuk fjord. Af 1986 fremgår det også, at Zn/Pb

er mindst i overflade sedimentet.

Pb

	A, 91	Q, 91	Q, 0-1/86	Q, 86	Q, 83
n	59	82	20	240	51
Mean	3342.42	85.75	623.65	291.65	133.55
Median	2433.00	42.50	447.00	117.00	105.00
S.D.	3112.24	89.82	499.06	401.82	94.77
Skewness	.65	1.69	1.99	2.78	.75
Kurtosis	2.12	4.88	6.96	12.31	2.32
Range	36-10036	18-369	40-2262	14-2377	30-332

Zn

	A, 91	Q, 91	Q, 0-1/86	Q, 86	Q, 83
n	59	82	20	240	51
Mean	7132.57	221.87	823.93	507.33	254.78
Median	3161.00	171.50	740.00	385.00	219
S.D.	7604.73	114.36	416.21	445.45	149.79
Skewness	.80	1.68	1.38	1.76	1.30
Kurtosis	2.07	5.63	4.45	7.27	4.01
Range	196-23658	108-634	253-1925	51-2781	96-658

Zn/Pb

	A, 91	Q, 91	Q, 0-1/86	Q, 86	Q, 83
n	59	82	20	240	51
Mean	2.33	3.90	1.81	2.94	2.24
Median	2.27	4.04	1.43	3.20	2.19
S.D.	1.13	1.49	1.28	1.21	.61
Skewness	1.10	-.31	2.42	-.09	.02
Kurtosis	3.77	1.88	8.91	1.92	1.81
Range	.83-5.44	1.11-6.22	.73-6.31	.70-6.31	1.15-3.26

Tabel 7. Univariant statistik for Pb- og Zn-indhold i Affarlikassa og Qamarujuk fjord i hhv. 1991 og 1986. 0-1/86 er indholdet i overflade-sedimentet.

6. DISKUSSION

Sædvanligvis foretages i miljøundersøgelser en kemisk opdeling af den totale koncentration af et sporelement i en detrital og non-detrital fraktion, da indikationer på, hvor elementet er placeret i sedimentet og transportvejen kan udledes. Ligeledes fås oplysninger om elementets potentielle rådighed for biota/organismer (Loring, 1978).

Den detritale komponent er hovedsageligt placeret i silikat-, sulfid og oxidmineralers krystalgitre og sekundære uopløselige stoffer og transporteres som klastiske partikler og sedimenteres med partikler af tilsvarende kornstørrelse/densitet og samme rate. En høj flux af klastiske mineralkorn, f.eks. kvarts vil da have en fortyndende effekt.

Den non-detritale komponent er den del af bjergarten eller sedimentet som er opløselig i en svag syre, f.eks. eddikesyre. Der er udviklet en lang række sofistikerede ekstraktionsteknikker til bestemmelse af hvilken fase, metallet er tilknyttet, f.eks. (Arakel & Hongjun, 1992), som ekstraherer 5 faser. Vandopløst fase, udskiftelig fase (hovedsageligt tilknyttet lerminerale), karbonat fase, bundet til primær og sekundær karbonat, fasen tilknyttet Fe-Mn oxider, den organisk fase og sluttelig residual fasen.

Den non-detritale komponent udgør en vigtig del, på trods af den sædvanligvis lille vægtfraktion komponenten udgør, grundet det biogeokemiske potentiale. Komponenten dannes ved leaching/udludning af den oprindelige kildebjergart og ligeledes fra eventuelle antropogene/industrielle kilder. Sporelementet er blevet indkorporeret i komponenten under forvitningsprocesser, transporten i vandmasserne eller i aflejringsmiljøet, hvor elementet enten har været opløst eller har dannet en kolloidal form og blevet adsorberet til det suspenderet materiale, eventuelt udfældet herpå eller ekstraheret af biota.

Spredningsmekanismerne i havvandet er komplekse og betinget af interaktioner af fast og opløst materiale, transport og aflejring. De overordnede mekanismer er: 1. opløsning af mineraler. 2. Dannelse af den faste fase (nukleation, udfældning, krystalvækst) og 3. Redox-processer ved faststof-væske grænsefladen.

Generelt er koncentrationen af et tungmetal i den partikulære fase væsentlig større end metallets koncentration i havvandet. Det suspenderede partikulære materiale (SPM) akkumulere sporelementet. Den væsentligste spredningsproces af tungmetaller er adsorption på suspenderede partikler og kolloider. Reaktionen kan beskrives som intermolekulære vekselvirkninger mellem det opløste stof og den faste fase. De inkluderer bl.a. overflade kompleksation (overflade hydrolyse), elektriske vekselvirkninger (større afstande end kemiske kræfter), hydrofobisk ekspulsion (f.eks. olie), non-polære organiske stoffer (Stumm, 1992). Adsorptions reaktionerne modificerer adsorbantens overfladeladning, hvilket medfører ændringer i aggregations dannelse og derved transportevnen.

6.1 Malmdannende mineraler

Sulfidmineraler er karakteriseret af en høj strukturel diversitet. De følgende sulfider er alle diamagnetiske halvledere og de mineralogiske oplysninger er primært fra Tossel & Vaughan (1992), Deer et al. (1983) og Weast (1977).

Galena (PbS) er et kubisk mineral med en perfekt spaltelighed langs c-aksen og har tilsvarende struktur som halit (NaCl). Mineralen er blødt, hårdheden er 2½ og galena vil let disintegreres under abrasive processer, f.eks. sedimenttransport, knusning. Opløselighedsproduktet er ca. $7 \cdot 10^{-29}$. Substitution af andre metaller er ikke udpræget, da de sædvanligvis forekommer som inklusioner. Densiteten er moderat høj, 7.5 g/cm³. Nedbrydnings- og forvittringsprodukter under oxiske forhold er cerrusit (PbCO₃) og anglesit (PbSO₄).

Sphalerit, zinkblende (ZnS) er ligeledes kubisk og med en tetraedisk symmetri. Strukturen er løsere end PbS, hvilket medfører en mindre densitet 4.1 g/cm³, hårdheden er 3½-4, og der forekommer perfekt spaltelighed. Sphalerit kan indeholde op til 4-5% Cd eller Mn som substitution/fast opløsning, men sædvanligvis er Cd indholdet af størrelsesordenen 0.1-0.5%. Isostrukturel forekommer hawleyit eller greenockit (CdS). Opløselighedsprodukterne er h.h.v. $2.5 \cdot 10^{-22}$ og $1 \cdot 10^{-28}$.

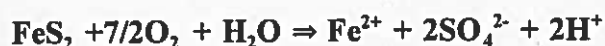
Pyrit (FeS₂) er ligeledes kubisk, men med oktaederisk koordineret jern og en dårlig

spaltelighed. Densiteten er ca. 5.0 g/cm^3 . Hårdheden er omkring 6-6½. Opløselighedsproduktet er ca. $2.7 \cdot 10^{-19}$ (beregnet efter Weast (1977)). Substitution kan foregå med Ni og Co, men sædvanligvis forekommer sporelementer som inklusioner. Nedbrydningsprodukter under oxiske forhold er jernhydroxider og hydrater. Ligeledes dannes der sulfat.

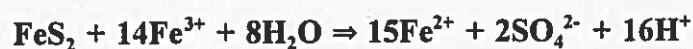
6.2 Oxidation og opløsning af sulfider

I et iltholdigt miljø vil alle sulfider oxideres og opløses, selvom de termodynamisk er meget stabile. Opløselighedsprodukterne er sædvanligvis temmelig lave. Pyrit udgjorde en væsentlig bestanddel af de antropogene sedimenter, ca. 25% af tailings og 6% af Gl. gråbjerg. I det oxiske miljø vil pyrit oxideres og opløses og derved danne jernhydroxider og hydrater. Generelt vil oxidationen forløbe ad 3 veje. Oxidation ved ilt, oxidation med ferrijern Fe^{3+} og bakteriel betinget oxidation (Moses et al., 1987).

Reaktion af pyrit med opløst ilt i vand:



Reaktion af pyrit med ferrijern:



Processerne involvere flere intermediære sulfoxy anioner, f.eks. sulfit SO_3^{2-} og thiosulfat $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. For stigende pH ses en stigende oxidationsrate af pyrit af vandigt opløst ilt og en stigning i stabiliteten for intermedianterne. I et naturligt miljø vil intermedianterne ikke ophobes, men oxideres til sulfat da væske strømmingen langs mineraloverfladen generelt er langsom og mængden af oxidanter er tilstrækkelig stor. Ferrijern, Fe(III) er svagt opløselig ved høj pH, men er en mere aggressiv oxidant end opløst ilt, grundet fraværet af intermedianterne.

Moses et al. (1987) undersøgelser af sphalerit oxidation viser, at thiosulfat er en væsentlig sulfoxy anion i sulfat produktionen, hvilket understreger, at strukturen af bindingen i sulfidmineralet er af mindre betydning.

Overfladestrukturen er grænsefladen mellem mineralet og omgivelserne og har derfor stor betydning for sulfidens stabilitet eller mangel på samme. Galena og pyrit er undersøgt ved skanning tunneling mikroskopi (Eggleston & Hochella, 1990), hvor svovl atomerne i galena er visualiseret. På overfladen ses dannelse af PbO og PbOH, mens oxideret S ikke ses, grundet en hurtig mobilisering til væsken. Oxidation af pyrit forløber hurtigere end oxidation af galena (Brion, 1980).

6.3 Sorptionsprocesser

Davis et al. (1987) fremhæver 3 principielle processer for vekselvirkningerne eller reaktionerne mellem opløst materiale og faststof: Absorption, adsorption og overfladeudfældning. Dersom processen ikke kendes benyttes termen sorption.

Absorption er fast blandbarhed (solid solution) ved diffusion af det opløste materiale og det faste stof, mens adsorption og overfladeudfældning foregår ved de samme typer bindinger og afvigelsen er karakteriseret af, at adsorption er 2 dimensionel, mens overfladeudfældningen er 3 dimensionel.

Den involverede kinetik i forbindelse med adsorption er transport af ioner/kationer til overfladen af adsorbenter, hvilket foregår som konvektion eller molekylær diffusion, hæftning til overfladen, overflade diffusion, dehydrering og etablering af binding med overfladens bestanddele (Stumm, 1992).

6.4 Adsorbenter og ligander

Kolloider er sædvanligvis defineret på grundlag af deres størrelser (1nm til 1 μm) og forekommer i havvand i et stort antal (10^6 cm^{-3}). Partikelstørrelsen er en af de styrende mekanismer for adsorption. Ofte ses en berigelse af ler/silt fraktionen med antropogene sporelementer, hvilket er relateret det store specifikke overfladeareal som fraktionen har. Imidlertid viser undersøgelser af Krumgalz et al. (1992), at grov fraktionen $> 0.25 \text{ mm}$ kan beriges med sporelementer, hvilket forklares med dannelse af agglomerater af små partikler. Ligeledes kan der udfældes coatings af f.eks. oxider på store partikler (Stumm, 1992).

Goethit ($\alpha\text{FeO}\cdot\text{OH}$) er en sandsynlig adsorbant, grundet det høje indhold af pyrit. Goethit forekommer sædvanligvis meget finkornet og som coatings på andre partikler. Adsorptionsevnen stiger ved faldende pH. Ved neutral pH er 100% Pb og Cd adsorberet, mens 50% Zn stadig er mobilt som Zn^{2+} (Kooner 1993).

Undersøgelser af calcits evne til at virke som adsorbant for cadmium er udført af Davis et al. (1987) og for zink af Zachara et al. (1988). For Cd ses et fald i den adsorberede evne ved stigende pH og den langsomme reversibilitet antyder, at Cd substituere Ca i calcit. Zn adsorberes hurtigt og foregår ved udskiftning af overfladebundet Ca^{2+} med Zn^{2+} og ZnOH^+ .

Sulfider er også glimrende adsorbenter for kationer (Rönngren et al. 1991). Mekanisk nedbrudte metalsulfider har amfoterisk adfærd i havvandet og optagelsen af ligander/bivalente kationer er pH afhængig. Opløseligheden af sulfiderne har betydning vedrørende om transitionsmetallet adsorberes eller udfældes på sulfidoverfladen. I sulfidselskabet ved Maarmorilik er rækkefølgen af opløselighedsprodukterne følgende: $\text{FeS}_2 > \text{ZnS} > \text{CdS} > \text{PbS}$, hvilket medfører Zn adsorberes på hawleyite og galena. Opløselighedsproduktet afspejler ligeledes metalionernes chalkofile natur. Undersøgelser af Fuge et al. (1993) af Zn og Cd sulfider i bjergartsaffald fra kulminer viser, at CdS ikke forvitte så nemt som ZnS og vil beriges i forhold til Zn i de undersøgte jordbundsprofiler. ZnS oxideres sandsynligvis til den letopløselige Zn-sulfat.

Undersøgelser af Whitfield & Turner (1980) redegør for blyindholdet i havvand ved $\text{pH} = 8$. Størstedelen af bly findes som karbonat (cerrusit) PbCO_3 , i alt 55%, PbCl_2 udgør 11% og 10% udgøres af ligand komplekset $\text{Pb}(\text{CO}_3, \text{Cl})^-$. Kun 2% findes som Pb^{2+} . Ved stigning i alkaliniteten (f.eks. tilsætning af kalk) til $\text{pH} = 10$, findes ingen frie bly ioner. Blyhydroxid $\text{Pb}(\text{OH})_2$ (mere korrekt vandholdig blyoxid $\text{PbO} \cdot \text{H}_2\text{O}$, Mortimer, 1983) udgør 29%. $\text{Pb}(\text{CO}_3, \text{OH})^-$ ca. 25%. Cerrusit indholdet er faldet til 15% og $\text{Pb}(\text{OH})^+$ til ca. 13%.

6.5 Pb og Zn transportveje i det sedimentært miljø

De antropogene sedimenter f.eks. tailing og gråbjerg er aflejringer, som er udsat for

forskellige geologiske processer, der er afhængige af det pågældende miljø, som sedimentet er aflejret eller deponeret i.

Tailingsedimenter er aflejret i et oxisk, moderat til højalkalint (tilsætning af kalk) marint miljø med pH varierende fra 8-10 i tailing-suspensionen. Gråbjergene er aflejret i et kontinentalt meteorisk miljø i den vadose zone (over grundvandsspejlet), hvor aeoliske og fluviale processer står for den primære mekaniske forvitring. Gl. gråbjerg dump var ligeledes eksponeret til en marinflux grundet placeringen i tidevandszonen. Her medvirkede kysterosion ligeledes til den mekaniske forvitring, grundet omlejring, som medførte en mekanisk abrasion af sedimentet.

Undersøgelser af Wiggering (1993) af affaldsdumpe fra kuludvinding viser, at i løbet af få år er pyrit oxideret i den øverste meter af sedimentet, hvor den væsentligste proces er bakteriel katalyseret oxidation. Bakteriel oxidation af sulfider er begunstiget af høj temperatur og lav pH (Strömberg & Banwart, 1994). Dette forekommer dog ikke sandsynligt for gråbjergdumpenes vedkommende, da temperaturen er ugunstig og pH vil forblive svag alkalisk, grundet bufferkapaciteten af det store marmorindhold, som hindrer en udpræget syredannelse.

Ved betragtning af Zn/Pb på fig. 11, ses at en del af det aflejrede sediment ud for Gl. gråbjerg dump har en detrital oprindelse, når der sammenlignes med kornstørrelsesfordelingens metalindhold, fig. 15c. Dette udelukker dog ikke, at der sker en oxidation af sulfiderne i dumpen og på havbunden.

Ved antagelse af, at Zn/Pb i det aflejrede sediment har været nogenlunde konstant gennem årene, kan der fra plottene fig. 17a udledes, at mængden af bly falder ned gennem sedimentet relateret til zink. (Zn/Pb forholdet vokser fra ca. 1 i overfladen til ca. 6). Dette må betyde, at der sker en opblanding af sedimentet efter aflejring eller en evt. minimal opløsning af bly. Ved sammenstilling af opløselighedsprodukterne for de respektive sulfider ($PbS < ZnS$), karbonater ($PbCO_3 < ZnCO_3$) og sulfater ($PbSO_4 < ZnSO_4$) forekommer det sandsynligt, at zink primært er bundet som sulfid, mens en del af bly indholdet er relateret en non-detrital fase, karbonat eller sulfat.

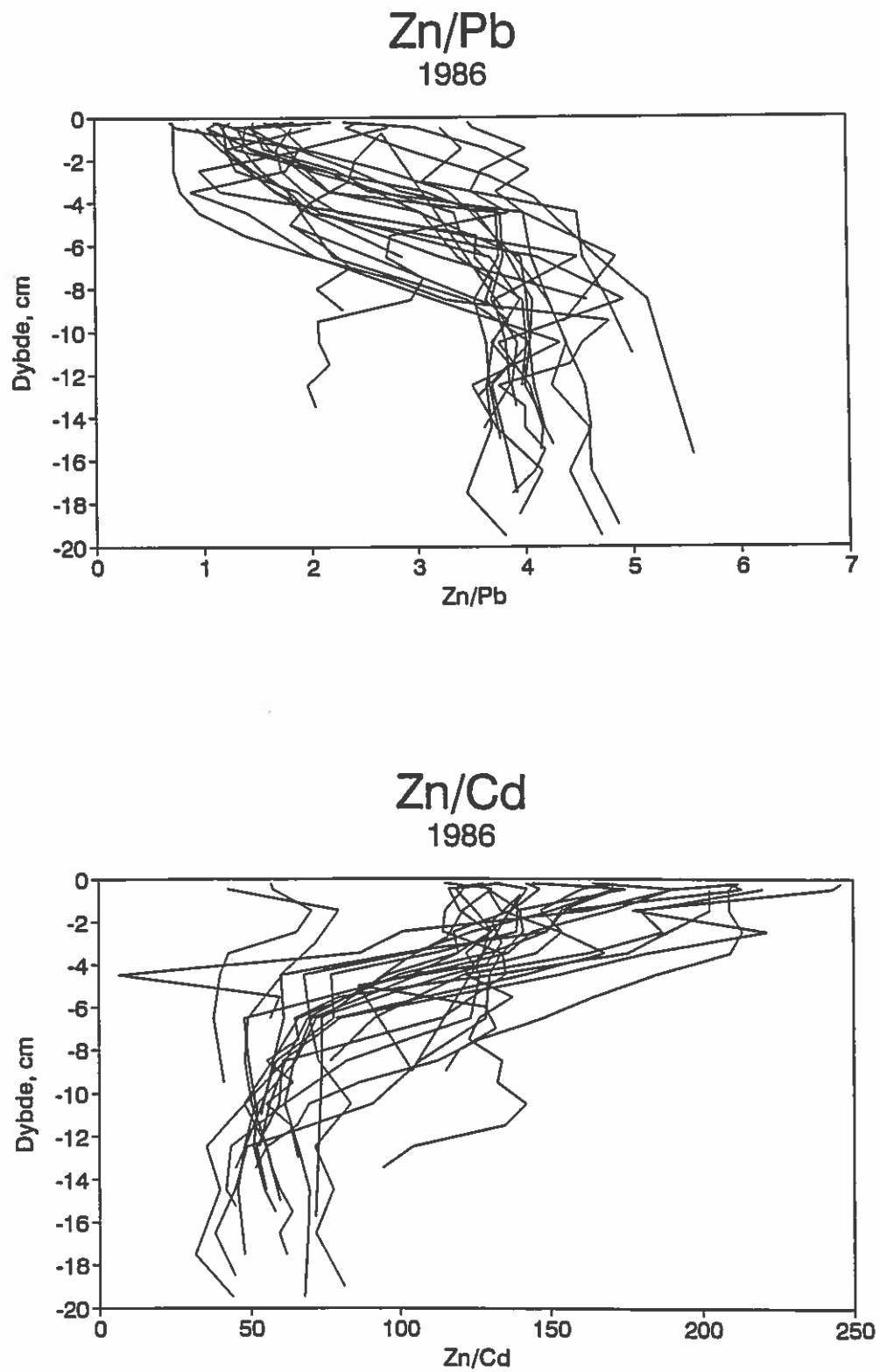


Fig. 17
Tungmetal variation med dybden i sedimentprofiler fra 1986, a) Zn/Pb, b) Zn/Cd.

Af fig. 7b ses endvidere, at der i Affarlikassaa fjord er en forsinkelse i opblandingen af sedimentet. Forholdet mellem Zn og Pb vokser langsommere, hvilket kan skyldes den større akkumuleringsrate, som medfører, at eksponeringstiden af sedimentet på havbundet bliver mindre. En alternativ forklaring er, at det hovedsageligt er en non-detrital fase af Pb, der sedimentere i Qaamarujuk fjord; mens andelen af Pb bundet som sulfid i Affarlikassaa er relativ større.

Sedimentprofilerne fra 1991, fig. 4ab og 6ab viser en stadig stigning i mængden af Pb op mod havbundet, mens Zn indholdet er svagt faldende. Dette kan ligeledes antyde en svag diffusion af Pb op igennem profilet, samt en reduktion af sulfid sedimentation. Ligeledes kan en fortsat cerrusit sedimentation fra de deponerede aflejringer forekomme, grundet omlejring. Havvandets indhold af zink i 1992 (Asmund, 1993) er en størrelsesorden større end bly, hvilket antyder, at zink lettere opløses i vandet, (frigives fra havbunden), mens bly sandsynligvis bliver genaflejret.

Ved betragtning af Zn/Cd, se fig. 17b ses et fald i forholdet fra ca. 250 til 50 ned gennem sedimentet. Cadmium bliver beriget i forhold til Zn, som opløses til havvandet, hvilket indebærer oxidation af sphalerit. Cd er evt. bundet som CdS, da opløselighedsproduktet er mindre.

Støvets karakteristika er betinget af de forskellige kilder. Dels fra udskibning af koncentrat, hvor koncentrationen er bestemt af de primære sulfider. En del støv er karakteriseret af den finkornede fraktion af kornstørrelsesfordelingen af gråbjerg. På landjorden er materialet udsat for et oxisk, svagt acidisk meteorisk miljø. I havet et moderat alkalint og oxisk miljø.

Undersøgelser fra september 1982 (Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1972-87, 1988) af den detritale og non-detritale komponent af slemmeprøver fra tidevandszonen i det indre af Qaamarujuk fjord viste, at Pb har klart den største andel af metalindholdet i den non-detritale komponent, fra 2-66%, mens Zn varierer fra 1-17%. Cd fra 1-11%. Om hvorvidt slemmeprøverne i tidevandszonen er repræsentative for havbundssedimenterne er dog tvivlsomt, da sedimentet nødvendigvis hyppigt eksponeres.

neres til en ferskvands flux, grundet nedbør ved lavvande. Tilsvarende havvandsundersøgelser viste, at den overvejende del af metalforekomsterne findes i opløst form. Zn ca. 51%, Cd 71% og Pb 57%, mens det suspenderede partikulære materiale (SPM) havde en detrital komponent med et indhold på ca. 52% for Zn, Cd 17% og Pb 27%.

En anden undersøgelse af metalindholdet i SPM (Loring & Asmund, 1989) viser tydeligt, at bly primært findes i den non-detritale fraktion (80-99%). Zink og cadmium udgjorde henholdsvis (14-29%) og (10-26%) afspejlende deres samhørighed. Bly transporteres primært som karbonat eller sulfat, mens zink og cadmium transporteres som sulfid.

Effekten af tungmetal forekomsterne, i fjordene omkring Maarmorilik, på biota er undersøgt af f.eks. Riget, Johansen & Asmund (1993a), Riget, Johansen & Asmund (1993b) og Loring & Asmund (1989), hvoraf det fremgår, at indholdet af bly i muslinger ligger over den anbefalede grænseværdi (2mg/kg vådvægt) fra levnedsmiddelbestyrelsen (1981), og det frarådes at fortære muslinger fra området. Højere stående organismer har også forhøjede værdier af bly, men mængden er under, hvad der forventes at være skadelig for konsum.

7. SAMMENFATNING

Minedriften ved Maarmorilik resulterede i, at fjordbundssedimenterne blev kontamineret af tungmetallerne, zink, bly og cadmium. De 2 væsentligste antropogene sedimenter var opberedningssandet (tailings) og gråbjerg dumpene. Gråbjerg er et væsentligt grovere sediment end tailings, hvilket sedimentologisk og geokemisk betyder, at potentialet for resuspension og oxidation/opløsning er mindre, således sedimentet er mere stabilt. Koncentrationen af zink og bly i de tidligst etablerede gråbjerge er væsentlig større end i tailings. Den finkornede del af de antropogene sedimenter er karakteriseret af et lavt Zn/Pb. For Gl.gråbjerg er $Zn/Pb < 2$ og for tailing er forholdet omkring 1-2.

Disse sedimentkilder er/var eksponeret til forskellige geologiske miljøer, som påvirker stabiliteten af sedimentet. Det antropogene sediment (tailings) input i Affarlikassaa fjord afgav væsentlige metal-mængder til havvandet grundet oxidation og opløsning af sulfiderne i et marin oxisk miljø. Ialt blev ca. 8 millioner tons tailing indholdende ca. 20.000 tons bly og 50.000 tons zink udledt i Affarlikassaa fjord gennem perioden fra 1973-90.

Gråbjergene blev deponeret på landjorden (et kontinentalt meteorisk vadost miljø), hvor de udsættes for ferskvands gennemstrømning (nedbør) og aeoliske (vinderosion) processer. Gl. gråbjerg dump var placeret i tidevandszonen og blev derfor også udsat for kysterosive processer, hvilket medførte en øget mobiliseringen af sulfiderne. Kombinationen af en flux af både ferskvand og havvand har utvivlsomt medført en hurtigere oxidation og mobilisering af sulfiderne i Gl.gråbjerg.

Den tidsmæssige udvikling af forureningen i sedimenterne fra Affarlikassaa fjord viser en markant stigning i metalindholdet allerede fra begyndelsen af minedriften, grundet udledningen af tailing. Resultaterne fra 1991 er påvirket af dumpningen af Gl.gråbjerg i 1990, men der forekommer en reduktion af metalkoncentrationen i den inderste del af fjorden. I Qaamarujuk fjord er forureningen moderat stigende i 70'erne og bliver forøget i 80'erne. Efter lukningen af minen er der sket et svagt fald i forureningen. Jo

større afstand fra Maarmorilik jo lavere forekommer indholdet af metal at være.

Ved undersøgelse af metalforekomsterne i sedimentprofilerne forekommer en veldefineret korrelation mellem zink og cadmium, mens variationen af bly er underlagt andre mekanismer og afviger herfra. Zink bundet som ZnS er det mest mobile metal, grundet dets mindre chalkofile natur. Cadmium indholdet er primært relateret til zink indholdet og der forekommer en berigelse ned igennem sedimentet, antydende en association mellem zinkblende og hawleyit (CdS) eller fast opløsning af Cd i ZnS.

Havvandsundersøgelser har vist, at mængden af opløst zink i havvandet er ca. 1 størrelsesorden større end indholdet af opløst bly efter nedlukningen af minen. Ligeledes, at bly primært er tilknyttet en non-detrital fase. Tilførslen af bly til havvandet fra sedimentet sker formodentlig primært som opløsning af karbonat og sulfat, mens zink frigives i anseelige mængder fra havbunden ved oxidation af sphalerit, som medfører dannelse af letopløselig zinksulfat.

Grundet det høje indhold af pyrit i tailingsedimentet, er der et stort potentiale for, at goethit, omdannelsesprodukt betinget af pyrit oxidation, har fungeret som en effektiv adsorbant. Ligeledes cerrusit (blykarbonat) og adsorption af ligand komplekser af Pb hydroxider må formodes at være de metalspredende kolloider, som under den næsten årlige opblanding har tilført tungmetaller til Qaamarujuk fjord.

Kombinationen af variografi, kriging og generel liniær modellering muliggør en inddeling af det kontaminerede sediment i området. Ved bestemmelse af den rumlige fordelingskorrelation af metallerne i hhv. overfladesedimentet (0-1cm) og det totale sedimentprofil kan den geografiske fordeling af tungmetallerne i indre Qaamarujuks sedimenter henføres til 3 kildeområder. Udmundingen af Affarlikassaa fjord medfører primært en forøget tilførsel af zink. Gl. gråbjergdump tilfører primært bly, hvilket også dokumenteres ved sedimentationen af finkornet (detritalt?) materiale foran dumpen, når Zn/Pb vurderes. Ud for Wegener elven, ses der primært en berigelse af zink og her har også sedimentationsraten sit maximum. Der foregår en opblanding af sedimenterne fra de forskellige kilder grundet den regionale hydrografi, der udtrykker sig ved en

NØ-gående tidevandsinduceret strøm. I 1986 var mængden af antropogent metal i sedimenterne i den indre del af Qaamarujuk fjord ca. 150 tons zink, 90 tons bly og 2 tons cadmium.

Som konsekvens af minedriftens ophør vil sedimentationsraterne i fjordene mindskes, hvilket forlænger eksponeringen og opløsningspotentialet af de kontaminerede bundsedimenter. Den recente sedimentation vil dog gradvist medføre en udjævning eller opblanding af det kontaminerede sediment.

Flytningen af Gl. gråbjergdump til Affarlikassaa fjord må formodes at have en reducerende effekt på opløsningen af sulfiderne og aflejringen af de finkornede metalholdige sedimenter foran dumpen. Ligeledes medførte deponeringen af Gl. gråbjerg, at en del af tailings sedimentet ikke længere er eksponeret til havvandet og kun en evt. bioturbation kan medføre en udvaskning af tungmetaller fra tailings sedimentet. Koncentrationen af metal i Gl.gråbjerg er dog væsentlig større end i tailings sedimentet, men formodes ikke at være så mobil, grundet sedimentets mere grovkornede beskaffenhed.

På nærværende tidspunkt forekommer det ikke muligt at vurdere en evt. rehabiliteringshastighed i området. Der må forventes en stadig tilførsel af tungmetal fra Wegener elven som vil aflejres i den nordlige del af indre Qaamarujuk fjord.

REFERENCER

- Arakel, A.V. & Hongjun, T. 1992: Heavy metal geochemistry and dispersion pattern in coastal sediments, soil and water of Kedron Brook floodplain area, Brisbane, Australia. *Environmental Geology and Water Science*, vol. 20, no. 3. pp.219-231.
- Asmund, G. 1993: Havvandsundersøgelser ved Maarmorilik, september 1992. *Grønlands Miljøundersøgelser*, maj 1993. 18 p.
- Atteia, O., Dubois, J.-P. & Webster, R. 1994: Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. *Environmental Pollution* vol. 86. pp. 315-327.
- Bawiec, W.J. & Grundy, W.D. 1992: Computer-generated surfaces and grids of the geometry, rock type, and chemistry of a bedded mineral deposit. In *Computer modelling of geologic surfaces and volumes* (Eds. Hamilton, D. E. & Jones, T.A). AAPG Computer applications in geology, no.1. pp. 37-46.
- Bondam, J. 1978: Recent bottom sediments in Agfardlikavsa and Qaumarujuk fiords near Marmorilik, West Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, vol. 27. Special issue. pp. 39-45.
- Box, G.E.P. & Cox, D.R. 1964: The analysis of transformations. *Journal of Royal Stat.Soc. B*, 26, pp. 211-252.
- Brion, D. 1980: Etude par spectroscopy de photoelectrons de la degradation superficielle de FeS₂, CuFeS₂, ZnS et PbS a l'air dans l'eau. *Applied Surface Science*, vol 5. pp. 133-152.
- Carroll, R.J. & Ruppert, D. 1984: Power transformations when fitted theoretical models to data. *Journal Am. Stat. Assoc.* 79, pp. 321-328.
- Davis, J.A., Fuller, C.C. & Cook, A.D. 1987: A model for trace metal sorption processes at the calcite surface: Adsorption of Cd²⁺ and subsequent solid solution formation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 51, pp. 1477-1490.
- Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J. 1983: An introduction to the rock forming minerals. 14th impression. Longman Group Limited. 528 pp.
- Eggleston, C.M. & Hochella, Jr., M.F. 1990: Scanning tunneling microscopy of sulfide surfaces. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol 54, pp. 1511-1517.
- Englund, E. & Sparks, A. 1988: Geo-eas. Geostatistical environmental assessment software User's guide. Environmental monitoring systems laboratory office of research and development. U.S. Environmental protection Agency Las Vegas, Nevada 89193-3478.

- Escher, A. & Pulvertaft, T.C.R. 1976: Rinkian mobile belt of West Greenland. *Geology of Greenland*, Copenhagen: Geological Survey of Greenland. pp 105-119.
- Fuge, R., Pearce, F.M., Pearce, N.J.G. & Perkins, W.T. 1993: Geochemistry of Cd in the secondary environment near abandoned metalliferous mines, Wales. *Applied Geochemistry*. Supplementary issue no.2. pp. 29-35.
- Garde, A.A. & Pulvertaft, T.C.R. 1976: Age relations of the Precambrian Marmorilik Marble Formation, Central West Greenland. *Rapp. Grønlands Geologiske Undersøgelse*. 80. pp. 49-53.
- Henderson, G. & Pulvertaft, T.C.R. 1967: The stratigraphy and structure of the Precambrian rocks of the Umanak area, West Greenland, *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*, vol. 17. pp. 1-20.
- Huang, W., Campredon, R., Abrao, J.J., Bernat, M. & Latouche, C. 1994: Variation of heavy metals in recent sediments from Piratininga Lagoon (Brazil): interpretation of geochemical data with the aid of multivariate analysis. *Environmental Geology*, vol. 23. pp. 241-247.
- Isaaks, E.H. & Srivastava, R.M. 1989: *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press. p. 561.
- Isotopcentralen/ATV 1987: *Sedimentsakkumuleringsrater i Qaumarujuk Fjord*.
- Jean, G.E. & Bancroft, G.M. 1986: Heavy metal adsorption by sulphide mineral surfaces. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 50. pp. 1455-1463.
- Journel, A.J. & Huijbregts, C.J. 1978: *Mining geostatistics*: London, Academic Press. 600 p.
- Kooner, Z. 1993: Comparative study of adsorption behavior of copper, lead, and zinc onto goethite in aqueous systems. *Environmental Geology*, vol. 21. pp. 242-250.
- Krumgalz, B.S., Fainshtein G. & Cohen, A. 1992: Grain size effect on anthropogenic trace metal and organic matter distribution in marine sediments. *The Science of the Total Environment*, vol. 116. pp. 15-30.
- Kushnir, G. & Yarus, J.M. 1992: Modeling anisotropy in computer mapping of geologic data. In *Computer modelling of geologic surfaces and volumes* (Eds. Hamilton, D. E. & Jones, T.A) AAPG Computer applications in geology, no.1. pp. 75-91.

- Loring, D.H. 1978: Geochemistry of zinc, copper and lead in the sediments of the estuary and Guld of St. Lawrence. *Canadian Journal of Earth Science*, vol. 15. pp. 757-771.
- Loring, D.H. & Asmund, G. 1989: Heavy metal contamination of a Greenland Fjord system by mine wastes. *Environmental geology and water sciences*. vol 14, no 1, pp. 61-71.
- Loring, D.H. & Asmund, G. 1994 (in press): Major and trace-metal geochemistry of Greenland coastal and fjord sediments. *Marine Geology*
- Mathiesen, B. 1979: Afluftning af tailing. Marmorilik, Grønland. Vassdrags- og Havnelaboratoriet v. Norges Tekniske Høgskole. Trondheim. Fortrolig. 35 p. + 14 bilag.
- Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1972-1987. 1988: Grønlands Miljøundersøgelser, Grønlands Geologiske Undersøgelse, november 1988. 207 p.
- Mortimer, C.E. 1983: *Chemistry*, 5th edition. Wadsworth series in chemistry. 758 p.
- Moses, C.O., Nordstrøm, D.K., Herman, J.S. & Millis, A.Z. 1987: Aqueous pyrite oxidation by dissolved oxygen and by ferric iron. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol 51. pp. 1561-1571.
- Møller, J.S. 1984: Hydrodynamics of an arctic fjord: Thesis Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering (ISVA), Technical University of Denmark. Lyngby, Denmark. 197 p.
- Møller, J.S. 1986: Partikelspredningen fra waste dump 2 og 3 ved Maarmorilik. Notat. DHI. 7 p.
- Nielsen, B.L. 1976: Economic minerals. In: *Geology of Greenland*. Escher & Walt (Eds.). Copenhagen: Greenland Geological Survey. pp. 461-486.
- Pedersen, K., Hansen, H.J. & Møller, J.H. 1987: Bestemmelse af de akkumulerede bly- og zinkmængder i Affarlikassaa- og Qaamarujuk-fjordenes overfladesedimenter 1973-86. Statusrapport. Greenex A/S. 32 p.
- Pedersen, K. 1989: Afsluttende miljøforanstaltninger ved Maarmorilik. Foreløbig udgave. Greenex Rapport. 23-01-1989.
- Recipientundersøgelse 1974 Agfardlikavsa Qaumarujuk. Grønlands Geologiske Undersøgelse, Grønlands Fiskeriundersøgelse og Institut for Petrologi, Københavns Universitet. 108 p.
- Riget, F., Johansen, P. & Asmund, G. 1993a: Analyseresultater for blåmusling indsamlet ved Maarmorilik og i Ummannaq-fjorden september 1993. Grønlands Miljøundersøgelser, maj 1994. 33 p.

- Riget, F., Johansen, P. & Asmund, G. 1993b: Analyseresultater for fisk og rejer indsamlet ved Maarmorilik i 1993. Grønlands Miljøundersøgelser, maj 1994. 41 p.
- Rönngren, L., Sjöberg, S., Sun, Z., Forsling, W. & Schindler, P.W. 1991: Surface reactions in aqueous metal sulfide systems. 2. Ion exchange and acid/base reactions at the ZnS-H₂O interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 145. pp. 396-404.
- Searle, S.R. 1971: *Linear models*. New York, Wiley
- Strömberg, B. & Banwart, S. 1994: Kinetic modelling of geochemical processes at the Aitik mining waste rock site in northern Sweden. *Applied Geochemistry*, vol. 9. pp. 583-595.
- Stumm, W. 1992: *Chemistry of the solid-water interface. Processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems*. John Wiley & Sons, Inc. New York Toronto Singapore. 428 p.
- Tossel, J.A. & Vaughan, D.J. 1992: *Theoretical Geochemistry: Applications of Quantum Mechanics in the Earth and Mineral Sciences*. Oxford University Press.
- Weast, R. C. 1977: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. (Ed).
- Whitfield, M. & Turner, D.R. 1980: The theoretical study of the chemical speciation of lead in seawater. In: *Lead in the marine environment* (Eds. Branica, M. & Konrad, Z.) Pergamon Press. 1 ed. Oxford New York Paris Frankfurt. pp. 109-148.
- Wiggering, H. 1993: Sulfide oxidation - an environmental problem within colliery spoil dumps. *Environmental Geology* vol. 22. pp. 99-105.
- Zachara, J.M., Kittrick, J.A. & Harsh, J.B. 1988: The mechanism of Zn²⁺ adsorption on calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol 52. pp. 2281-2291.

BILAG 1

Oversigt af kemiske analyser

Sedimentdata, GM 1991

station	dybde	skive- tykkelse	Pb indhold	Zn indhold	Tørstof
	[cm]	[cm]	[mg/kg]	[mg/kg]	%
ggu1	-0,5	1	1909	1581	37,2
ggu1	-1,5	1	2369	2684	51,9
ggu1	-2,5	1	4160	7392	56,3
ggu1	-3,5	1	4833	9774	57,0
ggu1	-4,5	1	4549	9868	56,0
ggu1	-5,5	1	2207	5436	54,3
ggu1	-5,5	1	2178	5322	54,3
ggu1	-6,5	1	748	2106	52,8
ggu1	-7,5	1	384	1112	51,2
ggu1	-8,5	1	149	465	52,2
ggu1	-9,5	1	78	310	51,5
ggu1	-11	2	48	225	52,0
ggu1	-13	2	53	240	51,4
ggu1	-15	2	40	205	51,7
ggu1	-18	4	36	196	51,8
ggu2	-0,5	1	2433	2374	36,4
ggu2	-1,5	1	2295	2506	50,7
ggu2	-2,5	1	2901	3077	57,4
ggu2	-3,5	1	3304	4924	63,1
ggu2	-4,5	1	5676	12967	62,5
ggu2	-5,5	1	8806	20476	59,2
ggu2	-6,5	1	6283	14240	56,5
ggu2	-7,5	1	3912	9978	55,6
ggu2	-8,5	1	1859	5609	53,9
ggu2	-9,5	1	640	1986	52,2
ggu2	-11	2	269	853	51,2
ggu2	-13	2	112	416	50,5
ggu2	-15	2	62	266	50,4
ggu2	-17	2	40	213	50,1
ggu3	-0,5	1	6630	14592	65,0
ggu3	-1,5	1	7239	16925	73,0
ggu3	-2,5	1	7038	16204	72,9
ggu3	-3,5	1	6976	16439	72,5
ggu3	-4,5	1	6882	18151	73,9
ggu3	-5,5	1	6922	19475	72,6
ggu3	-6,5	1	7628	20027	73,8
ggu3	-7,5	1	7370	19519	76,2
ggu3	-8,5	1	6095	14165	70,9
ggu3	-9,5	1	7732	19500	74,0
ggu3	-10,5	1	8657	19574	74,7
ggu3	-11,5	1	9991	19515	72,7
ggu3	-12,5	1	10036	23658	77,0

Sedimentdata, GM 1991

station	dybde	skive- tykkelse	Pb indhold	Zn indhold	Tørstof
	[cm]	[cm]	[mg/kg]	[mg/kg]	%
ggu3	-13,5	1	9693	22286	74,4
ggu3	-14,5	1	4903	8832	72,0
ggu3	-14,5	1	5014	9240	72,0
ggu3	-15,5	1	2987	3725	72,2
ggu3	-16,5	1	2797	3161	74,6
ggu3	-17,5	1	3039	3946	71,2
ggu3	-18,5	1	3256	4439	73,7
ggu3	-19,75	3	3097	4348	74,7
ggu5	-0,5	1	1242	1322	54,2
ggu5	-1,5	1	1160	1242	56,8
ggu5	-2,5	1	879	1093	60,9
ggu5	-3,5	1	832	1228	60,7
ggu5	-4,5	1	872	1048	60,7
ggu5	-5,5	1	921	1170	62,2
ggu5	-6,5	1	442	665	60,9
ggu5	-7,5	1	540	938	63,7
ggu5	-8,5	1	407	695	64,0
ggu5	-9,5	1	608	1000	63,6
ggu5	-11	2	227	477	66,2
ggu5	-11	2	626	1064	66,2
ggu11	-0,5	1	367	408	53,4
ggu11	-1,5	1	369	464	56,8
ggu11	-2,5	1	335	496	59,4
ggu11	-3,5	1	299	629	63,8
ggu11	-4,5	1	273	634	66,9
ggu11	-5,5	1	163	450	68,4
ggu11	-6,5	1	141	417	65,1
ggu11	-7,5	1	99	318	66,6
ggu11	-8,5	1	65	230	66,4
ggu11	-9,5	1	49	192	66,2
ggu11	-9,5	1	50	192	66,2
ggu11	-11	2	44	186	67,6
ggu11	-13	2	35	162	69,5
ggu11	-15	2	28	138	72,1
ggu12	-0,5	1	262	365	44,5
ggu12	-1,5	1	265	389	49,2
ggu12	-2,5	1	256	399	53,7
ggu12	-3,5	1	125	332	55,5
ggu12	-4,5	1	99	267	56,1
ggu12	-5,5	1	63	211	57,4
ggu12	-6,5	1	32	167	58,3

Sedimentdata, GM 1991

station	dybde	skive- tykkelse	Pb indhold	Zn indhold	Tørstof
	[cm]	[cm]	[mg/kg]	[mg/kg]	%
ggu12	-7,5	1	34	166	57,8
ggu12	-8,5	1	31	164	58,4
ggu12	-9,5	1	29	157	58,8
ggu12	-11	2	30	157	60,5
ggu12	-13	2	28	152	61,3
ggu12	-15	2	27	142	63,6
ggu12	-17	2	28	140	65,6
ggu12	-19	2	27	136	65,7
ggu13	-0,5	1	260	333	49,0
ggu13	-1,5	1	266	380	50,4
ggu13	-2,5	1	185	400	57,0
ggu13	-3,5	1	91	266	56,9
ggu13	-4,5	1	75	221	54,3
ggu13	-5,5	1	49	184	54,4
ggu13	-6,5	1	41	177	54,0
ggu13	-7,5	1	37	175	54,9
ggu13	-8,5	1	33	166	55,4
ggu13	-9,5	1	34	164	54,6
ggu13	-11	2	31	158	54,8
ggu13	-13	2	29	151	55,4
ggu13	-15	2	25	136	58,0
ggu14	-0,5	1	157	261	46,0
ggu14	-1,5	1	153	267	47,5
ggu14	-2,5	1	122	280	51,4
ggu14	-3,5	1	85	249	53,9
ggu14	-4,5	1	39	164	54,4
ggu14	-5,5	1	42	165	55,1
ggu14	-6,5	1	33	151	56,7
ggu14	-7,5	1	28	136	59,8
ggu14	-8,5	1	25	135	61,1
ggu14	-9,5	2	23	128	62,0
ggu14	-11	2	23	132	62,8
ggu14	-13	2	18	112	65,0
ggu14	-15	2	19	111	65,5
ggu14	-17	2	18	109	66,9
ggu14	-17	2	18	111	66,9
ggu14	-19	2	18	108	67,2
ggu14	-21	2	19	114	66,8
ggu15	-0,5	1	139	254	43,6
ggu15	-1,5	1	130	269	49,9
ggu15	-2,5	1	92	253	55,0

Sedimentdata, GM 1991

station	dybde	skive- tykkelse	Pb indhold	Zn indhold	Tørstof
	[cm]	[cm]	[mg/kg]	[mg/kg]	%
ggu15	-3,5	1	71	220	54,5
ggu15	-4,5	1	48	190	54,8
ggu15	-5,5	1	55	199	57,3
ggu15	-6,5	1	45	176	54,8
ggu15	-7,5	1	43	177	58,1
ggu15	-8,5	1	37	167	56,6
ggu15	-9,5	1	31	153	57,7
ggu15	-11	2	27	142	60,5
ggu15	-13	2	22	128	62,5
ggu15	-15	2	23	130	62,4
ggu15	-17,25	2,5	19	118	63,2
ggu16	-0,5	1	165	258	73,3
ggu16	-1,5	1	134	278	66,5
ggu16	-2,5	1	72	231	71,1
ggu16	-3,5	1	52	188	62,8
ggu16	-4,5	1	43	170	60,3
ggu16	-4,5	1	43	161	60,3
ggu16	-5,5	1	46	168	58,4
ggu16	-6,5	1	40	158	58,9
ggu16	-7,5	1	36	156	59,5
ggu16	-8,5	1	31	143	59,4
ggu16	-9,5	1	25	135	59,5
ggu16	-10,5	1	24	135	59,6
ggu16	-10,5	1	24	134	59,6

Sedimentdata, Grenex A/S 1986

station	dybde	skive- tykkelse	Cd indhold	Pb indhold	Zn indhold	tørstof
	[cm]	[cm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
st1	-0,5	1	9,5	1043	1925	52,60
st1	-1,5	1	7,3	872	1479	56,40
st1	-2,5	1	7,2	782	1359	58,70
st1	-3,5	1	6,5	583	1140	65,10
st1	-4,5	1	5,3	307	700	64,70
st1	-5,5	1	3,9	87	310	66,10
st1	-6,5	1	3,3	60	213	65,90
st1	-7,5	1	3,1	55	204	65,90
st1	-8,5	1	3,3	50	182	68,50
st1	-9,5	1	2,9	48	185	67,10
st1	-10,5	1	3,1	46	170	68,60
st1	-11,5	1	2,7	44	170	68,40
st1	-13	2	2,5	46	164	84,70
st2	-0,5	1	7,6	937	983	54,18
st2	-1,5	1	8,4	903	1123	62,26
st2	-2,5	1	8,2	871	1256	61,46
st2	-3,5	1	6,9	690	1159	62,54
st2	-4,5	1	6,2	440	878	59,32
st2	-6,5	3	4	109	313	70,80
st3	-0,5	1	3,9	900	859	54,91
st3	-1,5	1	5,3	808	952	59,92
st3	-2,5	1	6	782	1123	64,17
st3	-3,5	1	5,9	566	960	67,12
st3	-4,5	1	4,7	270	571	68,33
st3	-6,5	2	3	85	274	68,83
st3	-8,5	2	3	50	229	69,23
st4	-0,25	0,5	4,8	1390	1014	48,96
st4	-0,5	1	4,9	1400	1025	55,82
st4	-1,5	1	5	1424	1046	55,13
st4	-2,5	1	5	1447	1067	54,44
st4	-3,5	1	5,8	1532	1215	53,01
st4	-4,5	1	8,1	1544	1496	60,77
st4	-5,5	1	11,4	1332	1872	61,47
st4	-6,5	1	11,5	835	1697	63,97
st4	-7,5	1	9,1	418	1151	63,18
st4	-8,5	1	6,2	213	698	66,01
st4	-9,5	1	4,6	83	397	66,58
st4	-10,5	1	4	61	277	70,08
st4	-11,5	1	4	59	261	70,64
st4	-12,5	1	3,6	53	199	70,15
st4	-13,5	1	3,6	51	204	69,26
st4	-14,5	1	3,3	49	196	68,99
st4	-15,5	1	2,9	44	184	68,70

Sedimentdata, Grenex A/S 1986

station	dybde	skive- tykkelse	Cd indhold	Pb indhold	Zn indhold	tørstof
	[cm]	[cm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
st4	-16,5	1	3,1	45	184	66,93
st4	-17,5	1	3,2	51	198	66,49
st5	-0,25	0,5	4,2	563	712	50,59
st5	-0,5	1	4,4	587	706	50,43
st5	-1,5	1	4,3	513	632	64,49
st5	-2,5	1	6	626	924	65,64
st5	-3,5	1	6,7	537	974	67,74
st5	-4,5	1	6,3	365	736	68,65
st5	-6,5	2	4,2	73	301	71,20
st5	-8,5	2	3,8	50	246	71,29
st5	-10,5	2	3,6	50	188	69,54
st5	-12,5	2	3,5	44	178	69,66
st5	-14,5	2	3,3	43	179	66,59
st5	-15,5	1	3,3	46	191	66,61
st6	-0,5	1	3,7	439	637	48,59
st6	-1,5	1	3,9	365	600	54,33
st6	-2,5	1	4,7	366	701	55,92
st6	-3,5	1	4	239	519	59,12
st6	-4,5	1	3,3	88	330	59,54
st6	-6,5	2	2,4	42	158	62,52
st6	-8,5	2	2,3	37	131	67,30
st6	-10,5	2	2,6	34	124	70,12
st6	-12,5	2	2,2	33	121	69,65
st6	-15	3	1,9	30	113	72,29
st7	-0,25	0,5	3,7	672	774	47,75
st7	-0,5	1	3,6	646	769	50,00
st7	-1,5	1	4,6	540	714	60,06
st7	-2,5	1	4,7	334	698	61,83
st7	-3,5	1	3,8	125	385	67,50
st7	-4,5	1	3,6	61	218	64,54
st7	-6,5	2	3,4	43	166	66,99
st7	-8,5	2	3,4	40	163	66,60
st7	-10,5	2	3,3	41	166	65,32
st7	-12,5	1	2,9	40	160	64,82
st7	-13,5	1	3,1	39	160	62,47
st8	-0,25	0,5	5,8	2032	1427	47,17
st8	-0,5	1	7,2	2262	1752	48,56
st8	-1,5	1	12,9	1162	2286	87,56
st8	-2,5	1	10,3	2360	2283	43,16
st8	-3,5	1	15,3	2377	2781	59,14
st8	-4,5	1	10,6	689	1622	67,27

Sedimentdata, Grenex A/S 1986

station	dybde	skive- tykkelse	Cd indhold	Pb indhold	Zn indhold	tørstof
	[cm]	[cm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
st8	-6,5	2	4,4	78	351	68,75
st8	-8,5	2	2,9	47	175	70,45
st8	-10,5	2	2,9	45	172	71,34
st8	-12,5	2	3,2	43	166	70,34
st8	-14,5	2	2,9	44	159	70,74
st9	-0,25	0,5	7,3	267	934	65,83
st9	-0,5	1	6,9	227	804	73,28
st9	-1,5	1	7,9	235	947	77,38
st9	-2,5	1	8,8	316	1143	77,02
st9	-3,5	1	7,1	258	906	77,41
st9	-4,5	1	6,6	208	803	78,27
st9	-5,5	1	5,4	269	741	78,03
st9	-6,5	1	5,1	237	645	77,83
st9	-7,5	1	6,2	248	762	78,15
st9	-8,5	1	7,1	322	950	78,32
st9	-9,5	1	5	320	662	74,96
st9	-10,5	1	5,5	376	781	74,97
st9	-11,5	1	5,8	360	781	75,60
st9	-12,5	1	5,2	276	543	77,63
st9	-13,5	1	5,1	235	479	78,09
st11	-0,25	0,5	2,6	497	552	55,40
st11	-0,5	1	3,5	501	665	53,86
st11	-1,5	1	2,5	283	407	63,65
st11	-2,5	1	2,5	126	252	62,51
st11	-3,5	1	2,4	77	207	63,64
st11	-4,5	1	22,3	45	151	64,66
st11	-5,5	1	2,3	40	137	65,10
st11	-6,5	1	2,2	34	124	67,78
st12	-0,25	0,5	2,2	238	376	49,13
st12	-0,5	1	3	293	512	55,55
st12	-1,5	1	3,4	263	513	53,44
st12	-2,5	1	3,1	143	385	55,93
st12	-3,5	1	2,6	82	271	57,28
st12	-4,5	1	2,5	48	169	59,70
st12	-6,5	2	2,2	39	153	58,40
st12	-8,5	2	2,1	36	152	59,74
st12	-10,5	2	1,9	36	158	58,25
st12	-12,5	2	2,1	35	149	40,33
st12	-14,5	2	1,9	32	147	58,96
st12	-16,5	2	2	31	143	59,18
st12	-19	3	1,8	30	146	63,74

Sedimentdata, Grenex A/S 1986

station	dybde	skive- tykkelse	Cd indhold	Pb indhold	Zn indhold	tørstof
	[cm]	[cm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
st13	-0,5	1	4	386	569	48,35
st13	-1,5	1	3,8	330	522	54,73
st13	-2,5	1	5,2	273	614	61,28
st13	-3,5	1	5,4	247	646	62,96
st13	-4,5	1	4,5	154	469	64,69
st13	-6,5	2	3,5	42	167	67,77
st13	-8,5	2	3,1	38	153	68,88
st13	-10,5	2	3	38	154	65,10
st13	-12,5	2	3,1	40	148	68,01
st13	-14,5	2	3,4	41	155	69,43
st13	-17,5	3	3,3	40	157	67,73
st13	-19,5	3				68,37
st14	-0,5	1	6,9	442	891	55,30
st14	-1,5	1	4,3	491	602	49,33
st14	-2,5	1	4	427	564	57,58
st14	-3,5	1	5,7	404	764	61,98
st14	-4,5	1	6	385	811	65,92
st14	-6,5	2	4,6	142	524	64,33
st14	-8,5	2	3,3	51	202	66,48
st14	-10,5	2	3,4	44	163	70,11
st14	-12,5	2	3,5	34	124	74,24
st14	-14,5	2	3,8	41	151	71,79
st14	-17,5	3	3,6	33	114	76,32
st14	-19,5	2	3,2	37	141	72,53
st15	-0,5	1	10,2	452	1240	66,00
st15	-1,5	1	5,8	349	668	69,04
st15	-2,5	1	5,7	366	651	70,37
st15	-3,5	1	4,8	721	642	68,42
st15	-4,5	1	6,9	630	896	70,47
st15	-6,5	2	7,4	463	951	73,05
st15	-8,5	2	5,7	192	609	76,19
st15	-10,5	2	4,3	90	390	73,96
st15	-12,5	2	3,4	47	165	73,31
st15	-14,5	2	3,1	37	138	74,02
st15	-16,5	2	3,4	31	129	78,07
st15	-18,5	2	3	34	134	75,75
st16	-0,75	1,5	9,2	480	1290	68,93
st16	-2	1	6,7	359	875	74,03
st16	-3	1	6,5	368	870	74,96
st16	-4	1	5,2	336	670	73,63
st16	-5	1	7	330	599	74,16
st16	-6	1	5,6	338	719	74,40
st16	-7	1	5,7	316	752	74,95

Sedimentdata, Grenex A/S 1986

station	dybde	skive- tykkelse	Cd indhold	Pb indhold	Zn indhold	tørstof
	[cm]	[cm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
st16	-8	1	4,9	285	588	76,06
st16	-9	1	4,7	235	541	75,48
st17	-1	2	4,5	80	505	79,41
st18	-0,25	0,5	4,9	380	706	52,08
st18	-0,5	1	2,7	364	472	52,02
st18	-1,5	1	4	294	556	61,49
st18	-2,5	1	4,7	270	653	65,63
st18	-3,5	1	4,4	172	492	69,89
st18	-4,5	1	4,1	83	314	74,72
st18	-6,5	2	2,8	57	217	64,40
st18	-8,5	2	3,1	49	181	66,61
st18	-10,5	2	3,3	45	177	68,47
st18	-12,5	2	3,4	42	163	69,60
st18	-13,5	1	3,5	40	157	74,46
st19	-0,25	0,5	3,1	441	508	47,46
st19	-0,5	1	2,7	484	514	47,38
st19	-1,5	1	3,7	426	630	50,10
st19	-2,5	1	4,7	315	678	53,68
st19	-3,5	1	4	212	544	57,90
st19	-4,5	1	3	80	320	51,80
st19	-6,5	2	2,5	43	175	59,60
st19	-8,5	2	2,9	44	186	62,88
st19	-10,5	2	2,8	39	171	64,55
st19	-12,5	2	2,5	36	164	63,33
st19	-14,5	2	2,4	36	166	63,71
st19	-16,5	3	2,5	39	172	59,47
st19	-19,5	1	2,5	36	169	61,35
st20	-0,25	0,5	4,1	391	582	45,21
st20	-0,5	1	3,6	363	528	50,17
st20	-1,5	1	4,7	359	645	57,21
st20	-2,5	1	5	331	652	57,38
st20	-3,5	1	4,6	251	549	58,53
st20	-4,5	1	4	126	385	63,13
st20	-6,5	2	3,4	69	234	72,01
st20	-8,5	2	3,3	51	203	73,00
st20	-10,5	2	3,3	46	185	68,86
st20	-12,5	1	3,4	45	179	71,85
st21	-0,25	0,5	6,5	393	868	52,20
st21	-0,5	1	4,3	363	510	56,32
st21	-1,5	1	4,1	371	513	58,15
st21	-2,5	1	4,2	364	500	61,04

Sedimentdata, Grenex A/S 1986

station	dybde	skive- tykkelse	Cd indhold	Pb indhold	Zn indhold	tørstof
	[cm]	[cm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	%
st21	-3,5	1	5,2	353	634	64,46
st21	-4,5	1	5,5	361	697	67,31
st21	-6,5	2	5,2	290	642	69,70
st21	-8,5	2	4,2	99	344	71,57
st21	-10,5	2	3	45	182	72,97
st21	-12,5	2	3,4	36	147	74,08
st21	-14,5	2	3,8	38	159	73,45
st21	-15,25	0,5	3,6	38	162	73,26
st23	-0,25	0,5	1,4	65	161	38,04
st23	-0,5	1	1,4	78	183	47,83
st23	-1,5	1	1,6	67	194	48,84
st23	-2,75	1,5	1,4	44	162	44,50
st23	-3,75	0,5	1,6	40	164	51,16
st23	-6,5	3	1,4	22	103	61,36
st23	-8,5	2	1,4	20	103	61,20
st23	-15,75	11,5	1,4	18	100	64,78
st24	-0,5	1	1,6	21	68	65,80
st24	-1,5	1	1,3	30	103	54,00
st24	-3	2	1,5	35	107	56,70
st24	-4,5	1	1,5	20	90	62,50
st24	-6,5	2	1,5	20	91	62,10
st24	-8,5	2	1,5	18	86	65,00
st24	-11	2	1,5	16	80	67,30
st25	-0,25	0,5	0,9	22	51	63,98
st25	-0,5	1	1,1	21	63	68,97
st25	-1,5	1	1,1	21	77	65,83
st25	-2,5	1	1	16	65	70,18
st25	-3,5	1	1,4	16	60	73,32
st25	-4,5	1	1,6	16	64	70,97
st25	-6,5	2	1,8	14	68	68,91
st25	-9,5	3	1,7	16	70	62,00

BILAG 2

Vægtbestemmelser af metal

GM 1991

	Tørstof	Dybde	Pb	Zn	Havdybde	Pb, bagg	Zn, bagg	Pb, bagg	Zn, bagg	Pb, antro	Zn antro.
	kg/m ²	cm	g/m ²	g/m ²	m	mg/kg	mg/kg	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
ggu1	160,02	20	184,24	369,20	55	29	170	4,64	27,20	179,60	341,99
ggu2	148,94	18	358,01	757,40	54	33	180	4,91	26,81	353,09	730,59
ggu3	310,41	22	1912,76	4211,66	72	27	230	8,38	71,40	1904,37	4140,26
ggu5	125,65	12	84,35	116,72	25	25	205	3,14	25,76	81,21	90,96
ggu11	183,82	16	24,80	57,67	202	28	138	5,15	25,37	19,66	32,30
ggu12	193,83	20	12,45	37,39	180	27	136	5,23	26,36	7,22	11,03
ggu13	137,10	16	10,18	28,43	202	25	136	3,43	18,65	6,75	9,78
ggu14	223,08	22	8,13	31,68	204	18	108	4,02	24,09	4,12	7,59
ggu15	173,18	18,5	7,53	28,53	222	19	118	3,29	20,44	4,24	8,10
ggu16	116,89	11	7,70	22,07	205	20	125	2,34	14,61	5,37	7,46

GREENEX, 1986

	Tørstof		Dybde cm	Pb		Zn		havdybd m	Pb, bagg		Zn, bagg		Pb, antro		Zn, antro	
	kg/m ²			g/m ²	g/m ²	mg/kg	mg/kg		g/m ²	g/m ²	mg/kg	mg/kg	g/m ²	g/m ²	mg/kg	mg/kg
st1	168,57		14	39,87	85,16	60	27	138	4,55	23,26	35,32	61,90				
st2	88,21		8	41,96	65,70	47	27	138	2,38	12,17	41,56	56,21				
st3	103,39		9	38,96	62,04	55	27	138	2,79	14,27	36,16	47,78				
st4	198,21		18	100,57	135,79	58	27	138	5,35	27,35	95,22	108,44				
st5	191,29		16	37,17	76,63	55	27	138	5,16	26,40	32,01	50,23				
st6	179,96		16	17,60	42,41	108	27	138	4,86	24,83	12,74	17,58				
st7	152,19		14	20,02	43,91	94	27	138	4,11	21,00	15,91	22,91				
st8	182,29		15	94,66	151,71	78	27	138	4,92	25,16	89,73	126,56				
st9	211,92		14	58,69	165,66	114	27	138	5,72	29,25	64,96	157,66				
st11	74,87		7	10,75	19,54	50	27	138	2,02	10,33	8,73	9,21				
st12	185,92		20	12,05	37,43	102	27	138	5,02	25,66	7,03	11,77				
st13	205,63		18	19,70	53,41	139	27	138	5,55	28,38	14,15	25,04				
st14	241,41		20	31,80	74,97	190	27	138	6,52	33,32	25,28	41,66				
st15	264,05		19	60,28	126,84	157	27	138	7,13	36,44	53,15	90,40				
st16	133,11		9,5	45,61	104,27	143	27	138	3,59	18,37	46,77	107,61				
st17	32,17		2	2,57	16,25	60	27	138	0,87	4,44	2,55	17,72				
st18	167,54		14	17,82	48,63	210	27	138	4,52	23,12	13,30	25,51				
st19	195,26		20	17,99	48,85	122	27	138	5,27	26,95	12,72	21,90				
st20	152,02		13	18,91	47,78	35	27	138	4,10	20,98	14,80	26,80				
st21	193,29		15,5	34,20	73,90	35	27	138	5,22	26,67	28,99	47,22				
st23	216,50		21,5	5,46	24,64	217	18	100	3,90	21,65	1,56	2,99				
st24	128,02		12	2,76	11,31	137	16	80	2,05	10,24	0,71	1,07				
st25	121,04		10	2,00	8,09	292	16	67	1,94	8,11	0,06	-0,02				

BILAG 3**Note vedrørende variografi og kriging**

Den geostatistiske interpoleringsteknik, kriging, blev anvendt til fremstilling af oversigtskort af metalfordelingen i sedimenterne ved Maarmorilik.

Kriging er baseret på et præmis om, at målinger lokaliseret tæt på hinanden har tilbøjelighed til at have mere ens værdier end målinger lokaliseret i større afstand fra hinanden. Dette fænomen beskriver tilstedeværelsen af en rumlig korrelation, som indikerer, at tætliggende målinger deler information. Under hensyntagning til denne information kan der beregnes et bedre kort end hvis informationen ignoreres. Ved kriging beregnes et estimat for koncentrationsværdien i et område ved at benytte vægtede værdier fra de omkring liggende prøvetagningssteder. Vægten heraf bestemmes ved brug af den rumlig korrelation. Tætliggende målinger vægtes kraftigere end fjernt-liggende målinger.

Den rumlige korrelation kvantificeres ved brug af et variogram, som er et plot af halvdelen af det kvadrerede gennemsnit af forskellen mellem målte tal-par, som en funktion af afstanden mellem tal-par målingerne:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j) | h_{ij}=h} (v_i - v_j)^2$$

hvor v_i og v_j er koncentrationen af metal i to prøver, h er afstanden mellem prøver i det pågældende interval og N er antallet af talpar i intervallet.

Den praktiske procedure ved variografi benytter sig af interaktiv modellering. Den første opgave er at definere afstandene mellem målingerne. I nærværende undersøgelse forekommer 20 målestationer, som er placeret i et koordinatsystem/net, hvilket resulterer i eksistensen af 190 talpar som er defineret af både en afstand og en rumlig orientering (denne benyttes, dersom anisotropi ønskes kvantificeret) og en differens mellem målingerne. Tal-parrene inddeles i afstandsintervaller, f.eks. fra 0-100m er en gruppe, fra 100-200m er en gruppe, etc. Den laveste værdi, lag minimum er der, hvor inddelingen begynder. Lagspacing er det interval den enkelte gruppe dækker, her 100m. Da erfaringen viser, at variogrammer generelt ikke er meningsfulde, når

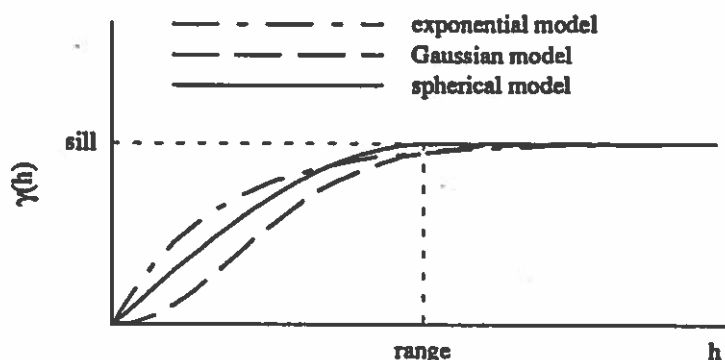
afstanden er større end halvdelen af den største afstand mellem tal-par, findes lag maximum værdien som den maximale afstand mellem to punkter divideret med 2. For at få den bedste beskrivelse, det mest veldefineret variogram er det nødvendigt at forsøge sig frem med variationer af interval bredden, lagminimum og lagmaximum.

Variogrammet beskrives v.h.j.a. en model. Mulighederne er her gaussisk, spherisk, exponent eller lineær. Modellen tilpasses variogrammet med en nugget værdi (y-interceptet), sill værdi (forskellen mellem nugget værdien og maximum værdien) og en range værdi (afstanden, hvor modellen opnår sin maximum værdi).

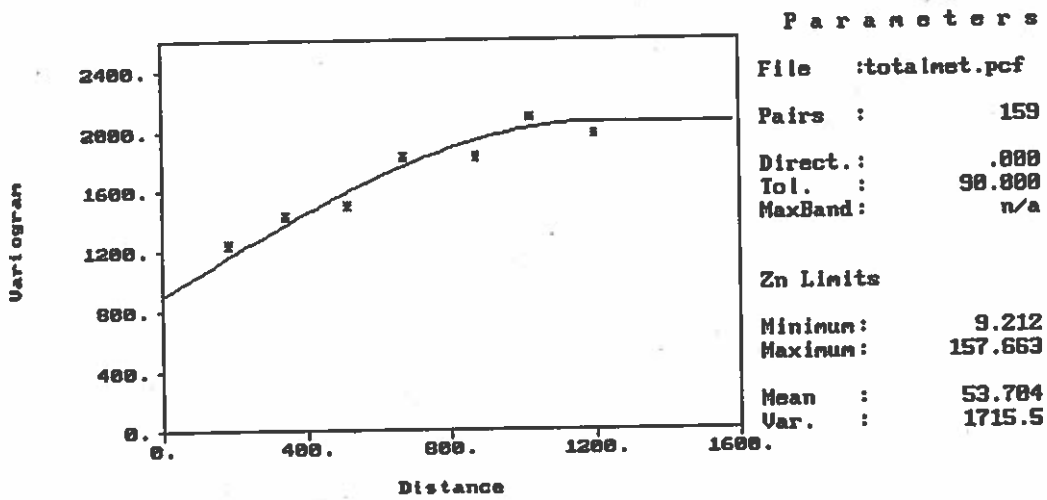
Variogram modeller

Enhed	lag min. m	lag max. m	spacing m	nugget (g/m ²) ²	model	sill (g/m ²) ²	range m
Zn, g/m ² total	70	1250	175	900	sph	1150	1200
Pb, g/m ² total	140	1400	165	475	sph	300	1200
Cd, g/m ² total	100	1300	155	0.04	sph	0.074	1500
Zn, 0-1 cm	0	1200	140	0	exp	17	550
Pb, 0-1 cm	30	1200	160	0	sph	17.5	900
Cd, 0-1 cm	0	1200	140	0	sph	0.001	550
Zn/Pb, 0-1 cm	75	1450	175	0.1	sph	1.8	1500
Sedimentrate	0	1425	165	0	exp	9	800

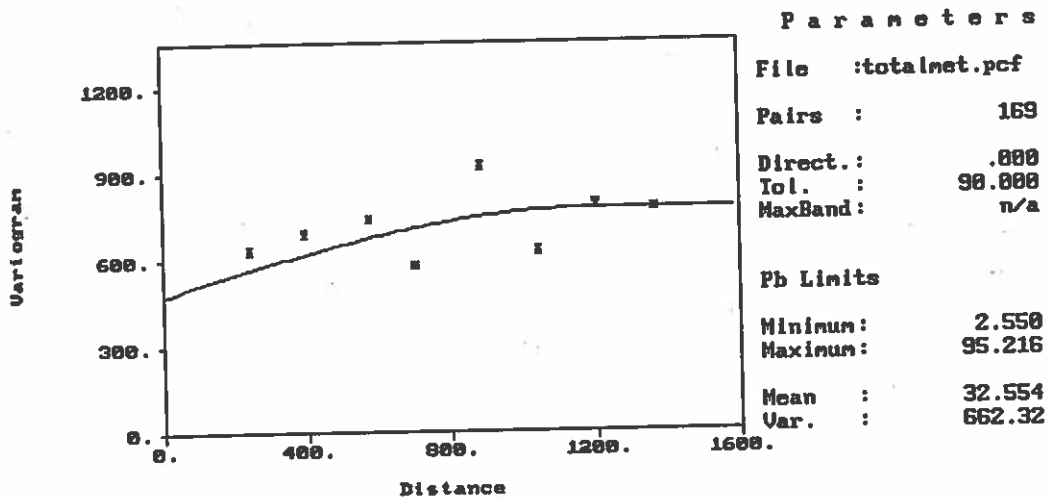
Nedenstående figur viser kurveforløbet for 3 typer modeller med samme sill- og rangeværdi. Fra Isaaks & Srivastava (1989).



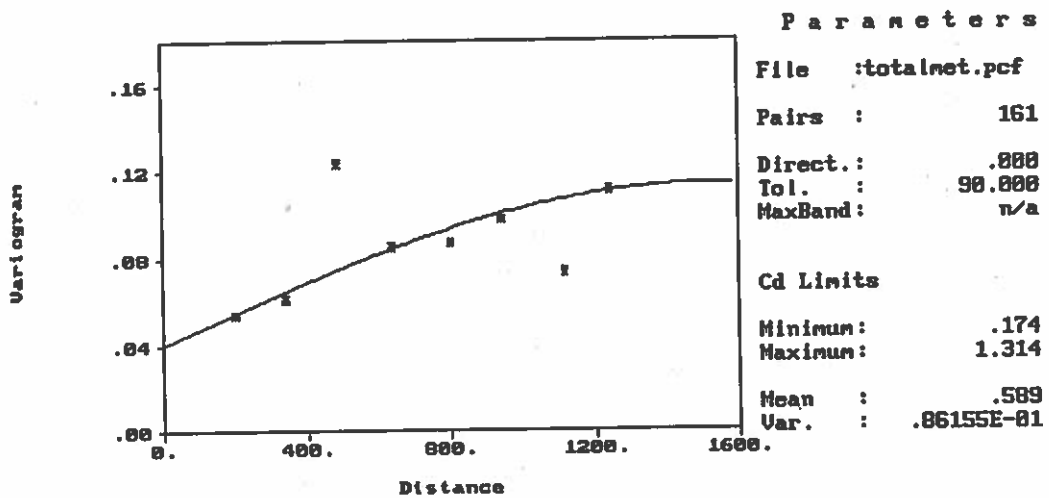
Variogrammerne er vist på de efterfølgende sider. x-aksen repræsenterer afstanden i m, y-aksen repræsenterer $\gamma(h)$, enhed (g/m²)² (Halvdelen af det kvadrerede gennemsnit af forskellen mellem tal-parrene).



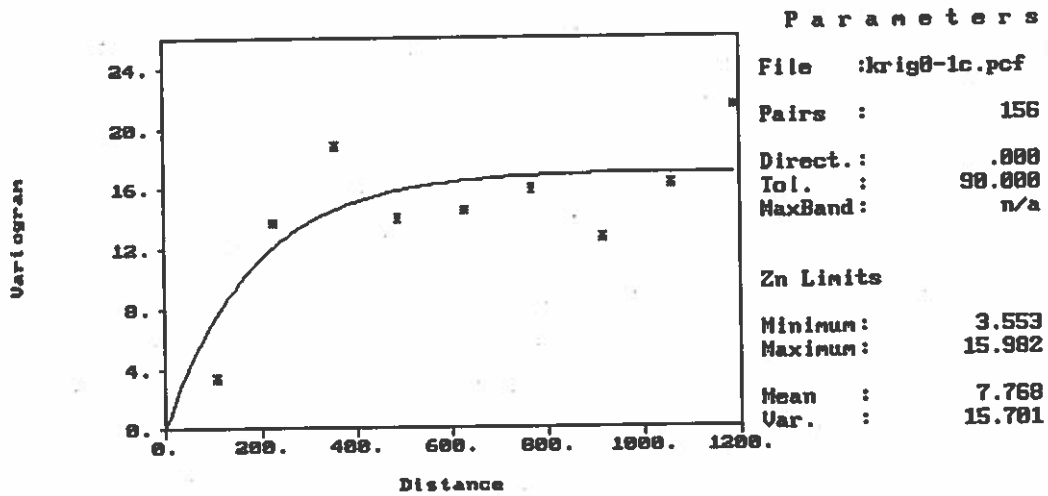
Variogram for det totale Zn indhold (g/m²).



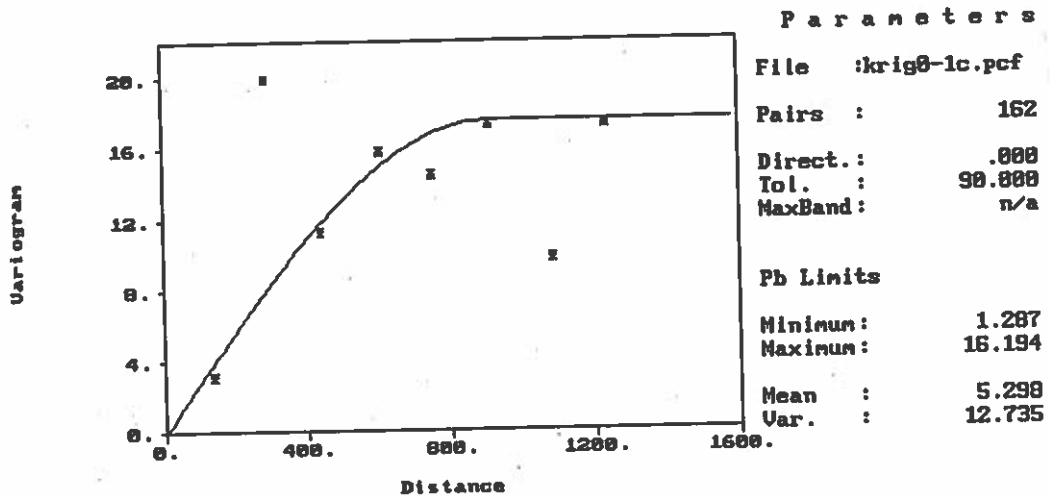
Variogram for det totale Pb indhold (g/m²).



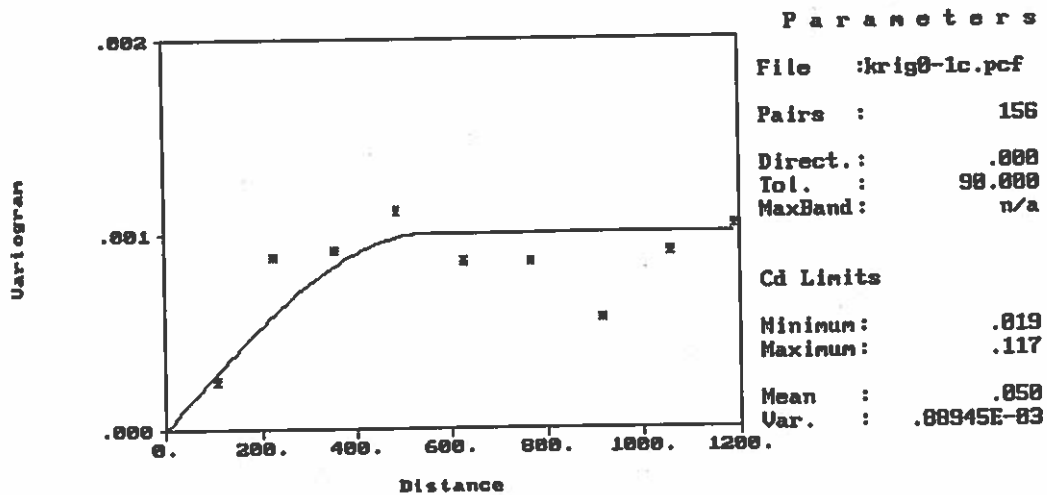
Variogram for det totale Cd indhold (g/m²).



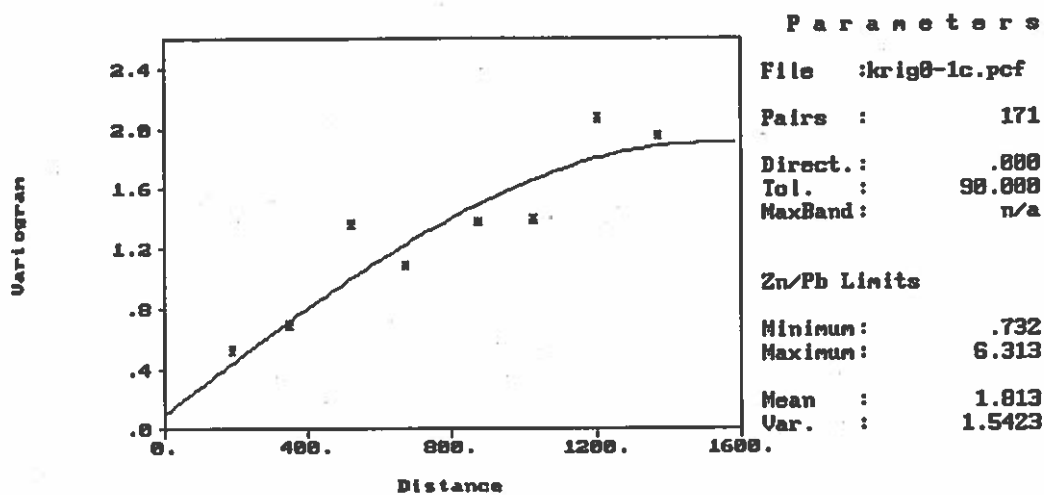
Variogram for Zn indholdet (g/m²) i den øverste cm.



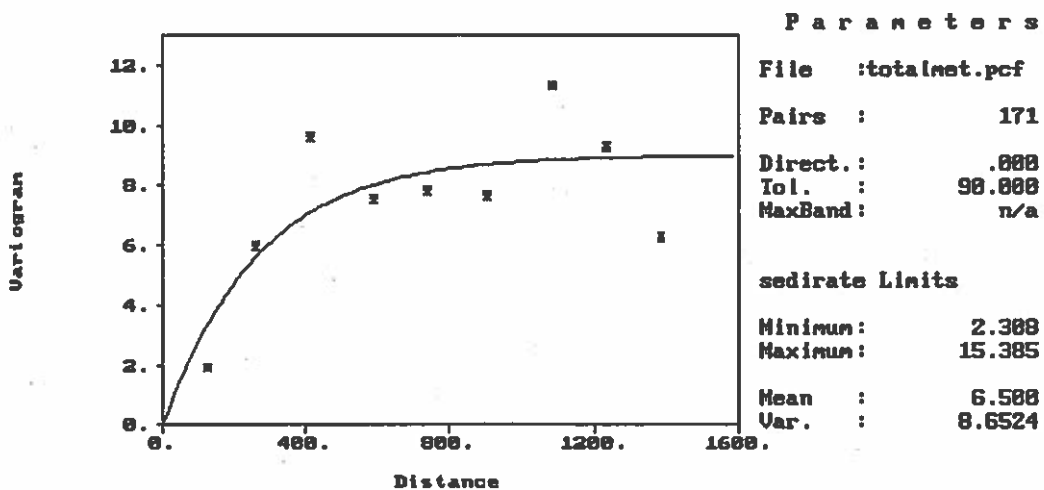
Variogram for Pb indholdet (g/m²) i den øverste cm.



Variogram for Cd indholdet (g/m²) i den øverste cm.



Variogram for Zn/Pb i den øveste cm.



Variogram for sedimentations raten (mm/år).

BILAG 4**Resultater af generel lineær modellering.**

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 196

----- STNR=ggul -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 14

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 197

----- STNR=ggul -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.07858616	0.02619539	997.76	0.0001
Error	10	0.00026254	0.00002625		
Corrected Total	13	0.07884870			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
	0.996670	0.550672	0.00512389	0.93047846

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.02252680	0.02252680	858.03	0.0001
DYBDECM	1	0.00316455	0.00316455	120.53	0.0001
SQRDYB	1	0.00108974	0.00108974	41.51	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9775867213	142.29	0.0001	0.00687030
LOGZNG	-0.0422587265	-23.29	0.0001	0.00144267
DYBDECM	-0.0113969420	-10.98	0.0001	0.00103808
SQRDYB	-0.0003420239	-6.44	0.0001	0.00005309

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 210

----- STNR=ggu2 -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 14

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 211

----- STNR=ggu2 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.06769675	0.02256558	1236.45	0.0001
Error	10	0.00018250	0.00001825		
Corrected Total	13	0.06787926			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
	0.997311	0.481181	0.00427203	0.88782175

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00919871	0.00919871	504.03	0.0001
DYBDECM	1	0.00032367	0.00032367	17.74	0.0018
SQRDYB	1	0.00001601	0.00001601	0.88	0.3710

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9693410855	171.66	0.0001	0.00564689
LOGZNG	-0.0374215580	-22.45	0.0001	0.00166684
DYBDECM	-0.0047024532	-4.21	0.0018	0.00113662
SQRDYB	0.0000697564	0.54	0.3710	0.00007448

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 212

----- STNR=ggul -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 20

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 213

----- STNR=ggul -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00566312	0.00188771	224.12	0.0001
Error	16	0.00013477	0.00000842		
Corrected Total	19	0.00579789			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
	0.976756	0.363027	0.00290222	0.79944972

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00455559	0.00455559	540.86	0.0001
DYBDECM	1	0.00001384	0.00001384	1.64	0.2181
SQRDYB	1	0.00008261	0.00008261	9.81	0.0064

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9603412151	133.80	0.0001	0.00717723
LOGZNG	-0.0303035938	-21.26	0.0001	0.00130302
DYBDECM	-0.0005708248	-1.28	0.2181	0.00044521
SQRDYB	-0.0000703541	-3.13	0.0064	0.00002247

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 214

----- STNR=ggu5 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 11

The SAS System

19:03 Thursday, September 1, 1994 215

----- STNR=ggu5 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00206650	0.00068883	34.94	0.0001
Error	7	0.00013802	0.00001972		
Corrected Total	10	0.00220451			
	R-Square	C.V.	Root MSE		PBG05 Mean
	0.937393	0.490452	0.00444037		0.90536306

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00065174	0.00065174	33.05	0.0007
DYBDECM	1	0.00002573	0.00002573	1.31	0.2908
SQRDYB	1	0.00000374	0.00000374	0.19	0.6762

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.000075291	47.93	0.0001	0.02086410
LOGZNG	-0.046138807	-5.75	0.0007	0.00802506
DYBDECM	-0.001976491	-1.14	0.2908	0.00173007
SQRDYB	0.000063003	0.44	0.6762	0.00014460

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 198

----- STNR=ggull -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 13

The SAS System

19:03 Thursday, September 1, 1994 199

----- STNR=ggull -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01265981	0.00421994	680.37	0.0001
Error	9	0.0005582	0.0000620		
Corrected Total	12	0.01271563			
	R-Square	C.V.	Root MSE		PBG05 Mean
	0.995610	0.254658	0.00249047		0.97796774

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00253261	0.00253261	408.32	0.0001
DYBDECM	1	0.00201133	0.00201133	324.28	0.0001
SQRDYB	1	0.00056332	0.00056332	90.92	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9942760664	245.20	0.0001	0.00405495
LOGZNG	-0.0457261874	-20.21	0.0001	0.00226289
DYBDECM	-0.0106562014	-18.01	0.0001	0.00059178
SQRDYB	-0.0003606131	-9.54	0.0001	0.00003782

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 200

----- STNR=ggul2 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 15

The SAS System

19:03 Thursday, September 1, 1994 201

----- STNR=ggul2 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01609667	0.00536556	220.70	0.0001
Error	11	0.00026743	0.00002431		
Corrected Total	14	0.01636410			
	R-Square	C.V.	Root MSE		PBG05 Mean
	0.983657	0.482903	0.00493072		1.02105810

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00439727	0.00439727	180.87	0.0001
DYBDECM	1	0.00293258	0.00293258	120.62	0.0001
SQRDYB	1	0.00120239	0.00120239	49.46	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.029222273	151.02	0.0001	0.00681506
LOGZNG	-0.072072339	-13.45	0.0001	0.00535905
DYBDECM	-0.011075579	-10.98	0.0001	0.00100844
SQRDYB	-0.000377397	-7.03	0.0001	0.00005366

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 202

----- STNR=ggul3 -----
General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 13

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 203

----- STNR=ggul3 -----
General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01515782	0.00505261	244.02	0.0001
Error	9	0.00018635	0.00002071		
Corrected Total	12	0.01534417			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.987855	0.443590	0.00455032	1.02579331	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00172854	0.00172854	83.48	0.0001
DYBDECM	1	0.00151454	0.00151454	73.15	0.0001
SQRDYB	1	0.00066625	0.00066625	32.18	0.0003

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.010753049	122.60	0.0001	0.00824447
LOGZNG	-0.054038829	-9.14	0.0001	0.00591437
DYBDECM	-0.013316247	-8.25	0.0001	0.00155698
SQRDYB	-0.000558352	-5.67	0.0003	0.00009843

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 204

----- STNR=ggul4 -----
General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 16

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 205

----- STNR=ggul4 -----
General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00916451	0.00305484	150.82	0.0001
Error	12	0.00024306	0.00002025		
Corrected Total	15	0.00940757			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.974164	0.432393	0.00450053	1.04084229	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00317905	0.00317905	156.95	0.0001
DYBDECM	1	0.00375890	0.00375890	185.58	0.0001
SQRDYB	1	0.00150815	0.00150815	74.48	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.031532450	238.26	0.0001	0.00432944
LOGZNG	-0.066728631	-12.53	0.0001	0.00532632
DYBDECM	-0.009743009	-13.62	0.0001	0.00071520
SQRDYB	-0.000302699	-8.63	0.0001	0.00003508

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 206

----- STNR=ggul5 -----
General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 14

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 207

----- STNR=ggul5 -----
General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00411463	0.00137154	79.90	0.0001
Error	10	0.00017166	0.00001717		
Corrected Total	13	0.00428629			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.959951	0.400413	0.00414322	1.03473642	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00096099	0.00096099	55.98	0.0001
DYBDECM	1	0.00139522	0.00139522	81.28	0.0001
SQRDYB	1	0.00038199	0.00038199	22.25	0.0008

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.029443741	192.13	0.0001	0.00535794
LOGZNG	-0.050043444	-7.48	0.0001	0.00668846
DYBDECM	-0.008971191	-9.02	0.0001	0.00089894
SQRDYB	-0.000265664	-4.72	0.0008	0.00005632

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 208

----- STNR=ggul6 -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 11

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 209

----- STNR=ggul6 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01417470	0.00472490	104.07	0.0001
Error	7	0.00031781	0.00004540		
Corrected Total	10	0.01449251			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.978071	0.651820	0.00673807	1.03373163

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00012371	0.00012371	2.72	0.1428
DYBDECM	1	0.00016418	0.00016418	3.62	0.0990
SQRDYB	1	0.00010635	0.00010635	2.34	0.1697

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.013295427	26.34	0.0001	0.03847021
LOGZNG	-0.042772565	-1.65	0.1428	0.02591233
DYBDECM	-0.013104496	-1.90	0.0990	0.00689118
SQRDYB	-0.000617364	-1.53	0.1697	0.00040337

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 216

STNR=st1

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 13

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 217

STNR=st1

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.03754069	0.01251356	758.10	0.0001
Error	9	0.00014856	0.00001651		
Corrected Total	12	0.03768925			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.996058	0.416305	0.00406282	0.97592437	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00571468	0.00571468	346.21	0.0001
DYBDECM	1	0.00001185	0.00000185	0.11	0.7455
SQRDYB	1	0.00000123	0.000000123	0.07	0.7910

Parameter	Estimate	T for HO: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.067811401	87.02	0.0001	0.01227151
LOGZNG	-0.063078389	-28.61	0.0001	0.00339010
DYBDECM	-0.000734321	-0.33	0.7455	0.00219388
SQRDYB	0.000035578	0.27	0.7910	0.00013032

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 236

STNR=st2

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 6

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 237

STNR=st2

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00134412	0.00044804	1545.47	0.0006
Error	2	0.00000058	0.00000029		
Corrected Total	5	0.00134470			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.999569	0.059186	0.00053843	0.90972567	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00033500	0.00033500	1155.54	0.0009
DYBDECM	1	0.00005933	0.00005933	204.64	0.0049
SQRDYB	1	0.00000203	0.00000203	7.01	0.1179

Parameter	Estimate	T for HO: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9928849906	336.88	0.0001	0.00294726
LOGZNG	-0.0444820742	-33.99	0.0009	0.00130885
DYBDECM	-0.0064301249	-14.31	0.0049	0.00044950
SQRDYB	0.0001611025	2.65	0.1179	0.00006083

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 248

STNR=st3

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 7

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 249

STNR=st3

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00773318	0.00257773	2271.50	0.0001
Error	3	0.00000340	0.00000113		
Corrected Total	6	0.00773659			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.999560	0.114607	0.00106528	0.92950689	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00045580	0.00045580	401.65	0.0003
DYBDECM	1	0.00021079	0.00021079	185.75	0.0009
SQRDYB	1	0.00000010	0.00000010	0.09	0.7894

Parameter	Estimate	T for HO: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9918662364	198.78	0.0001	0.00498965
LOGZNG	-0.0467098977	-20.04	0.0003	0.00233070
DYBDECM	-0.0090818561	-13.63	0.0009	0.00066651
SQRDYB	0.0000233496	0.29	0.7894	0.00007999

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 250

STNR=st4

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 19

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 251

STNR=st4

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.07764866	0.02588289	280.30	0.0001
Error	15	0.00138510	0.00009234		
Corrected Total	18	0.07903376			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
	0.982475	1.005144	0.00960936	0.95601837

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.01234517	0.01234517	133.69	0.0001
DYBDECM	1	0.00747893	0.00747893	80.97	0.0001
SQRDYB	1	0.00275832	0.00275832	29.87	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9919895914	81.71	0.0001	0.01214091
LOGZNG	-0.0592462047	-11.56	0.0001	0.00514981
DYBDECM	-0.0145148372	-9.00	0.0001	0.00161304
SQRDYB	-0.0005659684	-5.47	0.0001	0.00010355

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 252

STNR=st5

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 12

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 253

STNR=st5

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01824253	0.00608084	108.72	0.0001
Error	8	0.00044744	0.00005593		
Corrected Total	11	0.01868997			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
	0.976060	0.778892	0.00747865	0.96016500

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00371485	0.00371485	66.42	0.0001
DYBDECM	1	0.00222648	0.00222648	39.81	0.0002
SQRDYB	1	0.00097765	0.00097765	17.48	0.0031

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.019440867	81.61	0.0001	0.01249175
LOGZNG	-0.060657123	-8.15	0.0001	0.00744277
DYBDECM	-0.013927853	-6.31	0.0002	0.00220749
SQRDYB	-0.000654234	-4.18	0.0031	0.00015648

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 254

STNR=st6

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 10

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 255

STNR=st6

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00857679	0.00285893	76.06	0.0001
Error	6	0.00022552	0.00003759		
Corrected Total	9	0.00880231			

	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
	0.974379	0.623088	0.00613084	0.98394525

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00118570	0.00118570	31.55	0.0014
DYBDECM	1	0.00046218	0.00046218	12.30	0.0127
SQRDYB	1	0.00037064	0.00037064	9.86	0.0201

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.062548592	43.26	0.0001	0.02455995
LOGZNG	-0.077143314	-5.62	0.0014	0.01373506
DYBDECM	-0.007497045	-3.51	0.0127	0.00213797
SQRDYB	-0.000369595	-3.14	0.0201	0.00011770

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 256

STNR=st7

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 11

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 257

STNR=st7

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01940470	0.00646823	193.77	0.0001
Error	7	0.00023367	0.00003338		
Corrected Total	10	0.01963837			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.988101	0.586530	0.00577765	0.98505545	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00404601	0.00404601	121.21	0.0001
DYBDECM	1	0.00318435	0.00318435	95.39	0.0001
SQRDYB	1	0.00162668	0.00162668	48.73	0.0002

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.017677268	114.71	0.0001	0.00887177
LOGZNG	-0.058303186	-11.01	0.0001	0.00529578
DYBDECM	-0.015097504	-9.77	0.0001	0.00154577
SQRDYB	-0.000828717	-6.98	0.0002	0.00011872

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 258

STNR=st8

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 11

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 259

STNR=st8

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.03457798	0.01152599	48.28	0.0001
Error	7	0.00167108	0.00023873		
Corrected Total	10	0.03624906			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.953900	1.665983	0.01545075	0.92742542	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00615269	0.00615269	25.77	0.0014
DYBDECM	1	0.00380470	0.00380470	15.94	0.0052
SQRDYB	1	0.00131319	0.00131319	5.50	0.0514

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9644908957	40.92	0.0001	0.02356889
LOGZNG	-0.0400194930	-5.08	0.0014	0.00788295
DYBDECM	-0.0150579247	-3.99	0.0052	0.00377185
SQRDYB	-0.0006262804	-2.35	0.0514	0.00026703

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 260

STNR=st9

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 15

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 261

STNR=st9

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00270585	0.00090195	39.07	0.0001
Error	11	0.00025395	0.00002309		
Corrected Total	14	0.00295981			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.914199	0.514055	0.00480487	0.93470069	

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00116983	0.00116983	50.67	0.0001
DYBDECM	1	0.00008201	0.00008201	3.55	0.0861
SQRDYB	1	0.00000000	0.00000000	0.00	0.9890

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.041835357	85.09	0.0001	0.01224428
LOGZNG	-0.038107817	-7.12	0.0001	0.00535346
DYBDECM	0.002411160	1.88	0.0861	0.00128991
SQRDYB	0.000001373	0.01	0.9890	0.00009726

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 218

----- STNR=st11 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 8

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 219

----- STNR=st11 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01407346	0.00469115	187.42	0.0001
Error	4	0.00010012	0.00002503		
Corrected Total	7	0.01417358			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.992936	0.503084	0.00500305	0.99447571	

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00128670	0.00128670	51.41	0.0020
DYBDECM	1	0.00059837	0.00059837	23.91	0.0081
SQRDYB	1	0.00010561	0.00010561	4.22	0.1092

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.002670007	94.78	0.0001	0.01057869
LOGZNG	-0.049621515	-7.17	0.0020	0.00692096
DYBDECM	-0.01625201	-4.89	0.0081	0.00332462
SQRDYB	-0.000971849	-2.05	0.1092	0.00047312

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 220

----- STNR=st12 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 13

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 221

----- STNR=st12 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00861658	0.00287219	80.25	0.0001
Error	9	0.00032211	0.00003579		
Corrected Total	12	0.00893869			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.963965	0.592835	0.00598244	1.00912433	

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00349661	0.00349661	97.70	0.0001
DYBDECM	1	0.00192960	0.00192960	53.92	0.0001
SQRDYB	1	0.00089018	0.00089018	24.87	0.0008

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.024599663	159.72	0.0001	0.00641512
LOGZNG	-0.047193983	-9.88	0.0001	0.00477465
DYBDECM	-0.007825076	-7.34	0.0001	0.00106570
SQRDYB	-0.000288627	-4.99	0.0008	0.00005787

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 222

----- STNR=st13 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 13

NOTE: Due to missing values, only 12 observations can be used in this analysis.

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 223

----- STNR=st13 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00566046	0.00188682	52.59	0.0001
Error	8	0.00028708	0.00003588		
Corrected Total	11	0.00594746			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.951744	0.611816	0.00598960	0.97898712	

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00170027	0.00170027	47.39	0.0001
DYBDECM	1	0.00205337	0.00205337	57.24	0.0001
SQRDYB	1	0.00103787	0.00103787	28.93	0.0007

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.013995483	96.80	0.0001	0.01047479
LOGZNG	-0.045465135	-6.88	0.0001	0.00660415
DYBDECM	-0.00862846	-7.57	0.0001	0.00114505
SQRDYB	-0.000358405	-5.38	0.0007	0.00006663

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 224

STNR=st14

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 12

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 225

STNR=st14

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00996252	0.00332084	30.54	0.0001
Error	8	0.00086979	0.00010872		
Corrected Total	11	0.01083231			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.919704	1.081045	0.01042708	0.96453739

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00137064	0.00137064	12.61	0.0075
DYBDECM	1	0.00190702	0.00190702	17.54	0.0030
SQRDYB	1	0.00081034	0.00081034	7.45	0.0258

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9833647882	48.11	0.0001	0.02043856
LOGZNG	-0.0344480025	-3.55	0.0075	0.00970207
DYBDECM	-0.0080990095	-4.19	0.0030	0.00193382
SQRDYB	-0.0002618317	-2.73	0.0258	0.00009591

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 226

STNR=st15

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 12

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 227

STNR=st15

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01886780	0.00628927	20.71	0.0004
Error	8	0.00242987	0.00030373		
Corrected Total	11	0.02129766			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.885909	1.848825	0.01742795	0.94265038

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00239967	0.00239967	7.90	0.0228
DYBDECM	1	0.00004673	0.00004673	0.15	0.7051
SQRDYB	1	0.00009491	0.00009491	0.31	0.5915

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9939680070	32.04	0.0001	0.03102068
LOGZNG	-0.0354720184	-2.81	0.0228	0.01261991
DYBDECM	-0.0014376004	-0.39	0.7051	0.00366507
SQRDYB	0.0001188986	0.56	0.5915	0.00021270

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 228

STNR=st16

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 9

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 229

STNR=st16

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00104450	0.00034817	28.59	0.0014
Error	5	0.00006090	0.00001218		
Corrected Total	8	0.00110540			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.944907	0.377859	0.00348999	0.92362205

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00020779	0.00020779	17.06	0.0091
DYBDECM	1	0.00000791	0.00000791	0.65	0.4570
SQRDYB	1	0.00001692	0.00001692	1.39	0.2915

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.004935622	38.78	0.0001	0.02591072
LOGZNG	-0.032805370	-4.13	0.0091	0.00794247
DYBDECM	0.002448260	0.81	0.4570	0.00303827
SQRDYB	0.000294396	1.18	0.2915	0.00024976

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 230

----- STNR=st17 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 1

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 231

----- STNR=st17 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	0	0	.	.	.
Error	0
Corrected Total	0	0			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.000000	0	0	0.95382823

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	0	0	.	.	.
DYBDECM	0	0	.	.	.
SQRDYB	0	0	.	.	.

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.9538282299 B	9999.99	0.0001	0
LOGZNG	0.0000000000 B	.	.	.
DYBDECM	0.0000000000 B	.	.	.
SQRDYB	0.0000000000 B	.	.	.

NOTE: The X'X matrix has been found to be singular and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Estimates followed by the letter 'B' are biased, and are not unique estimators of the parameters.

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 232

----- STNR=st18 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 11

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 233

----- STNR=st18 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00657140	0.00219047	44.53	0.0001
Error	7	0.00034432	0.00004919		
Corrected Total	10	0.00691572			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.950212	0.715934	0.00701347	0.97962427

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00167846	0.00167846	34.12	0.0006
DYBDECM	1	0.00118656	0.00118656	24.12	0.0017
SQRDYB	1	0.00056244	0.00056244	11.43	0.0117

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.027354945	77.56	0.0001	0.01324575
LOGZNG	-0.054922295	-5.84	0.0002	0.00940212
DYBDECM	-0.011335339	-4.91	0.0017	0.00230793
SQRDYB	-0.000608813	-3.38	0.0117	0.00018004

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 234

----- STNR=st19 -----

General Linear Models Procedure

Number of observations in by group = 13

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 235

----- STNR=st19 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01248091	0.00416030	48.72	0.0001
Error	9	0.00076856	0.00008540		
Corrected Total	12	0.01324947			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.941993	0.931441	0.00924095	0.99211275

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00441951	0.00441951	51.75	0.0001
DYBDECM	1	0.00420990	0.00420990	49.30	0.0001
SQRDYB	1	0.00215946	0.00215946	25.29	0.0007

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.018175413	97.79	0.0001	0.01041146
LOGZNG	-0.057868172	-7.19	0.0001	0.00804395
DYBDECM	-0.011669873	-7.02	0.0001	0.00166206
SQRDYB	-0.000449995	-5.03	0.0007	0.00008949

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 238

----- STNR=st20 -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 10

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 239

----- STNR=st20 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00603355	0.00201118	241.64	0.0001
Error	6	0.00004994	0.00000832		
Corrected Total	9	0.00608349			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.991791	0.296100	0.00288498	0.97432546	
Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00181909	0.00181909	218.56	0.0001
DYBDECM	1	0.00061831	0.00061831	74.29	0.0001
SQRDYB	1	0.00022543	0.00022543	27.08	0.0020

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.019889493	237.27	0.0001	0.00429839
LOGZNG	-0.053999494	-14.78	0.0001	0.00365263
DYBDECM	-0.011038806	-8.62	0.0001	0.00128075
SQRDYB	-0.000541626	-5.20	0.0020	0.00010407

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 240

----- STNR=st21 -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 12

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 241

----- STNR=st21 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.02099082	0.00699694	85.46	0.0001
Error	8	0.00065499	0.00008187		
Corrected Total	11	0.02164582			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.969740	0.938041	0.00904844	0.96460966	
Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00307443	0.00307443	37.55	0.0003
DYBDECM	1	0.00023831	0.00023831	2.91	0.1264
SQRDYB	1	0.00003569	0.00003569	0.44	0.5277

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.025608012	84.92	0.0001	0.01207689
LOGZNG	-0.094689647	-6.13	0.0003	0.00892472
DYBDECM	-0.006125815	-1.71	0.1264	0.00359060
SQRDYB	-0.000168057	-0.66	0.5277	0.00025455

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 242

----- STNR=st23 -----

General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 8

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 243

----- STNR=st23 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.01325306	0.00441769	281.57	0.0001
Error	4	0.00006276	0.00001569		
Corrected Total	7	0.01331582			
	R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean	
	0.995287	0.380381	0.00396096	1.04131291	
Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00518908	0.00518908	330.74	0.0001
DYBDECM	1	0.00091959	0.00091959	58.61	0.0016
SQRDYB	1	0.00033316	0.00033316	21.24	0.0100

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.043908059	384.35	0.0001	0.00271605
LOGZNG	-0.055269312	-18.19	0.0001	0.00303906
DYBDECM	-0.007956835	-7.66	0.0016	0.00103931
SQRDYB	-0.000282974	-4.61	0.0100	0.00006141

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 244

STNR=st24General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 7

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 245

STNR=st24

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00250571	0.00083524	157.24	0.0009
Error	3	0.00001594	0.00000531		
Corrected Total	6	0.00252165			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.993680	0.218241	0.00230478	1.05606834

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00206104	0.00206104	388.00	0.0003
DYBDECM	1	0.00021641	0.00021641	40.74	0.0078
SQRDYB	1	0.00007045	0.00007045	13.26	0.0357

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.051070123	427.52	0.0001	0.00245852
LOGZNG	-0.069731129	-19.70	0.0003	0.00354007
DYBDECM	-0.007564843	-6.38	0.0078	0.00118520
SQRDYB	-0.000325006	-3.64	0.0357	0.00008924

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 246

STNR=st25General Linear Models Procedure
Number of observations in by group = 8

The SAS System 19:03 Thursday, September 1, 1994 247

STNR=st25

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: PBG05

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.00342924	0.00114308	130.25	0.0002
Error	4	0.00003510	0.00000878		
Corrected Total	7	0.00346435			

R-Square	C.V.	Root MSE	PBG05 Mean
0.989867	0.275895	0.00296239	1.07373755

Source	DF	Type II SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGZNG	1	0.00108722	0.00108722	123.89	0.0004
DYBDECM	1	0.00015602	0.00015602	17.78	0.0135
SQRDYB	1	0.00017879	0.00017879	20.37	0.0107

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.059737345	302.88	0.0001	0.00349884
LOGZNG	-0.039266593	-11.13	0.0004	0.00352782
DYBDECM	-0.006027999	-4.22	0.0135	0.00142962
SQRDYB	-0.000566937	-4.51	0.0107	0.00012561

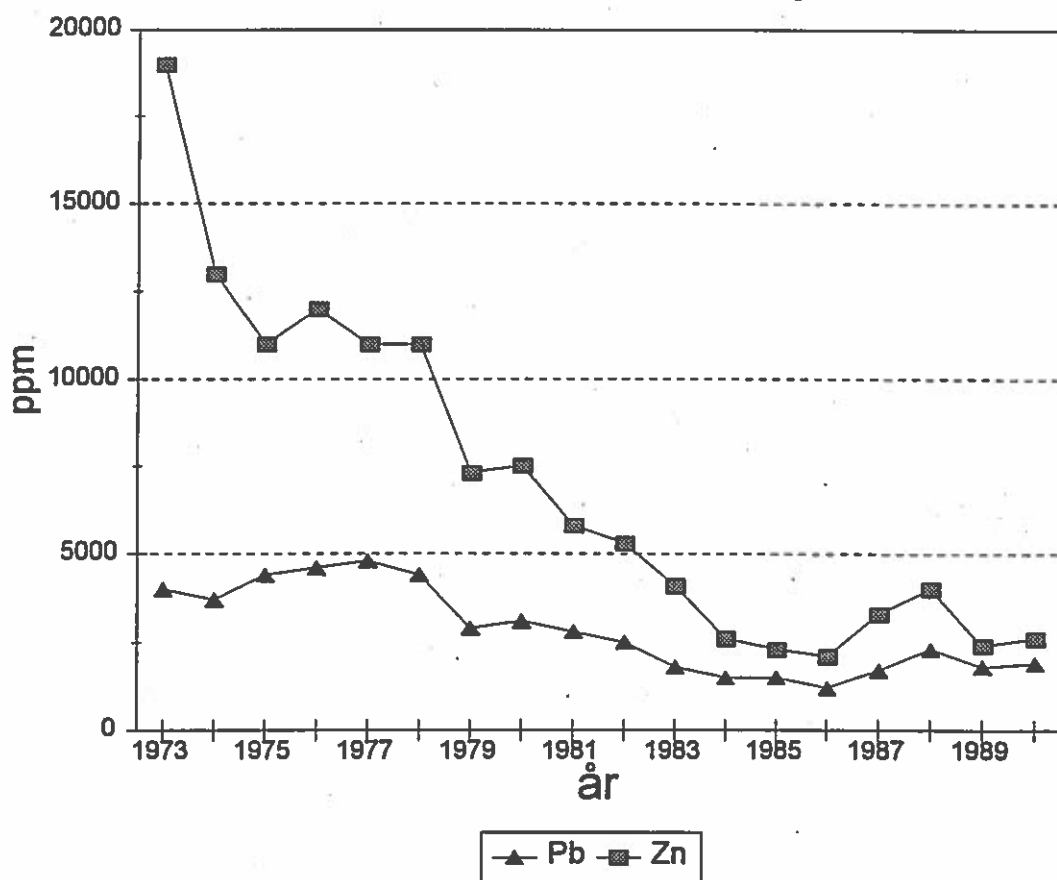
BILAG 5

Antropogene sedimenter

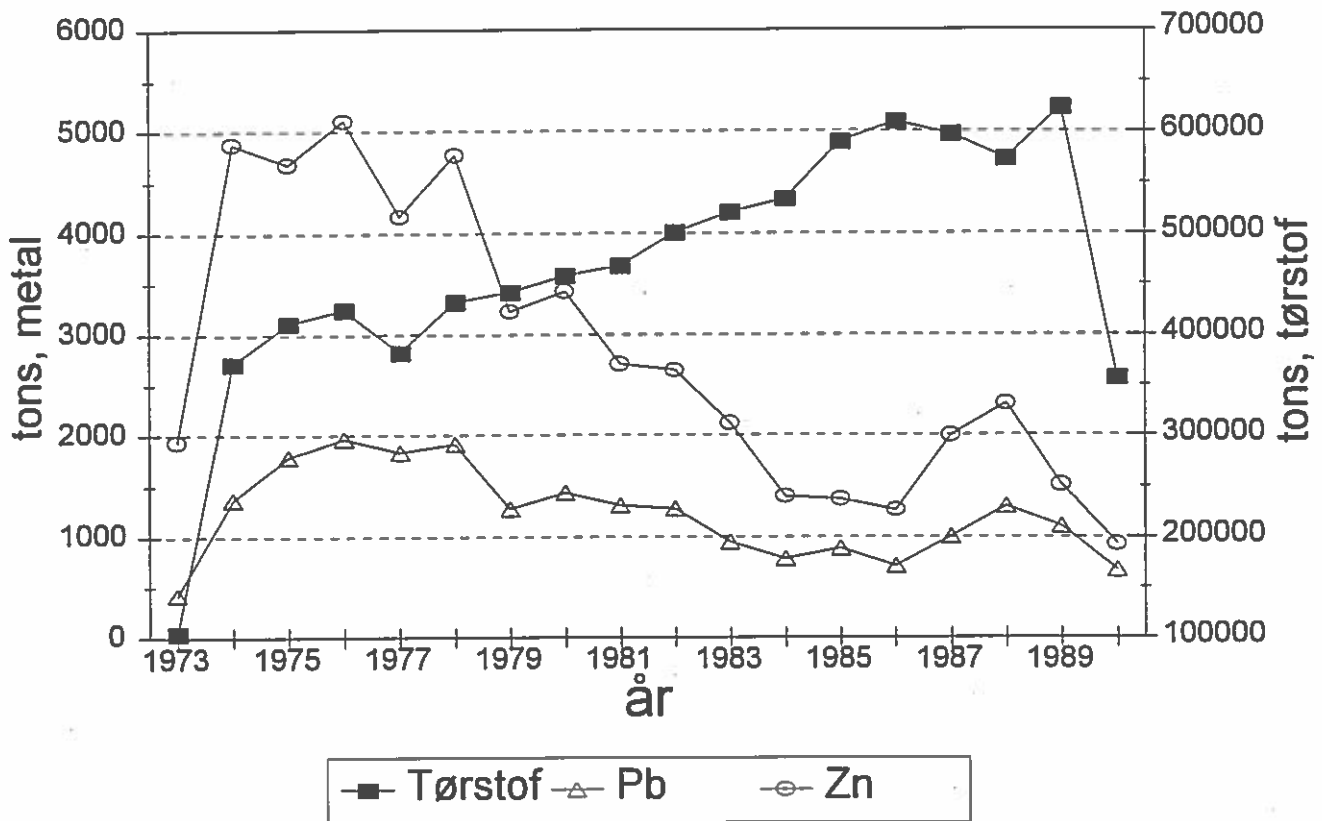
Indhold af metal i tailing 97

År	Pb mg/kg	Zn mg/kg	% Tørstof	Tørstof ton	Pb ton	Zn ton
1973	4000	19000	-	104111	422	1934
1974	3700	13000	-	370609	1362	4878
1975	4400	11000	-	410863	1787	4676
1976	4600	12000	-	424318	1965	5107
1977	4800	11000	-	382298	1831	4161
1978	4400	11000	-	432497	1915	4763
1979	2900	7300	23,2	441668	1272	3224
1980	3100	7500	23,4	457933	1435	3425
1981	2800	5800	29,8	467215	1305	2702
1982	2500	5300	33,6	500172	1271	2644
1983	1800	4100	33,6	520245	945	2121
1984	1500	2600	35,6	533305	775	1400
1985	1500	2300	38,3	589370	880	1373
1986	1200	2100	42,9	609274	709	1262
1987	1700	3300	39,5	597703	1000	1995
1988	2300	4000	33,9	572901	1300	2314
1989	1800	2400	31,7	623237	1102	1511
1990	1900	2600	31,7	357096	668	920

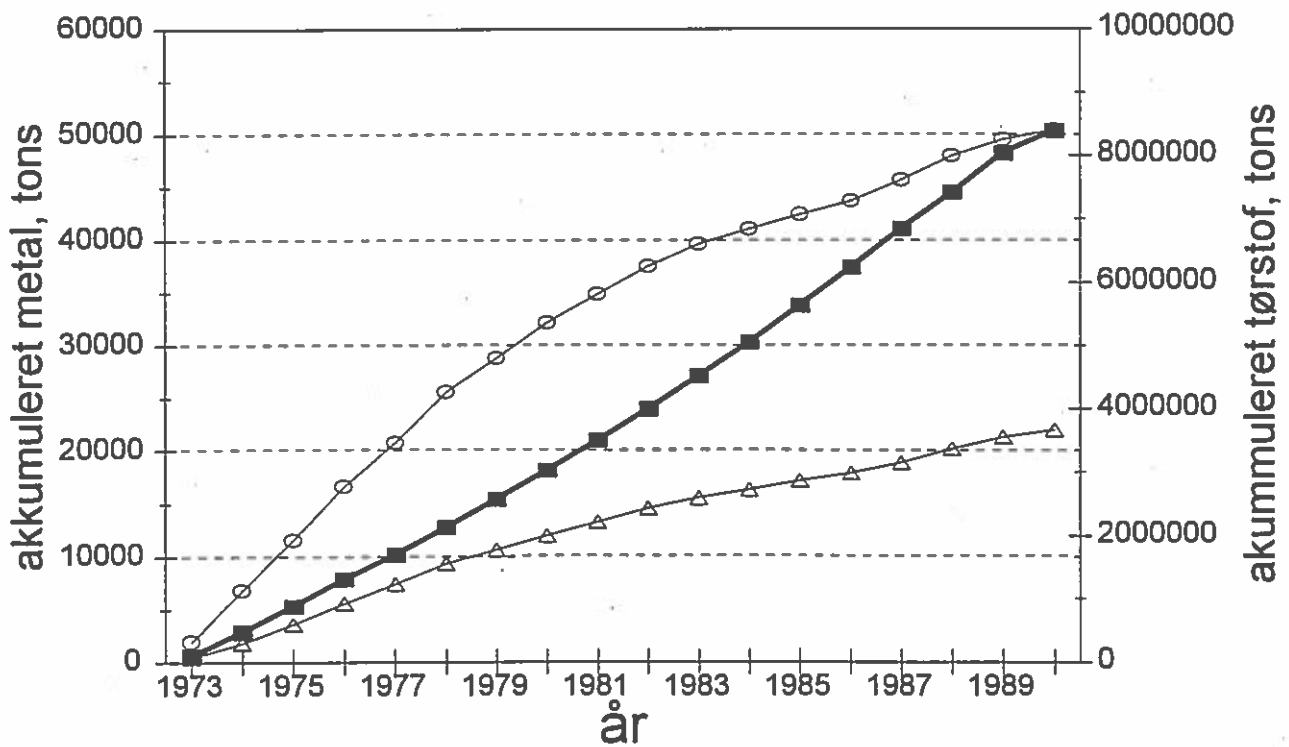
Metalindhold i tailing



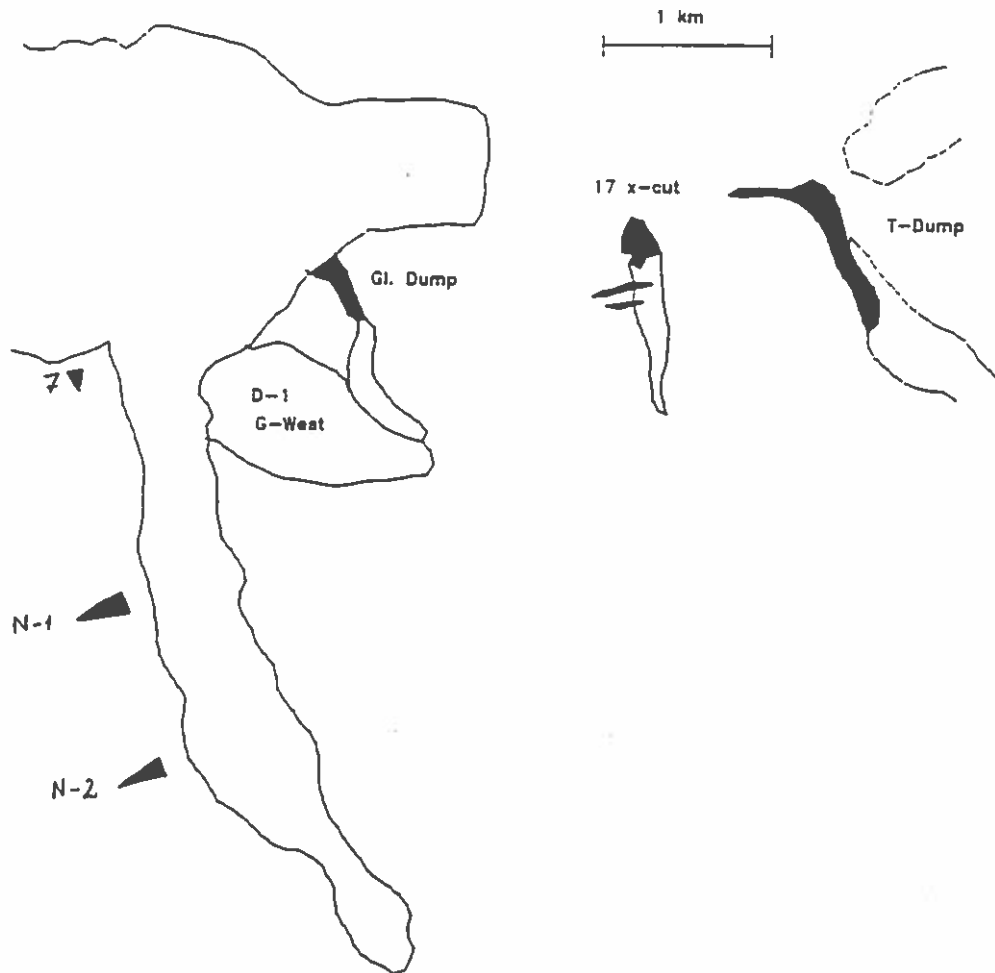
Årsgennemsnit af metalkoncentrationen (ppm) i tailing for samtlige år minen var i drift.



Tørstof- og metalindhold (tons) i tailing fra 1973-1990.



Akkumuleret tørstof- og metalindhold (tons) i tailing fra 1973-1990.



Placering af gråbjergsdumpe ved Maarmorilik, modificeret efter Pedersen (1989).

Gråbjergsdumpe	bly	zink	jern	anlagt og brugsperiode
D-1, G-West	0.8%	2,3%	3,0%	1971-73 og 1977-78
Gl. Gråbjerg dump	0.72%	2.00%	3,5%	1972-78
17-x-cut	0.80%	2,30%	3.0%	1977/78-1983
T-dump	0,1%	0,3%	0,4%	1982-
N-1	<0,1%	?	?	efter 1982
N-2	<0,1%	?	?	efter 1982
7	<0,1%	?	?	efter 1982

Metalindhold i gråbjergsdumpe.

