

# **Støvmonitoring ved Maarmorilik**

## **September 1993**

Teknisk Rapport

Udarbejdet af:

Gert Asmund

og

Frank Riget

Reference:

Asmund, G. og F. Riget 1994:

Støvmonitoring ved Maarmorilik,

September 1993, Grønlands Miljøundersøgelser,

23 pp., juni 1994

**Grønlands Miljøundersøgelser, juni 1994**

Tryk: Grønlands Miljøundersøgelser  
Tagensvej 135, 4. sal  
2200 København N.

Søgeord: Bly, Zink, Støv, *Cetraria nivalis*, Snekruslav, Minedrift, Grønland

**INDHOLDSFORTEGNELSE**

<b>RESUMÉ</b> .....	3
<b>SUMMARY</b> .....	4
<b>IMAQARNERSIUGAQ</b> .....	5
<b>1. INDLEDNING</b> .....	6
<b>2. INDSAMLING OG ANALYSEMETODE</b> .....	7
<b>2.1 Indsamling af lav</b> .....	7
<b>2.2 Analysemetode</b> .....	7
<b>3. RESULTATER</b> .....	8
<b>3.1 Analyseresultater</b> .....	8
<b>3.2 Gråbjergsdumpe på østsiden af Affarlikassaa</b> .....	9
<b>4. VARIANSANALYSE</b> .....	10
<b>5. BEREGNING AF BLYNEDFALD</b> .....	12
<b>6. SORTEBÆR</b> .....	15
<b>7. REFERENCER</b> .....	16
<b>BILAG 1. FIGURER</b> .....	17

## RESUMÉ

Støvspreddingen omkring bly-zinkminen ved Maarmorilik har været undersøgt ved lavmetoden siden 1979. Frem til minens lukning i 1990 faldt blynedfaldet væsentligt som følge af forskellige indgreb mod spredning af metalholdigt støv, herunder luftfiltrering og spild ved koncentratlastning. Efter minens lukning er blyspredning yderligere faldet til et lavere niveau, men der spredes dog stadig metalholdigt støv i området. Dette fortolkes således, at metalholdigt støv, som blev tilført området mens minedriften fandt sted, stadig ophvirvles og "blæser rundt" i området.

Bly-, zink- og cadmiumindholdet i sortebær samlet under "Englen" var i 1992 faldet til ca. 60% af, hvad der fandtes i 1991, hvilket er en fjerdedel af niveauet i 1984. Bærrene, som samledes i 1993, var igen på samme niveau, som fandtes i 1991. Bær er kun forurenede ved selve Maarmorilik og ikke ved Malleg, Tasiussaq og Qeqertat.

## SUMMARY

The spreading of lead as dust around the zinc and lead mine "the Black Angel" at Maarmorilik in Greenland has been monitored by the lichen method since 1979. There has been a gradual decrease from 6 tons lead in 1979 to 2 tons in 1989. There is a slight increase in 1990 probably due to the close down and demolition of the mill and storage building and the removal of the North Face Waste Dump during the summer 1990. In September 1991 the lead contents of a lichen (*Cetraria nivalis*) had decreased to appr. 50% of the 1990 values. This means that the spreading of lead as dust must have decreased to below 50% of the 1990 value. In 1993 the levels of heavy metals in lichen had increased slightly compared to 1991 and decreased slightly compared to 1992.

**Table 1** is the chemical analyses of lichen, station no., distance to Maarmorilik and mg/kg dry weight of Pb and Zn.

**Table 2** is the results of the analyses of variance where A is the lead content in lichen at a distance of 1 km (Model calculation).

**Table 3** is the calculated fall out of lead, kg/year, measured by the lichen method.

**Table 4** is the chemical analyses of crowberry.

## IMAQARNERSIUGAQ

Aqerlumk zink-imillu aatsitassarsiorfiusimasup Maarmorliup eqqaani pujoralaap siammar-tarnera 1979-miilli issuatsiat atorlugit misissugarineqarsimavoq. 1990-mi aatsitassarsiorfiup matuneqarnera tikillugu aqerlup siammartarnera annikilleriangaatsiarsimavoq pujoralaap saffiugassanik akullip siaruaattannginnissaanut iliuseqarsimanerit assigiinngitsut pissutigalugit, tamatumanilu ilaapput silaannaap akuiarneqarnera kiisalu aatsitassap usilersuunneqarnerani. Aatsitassarsiorfiup matuneqarnerata kingorna aqerlup siammartarnera annikilleriaqqissimavoq, kisiannili pujoralammik saffiugassanik akulimmik sulii siammaattoqartarpoq. Imatullu nassuiarniarneqarpoq pujoralak saffiugassanik akulik aatsitassarsiorneq ingerlanneqarallarmat pilersinneqarsimasoq sulii teqqalasartooq tamaanilu anorimit siammartinneqartarluni.

Paarnat "Inngilip" ataani katersorneqarsimasut 1992-mi aqerlumik, zink-imik, cadmium-imillu akoqarnerat 1991-mut naleqqiullugu 60%-iinnanngorsimavoq, tamannalu 1984-mi akugisimasaasa sisamararterutaannaraat. Paarnat 1993-mi katersorneqarsimasut 1991-mittulli akoqartigisimapput. Paarnat Maarmoriliinnarmi migutsinneqarsimapput tassalu ukunaniunngitsoq Malleq, Tasiusaq kiisalu Qeqertat.

## 1. INDLEDNING

Støvspredningen omkring Maarmorilik har været undersøgt siden 1979. Det vistes (Pilegaard 1983), at indholdet af en række metaller i en række lav og plantearter aftog med stigende afstand til bly og zinkminen "Den sorte Engel" efter følgende formel:

$$\ln(\text{koncentration}) = \ln A + \beta \cdot \ln(\text{afstand}).$$

Af særlig interesse er, at metalkoncentrationen i lavplanten snekruslav (*Cetraria nivalis*) også fulgte denne formel, og har gjort det lige siden. Denne lavart vokser fortrinsvis på dødt organisk materiale og optager udelukkende sin næring gennem nedfald på plantens overflade. Planten er derfor en velegnet indikator til registrering af støvnedfald.

Da det væsentligste miljøproblem ved Maarmorilik har været (og er) bly, har støvsprednings-målingerne været koncentreret om bly. Denne rapport beskriver resultater af bly- og zinkanalyser af lav indsamlet i september 1993. Disse er blevet brugt til at beregne en tilsyneladende støvspredning i 1993, som sammenlignes med tidligere års måling af bly spredt i støv.

Minedriften stoppede i 1990. Hovedparten af nedrivningen og oprydningen skete i sommeren og efteråret 1990. Derefter må tilførslen af blyholdigt støv fra selve mineaktiviteten have været tæt på nul. Dette betyder ikke, at blyindholdet i snekruslav indsamlet i september 1991, 1992 og 1993 er faldet ned til det naturlige niveau. Der vil stadig være bly tilbage i planterne, som er optaget i 1990 eller tidligere. Endelig må man regne med, at "gammelt" blyholdigt støv stadig af vinden undertiden kan hvirvles op og blive afsat på lavplanterne.

## 2. INDSAMLING OG ANALYSEMETODE

### 2.1 Indsamling af lav

Lavprøverne indsamles ved standardstationer for tang og musling (stationskort over Maarmorilik figur 1 og 2). Det er kun friskt, levende lav, der vokser oven på dødt, organisk materiale, der indsamles, således at det indsamlede lav ikke har haft mulighed for at optage metaller fra de underliggende bjergarter.

Lavprøverne bliver indsamlet og transporteret i papirposer.

### 2.2 Analysemetode

1. Lavprøverne finsorteres i laboratoriet således, at alt dødt materiale og urenheder bliver fjernet.
2. Derefter tørres de rensede prøver ved 60°C i et døgn.
3. Af hver af de tørrede og rensede lavprøver afvejes en eller to gange 0.5 gram i hver sin Berghoff Teflonbombe.
4. Der opløses under tryk i 4 ml koncentreret suprapur salpetersyre ved temperaturen 120°C i 5 timer.
5. Opløsningerne fortyndes til 25 gram med destilleret vand.
6. Derefter bestemmes zink- og blyindholdet ved atomabsorption. Zink- og de høje bly-koncentrationer bestemmes ved flammemetoden, medens de lav blykoncentrationer bestemmes ved grafitovnsmetoden.

Analysemetoden kontrolleres ved analyse af certificerede referencematerialer. Kontrolkort for de referencematerialer, der er relevante for lavanalyserne, ses i figur 3.



### 3. RESULTATER

#### 3.1 Analyseresultater

Resultaterne af bly- og zinkanalyserne af lavprøver fra 1993 er vist i tabel 1.

**Tabel 1.** Bly og zink i snekruslav, mg/kg. Maarmorilik, september 1993. Stationernes beliggenhed er vist i figur 1.

Stationsnr.	Afstand til Maarmorilik km	Zn	Pb	Stationsnr.	Afstand til Maarmorilik km	Zn	Pb
T10	0.7	182.3	350.3	T33	9.9	14.1	1.15
T22	1.0	134.0	247.5	T36	10.5	21.3	9.63
T12V	0.9	159.1	445.8	T34	12.9	12.9	1.62
T12E	1.05	74.9	169.7	T37	20.5	41.9	26.7
T15	1.8	57.4	91.7	T38	20.5	17.2	1.72
T17A	1.9	44.7	77.0	TL	35	13.4	2.22
T3	2.0	25.9	34.6	TF		14.5	1.14
T15A	2.1	38.6	97.0	TG		17.1	1.14
T17	2.1	56.4	100.3	TV		10.1	1.25
T17B	2.4	66.6	93.8	D1		49.7	101.6
T17C	2.8	42.0	64.1	D2		35.7	80.8
T6	3.0	25.2	15.8	D3		31.7	54.6
T5	3.35	41.6	81.7	D4		19.6	18.2
T30	3.45	45.8	52.0	D5		22.6	23.3
T25	4.1	37.9	31.3	D6		24.4	41.7
T29	5.35	72.2	52.5				

De højeste koncentrationer er fundet i lavprøverne fra det sted hvor "Gammel Gråbjergsdump" lå (dumpen er nu fjernet) og ved T10 og T22, der er de to stationer, der ligger tættest ved Maarmorilik. Kilderne må derfor være støv fra Maarmorilik området og gråbjergsdumpene, der enten stadig dannes, eller blev dannet i minens

aktive periode, og nu genophvirvles.

Ved alle støvundersøgelserne har der været overraskende meget bly i prøven fra T37 til trods for at denne station er 20½ km fra Maarmorilik. Der kendes ingen forklaring herpå.

### 3.2 Gråbjergsdumpe på østsiden af Affarlikassaa

Prøverne D1, D2 og D3 blev indsamlet omkring "Tip-2", som er den gråbjergdump, der blev benyttet ved konstruktion af tunnellen fra Maarmorilik til Nunngarutforekomsten. Prøverne D4, D5 og D6 blev indsamlet omkring "Tip-3" fra samme tunnel. Blyindholdet i disse seks lavprøver er i figur 3 indtegnet omtrentligt, hvor de er indsamlet. Til sammenligning er indtegnet blyindholdet i lavplanter ved standardstationerne. Disse er udregnet som gennemsnit af måleresultaterne fra 1989 til 1993.

De 6 lavprøver omkring "Tip-2" og "Tip-3" er indsamlet så tæt på dumpene som muligt, for at afsløre om dumpene gav anledning til spredning af blyholdigt støv. Tallene i figur 3 "passer ind" i det generelle mønster for nærområdet omkring Maarmorilik med de højeste koncentrationer i umiddelbar nærhed af Maarmorilik og Gl. gråbjergsdumpe. Der er derfor grund til at formode, at de to dumpe "Tip-2" og "Tip-3" ikke har haft eller har nogen væsentlig betydning for bly-støv-spredningen i området.

#### 4. VARIANSANALYSE

Samtlige blyanalyser fra 1983-1993 er underkastet en kovariansanalyse efter modellen

$$\ln(\text{bly konc.}) = \mu_0 + (\beta + \beta * f_{\text{år}}) \ln(\text{afstand}) + f_{\text{år}} + e,$$

hvor blykoncentrationen udtrykkes i mg/kg og afstanden i km, " $f_{\text{år}}$ " er en klassevariabel, som er et udtryk for det pågældende års bly-støv-belastning, " $\mu_0$ ", er en konstant, som er et udtryk for det generelle niveau. " $\beta$ " er en kovariat, som angiver hældingskoefficienten for sammenhængen mellem logaritmerne til koncentrationen og logaritmerne til afstanden til indsamlingsstationen. " $\beta * f_{\text{år}}$ " udtrykker effekten af årsvarierende værdier af  $\beta$ . " $e$ " er den tilbageværende uforklarede variation.

En første kørsel af modellen viste, at  $\beta$  ikke er signifikant forskellig fra år til år ( $P = 0.12$ ), Hvorfor leddet " $\beta * f_{\text{år}}$ " i modellen blev reduceret bort. Estimerne fra den reducerede ko-variansanalysemodel kan ses i tabel 2.

Tabel 2. Variansanalyser. Maarmorilik, september 1993.

År	exp ( $f_{\text{år}}$ )	A mg/kg	$\beta$	exp ( $\mu_0$ )
1983	3.511	703.2	-1.366	200.28
1984	2.493	499.3	"	"
1985	2.034	407.4	"	"
1986	2.389	478.5	"	"
1987	1.169	234.1	"	"
1988	1.738	348.1	"	"
1989	1.628	326.1	"	"
1990	1.787	357.9	"	"
1991	0.923	184.9	"	"
1992	1.094	219.1	"	"
1993	1.000	200.3	"	"

I tabel 2 er også udregnet værdierne for  $A = (\exp f_{\text{år}}) \cdot (\exp \mu_0)$ , som er lig med

koncentrationen af bly i *Cetraria nivalis* i afstanden 1 km. Både A og B værdierne er lidt anderledes for 1983-1993 end tidligere rapporteret. Det skyldes, at også data fra 1993 benyttes til at bestemme konstanterne for tidligere år.

## 5. BEREGNING AF BLYNEDFALD

Det er vist (Pilegaard 1983), at blynedfaldet målt som kg/km<sup>2</sup> er lig med blykoncentrationen i *Cetraria nivalis* målt i mg/kg divideret med 2.7. Blynedfaldet kan derfor beregnes som integralet af bly i lav over det berørte areal divideret med 2.7.

$$\text{Blynedfald} = 1/2,7 \cdot \int (C \cdot 2 \pi r \cdot dr) \cdot v/360$$

C = koncentration af bly i lav, mg/kg

r = afstand fra Maarmorilik, km

v = den vinkel spredningen antages at foregå over.

Indsættes udtrykket  $C = A \cdot r^\beta$ , kan integralet løses med resultatet:

$$\text{Blynedfald} = [2 \pi \cdot A \cdot (\text{afstand})^{2+\beta} / (2,7 \cdot 360 \cdot (2+\beta))] \cdot v$$

En vurdering af hvilket område, der er påvirket af støv fra minevirksomheden, er gengivet i kortet på figur 5. Området er sammensat af tre områder. Et nærområde mod syd med radius 1 km over 180°, et mellemområde over 140° mod nord med afstanden 2,5 km og et fjernområde over 40° mod vest med afstanden 23 km. Indsættes nu disse værdier for v og afstand sammen med  $\beta = \div 1.366$  fås:

$$\text{Blynedfald nærområde} = A \cdot 1.8353$$

$$\text{Blynedfald mellemområde} = A \cdot 2.5518$$

$$\text{Blynedfald fjernområde} = A \cdot 2.9773$$

$$\text{Blynedfald ialt} = A \cdot 7.3644$$

Blynedfaldet i perioden 1983-1993 kan nu beregnes. I tabel 3 vises beregningsværdierne sammen med de af Pilegaard beregnede værdier fra 1979 og 1980. Pilegaards resultater er forhøjet med faktoren 1,186, da han i sine beregninger ikke har medtaget mellemområdet, men ladet nærområdet dække vinklen 320°.

Tabel 3. Blynedfald ved Maarmorilik, kg/år.

År	Blynedfald målt ved lav-metoden
1979	6404
1980	4732
1983	5179
1984	3677
1985	3000
1986	3524
1987	1724*
1988	2564
1989	2402
1990	2636
1991	1362*
1992	1614
1993	1475

\*) se forbeholdet i teksten

Tallene for 1979 og 1980 er beregnet på grundlag af Pilegaards målinger (Pilegaard 1983).

I figur 6 er det beregnede blynedfald afbildet for hele måleperioden 1979 til 1993. Frem til minens lukning i 1990 faldt blynedfaldet væsentligt som følge af forskellige indgreb mod spredning af metalholdigt støv, herunder luftfiltrering og spild ved koncentratlastning. Efter minens lukning er blyspredning yderligere faldet til et lavere niveau, men der spredes dog stadig metalholdigt støv i området. Dette fortolkes således, at metalholdigt støv, som blev tilført området mens minedriften fandt sted, stadig ophvirvles og "blæser rundt" i området. Hvad der også kan have betydning er, at de indsamlede lavprøver består af både ungt og gammelt lav, og at det gamle lav måske ikke har udskilt det bly, det optog i perioden med større blyforurening end nu. Lavplante-monitoringen vil derfor være en træg måde til at overvåge bly-støvspredningen i perioder med kraftigt faldende forurening. (Dette problem er analagt med muslinge-problemet; muslinger udskiller kun bly meget langsomt, eller slet ikke, og er

derfor også træge hvad angår evnen til at måle en faldende havvandsforurening).

Der er en tendens i måleresultaterne, der viser, at det er de fjerne stationer, der er faldet mest, medens støvspredningen tæt ved Maarmorilik ikke er faldet tilsvarende. Denne tendens kræver dog endnu en eller to års målinger for at kunne be- eller afkræftes med tilstrækkelig sikkerhed.

## 6. SORTEBÆR

Støvspreddingen kunne tænkes at få direkte betydning for mennesker, ved at blyholdigt støv aflejres på bær, der indsamles og spises. Sortebær er indsamlet 4 steder og analyseret for zink, cadmium og bly. Resultatet fremgår af tabel 4. (I 1993 indsamledes ingen bær ved station L).

Tabel 4. Tungmetal i sortebær,  $\mu\text{g/g}$  tørvægt.

Station	Zink			Cadmium			Bly		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993	1991	1992	1993
10	29,6	19,1	26,5	0,086	0,034	0,10	7,03	4,9	6,07
36	9,63	8,78	10,0	0,030	<0,02	0,01	0,404	0,150	0,39
L	14,6	8,26		0,050	<0,02		0,260	0,096	
Tassiusaq, nye bær	14,1	8,61	10,5	0,010	<0,02	0,03	0,298	0,106	0,16
Tassiusaq, gamle bær		11,5			<0,02			0,176	
St. 10 1984	61,6			0,20			22,0		

Som forventeligt er sortebær forurenede med Zn, Cd og Pb i umiddelbar nærhed af Maarmorilik (station 10), medens alle andre indsamlingssteder har uforurenede bær.

Samme resultat fandtes ved bær-undersøgelsen i 1984, 1991 og 1992 med den forskel, at i 1984 var indholdet af Zn, Cd og Pb to til tre gange så høje ved station 10 som i 1991.

Resultaterne for 1993 var meget lig resultaterne fra 1991. Ved Tassiusaq indsamledes i 1992 både nye bær og bær, der var fra sidste år. De gamle bær havde højere zink- og blyindhold end de unge.



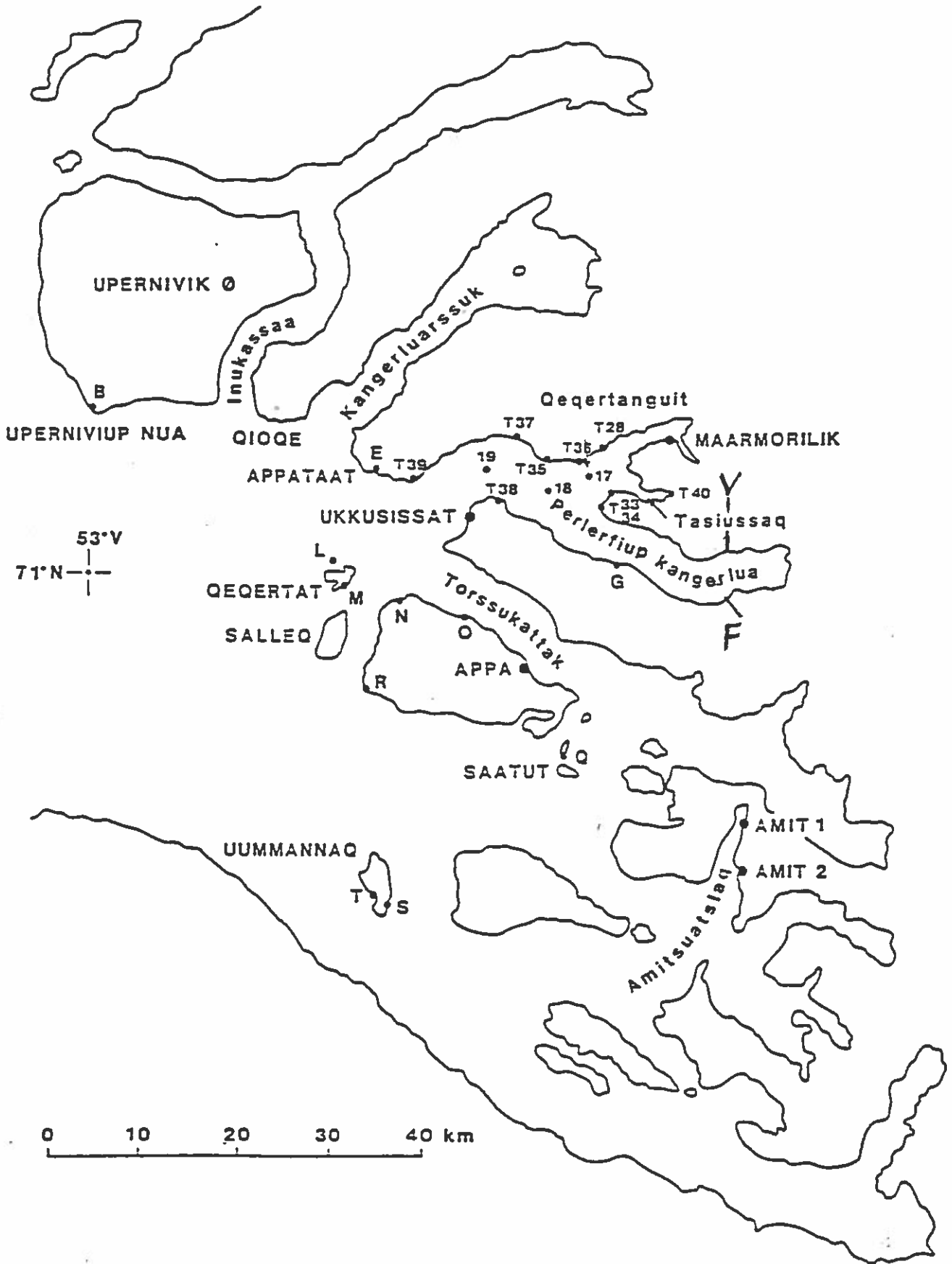
## 7. REFERENCER

Pilegaard, K. 1983: "Biological monitoring of airborne metal pollution around a lead-zinc mine in Greenland". 1133-1136 in Proc. Int. Conf.: Heavy Metals in the Environment. Heidelberg sept. 1983.

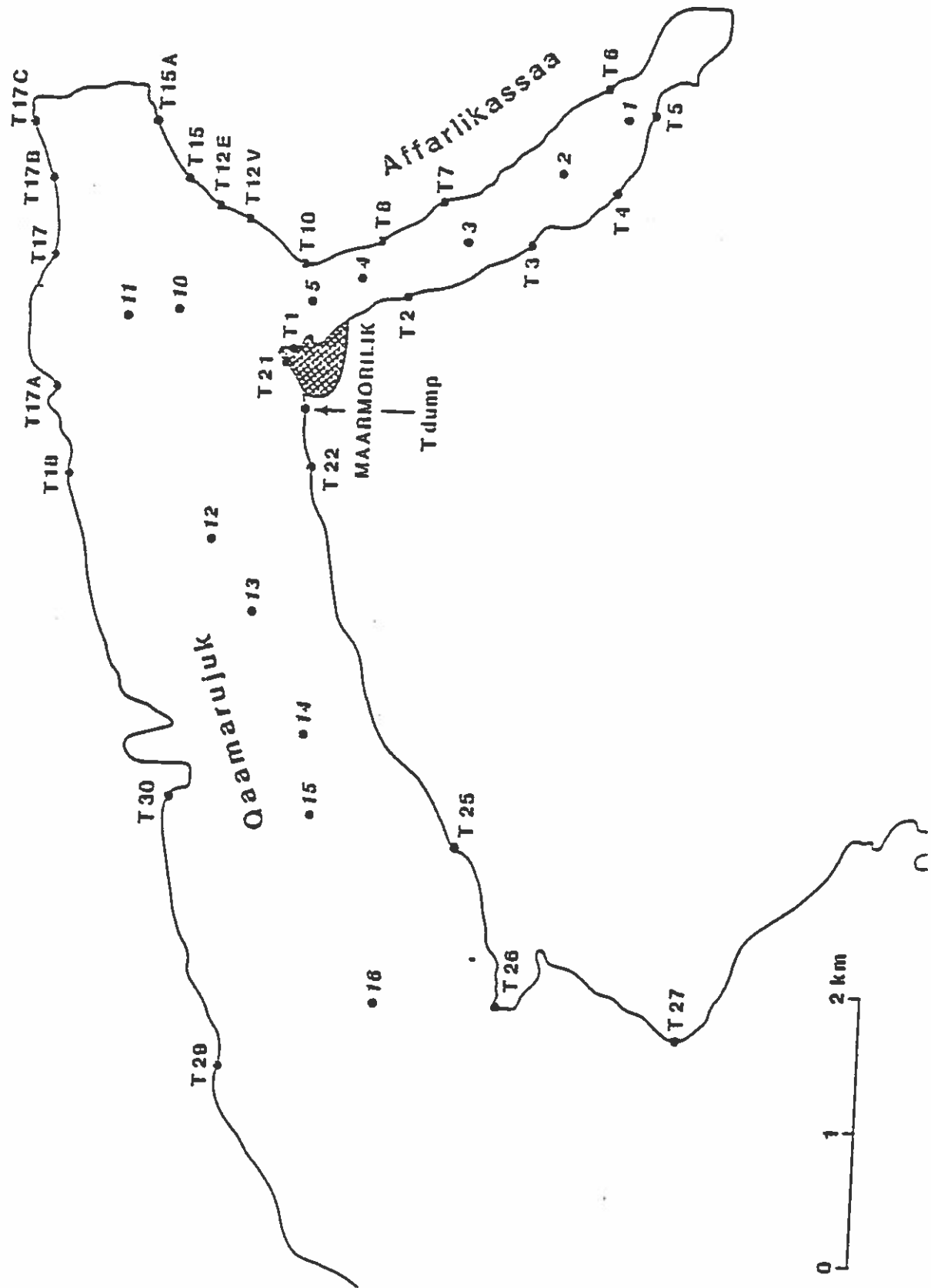
Grønlands Miljøundersøgelser og Grønlands Geologiske Undersøgelse 1988: "Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1972-1987". pp 207.

**BILAG 1. FIGURER**

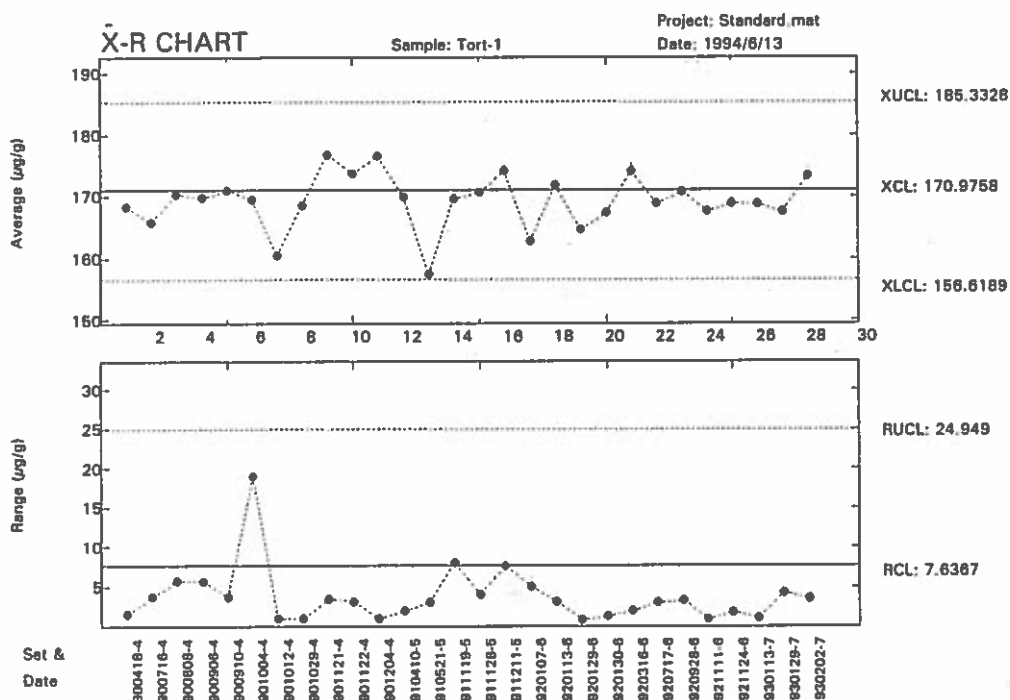
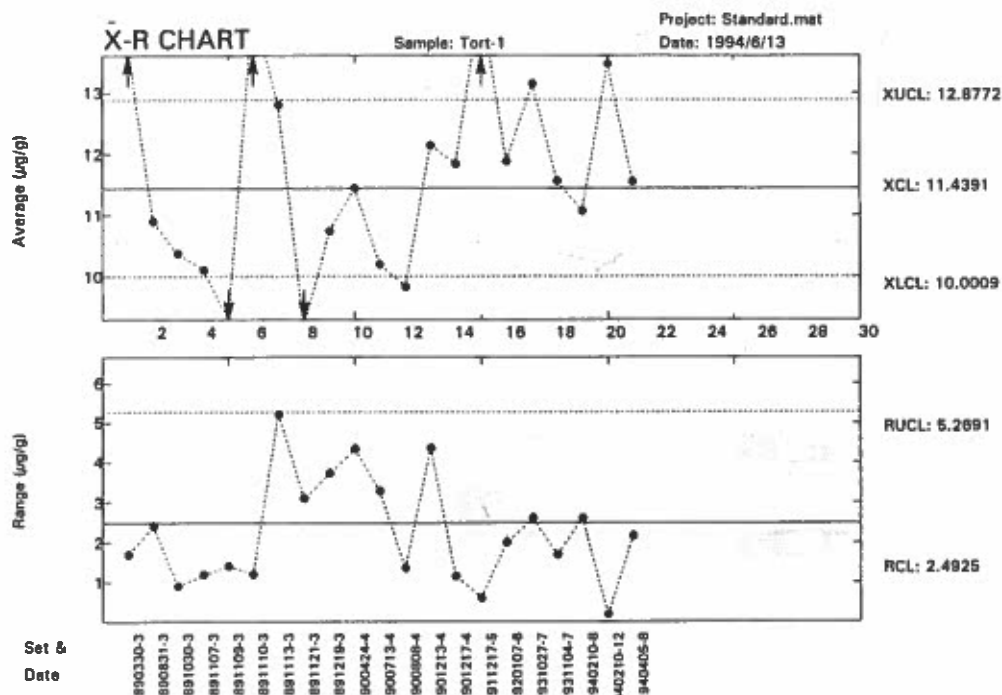
Figur 1. Stationskort over Maarmorilik . . . . .	18
Figur 2. Stationskort over Maarmorilik . . . . .	19
Figur 3. Kontrolkort . . . . .	20
Figur 4. Bly i lav ( <i>Cetraria nivalis</i> ) omkring Tip-2 og Tip-3 . . . . .	21
Figur 5. Områder over hvilke blynedfald beregnes . . . . .	22
Figur 6. Det beregnede blynedfald, kg, fra 1979 til 1993. . . . .	23



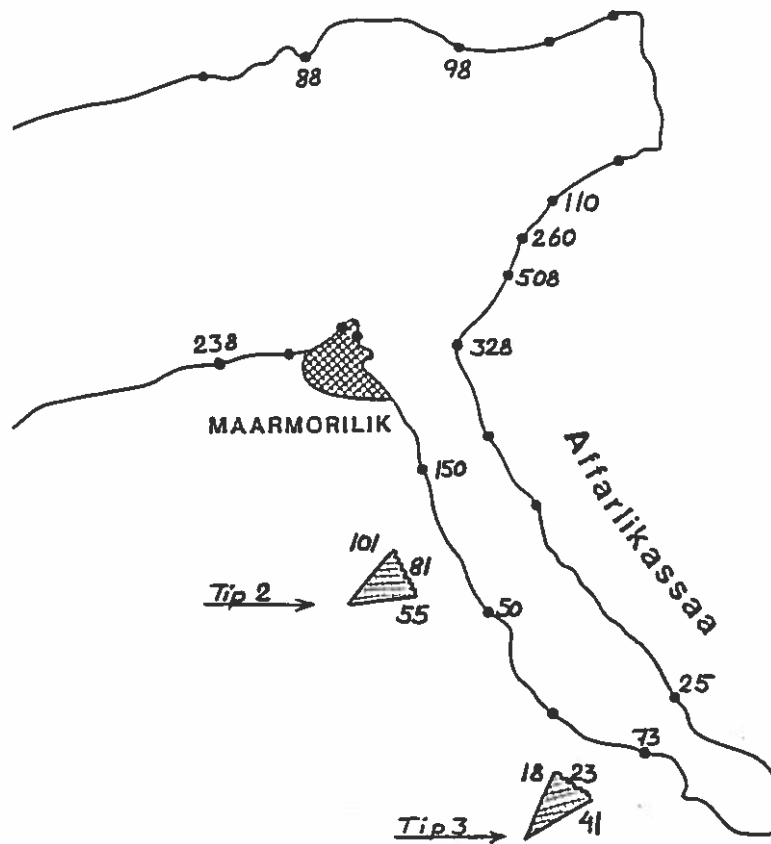
Figur 1. Stationskort over Maarmorilik



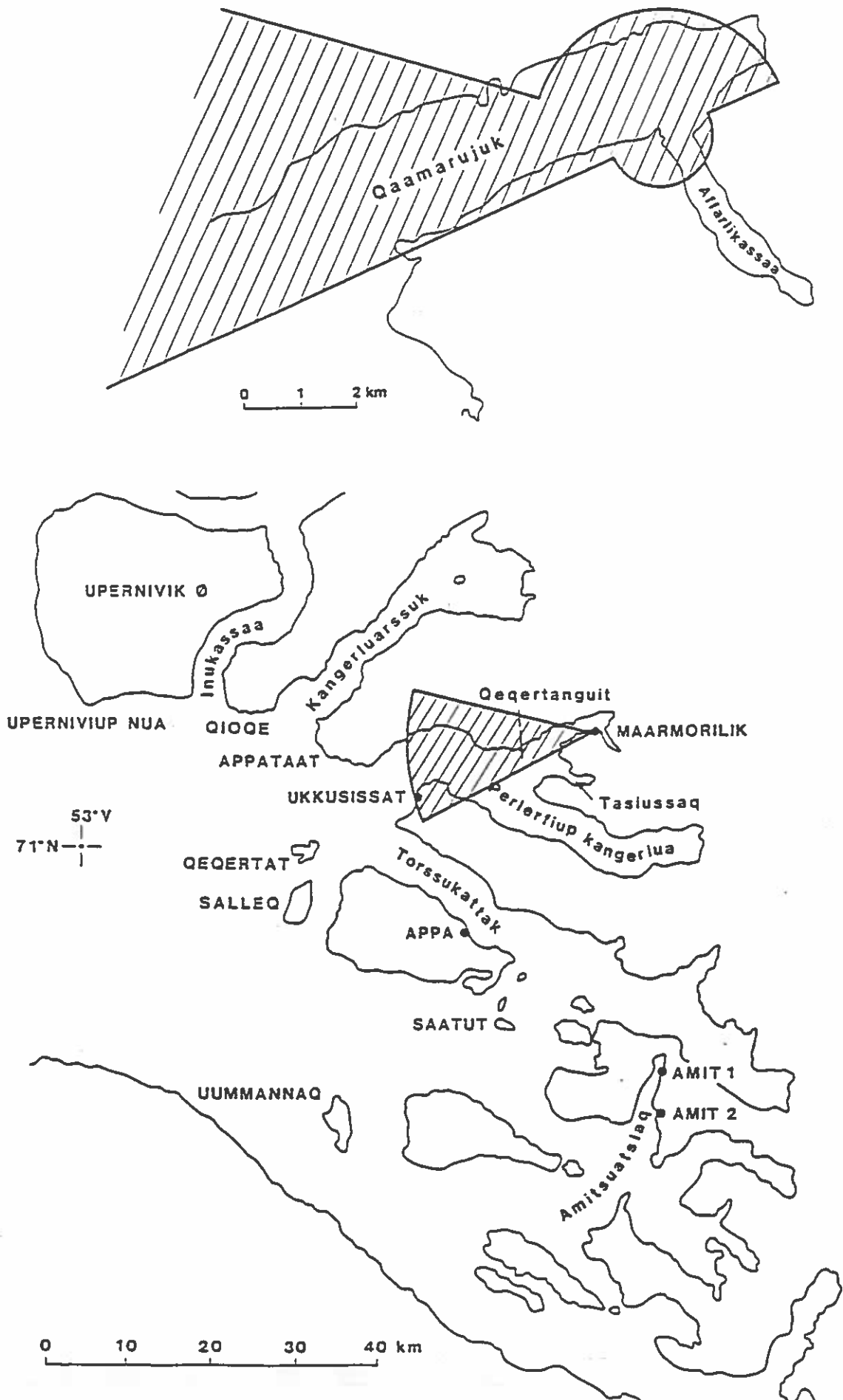
Figur 2. Stationskort over Maarmorilik



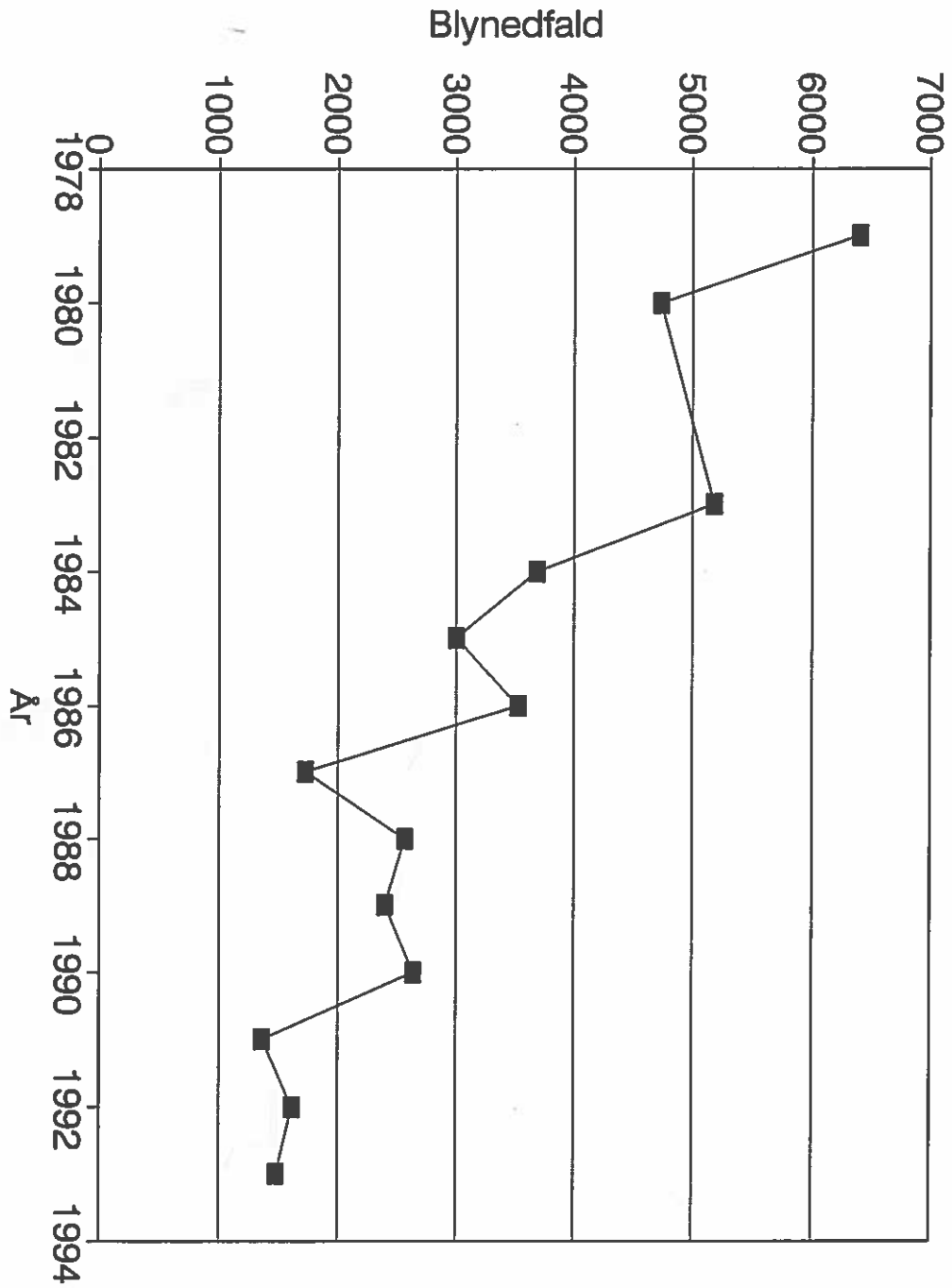
**Figur 3. Kontrollkort for referencematerialet Tort-1**  
 Øverst Bly (Certifikat  $10.4 \pm 2$ )  
 Nederst Zink (Certifikat  $177 \pm 10$ )



Figur 4. Bly i lav (*Cetraria nivalis*) omkring Tip-2 og Tip-3



Figur 5. Områder over hvilke blynedfald beregnes



Figur 6. Det beregnede blynedfald, kg, fra 1979 til 1993