



HÄLLRISTNINGAR  
I GRÄNSBYGD

Helleristninger i grensebygd  
INTERREG II A, delprosjekt 3A:

## Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst



Elin Dahlin, Jan F. Henriksen, Odd Anda; NILU  
Johan Mattsson; Mycoteam as  
Kjersti Iden, Göran Åberg; IFE  
Torbjørg Bjelland, Ingunn Thorseth, Geir Magne Hamnes;  
Universitetet i Bergen  
Peter Torssander; Stockholms Universitet





NILU: OR 76/99  
REFERANSE: U-97095  
DATO: JULI 2000  
ISBN: 82-425-1144-6

**Helleristninger i grensebygd,  
INTERREG II A, delprosjekt 3A:  
Kunnskapsutvikling omkring  
nedbrytning og forvitring, samt  
utvikling av verneteknikk for  
bergkunst**

**Elin Dahlin<sup>1</sup>, Jan F. Henriksen<sup>1</sup>, Odd Anda<sup>1</sup>,  
Johan Mattsson<sup>2</sup>,  
Kjersti Iden<sup>3</sup>, Göran Åberg<sup>3</sup>,  
Torbjørg Bjelland<sup>4</sup>, Ingunn Thorseth<sup>4</sup>, Geir Magne Hamnes<sup>4</sup>,  
Peter Torssander<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Norsk institutt for luftforskning (NILU)

<sup>2</sup> Mycoteam as

<sup>3</sup> Institutt for Energiteknikk (IFE)

<sup>4</sup> Universitetet i Bergen

<sup>5</sup> Stockholms Universitet



## Forord

Prosjektet "Helleristninger i grensebygd", er en del av EUs fellesskapsinitiativ: INTERREG II A "Ett gränslöst samarbeide", Bohuslän/Dalsland-Østfold. Prosjektet startet 1. juli 1997 og ble avsluttet 31. desember 1999. Bakgrunnen for prosjektet er følgende:

Grenseområdet mellom nordre Bohuslän og Østfold har en meget rik og interessant historie, spesielt når det gjelder helleristningsfelt fra bronsealderen. Feltene i Tanum i Bohuslän står i dag på UNESCOs liste over bevaringsverdige kulturminner, og områdene på begge sider av grensen utgjør et umistelig bidrag til Europas forhistoriske kulturminnearv. Naturlige og antropogene kilder har forårsaket en aksellererende nedbrytning av regionens bergkunst, og flere av feltene er i dag i ferd med å forsvinne.

Prosjektet "Helleristninger i grensebygd" har utviklet et tverrfaglig samarbeid i et grensoverskridende prosjekt der man ville utnytte den beste kompetansen fra begge land for å utvikle ny kunnskap for å kunne forvalte og bevare den felles kulturskatt. Prosjektet ble delt inn i 5 delprosjekter hvorav dette er en rapport for den norske delen av delprosjekt 3A: "Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst". Hovedproblemstillingen for delprosjekt 3A er følgende:

- Å øke kunnskapen om de prosesser som påvirker nedbrytningen av ristingsberg.
- Å utvikle og prøve ut praktiske beskyttelses- og bevaringsmetoder for helleristninger.

I denne rapporten vil det hovedsaklig bli presentert resultater fra et forsøksfelt på Begby utenfor Fredrikstad i Østfold fylke, men det vil også tildels bli referert til resultater fra et tilsvarende forsøksfelt i Litsleby, Tanum, Sverige som inngår i Delprosjekt 3A på svensk side.

Rapporten som er utarbeidet av en tverrfaglig gruppe med representanter for geologi, geokjemi, miljøkjemi og biologi, gir et økt bidrag til forståelsen om årsakene til forvitring av bergkunsten samt en vurdering av metoder for ulike tiltak for videre skjøtsel.

Elin Dahlin  
*Senior forsker*  
Norsk institutt for luftforskning



# Innhold

	Side
<b>Forord</b> .....	<b>1</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>11</b>
1.1 Bakgrunn for prosjektet.....	11
1.1.1 INTERREG II A .....	11
1.1.2 Delprosjekt 3A; Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst.....	12
1.2 Deltakere i prosjektet .....	13
<b>2 Målsetting</b> , .....	<b>17</b>
<b>3 Nedbrytningsfaktorer for bergarter</b> .....	<b>19</b>
<b>4 Beskrivelse av prøvemarket på Begby</b> .....	<b>21</b>
4.1 Beliggenhet .....	21
4.2 Geologisk beliggenhet.....	21
4.2.1 Prøveflaten i Begby .....	23
<b>5 Presentasjon av ulike analysemetoder brukt på Begby</b> .....	<b>27</b>
5.1 Oppsett av måle- og analyseutstyr på prøvemarket .....	27
5.1.1 Innsamling av prøver .....	30
5.2 Kartlegging av våt- og tørravsetning.....	30
5.2.1 Nedbør, kronedrypp og avrenning.....	30
5.2.2 Forurensende gasser.....	30
5.2.3 Aerosoler.....	31
5.3 Kartlegging av temperatur og fuktighet .....	31
5.3.1 Plassering av WETCORR sensorene.....	31
5.3.2 Registrering av fuktighet .....	32
5.3.3 Registrering av temperatur .....	32
5.4 Geologiske undersøkelser .....	32
5.4.1 Prøvemateriale .....	33
5.4.2 Tynnslip .....	36
5.4.3 Mineralsammensetning.....	36
5.4.4 Skanning elektronmikroskopi (SEM).....	36
5.4.5 Elektronmikrosonde.....	36
5.4.6 Røntgen fluorescens spektrometri (XRF).....	36
5.4.7 Massespektrometri (MS) .....	37
5.5 Anvendning av naturlige isotopsystem for analys av miljökällor.....	37
5.5.1 Analys av strontiumisotoper .....	37
5.6 Biologiske undersøkelser .....	38
5.6.1 Begby, Østfold.....	38
5.6.1.1 Prøvemateriale .....	38
5.6.1.2 Arts bestemmelse ved tynnsjiktskromatografi.....	38
5.6.1.3 Skanning elektronmikroskopi .....	38
5.6.2 Litsleby, Tanum .....	39
5.6.2.1 Feltundersøkelser og skjøtselstiltak .....	39
5.6.2.2 Overdekkingsforsøk.....	39
5.6.2.3 Prøvemateriale og laboratorieundersøkelser.....	41

<b>6</b>	<b>Resultater og diskusjon av miljømålingene .....</b>	<b>43</b>
6.1	Analyse av nedbør og kronedrypp .....	43
6.1.1	Nedbørmengde.....	43
6.1.2	pH .....	44
6.1.3	Ledningsevne ( $\mu\text{S}$ ).....	45
6.1.4	Kationer .....	47
6.1.5	Anioner .....	50
6.1.6	Sammendrag av nedbørresultatene .....	54
6.2	Analysen av forurensende gasser.....	55
6.2.1	Svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ).....	55
6.2.2	Nitrogen dioksid ( $\text{NO}_2$ ).....	56
6.2.3	Ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ).....	56
6.2.4	Ozon ( $\text{O}_3$ ).....	56
6.2.5	Sammendrag, resultater av forurensende gasser.....	57
6.3	Vannløselig tørravsetning .....	57
6.3.1	Sammendrag .....	59
6.4	Forurensningssituasjonen i tidligere perioder .....	59
6.5	Saltdriftundersøkelse i Borge i tiden 1.10-17.12.97. ....	61
6.6	Konklusjoner av NILUs miljømålinger .....	65
6.7	Måling av fukt og temperatur ved bruk av WETCORR-sensoren.....	67
6.8	Måling av fukt og temperatur ved bruk av WETCORR-sensoren.....	67
6.8.1	Eksempel på tolkning av data fra måling med WETCORR-instrumentet .....	67
6.8.2	Periode med svingninger rundt $0^\circ\text{C}$ .....	71
6.8.3	Middeltemperatur over året .....	72
6.8.4	Perioder med store temperatursvingninger, differanse på $15^\circ\text{C}$ .....	73
6.8.5	Perioder med fuktighet på målestedene.....	74
6.8.6	Diskusjon .....	75
<b>7</b>	<b>Petrografiske og geokjemiske undersøkelser av bergarten på Begby ....</b>	<b>79</b>
7.1	Mineralogi og tekstur .....	79
7.1.1	Uvitret bergart.....	79
7.1.2	Forvitret bergart.....	84
7.2	Mineralkjemi .....	89
7.3	Bergartskjemi: Hoved- og sporelementer .....	89
7.4	Sr-isotoper .....	92
7.4.1	Sr-isotoper i bergart .....	92
7.4.2	Sr-isotoper i mineraler .....	92
7.5	Diskusjon .....	93
7.6	Sammendrag og konklusjoner.....	95
<b>8</b>	<b>Isotopforholdene.....</b>	<b>97</b>
8.1	Analysen av nederbørds- og avrinningsprover .....	97
8.2	Slutsatser .....	102
<b>9</b>	<b>Avrinningsstudier på ytan i Begby .....</b>	<b>103</b>
9.1	Vittring .....	103
9.2	Hur kan vittring måtas?.....	103
9.3	Undersøkningens strategi .....	104
9.4	Metodik .....	105
9.4.1	Kemisk analysemetodik. ....	106



9.5	Resultat och diskussion .....	106
9.6	Slutsatser .....	109
<b>10</b>	<b>Biologisk materiale på bergflatene og i forvitringssonen.....</b>	<b>111</b>
10.1	Biologisk materiale på bergflatene og i forvitringssonen: Begby, Østfold.....	111
10.1.1	Lavvegetasjon .....	111
10.1.2	Biologisk materiale i forvitringssonen.....	111
10.1.3	Biologisk materiale i forvitringssonen under torvdekke .....	117
10.1.4	Biologisk materiale i Si-skorpe tilknyttet vannsig.....	118
10.2	Diskusjon.....	119
10.3	Konklusjoner .....	120
<b>11</b>	<b>Registrering av biologisk vekst i forbindelse med skjøtselstiltak.....</b>	<b>121</b>
11.1	Gjennomføring .....	121
11.2	Resultater.....	122
11.2.1	Feltregistrering.....	122
11.2.2	Område 1 .....	122
11.2.3	Område 2 .....	123
11.2.4	Område 3 .....	123
11.3	Overdekkingsforsøk .....	125
11.3.1	Avdekking 23.9.98.....	125
11.3.2	Avdekking 6.5.99.....	126
11.3.3	Avdekking 29.9.99.....	131
11.3.4	Laboratorieundersøkelser .....	134
11.3.5	Biologisk materiale i forvitringssonen og effekt av ulike typer overdekking .....	135
11.4	Diskusjon.....	135
11.4.1	Biologisk nedbrytning av stein .....	135
11.5	Konklusjon .....	136
<b>12</b>	<b>Forslag til skjøtselstiltak .....</b>	<b>137</b>
<b>13</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>139</b>
<b>14</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>143</b>
<b>Vedlegg A</b>	<b>Biologisk nedbrytning av steinmaterialer - En litteraturstudie .....</b>	<b>147</b>
<b>Vedlegg B</b>	<b>Bakgrunnsdata for målinger med WETCORR.....</b>	<b>167</b>
<b>Vedlegg C</b>	<b>Bakgrunnsdata for NILUs miljømålinger .....</b>	<b>175</b>
<b>Vedlegg D</b>	<b>Bakgrunnsdata for petrografiske og geokjemiske undersøkelser av bergarten på Begby .....</b>	<b>187</b>
<b>Vedlegg E</b>	<b>Kemiska analysdata för avrinning, nederbörd och krongropp från Begby.....</b>	<b>199</b>



## Sammendrag

Denne rapporten omhandler et delprosjekt under prosjektet "Helleristninger i Grensebygd", som er en del av EUs felleskapsinitiativ: INTERREG II A "Ett gränslöst samarbeide", Bohuslän/ Dalsland-Østfold. Prosjektet startet 1. juli 1997 og ble avsluttet 31. desember 1999. Rapporten er utarbeidet av en tverrfaglig gruppe, med representanter for geologi, geokjemi, miljøkjemi og biologi.

Bakgrunnen for prosjektet er følgende:

Grenseområdet mellom nordre Bohuslän og Østfold har en meget rik og interessent historie, spesielt når det gjelder helleristningsfelt fra bronsealderen. Feltene i Tanum i Bohuslän står i dag på UNESCOs liste over bevaringsverdige kulturminner og områdene på begge sider av grensen utgjør et umistelig bidrag til Europas forhistoriske kulturminnearv. Naturlige og antropogene kilder har forårsaket en aksellererende nedbrytning av regionens bergkunst.

Hovedproblemstillingen for delprosjekt 3A er å øke kunnskapen om de prosesser som innvirker på nedbrytningen av bergflater samt å utvikle og utprøve praktiske skjøtelses- og bevaringsmetoder for helleristninger.

I denne rapporten er det hovedsakelig presentert resultater fra et forsøksfelt på Begby, utenfor Fredrikstad i Østfold fylke, men det er også referert til resultater fra et tilsvarende forsøksfelt i Litsleby, Tanum, Sverige som inngår i delprosjekt 3A på svensk side. På Litsleby er det satt opp en takkonstruksjon hvor man har vurdert i hvilken grad et beskyttelsestak påvirker forvittringshastigheten på bergoverflaten.

Bergkunstfeltene i begge undersøkelsesområdene er hugget i granitt. En viktig kontrollerende forvittringsfaktor (for både kjemiske, fysiske og biologiske prosesser) er tidligere omdanning/oppsprekking av granitten. Ved studier av borekjerner er det påvist en forvittringsdybde fra 1-3.5 cm som trolig skyldes delvis varierende mengde mikrosprekker og omdanning. Det er videre gjennom studier av bergarten påvist åpning av mikrosprekker og porer som skyldes kjemisk oppløsning. En videre utvidelse og oppsprekking av disse ved fysiske og biologiske prosesser, fører til at mineralkorn løsner fra overflaten (grusvitring).

Miljømålingene har vist at prøvefeltet på Begby blir utsatt for noe svoveldioksid og nitrogendioksid. Dette skyldes utslipp fra fyring, trafikk og industri. Utslippene fra industrien kommer mest sannsynlig fra Fredrikstadorrådet. Belastningene er i dag moderate. Isotopanalyser av avrenningsvannet har vist at svevelet i atmosfæren er både lokal- og langtransportert, mens strontium først og fremst kommer fra havet, men med tilskudd fra bergoverflaten. Den marine innflytelsen på nedbøren som renner over bergflatene er tydelig.

Ved å vurdere historiske måledata kan vi se at SO<sub>2</sub>-belastningen har vært betydelig større i perioden fra 1945 og fram til 1990. Selv om en slik periode er ubetydelig i historisk sammenheng kan nedbrytningseffekten ha vært påtagelig i denne perioden med sterk forsurening.

Målinger av pH i nedbøren har vist verdier mellom 4 - 5,5, med de laveste verdiene om vinteren.

Avrenningsforsøk på Litsleby har vist at nedbrytningen er betydelig større utenfor takkonstruksjonen enn under taket. Analysene av avrenningsvannet fra Begby viser at nedbrytningshastigheten der er den samme som utenfor taket på Litsleby.

Målinger av temperatur og fuktighet på bergoverflaten har vist mange fryse-tine sykluser, spesielt i februar, mars og november måned. Temperatur-sjokk kan gi mikrosprekker i stein. Svingninger over 15°C i løpet av et døgn ble registrert i sommerhalvåret på alle målepunktene som ble soloppvarmet.

Planterøtter, lav og ulike mikroorganismer bidrar i nedbrytningen av mineral og bergarter. Det er registrert ca. 25 lavarter på bergflatene i Begby. Skorpelav dominerer, men flekkvis forekommer større felt med bladlav. Bergflatene på Litsleby og Begby er stort sett lik med hensyn til type lavvegetasjon. Skorpelav trenger dypere ned i forvitringssonen (2-3 mm) og det er generelt mer biologisk materiale i mikrosprekker og porer under skorpelav enn under bladlav.

Sort misfarging av bergoverflatene i forbindelse med vannsig skyldes utfelling av en silisium-skorpe. Si-skorpen inneholder dels store mengder mikroorganismer, sannsynligvis sopp og/eller bakterier. Den kjemiske forvitringen av bergflaten under slik skorpe er tilsynelatende mindre enn ellers på testfeltet. Oppsprekking og flekkvis avskalling av skorpen, hvor biter av de underliggende mineralene også følger med, bryter likevel ned bergflaten over tid.

En relativt hurtig metode for å fjerne lav fra bergflaten, er overdekking. Resultatene fra tildekkingsforsøket viser at ved tildekking med jord og torvmose var bergoverflaten tilnærmet fri for biologisk materiale etter bare 2 mnd., mens biologisk materiale på bergflaten under isolasjonsmatter fortsatt ikke var nedbrutt.

Resultater fra overdekningsforsøket på Litsleby viste at overflaten var relativt ren etter en overdekking på ca. 8 uker. For å fjerne biologisk materiale på overflaten ser den mest effektive måten ut til å være tildekking med fuktig torvmose i et 10-20 cm tykt lag direkte på steinflaten, med en overdekking av en dampspærre. Alternativt kan trolig en fiberduk mot steinflaten, et fuktig 5-10 cm jordlag, eventuelt 10 cm isolasjon og en overdekking med dampspærre ha en tilsvarende god effekt.

Det tar imidlertid lengre tid å få sprekkene og porene i forvitringssonen helt rene. Resultatene indikerer at en lavdekket bergoverflate må være tildekket i ca. 15 måneder før mesteparten av det biologiske materialet i porene og sprekkene i forvitringssonen er nedbrutt.

Undersøkelsene på Litsleby viser at forvitringen kan reduseres med en form for overdekking som for eksempel en takkonstruksjon. Tørravsetning av partikler og sure gasser vil skje også under tak og det er derfor viktig at overflaten vaskes regelmessig hvis en skal ha positiv effekt over tid. Ytterligere tiltak er beskrevet i kapittel 12.

Miljømålingene har bare pågått i en periode på ca 1 ½ år, noe som er en svært kort tid for å få frem resultater som kan si noe sikkert om nedbrytningshastigheten og årsakene til denne. Det vil derfor være viktig å kunne fortsette med miljømålinger av bergkunstfelt i Østfold og Bohuslän i ennå en periode fremover.



# Helleristninger i grensebygd, Delprosjekt 3A: "Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst"

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn for prosjektet

Bergkunst er en samlebetegnelse som er brukt om billedmotiver som er hugget, slipt eller malt på en bergoverflate i forhistorisk tid. De billedmotiver som er hugget eller slipt omtales som helleristninger og de malte motiver som hule- eller hellemalerier. Denne rapporten omhandler først og fremst helleristninger fra bronsealderen såkalte jordbruksristninger som dateres til perioden ca 1800-500 f. Kr. I Norge og Sverige til sammen finnes det totalt ca 17 000 felt av denne typen hvorav ca 5 000 befinner seg i Østfold – Bohuslänområdet (Hygen og Bengtsson, 1999).

Både i Norge og i Sverige har det vært utført landsomfattende registreringer for å kartlegge tilstanden til bergkunsten og det er konstatert at den skandinaviske bergkunsten brytes ned urovekkende raskt (Mandt, 1992, Löfvendahl & Bertilsson, 1996). Det har derfor i de senere år pågått forskningsprosjekter i både Norge og Sverige for å undersøke forvittringsprosessen samt foreslå ulike tiltak for bevaring av bergkunsten (Løddøen et al., 1997, Löfvendahl, 1998). I Østfold fylke utførte man i perioden 1993-1994 en tilstandsregistrering på ialt 133 helleristningsfelt og man konkluderte med at tilstanden til mange av feltene var kritisk (Hygen, 1995). En tilsvarende undersøkelse av forvitring ble utført på 54 helleristningsfelt i Bohuslän i 1994 og også der var tilstanden alvorlig (Magnusson og Berg, 1994). Med bakgrunn i den kritiske tilstanden til bergkunsten i de to områdene samt behovet for å øke forståelsen for de ulike nedbrytningsårsaker og å komme frem til forslag om konkrete tiltak for fortsatt bevaring, ble det i 1996 besluttet å utarbeide en felles søknad til EUs Interreg-program.

#### 1.1.1 INTERREG II A

Interregprosjektet "Helleristninger i Grensebygd", er en del av EUs felleskapsinitiativ: INTERREG II A "Ett gränslöst samarbeite", Bohuslän/Dalsland-Østfold. Prosjektet har pågått siden 1. juli 1997 og ble avsluttet 31. desember 1999. Bakgrunnen for prosjektet er som følger:

Grenseområdet mellom nordre Bohuslän og Østfold har en meget rik og interessant historie, og området inneholder ca 5000 helleristningsfelt fra bronsealderen. De mest interessante feltene (ca 450) i Tanum i Bohuslän står i dag på UNESCOs liste over bevaringsverdige kulturminner og områdene på begge sider av grensen utgjør et umistelig bidrag til Europas forhistoriske

kulturminnearv. Naturlige og antropogene kilder har forårsaket en aksellererende nedbrytning av regionens bergkunst.

Forsvinner helleristningene så mister regionen en viktig del av sitt kulturelle særpreget og med dette et sentralt element for turisme og næringsutvikling. Prosjektet "Helleristninger i Grensebygd" har utviklet et tverrfaglig samarbeid i et grenseoverskridende prosjekt der man ville utnytte den beste kompetansen fra begge land for å utvikle ny kunnskap for å kunne forvalte og bevare den felles kulturskatt. Prosjektet skaper også forutsetninger for å utvikle en bærekraftig og holdbar kulturturisme som tillater at helleristningene kan vises frem og brukes, uten å forbrukes. Målgruppen for prosjektet er først og fremst forvaltningen, men prosjektet retter seg også mot turist- og kulturorganisasjoner, næringsliv, skoler, universiteter og ikke minst befolkningen i grenseregionen.

Interreg-prosjektet har vært finansiert på følgende måte: ca. 31% svenske offentlige midler, ca. 29% norske offentlige midler og 16% privat finansiering. De resterende bevilgninger er søkt fra det svenske strukturfondet Kultur/Turisme (12%) og fra det norske KAD/INTERREG-fond (ca. 12 %). Delprosjekt 3A har vært finansiert av følgende institusjoner: Riksantikvaren, (del av prosjektet "Sikring av Bergkunst, 1996-2000"), det norske KAD/INTERREG-fond, Statens vegvesen, Østfold fylkeskommune (egenandel) og Norsk institutt for luftforskning (egenandel).

Interregprosjektet er delt inn i 5 delprosjekter:

1A: "Formidling, informasjon og turisme"

1B: "Arkeologisk kunnskapsutvikling"

2: "Dokumentasjon og vern av helleristninger"

3A: "Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst"

3B: "Utvikling av et GIS-basert informasjonssystem med koblinger til internet"

### ***1.1.2 Delprosjekt 3A; Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst***

Delprosjekt 3A; "Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst" i Interregprosjektet "Helleristninger i grensebygd" har hatt to hovedproblemstillinger:

1. Å øke kunnskapen om de prosesser som påvirker nedbrytningen av ristningsberg.
2. Å utvikle og prøve ut praktiske beskyttelses- og bevaringsmetoder for helleristninger.

Ansvarlig for Delprosjekt 3A i Norge er Riksantikvaren og for Sveriges del Riksantikvarieämbetet i Stockholm. Den norske delen av prosjektet ble utført på et felt på Begby i Østfold, mens den svenske delen av prosjektet ble utført på to felt i Bohuslän: Litsleby og Kalleby.

Alle feltene er bevisst valgt ut fra en representativ beliggenhet for bergkunsten i området, men de har ingen synlige spor av helleristninger. Feltene i Begby og Litsleby ligger i et småkupert område med blanding av skog, bebyggelse og



jordbruk. Det ble lagt vekt på å finne en prøveflate i Begby hvor inntrykket av overflaten var så lik prøveflaten i Litsleby som mulig, i tillegg til likhet i orientering (vestvendt), helningsvinkel og eksponering for klimatiske forhold. Tett opp mot feltene er det spredt blandingsskog, med dominans av furutrær, mens selve bergflatene er relativt åpne og uten høyere busker eller trær. Feltene ble valgt ut for at man skulle kunne eksperimentere og blant annet ta ut boreprøver for å få en økt forståelse av forvitningsprosessen. Feltene vil derfor bli omtalt som prøvefelt i denne rapporten.

I denne rapporten vil det bli rapportert resultater fra ulike miljømålinger på Begby samt geologiske og biologiske analyser. Resultatene vil i enkelte tilfeller bli sammenlignet med Litsleby.

I løpet av år 2000 vil alle resultatene fra både Begby, Litsleby og Kalleby vil bli sammenlignet i en rapport som vil bli utarbeidet ved Riksantikvarieämbetet i Stockholm.

Den norske delen av prosjektet inngår også som en del av Riksantikvarens prosjekt "Sikring av Bergkunst" og er basert på et pilotprosjekt om miljømålinger som ble utført på bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo i 1997 (Dahlin et. al, 1998), samt på erfaringer innhentet ved Bergkunstprosjektet i Vingen (Torseth et al., 1997).

Denne rapporten omfatter miljømålinger som er utført på et prøvefelt på Begby, i Østfold i perioden juli 1998 til og med november 1999. I tillegg er det presentert resultater fra en mindre undersøkelse foretatt av NILU i Borge kommune høsten 1997 for å måle påvirkning av salter fra havet, samt måle svoveldioksid og nitrogen.

## **1.2 Deltakere i prosjektet**

Dette prosjektet har vært et tverrfaglig samarbeid, hvor følgende parter har deltatt:

### **Norsk institutt for luftforskning (NILU)**

NILU har vært ansvarlig for koordinering av konsortiet; NILU, IFE og Mycoteam as, samt vært ansvarlig for utgivelsen av en felles rapport. NILU har gjennomført målinger av en rekke klima- og forurensningsparametere. Deltakere i prosjektet har vært: Elin M. Dahlin (prosjektleder), Jan F. Henriksen, Odd Anda og Guri Krigsvoll.

### **Institutt for energiteknikk (IFE)**

IFE har utført isotopanalyser i forbindelse med identifisering av forurensningskilder. IFE har også vært ansvarlig for prøvetaking i forbindelse med den geologiske dokumentasjon av feltet. Deltakere i prosjektet har vært: Kjersti Iden og Göran Åberg.

### **Mycoteam as**

Mycoteam as har i samarbeid med Universitet i Bergen og Göteborgs Universitet vært ansvarlig for studier av biologisk aktivitet, samt utprøving av ulike

overdekningsmetoder for å komme frem til tiltak mot biologiske angrep på bergkunsten. Det ble besluttet i prosjektledelsen at de fleste biologiske undersøkelsene skulle konsentreres om feltet på Litsleby, og man regner med at resultatene fra dette feltet for en stor del kan overføres til Begby. Deltaker i prosjektet har vært: Johan Mattsson.

### **Universitetet i Bergen (UiB)**

Geologiske undersøkelser utført ved UiB omfatter teksturelle, mineralogiske og geokjemiske analyser av bergartsprøver fra prøvefeltet i Begby. Biologiske/mikrobiologiske undersøkelser av prøvefeltet i Begby utført ved UiB, omfatter kartlegging av dominerende lavarter, samt inntrengningsdyp og mengde biologisk materiale i forvitringssonen under ulike lavarter og under torvdekke. I tillegg har effekten av ulike overdekningsmetoder på mengde biologisk materiale i forvitringssonen i Litsleby blitt undersøkt, i samarbeid med GU og Mycoteam. Deltakere i prosjektet har vært: Ingunn Thorseth, Geir Magne Hammes (begge Geologisk institutt) og Torbjørg Bjelland (Botanisk institutt).

### **Østfold Fylkeskommune (ØF)**

Østfold Fylkeskommune har bidratt med innhenting og forsendelse av miljøprøver til NILU, IFE og Stockholms Universitet. Deltakere i prosjektet har vært: Anne Sophie Hygen og Karl Kalhovd.

### **Stockholms Universitet (SU)**

Stockholms Universitet ved Institut för geologi och geokemi, har utført geokjemiske analyser av avrenningsvann fra et innhegnet området på Begbyfeltet. Deltaker i prosjektet: Peter Torssander, Helen Strandh og Magnus Mört.

### **Göteborgs Universitet (GU)**

Har sammen med Mycoteam as vært ansvarlig for uttesting av forsøk med overdekning av bergkunst for å komme frem til tiltak mot biologisk vekst. Deltakere i prosjektet har vært: Margareta Ekroth- Edebo.

### **Statens vegvesen Østfold/Vegdirektoratet**

Veglaboratoriet og materialprøvingskontoret har vært ansvarlig for boring av borekjerner på Begbyfeltet til geologiske analyser. Deltakere i prosjektet har vært: Alf Kveen, Terje Olberg, Tor Smeby og Sidsel Kålås.

### **Riksantikvaren i Norge**

Riksantikvaren har vært ansvarlig prosjektleder for Interregprosjektet i Norge og har hatt ansvaret for den økonomiske rapporteringen for de norske deltakerne. Deltaker i prosjektet har vært: Inger Marie Olsrud.

### **Riksantikvarieämbetet i Sverige**

Riksantikvarieämbetet i Stockholm har vært faglig ansvarlig for Delprosjekt 3A og har koordinert rapporteringen av prosjektet til Interregstyret. De vil også være ansvarlig for utforming av sluttrapporten for hele Delprosjekt 3A.

Deltaker i prosjektet har vært : Runo Löfvendahl og Birgitta Enæus.

### **Länsstyrelsen i Västra Götaland**

Har hatt det overordnede prosjektlederansvar for hele Interregprosjektet samt vært ansvarlig for den økonomiske rapporteringen.

Deltakere i prosjektet har vært: Jan Magnusson (prosjektleder for Interreg) og Åsa Bjällås.



## 2 Målsetting,

Bergkunstfeltene i Østfold og i Bohuslän blir påvirket av både naturlige og antropogene kilder. Hovedmålsettingen med prosjektet har derfor vært ved hjelp av tverrfaglig svensk og norsk kompetanse å forsøke og klargjøre årsakssammenhenger når det gjelder forvitningsprosessene samt å foreslå mulige tiltak for å minske nedbrytningen av bergflater i Østfold og Bohuslän.

Prosjektet på Begby har følgende hovedmålsetting:

- Kartlegge og vurdere belastningen fra ulike miljøparametre som:
  - Klima
  - Lokale- og langtransporterte forurensningskilder
  - Biologisk aktivitet
  - Kjemiske nedbrytningsprosesser på selve bergflaten
- Vurdere aktuelle skjøtselstiltak for bevaring av helleristningene i området.

Delmål:

- Kartlegge nedbør ("totaldeponering" og våtdeponering), forurensning, fuktighet og temperatur på og omkring bergflaten. Om mulig lokalisere kilder for belastning (NILU).
- Vurdere forvitningsprosessen på bergflaten ut fra analyser av avrenning fra en prøveflate. Avrenningsvannet analyseres kjemisk for å kunne kvantifisere forvitringen som en forskjell mellom det som vaskes av fra overflaten og det som føres til overflaten. Det analyseres også med isotoper for å kunne spore kilder, transport og avsetning på bergflaten (SU og IFE).
- Undersøkelse av den postglasiale forvitring ved å studere overflateforandringer i bergflaten ved hjelp av blant annet mikroskopering av borekjerne (UiB).
- Kartlegge ulike mikroorganismer på bergflaten, samt dybde for inntrengning av organisk materiale i forvitringssonen. Undersøke hvordan overdekking virker inn på mengde organisk materiale på bergflatene og i forvitringssonen (Mycoteam as, UiB og GU).

På Litsleby og Kalleby har man i tillegg vurdert følgende problemstillinger:

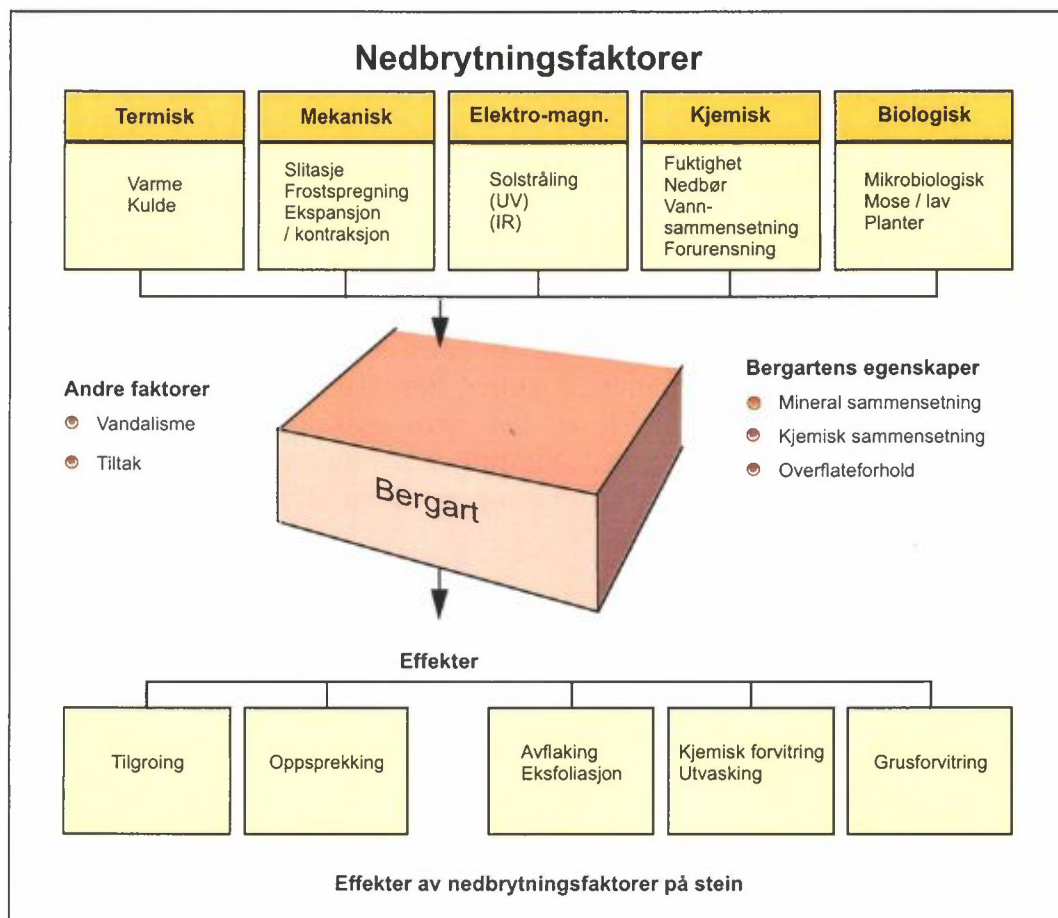
- I hvilken grad påvirker et beskyttelsestak forvitringshastigheten (Litsleby)?
- Hvordan påvirkes bergflaten av ulike typer overdekking (Litsleby)?
- Hvilke skjøtselstiltak som rengjøring og ulike konserveringsmetoder er effektive og uskadelige (Kalleby)?

I denne rapporten er det for det meste presentert resultater fra undersøkelsene på Begby, men fordi problemstillingen innefor Interreg-prosjektet har vært å sammenligne forholdene på Begby og Litsleby så har også resultater fra Litsleby blitt diskutert i denne sammenheng. En mer utførlig rapport som dekker resultatene fra hele delprosjekt 3A vil bli utarbeidet av Riksantikvarieämbetet i Stockholm.



### 3 Nedbrytningsfaktorer for bergarter

Nedbrytning av bergarter kan grovt deles inn i kjemiske, fysiske og biologiske prosesser, se Figur 1, som samvirker ved den naturlige nedbrytningen av en bergart. I tillegg har man i løpet av det siste århundret kunnet konstatere en aksellererende nedbrytning av ulike bergarter som i vesentlig grad kan skyldes menneskelig påvirkning gjennom forurensning av miljøet. I den grad bergkunstfeltet blir besøkt av publikum kan fysisk slitasje også være en årsak til nedbrytning. Foruten fysisk slitasje kan hærverk forekomme.



Figur 1: Nedbryting av bergarter – modell for nedbrytningsfaktorer og deres observerte effekter.

Den viktigste faktoren i den kjemiske forvitringen er vann eller fuktighet og i et relativt fuktig klima som i Norge og Sverige pågår det kontinuerlig en kjemisk oppløsning av ulike mineraler i alle bergarter (dette er et ledd i den naturlige nedbrytningsprosessen). Hvis vannet i tillegg blir forurenset, vil oppløsningen av mineralene kunne skje mye raskere.

I tillegg kommer fysiske nedbrytningsfaktorer som sprekning ved frost (vannet i bergarten utvider seg ved omdannelse til is), krystallisasjon av salter og oppheting ved sterk sol. Den fysiske nedbrytningen er karakterisert av at den ikke pågår kontinuerlig, men skjer i perioder.

En ytterligere faktor som påvirker nedbrytningen av bergarter, er de ulike biologiske prosesser. Det kan vokse flere typer organismer på og i steinmaterialer. Dette kan både forårsake direkte og indirekte mekanisk og kjemisk nedbrytning av underlaget, i tillegg til at begroing kan forårsake en kosmetisk skade - hvilket selvsagt er lite ønsket i forbindelse med helleristninger. Begroing kan også ha en beskyttende effekt på bergflaten ved at den f.eks. utjevner temperatursvingninger, beskytter mot kjemisk påvirkning og fysisk slitasje. En vurdering av hvilken effekt begroing av bergoverflater kan ha, må derfor vurderes i en sammenheng hvor både positive og negative effekter veies inn.

Begroingen på steinmaterialer er alger, bakterier, gjærsopp, sverte-/muggsopp, lav, mose og høyere planter. Vurdering av hva som forekommer og vurdering av hvilken innvirkning dette eventuelt har på underlaget er meget sentralt for å forstå alle nedbrytningsprosessene bergartene utsettes for. For en bredere oversikt over feltet biologisk nedbrytning av kulturminner, se Vedlegg A.

Det bør i denne sammenheng også påpekes at det allerede ved huggingen av helleristningene er blitt utført en mekanisk nedbrytning av bergarten som påskynder nedbrytningsprosessen. Graden og hastigheten av nedbrytningsprosessen er avhengig av bergartens mineralogiske sammensetning og dens motstanddyktighet overfor de ytre nedbrytningsfaktorer. Før man kan iverksette eventuelle bevaringstiltak på et bergkunstfelt vil det være ønskelig at man kjenner til bergartens sammensetning og motstandskraft mot forvitring, samt at de ulike miljøparametere som kan forårsake forvitningsprosesser som bryter ned bergarten blir dokumentert.



## 4 Beskrivelse av prøvelfeltet på Begby

### 4.1 Beliggenhet

Figur 2 viser deler av Østfold fylke i Norge og Bohuslän i Sverige. I forhistorisk tid var dette et sammenhengende område uten grenser. Det er i dag registrert ca 5 000 helleristningsfelt i området, datert til perioden 1800-500 f. Kr., og ingen steder i Nordeuropa finnes så mange helleristninger fra bronsealderen samlet som her (Hygen og Bengtsson, 1999). Avstanden mellom prøvelfeltene på Begby og Litsleby er ca. 65 km.

Helleristningsfeltet på Begby ligger 4 km øst for Fredrikstad by (Figur 3) og selve prøvelfeltet ligger på en liten åsrygg som går i nord-sydlig retning, ca 100 meter syd for det sydligste av en gruppe bergkunstfelt på Gullskår (Figur 4). Feltet ligger på vestsiden og skråner ca 10° mot VSV. Feltet ligger ca 35 m øst for en lekeplass. Vest for lekeplassen ligger et boligfelt. Nord for boligfeltet er det jorder. Prøvelfeltet ligger ca 25-30 m.o.h. og NV for Riksvei 110, samt ca. 4 km fra Gansrødbukta med brakkvann og ca.13 km fra åpent hav (Figur 2 og Figur 3). Prøvelfeltets bergflate på Begby (Figur 5) ble valgt ut slik at beliggenheten skulle tilsvare beliggenheten på prøvelfeltet på Litsleby i Tanum (Figur 6). Det vil si at feltet skulle være vestvendt og overflatestrukturen på bergarten skulle være så lik den på Litsleby som mulig.

Mulige forurensningskilder i lokalområdet er trafikk og boligoppvarming, samt drift av jordbruket, som for eksempel gjødsling. Fra et noe større nærområde kan prøvelfeltet bli påvirket av industriforurensning fra Øra-området samt fra Fredrikstad by. Begge områder ligger ca. 4 km unna. Videre kan området bli påvirket av saltdrift fra havet samt fra generell langtransportert forurensning fra kontinentet.

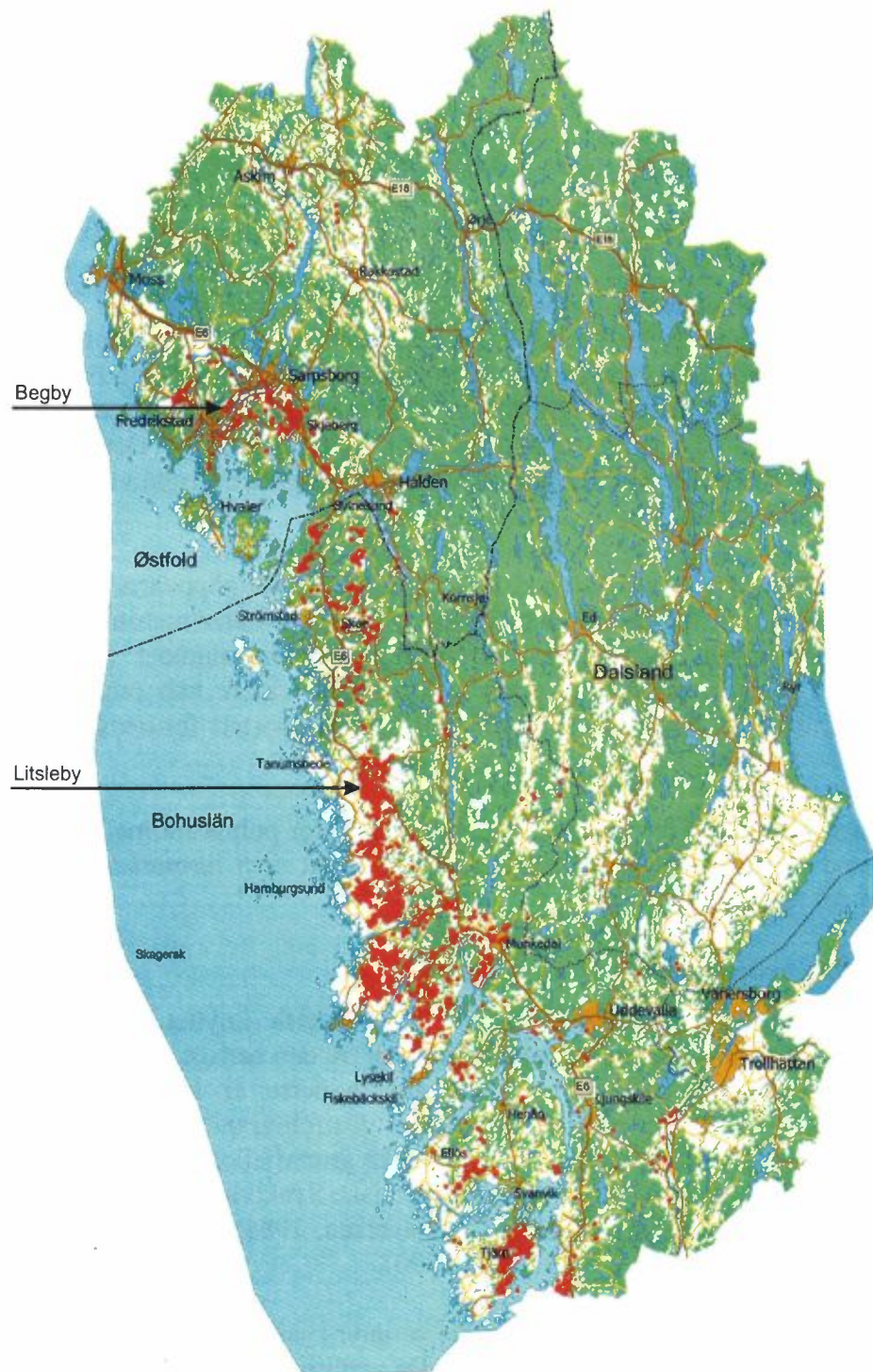
Helleristningsfeltene nord for prøvelfeltet er tilrettelagt for publikum med skilting og delvis med oppbygde plattinger. Området blir brukt som turområde og blir utsatt for en del ferdsel.

### 4.2 Geologisk beliggenhet

Bergkunstfeltene i Østfold og i Bohuslän er geologisk knyttet til et stort, sammenhengende granittkompleks som strekker seg fra den sørlige del av Østfold og videre sørover inn i Sverige hvor den største delen er lokalisert. Dette komplekset som kalles Iddefjordgranitt (eller Østfoldgranitt) i Norge og Bohusgranitt i Sverige, tilhører det sør-østlig norske grunnfjellområdet, som igjen er en del av "det vestlige segment av den prekambriske Svekonorvegiske provins i den sørvestlige del av det Baltiske skjold" (Graversen, 1984). Dateringer gir en alder på  $918 \pm 7$  mill år (Pedersen og Maaløe, 1990).

Bergartene innen dette dypbergartskomplekset varierer i sammensetning fra dioritt til granitt, med granitt som dominerende type. De vanligste mineralene er kvarts, feltspat (både K-feltspat og plagioklas), og biotitt. Relativ variasjon av mengden av disse mineralene gir opphav til de forskjellige bergartsvariantene. Også kornstørrelse og farge varierer. Den norske billedhuggeren Gustav Vigeland benyttet en fin til middelskornet, grålig type til sine kjente monumenter i Frognerparken i Oslo, mens andre typer er rødlig, grovkornede, eller porfyriske

med enkelte større korn. Gjennomskjærende årer og ganger av grovkornet pegmatitt eller finkornet aplitt er vanlig. Granitten i Tanum i Sverige er overveiende rødlig, massiv og middelskornet eller dels porfyrisk, med innslag av grålige varianter.

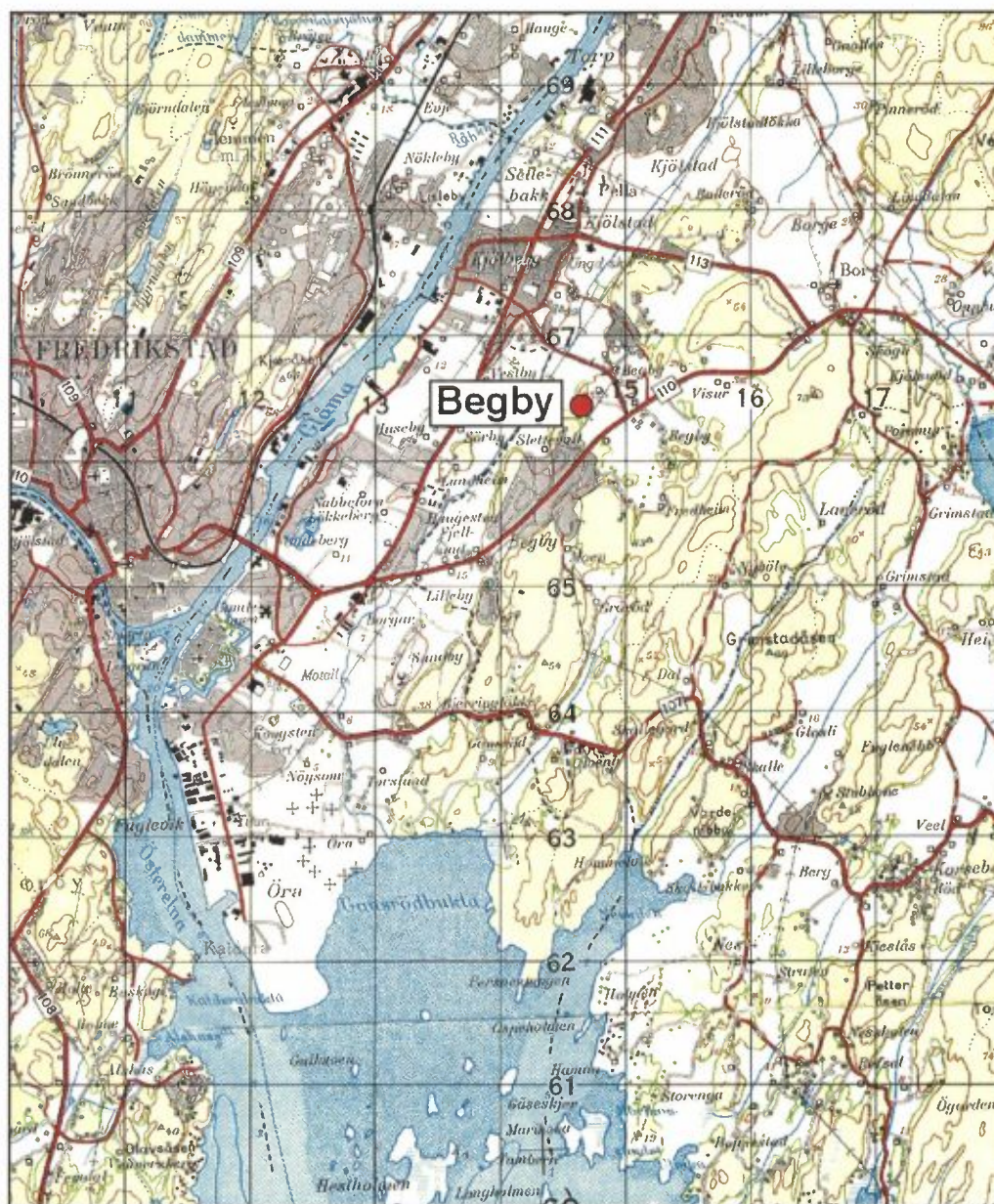


Figur 2: Deler av Østfold fylke og Bohuslän i Sverige hvor områder med helleristninger er avmerket. (Kartet er produsert av Gränsløs GIT. Fra Hygen og Bengtsson, 1999).

#### 4.2.1 Prøveflaten i Begby

Prøveflaten i Begby består av massiv, rødlig-grå granitt, er generelt middelskornet (1-5 mm), men har noe variabel kornstørrelse. Hovedmineralene er kvarts, K-feltspat, plagioklas og biotitt. Skuringsstriper er ikke observert, heller ikke sprekker eller eksfoliasjoner på selve prøveflaten. Overflatens topografi må karakteriseres som uregelmessig. Det er ingen spor av ristninger på denne flaten.

Generelt var bergflatene i Begby i større grad dekket av tett lavvegetasjon enn i Litsleby. Derfor ble det valgt en flate som opprinnelig var dekket av et lag med mose som var lett å fjerne. Alle overflater, både i Begby og Litsleby viste seg ved nærmere ettersyn uten unntak å være påvirket av biologisk aktivitet.



Figur 3: Prøvefeltet på Begby, Østfold fylke. Målestokk 1 rute = 1x1 km.



Figur 4: Prøvefeltets plassering på Gullskår. Prøvefeltet ligger i nærheten av flere bergkunstfelt, merket med rune-R.



*Figur 5: Prøvefeltet på Begby, sett mot NNV, med jordbruk og bebyggelse i bakgrunnen.*



*Figur 6: Prøvefeltet på Litsleby, sett mot S. Bildet viser takkonstruksjonen med området for innsamlingen av avrenning under taket.*



## 5 Presentasjon av ulike analysemetoder brukt på Begby

I dette kapitlet presenteres de ulike måle- og analysemetoder som er brukt av partene i prosjektet.

### 5.1 Oppsett av måle- og analyseutstyr på prøvefeltet

Før målingene kunne igangsettes ble prøvefeltets beliggenhet og avgrensning avklart med fylkesarkeologen i Østfold, og det ble gitt tillatelse fra grunneier (Fredrikstad kommune) til å sette opp måleutstyret på prøvefeltet. I juli 1998 plasserte NILU ut måleutstyr på det avsatte området (Figur 7). En bergflate som ble avsatt for måling av avrenning ble innhegnet av ansatte fra Stockholms Universitet. Miljømålingene startet den 3. juli 1998 og ble avsluttet den 30. november 1999.

Instrumentenes plassering er målt ut fra et basispunkt, se Figur 7. Miljømålingene ble satt opp med følgende måleutstyr:

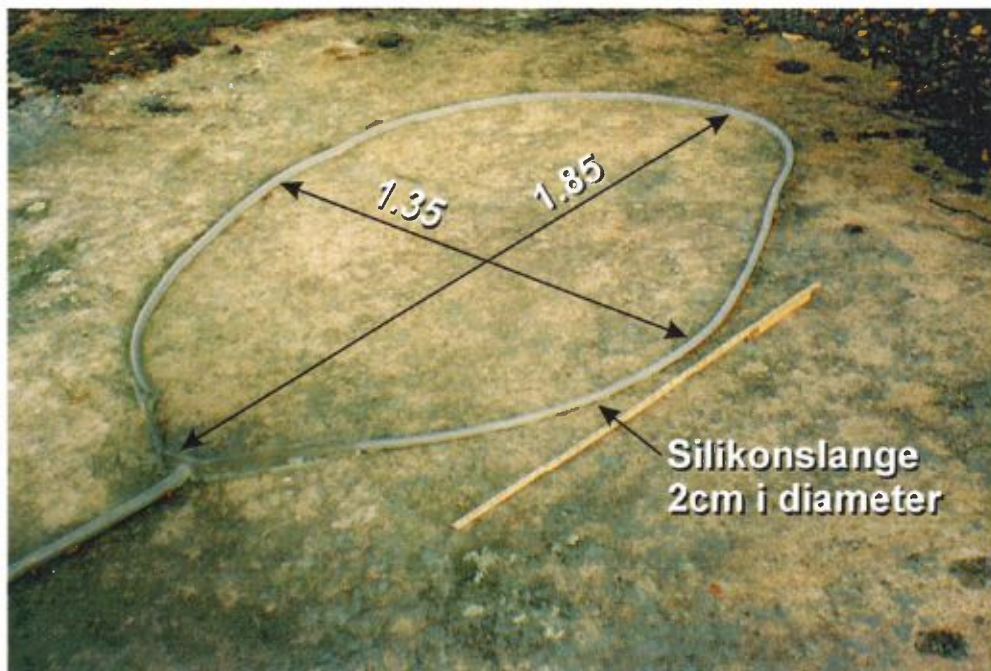
- 2 WETCORR-instrumenter bestående av to adaptere med 4 sensorer hver som ble montert på bergoverflaten for å registrere fukt og temperatur (Figur 7). Sensorene ble først drevet med strøm fra et solcellepanel, men dette ble senere skiftet ut med strøm fra en byggekasse montert av Fredrikstad Energiverk AS.
- NILUs nedbørsamler for innsamling av nedbør er en åpen plasttrakt som sto fritt ca 2 m over bakken, nesten på det høyeste punktet ca 10 m ØSØ for basispunktet og ca 4,5 m syd for lokksamleren (Figur 7).



Figur 7: Oversikt over området for miljømålinger på Begby, sett mot S.



Figur 8: NILUs nedbørsamler montert under et furutre, 12,5 m nord for nedbørsamleren.



Figur 9: Avrenningssystem i form av en "trakt" montert på bergflaten for analyse av avrenningsvann.



- Lokksamler, utlånt fra Stockholms Universitet, er en nedbørsamler som kun åpner seg hver gang det regner. Lokksamleren sto plassert fritt ca 1,80 m over bakken og ca 10 m ØNØ for basispunktet og ca 4,5 m nord for nedbørsamleren (Figur 7).
- NILUs nedbørsamler for innsamling av kronedrypp, var plassert ca 8 m nord for lokksamleren og ca 2 m over bakken under et ca 6 m høyt furutre (Figur 8).
- Avrenningssystem i form av en "trakt", montert på bergoverflaten for analyse av avrenningsvann, ca 18 m nord for basispunktet. Avrenningsflaten var ca 1,35 x 1,85 m med en helling på mellom 5-10° mot vest og ble avgrenset av en silikonslange som dannet en trakt i den nedre enden. Fra trakten ble vannet ført ned i en plastkanne. Prøvene fra avrenningen er analysert av Stockholms Universitet og av IFE (Figur 9).
- NILUs aerosolfelle for å samle inn vannløselig svevestøv var plassert ca 2 m over bakken og ca 11 m ØNØ fra basispunktet (Figur 7).
  - Passive prøvetakere var festet på undersiden av aerosolfellen, for å bestemme følgende gasser (Figur 7):
    - NO<sub>2</sub> (nitrogendioksid) for avgasser fra trafikk og industri i området.
    - SO<sub>2</sub> (svoveldioksid) primært for å bestemme belastning fra industri og fyring.
    - O<sub>3</sub> (ozon) i deler av måleperioden for å registrere oksidantnivået fra regionale og langtransporterte kilder.
    - NH<sub>3</sub> (ammoniakk) i deler av måleperioden for å registrere lokale kilder fra jordbruket.



*Figur 10: Miljømålingene på Begby pågikk hele året rundt i perioden juli 1998-november 1999.*

### 5.1.1 Innsamling av prøver

Østfold fylkeskommune ved fylkesarkeologens kontor var ansvarlig for inntak og forsendelse av de ulike vannprøver, samt for passive prøvetakere og filter fra aerosolfellen. Selv om det i utgangspunktet var bestemt at det skulle taes prøver hver uke av nedbør og avrenning så var dette ikke alltid mulig å gjennomføre, det ble derfor oftere til at prøvene ble samlet inn hver 14. dag sammen med de passive prøvetakerne. Ved gjennomgang av analyseresultatene gikk det frem at et mer regelmessig inntak av prøver (hver uke) hadde vært ønskelig, da dette ville ha gitt bedre grunnlagsdata og underlettet tolkningen av resultatene. En oversikt over periodene for inntak av prøvene vil gå frem av listene over analyseresultatene i Vedlegg C.

## 5.2 Kartlegging av våt- og tørravsetning

### 5.2.1 Nedbør, kronedrypp og avrenning

Nedbøren er samlet inn med NILUs åpne nedbørsamler, prøvene herfra viser nedbørens totale sammensetning, det vil si våtavsetning pluss tørravsetning. Våtavsetningen er målt med en såkalt lokksamler som åpner seg ved regn. Forskjellen mellom innholdet i prøvene fra henholdsvis nedbørsamler og lokksamler viser tørravsetningen. Ved å plassere en åpen nedbørsamler inn under et tre, vil man ved regn få samlet inn støv, salter og partikler som har samlet seg i treet og som blir oppløst i nedbøren.

NILU har utført analyse av nedbør, og kronedrypp med ionekromatograf på følgende ni kjemiske komponenter: Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg, NH<sub>4</sub> og pH.

### 5.2.2 Forurensende gasser

For å bestemme forurensende gasser ble det benyttet passive prøvetakere for NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> og O<sub>3</sub> utviklet ved IVL (Instituttet för vatten- och luftvårdsforskning, Göteborg) (Ferm, 1991). Prøvetakerne produseres og analyseres ved NILU med unntak av O<sub>3</sub>-prøvetakeren som produseres og analyseres av IVL.

Prøvetakerne er utviklet for å fange opp gassene NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NH<sub>3</sub>, ved hjelp av adsorbenter bestående av henholdsvis natriumiodid, natriumhydroksid og oksalsyre. Målemetoden er godt dokumentert og viser god overensstemmelse med aktiv prøvetakingsmetode (Ferm, 1991; Anda, 1991 og 1993).

En passiv prøvetaker fanger opp gasser i luft ved at gassen absorberes på et aktivt medium ved diffusjon, det vil si uten bruk av en aktiv luftprøvetaker som bruker en pumpe. Passive prøvetakere har den fordelen at de er små; 25 mm i diameter og bare ca. 10 mm tykke. De er enkle å bruke og trenger ikke strøm. En ulempe ved de benyttede passive prøvetakere er at prøvetakingshastigheten er relativt lav, det vil tilsvare et prøvevolum på 20 til 50 liter pr. døgn. Ved prøvetaking i lavt forurensede områder (milde miljøer) og med gasskonsentrasjoner under 10 µg/m<sup>3</sup>, bør det benyttes relativt lange prøvetakingsperioder på 1-4 uker for å samle opp målbare mengder av den aktuelle gassen.

I dette prosjektet har prøvetakerne vært eksponert i 14 dagers perioder. Dette gir påvisningsgrenser for  $\text{SO}_2 = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{NO}_2 = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{O}_3 = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{NH}_3 = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De passive prøvetakerne (to paralleller) har vært festet opp under aerosolfellen som sto ca. 2 meter over bakken.

### 5.2.3 Aerosoler

Til å måle aerosoler ble det brukt et måleinstrument utviklet på NILU spesielt beregnet for å måle vannløselige aerosoler. Måleinstrumentet er festet til en teleskopstang og målingen skjer ved at et fuktet filter blir plassert på en regnbeskyttet plate. Etter endt eksponeringstid, i dette tilfelle 14 dager, blir filteret vasket ut i laboratoriet og uttrekket deretter analysert med en ionekromatograf. Aerosolfellen sto ca 2 meter over bakken.

## 5.3 Kartlegging av temperatur og fuktighet

En viktig faktor når det gjelder nedbrytning av bergkunst, er mekaniske spenninger som på grunn av termiske forandringer og frost/tine sykluser vil påvirke all berggrunn. Det er derfor ønskelig å få en oversikt over hvilke temperatursykluser som kan måles på overflaten over en tid. Når det gjelder nedbør og fuktighet så kan et kraftig regnskyll være bra for ristningen fordi regnet vasker hellen ren for tørrdeposisjon. Kommer det bare litt fuktighet over en lengre periode og hellen ikke tørker opp, så kan tørrdeposisjon som finnes på bergoverflaten binde seg med fuktigheten og danne etsende syrer som påvirker mineralkornene. Det er derfor viktig å kunne måle når og over hvor lang tid bergoverflaten er fuktig.

### 5.3.1 Plassering av WETCORR sensorene

2 WETCORR-instrumenter (med 2 adaptere, Sa01 og Sa02) ble montert med 4 sensorer hver for å registrere fukt og temperatur på totalt 8 ulike steder.

Sensorene som var 2.5 x 2 cm ble festet med silikonlim (3145 RTV MILA 46 196, Adhesive Sealant. Non Corrosive) på berget. Plassering av sensorene og koden for sensorene er beskrevet i Tabell 1.

Tabell 1: Lokalisering av WETCORR-sensorene.

Målepunkt	Betegnelse på WETCORR-sensorene		Plassering	Himmelretning	Hellevinkel °	Avstand fra bakken m
	Strøm	Temperatur				
Sa01	nA01	Temp01	På fjell	Mot nord	45	0.6
Sa01	nA02	Temp02	På treplanke	Mot sør	45	
Sa01	nA03	Temp03	På fjell	Mot sør	~90	0.5
Sa01	nA04	Temp04	Under strålingsskjerm			
Sa02	nA01	Temp01	Under torv			
Sa02	nA02	Temp02	På fjell i vannsig	Mot sørvest	10	
Sa02	nA03	Temp03	På fjell utkant vannsig	Mot sørvest	10	
Sa02	nA04	Temp04	På fjell	Mot sørvest	10	

### 5.3.2 Registrering av fuktighet

WETCORR-instrumentet (som er utviklet ved NILU, Henriksen og Haagenrud, 1994) benyttes for å kunne måle fukt- og temperaturtilstanden på eller i et materiale. WETCORR-instrumentet består av to typer sensorer:

- en sensor som måler fukt og temperatur på overflaten av et materiale
- en sensor som måler fukt og temperatur inne i et porøst materiale.

I dette prosjektet benyttes kun overflatesensoren og den betegnes her som WETCORR-sensor.

WETCORR-sensoren måler strømmen som en funksjon av tykkelsen av fuktighetsfilmen som dekker overflaten. For å kunne kvantifisere fuktigheten på overflaten av materialer brukes definisjonen våttid (TOW, Time - Of - Wetness). For å kunne bestemme når materialoverflaten har nok fuktighet til at den eventuelt skulle kunne ha noen påvirkning på materialet er det fra forsøk i felt definert en kritisk strømverdi  $i_{krit}$  (Elvedal, 1997).

Samspeilet mellom fukt og forurensning på sensoren er betinget av lokale forurensninger og gjør at grenseverdiene og dermed våttiden må justeres for hvert målested.

For Begby er  $i_{krit}$  definert til 15 nA.

For en mer utfyllende forklaring på WETCORR-instrumentet, se vedlegg B.

### 5.3.3 Registrering av temperatur

For å kartlegge mekaniske belastninger på grunn av temperaturforandringer på bergoverflaten, er temperaturregistreringer over tid en viktig faktor. Temperaturen blir registrert med en temperaturføler som er festet på WETCORR-sensoren (Vedlegg B). For å kunne vurdere i hvilken grad frostsprengning kan bidra til nedbrytning av bergflaten på Begby er det registrert antall ganger temperaturen svinger fra 0°C og ned til lavere temperaturer. I denne rapporten er 0°C antatt å være grensen for frostsprengning, men det kan variere fra en bergart til en annen. Videre vet vi at en høyere saltverdi på og i bergarten vil senke frysetemperaturen.

På sommeren kan temperaturen svinge over store intervaller i løpet av et døgn. En kartlegging av store temperaturdifferanser kan gi indikasjoner på om steinen tåler slike påkjenninger. I denne rapporten er antall svingninger i døgnet og pr. måned registrert for temperaturdifferanser på 15°C presentert.

## 5.4 Geologiske undersøkelser

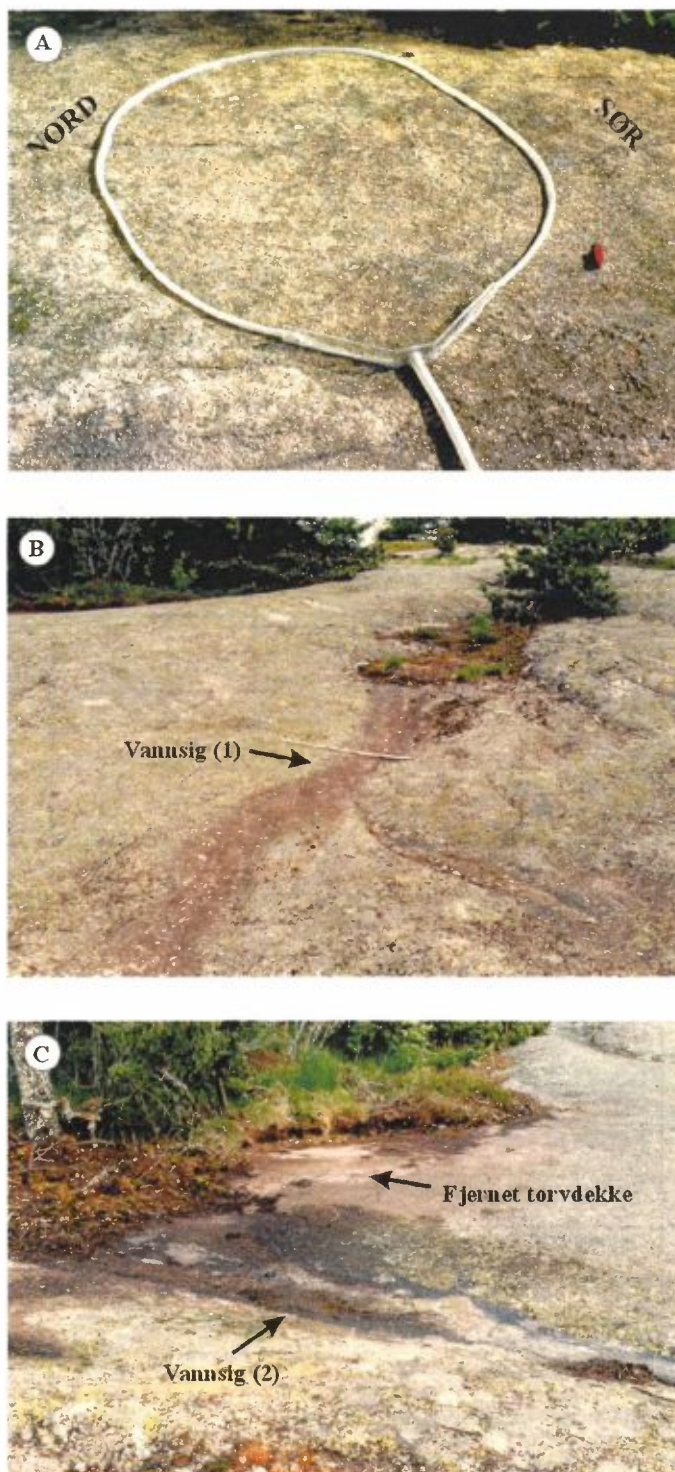
For tekturelle, mineralogiske og geokjemiske undersøkelser av bergarten på Begby-feltet er det utelukkende benyttet borekjerner. For å bestemme mineralsammensetning og undersøke teksturer er lys- og skanningelektron-mikroskopi av polerte, petrografiske tynnslip benyttet. Videre er elektronmikrosonde benyttet for bestemmelse av mineralkjemi, XRF-analyser for bestemmelse av bergartens kjemiske sammensetning og massespektrometer for bestemmelse av Sr-isotoper, både i bergart og i enkeltminerale.

### 5.4.1 Prøvemateriale

I alt 10 borekjerner med diameter 4.5 cm og varierende dybde (5–19 cm) ble innsamlet (Tabell 2). 6 av disse er tatt i umiddelbar nærhet til innsamlingsfeltet for avrenningsvann, 3 paralleller fra hver side (Figur 11A og Figur 12A og B). De 4 resterende kjernene er fra to naturlige vannsig, hvor overflaten har en typisk svart misfarging/skorpe (Figur 11B og C, og Figur 12C og D). To av kjernene representerer avrenningsoverflaten hvor WETCORR-sensorer ble montert – en kjerne fra selve overflaten, og en kjerne fra overflaten nær ved som referanse (Figur 11B og Figur 12C). I tillegg ble det også tatt ut 3 mindre borekjerner (D: 2.4 cm, dyp: 2-5 cm) fra ulike pegmatittårer i prøveområdet.

Tabell 2: Kjerneprøver av granitt fra Begby (I-IV og B98) og Lisleby (T99), benyttet til geologiske og biologiske/mikrobiologiske undersøkelser.

Prøvenr.	lokaltitet/lavovervekst/tildekking	kjerne-diameter (cm)	kjerne-dyp (cm)	makroskopisk forvittringsdyp (cm)
I/A	Vannsig 1 (ved Wetcorr) - inni sonen (sort skorpe)	4.5	19	1-irregulær
I/B	- utenfor sonen	4.5	10	irregulær
II/1	Like syd for avrenningsfelt	4.5	13	2.5
II/2	..	4.5	12	2.5-5
II/3	..	4.5	10	3.5
III/1	Like nord for avrenningsfelt	4.5	8	2
III/2	..	4.5	11	1.8
III/3	..	4.5	9	1.7
IV/1	Vannsig 2 (sort skorpe)	4.5	4.5	1-irregulær
IV/2	..	4.5	13.5	irregulær
B98-1.1	Pegmatittåre under torv	2.4	3.5	
B98-1.2	..	2.4	5.0	
B98-2.1	Pegmatittåre like sør for avrenningsfelt	2.4	3.5	
B98-3.1	Vannsig 2, sort skorpe	2.4	2.5	0.8
B98-3.2	.., delvis sort skorpe	2.4	2.5	0.4
B98-4.1	Under torv	2.4	3	0.35
B98-4.2	..	2.4	4	0.35
B98-5.1	<i>Rhizo-carpan. lecanorium</i>	2.4	2.5	0.55
B98-5.2	..	2.4	2.5	0.3
B98-6.1	<i>Lecidea fuscoatra</i>	2.4	2.0	0.35
B98-6.2	..	2.4	3.0	0.45
B98-8.1	<i>Xanthopamelia conspersa</i>	2.4	3.0	1.2
B98-8.2	..	2.4	4.0	1.2
B98-9.1	<i>Lasallia pustulata (navlelav)</i>	2.4	3.0	0.5
B98-9.2	..	2.4	2.5	0.7
T99-L0.1	Referanseprøver fra bergflate utenfor prøvefelt	2.4		
T99-L0.2	for tildekking (1: overvokst av <i>Rhizo-carpan. lecanorium</i> ;	2.4		
T99-L0.3	2 og 3: overvokst av ulike lavtyper)	2.4		
T99-L1.1: 9.5 mnd	Felt 1 (plastsekker med jord)	2.4		
T99-L1.2: 14.5 mnd	..	2.4		
T99-L2.1: 9.5 mnd	Felt 2 (jord, plast, isolasjon, plast, folie)	2.4		
T99-L2.2: 14.5 mnd	..	2.4		
T99-L3.1: 9.5 mnd	Felt 3 (fiberduk, jord, plast, isolasjon, plast, folie)	2.4		
T99-L3.2: 14.5 mnd	..	2.4		
T99-L4.1: 9.5 mnd	Felt 4 (fiberduk, plast, isolasjon, plast, folie)	2.4		
T99-L4.2: 14.5 mnd	..	2.4		
T99-L5.1: 9 mnd	Felt 5 (torvmose, plast, isolasjon, plast, folie)	2.4		
T99-L5.2: 14.5 mnd	..	2.4		
T99-L6.1: 9.5 mnd	Felt 6 (fiberduk, isolasjon, plast, folie)	2.4		
T99-L6.2a: 14.5 mnd	..	2.4		
T99-L6.2b: 14.5 mnd	..	2.4		

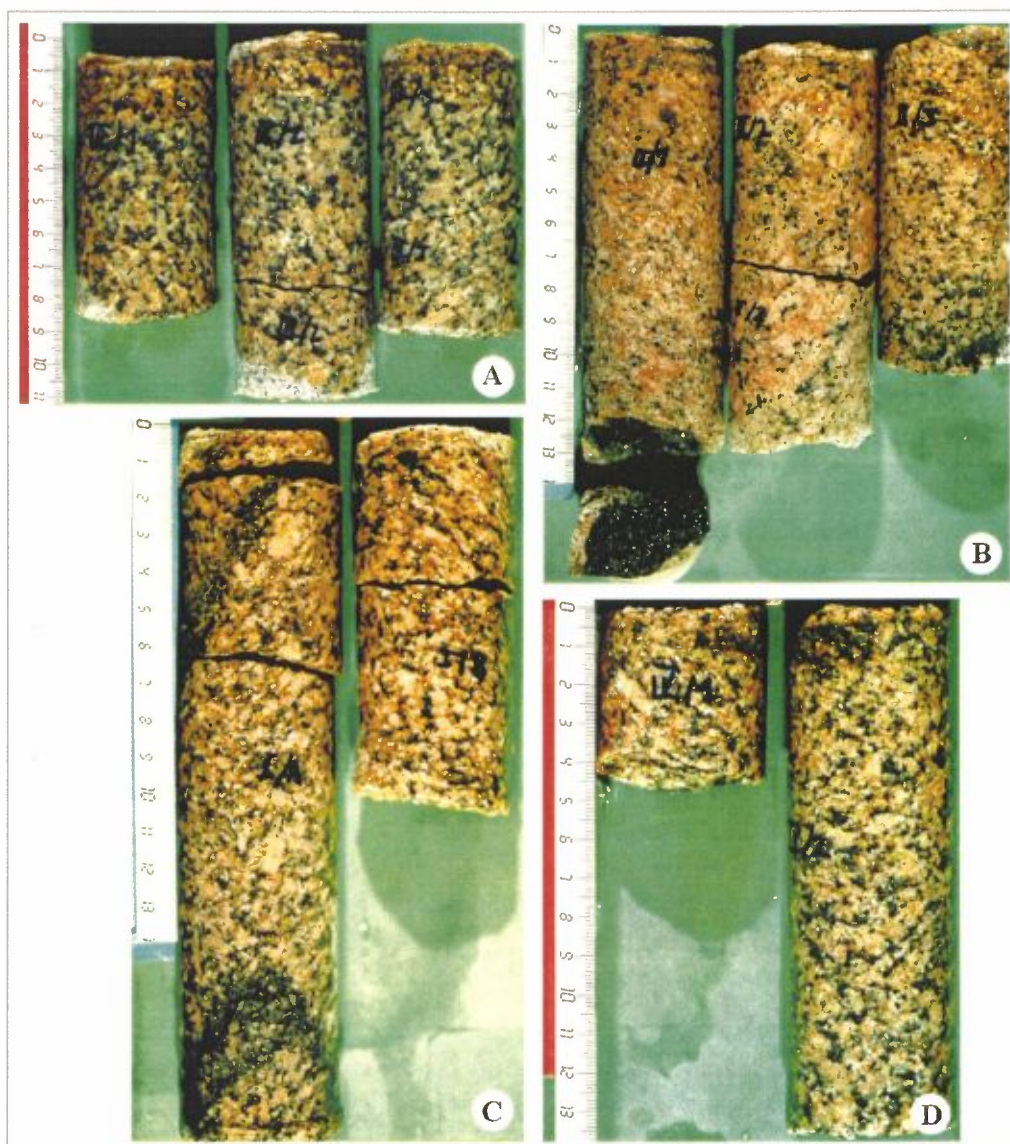


Figur 11: Lokalteter for borekjermer (diameter: 4,5 cm).

A) Tre parallelle kjerner fra hver side (nord og sør) av innsamlingsfelt for avrenningsvann. Innbyrdes avstand mellom kjernene på hver side er omkring 5-10 cm.

B) Naturlig vannsig (1) (ved WETCORR-instrument).

C) Naturlig vannsig (2) og torvdekket flate (lokalisert mellom innsamlingsfelt for avrenningsvann og vannsig (1)).



Figur 12: Borekjerne (diameter 4,5 cm) for petrografiske og geokjemiske undersøkelser.

A) Tre parallelle kjerneprøver (III/1-3) fra like nord for innsamlingsfelt for avrenningsvann.

B) Tre parallelle kjerneprøver (III-3) fra like sør for innsamlingsfelt for avrenningsvann.

C) To parallelle kjerneprøver (I/A og B) fra vannsig (1) (ved WETCORR-instrument). Kjernen til venstre er fra sort misfarget sone i kanten av vannsiget, mens kjernen til høyere er tatt rett utenfor misfargingen.

D) To parallelle kjerneprøver (IV og 2) fra vannsig (2). Begge kjernene er fra sort til misfarget sone.

#### **5.4.2 Tynnslip**

Polerte tynnslip (maks areal ca 2 x 4 cm) er laget som vertikale snitt fra overflate og nedover gjennom hele kjerneprøvene, i alt 3-7 tynnslip for hver kjerne og/eller som horisontale snitt parallelt med overflaten, ett per 0,5 cm dybde gjennom hele kjerneprøven.

#### **5.4.3 Mineralsammensetning**

Mineralsammensetningen (vol. %) er bestemt ved punkttelling av tynnslip (1500 – 2000 punkt pr. slip) i lysmikroskop.

#### **5.4.4 Skanning elektronmikroskopi (SEM)**

For SEM undersøkelser ble et JEOL<sup>®</sup> skanning elektronmikroskop (JSM 6400), tilknyttet ett TRACOR NORTHERN<sup>®</sup> (TN 5600 serie II) energi-dispersiv spektrometer (EDS) system med en Z-MAX 30 (diamant vindu) detektor og en backscatterelektron-detektor, benyttet. Både til røntgenanalyser av mineralfaser og til backscatter- (tilbakespredte-) elektronavbildning av bergartens teksturer i polerte, karbonbelagte tynnslip, ble det benyttet en akselerasjonsspenning på 20 kV.

Backscatter-bilder, som fremkommer i gråtoner, dannes ved at materiale med ulik kjemisk sammensetning gir ulik tilbakespredning av innsendte elektroner. Mineralfaser med høy konsentrasjon av tunge element (f.eks. Fe og Ti) gir høy tilbakespredning og fremstår derfor som hvite til lys grålige felt. Mineralfaser med høyere konsentrasjon av lettere elementer (Na, Al og Si) får mørkere gråtoner. Porerom gir ingen tilbakespredning av elektroner og blir derfor svart.

#### **5.4.5 Elektronmikrosonde**

For elektronmikrosonde-analyser av mineralfaser i bergarten, ble det benyttet et ARL<sup>®</sup> SEMQ instrument ved standard bølgelengde-teknikker med akselerasjonsspenning og strålestrøm på henholdsvis 15 kV og 10 nA. For standardisering ble det benyttet en blanding av ulike mineralfaser, syntetiske oksid og rene metall. Telleid for topper og bakgrunn var henholdsvis 10 og 4 sekunder både under standardisering og analyser. ZAF-korreksjoner ble utført ved å benytte dataprogrammet PROBEWIN, versjon 3.34 (1997) (Advanced Microbeam, USA). Analysene ble utført på polerte tynnslip (se avsnitt 5.4.2.)

#### **5.4.6 Røntgen fluorescens spektrometri (XRF)**

Hoved- og sporelement-analyser av bulk bergart ble utført med et Philips<sup>®</sup> (PW 1404) XRF spektrometer.

Kjerneprøvene ble først delt i ca. 0.4 cm tykke subprøver parallelt med overflate, i alt 12-21 subprøver per kjerne (antall bestemt av individuell kjernelengde). Hver subprøve ble så knust med en steinsplitter og malt til pulver i en agatmølle. Pulveret ble deretter glødet ved 900 °C i 2 timer for å bestemme glødetap (LOI: loss on ignition).

Hovedelementer ble analysert på glasstabletter og sporelementer på pressede pulvertabletter etter metoder beskrevet av Norrish & Hutton (1969). Internasjonale standarder og anbefalte verdier fra Govindaraju (1984) ble brukt for kalibrering.



Ved XRF-analyser blir jerninnholdet bestemt som  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . For å bestemme innhold av FeO ble steinpulver, oppløst i syreløsning og tilsatt indikator, titrert mot en standard løsning av kaliumdikromat.

#### 5.4.7 Massespektrometri (MS)

For Sr-isotop analyser av bulk bergart og mineralfaser ble det benyttet et fullt automatisert Finnegan MAT 262 massespektrometer. Den kjemiske prosesseringen ble utført i et rentrom-miljø, med reagenter rengjort ved to-flaske Teflon destillasjon. Prøvene ble løst i en blanding av HF og  $\text{HNO}_3$ . Sr ble separert ved spesifikk ekstraksjonskromatografi ved bruk av metoden beskrevet av Pin et al. (1994). Sr ble så lastet på et dobbel filament og analysert på manuell måte.

For analyser av bergart ble samme steinpulver som ble analysert med XRF benyttet (se avsnitt 5.4.6.). I tillegg ble en 1-2 mm tykk subprøve fra øvre del av forvitringssonen også analysert. For noen prøver ble også Sr-konsentrasjonen i bergartsprøvene analysert med massespektrometer. Disse analysene viser Sr-verdier som er noe lavere (ca 15 ppm) enn de som er analysert med XRF.

Materiale for analyser av enkeltminerale ble tatt ut fra ca 3-4 mm tykke, polete bergartssnitt, ved hjelp av en motordrevet diamant-mikrodrill (produsert av Ulrike Medenbach), festet til et lysmikroskop. Drillen borer ut en kjegleform med diameter opptil 2-3 mm, hvor den sentrale delen av kjeglen er en sylindrisk plugg og det resterende materialet er pulver.

### 5.5 Användning av naturliga isotopsystem för analys av miljökällor

#### 5.5.1 Analys av strontiumisotoper

Allt som forekommer rundt oss i naturen er oppbyggt av kemiske komponenter, eller element, i ulike kombinasjoner. Bland de vanligaste og mest kjente elementene er t.ex. kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), jern (Fe) etc. Kalsium t.ex. er, liksom alle andre element, oppbyggt av mindre byggestenar eller så kallade isotoper av kalsium. Da det i visse fall medfører tekniske problemer ved isotopanalyse av et element kan man iblant istället velge et beslektet element med en isotopfordeling som er bedre egnet for analyse. Ett element som likner kalsium og følger det i ulike prosesser i naturen er strontium (Sr) som er naturligt forekommende med fire isotoper;  $^{84}\text{Sr}$  0.6%,  $^{86}\text{Sr}$  9.9%,  $^{87}\text{Sr}$  7%,  $^{88}\text{Sr}$  82.6%. Alle disse isotopene av Sr er stabile og uforanderlige med undtagelse for  $^{87}\text{Sr}$  som er en datterisotop av  $^{87}\text{Rb}$  og får et kontinuerligt tillegg derfra. Her må påpekes at dette naturligt forekommende strontium **inte** skal blandes ihop med det forekommende radioaktive  $^{90}\text{Sr}$  som dannes ved ulike kjerneprosesser.

Denne muligheten at med hjelp av naturlige isotopsystem karakterisere ulike kilder gjør det mulig å følge transport og prosesser i miljøet som utslipp av forurening og den effekt de har på omgivningen. Analyse av den naturlige isotopsammensetningen hos et materiale har også den fordel at den ikke er avhengig av materialets konsentrasjon. En liter vann t.ex. har samme isotopforholdene selv om den indunsteres til en milliliter volum. En hovedpoengter er således ikke alltid å bestemme absolutt beløp men å finne trender, positive eller negative, med hjelp av naturlige isotopsystem for å kunne belyse en utvikling og hvilken påvirkning den har. Anvendningen av naturlige isotopsystem innebærer også en mulighet å kunne følge

och uppskatta de vittrings- og nedbrytningsprosesser som i en allt snabbare takt h ller på att f rinta v rt kulturarv inför v ra  gon ( berg et al., 1995;  berg, 1995,  berg et al., 1999).

F r strontium isotopanalysen på IFE samlades det i Begby in regnvattensprover från locksamlare, nedeb rdsamlare, krondropp, og avrinning. Havsvatten har ett konstant og globalt Sr värde av 0.70917 (Howarth & McArthur, 1997) og år avsatt som en strekkad linje på Figur 62. Havsvattnet fungerer som reservoir for regnvatten vilket går att regnvatten primært har ungef r samme Sr värde. N rvaron av atmosf rstransporterte salter från havsvattnet, i kustn ra områden, har en korrosiv effekt på ulike material.

Atmosf ren inneholder emellertid ulike store m ngder av damm, partiklar, salter, aerosoler etc. som sätter sin signatur på regnvattnet. Vid provinsamling på Begby respektive Litsleby anvendes därför såvel locksamlare, som endast  r öppna vid regnfall, og traditionelle regnvattensamlare som alltid står öppna. Den traditionelle regnvattensamlaren samler således in torrdeposition under övrig tid då det inte regnar og ger mer ett mått på total atmosf risk depositionsarar  n bare v tdeposition. Vid subtrahering av locksamlarens elementinneh ll från nedeb rdsamlarens erh lles ett värde på torrdepositionen under tidsperioden.

I Litsleby samlades det dessutom in vatten efter spolning av en bergartsyta som skyddats av det  verbyggda taket (prov Taktv tt).

## **5.6 Biologiske unders kkelser**

### **5.6.1 Begby, Østfold**

#### **5.6.1.1 Prøvemateriale**

Lav som ikke kan bestemmes i felt ble samlet inn for identifikasjon i laboratoriet. Stereolupe, lysmikroskop og tynnsjikt-kromatografi er benyttet ved identifikasjon av lav. Nomenklaturen for lav følger Santesson (1993). For   undersøke lavs inntrenging i bergarten ble det tatt ut 8 borekjerne (D: 2.4 cm, dyp: 2–5 cm) fra ulike steder innenfor prøveområdet (Tabell 2). Disse er  vokst av 4 ulike lavarter (2 kjerner med hver art). I tillegg ble det tatt 2 kjerner fra torvdekket flate og 2 fra flate med vannsig.

#### **5.6.1.2 Arts bestemmelse ved tynnsjikt-kromatografi**

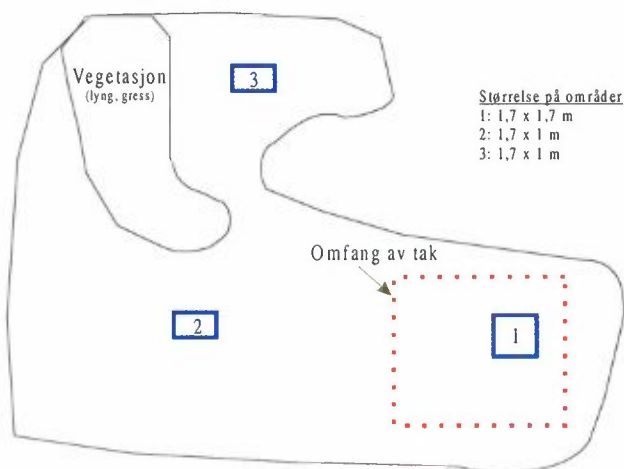
De fleste innsamlede lavpr ver fra Begby er testet kjemisk ved hjelp av tynnsjikt-kromatografi, "high performance thin layer chromatography" (HPTLC), etter metoden til Arup et al. (1993).

#### **5.6.1.3 Skanning elektronmikroskopi**

For   studere inntrengingsdyp av lav og mengde biologisk materiale i forvitringssonen ble tynnslip fra borekjerne undersøkt i SEM med backscatter-elektroner (se avsnitt 5.4.4). Biologisk materiale består hovedsakelig av svært lette elementer som gir liten/ingen tilbakespredning av elektroner og blir derfor mørk grå til svart. For   synliggjøre det biologiske materialet ble derfor tynnslipene farget med bly-citrat etter metoden til Bozzola & Russel (1992). Etter fargingen med bly, som er et svært tungt element, fremtrer det biologiske materialet som hvite partier.

## 5.6.2 Litsleby, Tanum

### 5.6.2.1 Feltundersøkelser og skjøtselstiltak



Figur 13: Skisse over undersøkte flater, Litsleby, Tanum.

Et hovedmoment var å se hvilken effekt ulike former for overdekking har på eksponerte bergflater. I prøveområdet ble det to slags overdekninger: vernetak (område 1) og varmeisolasjon/presenning (område 3). En sammenligningsflate ved siden av forsøksflaten (område 2) ble også undersøkt.

For å kunne se om overdekking over tid har noen effekt på organismene som vokser på bergflaten, ble det foretatt en innledende undersøkelse.

I de tre områdene er det valgt ut tre prøveflater (område 1, 2 og 3) (Figur 13).

Størrelsen på disse er 1,7 x 1,7 m (område 1) og 1,7 x 1 m (område 2, 3). I område 1, er det videre valgt tre prøveflater (1.a, 1.b, 1.c) som er 30 x 30 cm. Registreringen ble utført ved en visuell undersøkelse av de organismene som vokser på overflaten. Fordelingen av de ulike organismene ble fotografert og tegnet av.

I tillegg ble det tatt prøver (7 i felt 1, 8 i felt 2, 9 i felt 3 samt 4 prøver andre steder på bergflaten) av ulike kolonier for videre analyse. I område 1 ble det dessuten tatt 24 kontaktprøver (MEA = maltekstrakt-agar, DG 18 = dichloran 18% glycerol-agar) av bergflaten, for å kontrollere eventuell forekomst av bakterier, gjærsopp og muggsopp.

Det var dermed mulig å komme tilbake i ettertid og foreta en oppfølgende kontroll. På den måten kunne man se hvorvidt det var skjedd endring i forekomsten av ulike organismer ved ulike tiltak.

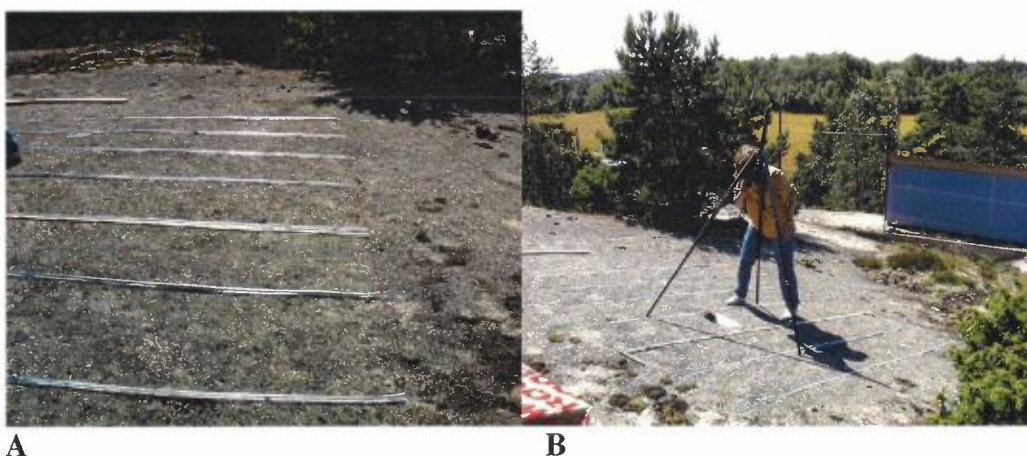
### 5.6.2.2 Overdekkingsforsøk

Overdekkingsforsøket ble valgt til å gjennomføres i Litsleby for å samordne ressursene best mulig. Selve forsøket ble lagt til et område utenfor gjerdet til de øvrige forsøkene (på oversiden, mot øst).

Den aktuelle prøveflaten var på ca. 2,8 x 3,0 meter. Prøvefeltet ble delt inn i seks langsgående delfelt (1-6) ved at en kjemikaliebestandig silikongummislange (20 mm diameter) ble limt med byggsilikon mot bergflaten, slik at vann ikke kunne komme fra et felt til et annet (Figur 14A og B). Hvert delfelt var på ca. 2,8 x 0,5 m. Hvert delfelt var delt inn i fire delområder (a – d) på 0,7 x 0,5 m, hvor a ligger lavest og d høyest i feltet. Det ble ikke festet slange på toppen eller bunn av delfeltene. Av den grunn kunne det bli noe tilsig fra høyere liggende bergflate mot øst, med avrenningen ned mot vest.

I de seks ulike delfeltene ble det lagt varierende overdekking i henhold til Tabell 3. Bakgrunnen for forsøksoppsettet var dels å gå videre med resultater fra forsøk som Cecilie Størmer tidligere hadde gjennomført, dels å benytte ulike miljøvennlige, naturlig forekommende produkter. En spesiell begrunnelse for bruk av torvmose (*Sphagnum* spp.) var at de i forbindelse med annet prosjektarbeid tidligere var klarlagt at denne mosen hadde en desinfiserende effekt på grunn av en jonebytte-effekt i bladceller og stengler (Painter, 1995).

Forsøket startet opp 16. juli 1998.



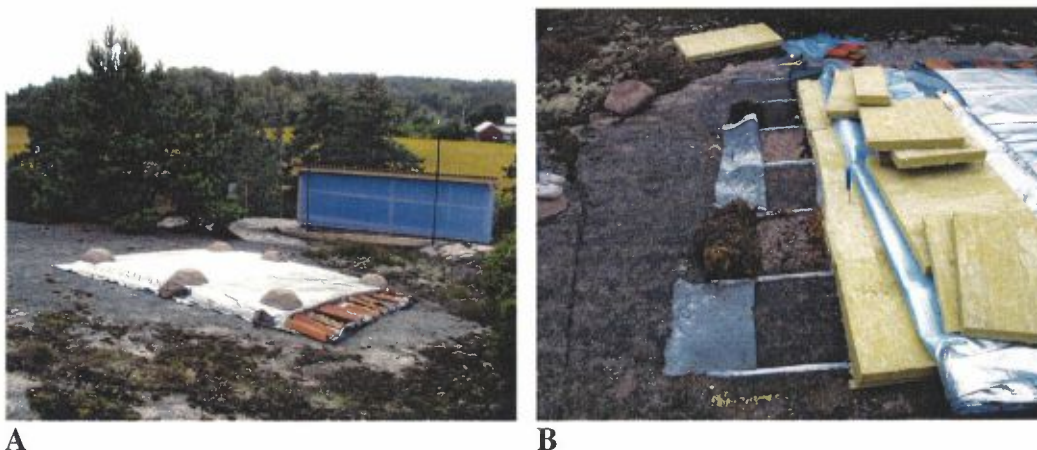
Figur 14: A) Testflaten ble delt opp med silikonslanger som ble limt til underlaget med silikon.  
B) Hvert felt ble dokumentert ved fotografering.

Tabell 3: Skjematisk oversikt på overdekkingsforsøket.

Område	Overdekking
Delfelt 1	Svarte plastsekker med fuktig jord.
Delfelt 2	5 cm fuktig jord, byggplast, 10 cm isolasjon (markplate av hard steinull), byggplast og armert aluminiumsfolie.
Delfelt 3	Fiberduk, 5 cm fuktig jord, byggplast, 10 cm isolasjon, byggplast og armert aluminiumsfolie.
Delfelt 4	Fiberduk, byggplast, 10 cm isolasjon, byggplast og armert aluminiumsfolie.
Delfelt 5	Fuktig torvmose, plast, 10 cm isolasjon, byggplast og armert aluminiumsfolie.
Delfelt 6	Fiberduk, 10 cm isolasjon, byggplast og armert aluminiumsfolie.

Både de jordfylte plastsekkene og den armerte aluminiumsduken ble stabilisert av tyngder rundt og på forsøksoverdekkingen (Figur 15A).

I alt tre av delfeltenes mindre delområder (ca 70 cm) ble avdekket etter ulik tid (september 1998 (Figur 15B), mai 1999 og september 1999). Ved avdekking ble overflaten undersøkt visuelt og fotodokumentert. I tillegg ble det tatt prøver fra overflaten samt borkjerner til ca. 5 cm dybde for videre analyse i lupe og mikroskop (se avsnitt 5.6.2.3).



Figur 15: A) Overdekkingen ved oppstart av forsøket.

B) Avdekking av det første området, etter to måneders overdekking.

Ved avdekkingene ble følgende prosedyre fulgt:

1. Forsiktig fjerning av overdekkingen.
2. Visuell undersøkelse av flaten.
3. Evt. måling av pH (pH-papir) og prøvetaking med henblikk på mikrobiologiske organismer i form av materialprøver og kontaktagar-prøver (MEA, DG 18).
4. Forsiktig skylling av overflaten for å fjerne løse partikler.
5. Ny visuell undersøkelse av overflaten.
6. Dokumentasjon ved fotografering.
7. Prøvetaking av borkjerner for videre analyse med henblikk på forekomst/fjerning av mikroorganismer nedover i steinen.

Ved et tilfelle, den 23.9.98 ble det foretatt måling av temperatur og relativ luftfuktighet tre steder under overdekkingene (delfelt 1 - plastsekk, delfelt 4 – duk/isolasjon, delfelt 5 – torvmose) samt på aluminiumsduken og på fjellet med hjelp av Rotronic AM3 og Rotronic Agent HT2. Tilsvarende ble det foretatt en langtidsmåling av temperatur og relativ luftfuktighet under delfelt 1, 3, 4, 5 og 6 i perioden 29. mars til 6. mai 1999.

### 5.6.2.3 Prøvemateriale og laboratorieundersøkelser

Laboratoriearbeidet som er utført av Mycoteam omfatter dels dyrking ( ved 20°C) og analyse via stereolupe (forstørrelse opp til 50 ganger) og lysmikroskop (forstørrelse opp til 1000 ganger). Oppfarging av preparater og identifikasjonsarbeid har fulgt

vanlige standardprosedyrer, slik som beskrevet i *Lavflora* (Krog, Østhagen og Tønsberg, 1980) og *Muggsopp, biologi, analyse og skadevurdering* (Holøs og Mattsson, 1994).

For å undersøke effekt av tildekking på mengde biologisk materiale i vitringssonen ble totalt 17 borekjerter tatt ut (Tabell 2). Av disse er 3 kjerter referanseprøver fra lavovervokst, utildekket bergflate, mens de 14 resterende er fra testflate for fjerning av lav ved ulike typer tildekking. 6 av disse kjerneprøvene er tatt etter ca 9.5 mnd med tildekking, en fra hvert delfelt. De øvrige 8 er tatt etter ca 14.5 mnd tildekking, 1-2 prøver fra hvert delfelt. Prøvene ble preparert og undersøkt som beskrevet i avsnitt 5.6.1.3.

## 6 Resultater og diskusjon av miljømålingene

*(Bakgrunnsdata for miljømålingene er vist i Vedleggene B og C).*

I tilknytning til SFTs overvåkingsprogram for Norge så har NILU en målestasjon på Prestebakke som ligger ca. 40 km SØ for Begby. Målestasjonen på Prestebakke ligger i et skogsområde, relativt godt skjermet fra lokal antropogen forurensning og resultatene herfra kan betraktes som bakgrunnsverdier for Østfoldregionen. I og med at Prestebakke ligger så nær Begby, kan man anta at eventuelle langtransporterte forurensninger vil gi tilnærmet samme bidrag til begge områdene.

De parametrene som måles på Prestebakke er nedbørkjemi, svoveldioksid, ammoniakk og ozon. For å sammenligne Begby med Prestebakke er det brukt måledata fra Prestebakke for den samme måleperioden. (Dataene som ligger i NILUs database er foreløpig ikke publisert).

For lettere å kunne tolke resultatene fra miljømålinger i et området er det viktig å studere de meteorologiske data som vind og temperatur. I denne undersøkelsen er vind- og temperaturdata hentet fra NILUs stasjon i Borge. Stasjonen ligger i overkant av 4 km NNØ for Begby, og dataene herfra vil være representative for hele området.

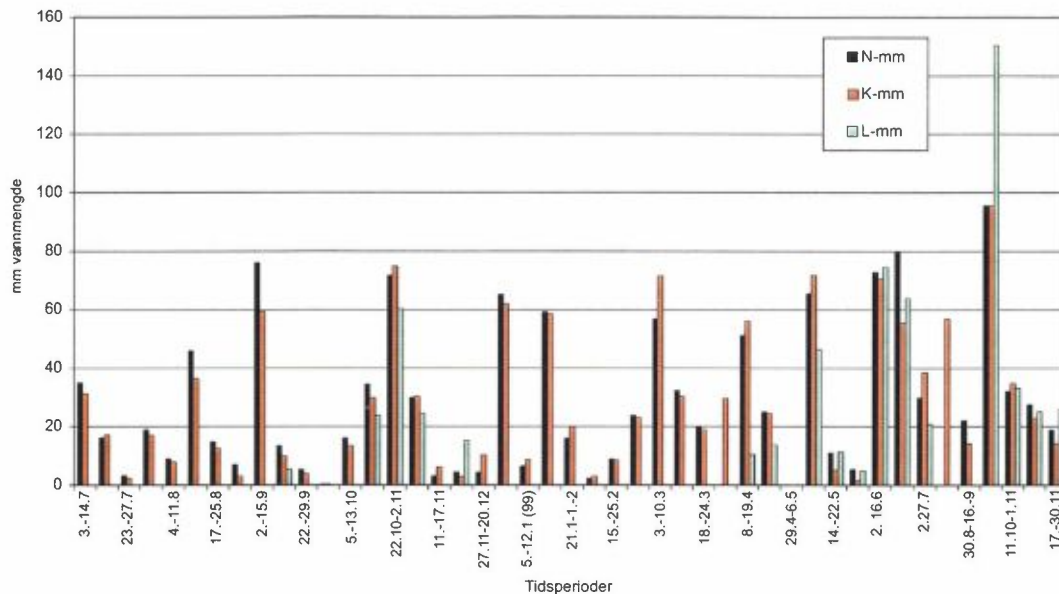
### 6.1 Analyse av nedbør og kronedrypp

#### 6.1.1 Nedbørmengde

30-årsnormalen for mengde nedbør er målt ved DNMI's stasjon i Sarpsborg til 880 mm. Årsnormalen på Begby avviker neppe mye fra dette. På Begby ble det i løpet av 1999 målt 962 mm nedbør, dvs noe over normalen, mens annen halvdel av 1998 hadde nokså normale nedbørmengder. Under hele prosjektet var det bare en periode som var uten nedbør (29.04.-06.05.99), (Tabell C1).

På grunn av strømbrydd har lokksamleren av og til vært ute av funksjon. Best kontinuitet i målingene har en hatt i siste halvdel av 1999.

Av Figur 16 går det frem at i 1999 var spesielt perioden juni og de påfølgende 5-6 måneder nedbørsrike. I perioden 16.09-11.10.99 ble alle beholdere fulle av regnvann slik at vi ikke fikk registrert eksakte nedbørmengder. Vi kan imidlertid si at nedbørmengden må ha vært minst 150 mm i denne perioden, hvilket tilsvarer maksimal mengde som kan samles opp i lokksamleren.



Figur 16: Mengde nedbør fra nedbørsamler (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L) i perioden juli 1998-november 1999.

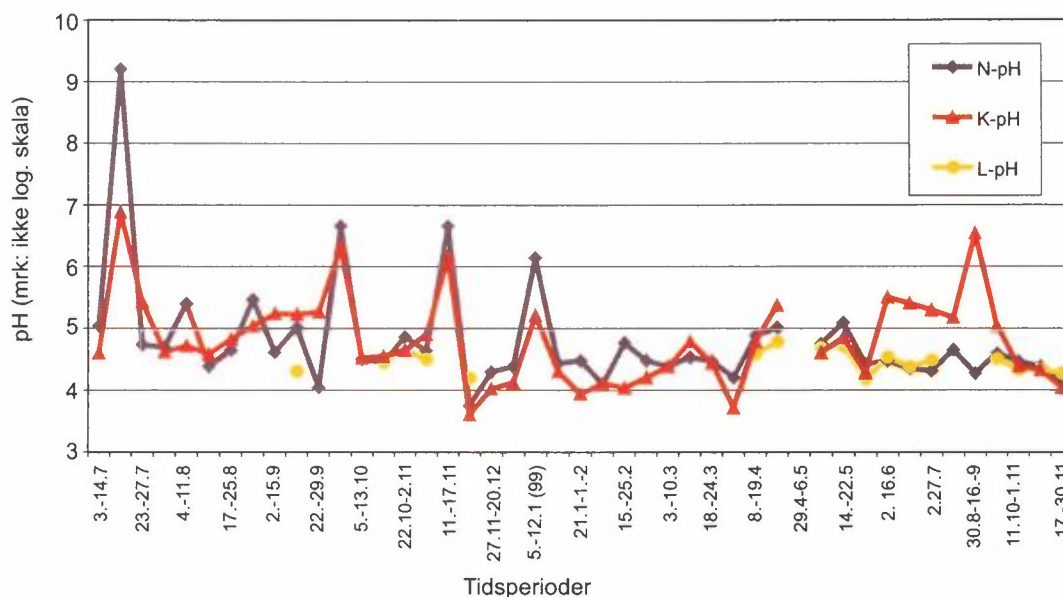
Noen få ganger vinterstid viser likevel lokksamleren mer vann enn de to andre samlerne. Dette skyldes trolig at lokksamleren mer effektivt fanger opp snø enn NILUs nedbørsamler. Av Figur 16 går det derimot frem at NILUs nedbørsamler vanligvis samler litt mer vann enn lokksamleren. Videre ser vi at nedbørsamler og kronedryppsamler veksler om å gi mest vann i beholderen. Årsaken til dette kan være lokale variasjoner i vindforhold og regnværstypen (yr, slagregn, sludd mm), videre kan også forholdene i furutreet hvor kronedryppet samles opp variere noe.

### 6.1.2 pH

pH i nedbør varierte atskillig mer i siste halvdel av 1998 enn i løpet av hele året 1999.

Av Figur 17 kan vi se en "pH-topp" i perioden 14-23.7.98 med verdien 9,2 som må betegnes som ekstremt høy. Årsaken til den høye pH-verdien var trolig kalking av jorder i nærområdet. De høye kalsiumverdiene beskrevet i Figur 19 underbygger dette. Man har ikke registrert liknende topp på nærmeste bakgrunnsstasjon (Prestebakke), selv om pH verdiene også her var noe høyere enn vanlig (5 – 5,5). Bunnverdien ble målt i perioden 17-27.11.98 med pH 3,75. Den lave pH-verdien skyldes trolig en lokal forurensningskilde, muligens Øra industriområde og boligoppvarming i nærområdet. Bakgrunnsstasjonen Prestebakke viste pH rundt 4,2 i denne perioden. I begge de nevnte tilfellene var det vind fra SV, og i siste tilfellet var det relativt vedvarende sterk vind i tre døgn.





Figur 17: pH i nedbør (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).

Det er vanligvis liten forskjell på pH i nedbør på Prestebakke og Begby. Begby har noen flere avvikende topper (med høyere pH) som skyldes lokale innslag (Figur 17 og Figur C1). I 1999 lå pH i nedbøren mellom 4 og 5 hele året bortsett fra perioden 5-12.1, hvor den lå i overkant av 6. I sist nevnte periode var det relativt vindstille.

I kronedrypp var pH noen ganger lavere og andre ganger høyere enn pH i nedbøren i 1998. Oftest korrelerte ekstremverdiene i kronedrypp og i nedbøren, og i alle disse tilfellene var pH i kronedrypp noe lavere enn i nedbøren.

I 1999 så man også at pH i kronedrypp lå noe lavere enn nedbør, den første halvdel av året. Ut på sommeren og høsten var pH klart høyere i kronedrypp enn i nedbøren (ca. en pH-enhet). Dette syntes å vare fram til november. En mulig forklaring til dette kan være at lav pH i kronedrypp under vinterhalvåret kan skyldes at partikler fra boligoppvarming (med lav pH) samles i trærne. Under sommeren har man ikke dette tilskuddet, derimot kan det samles partikler fra gjødsling av åkrene (kalk etc. med høy pH) i trærne.

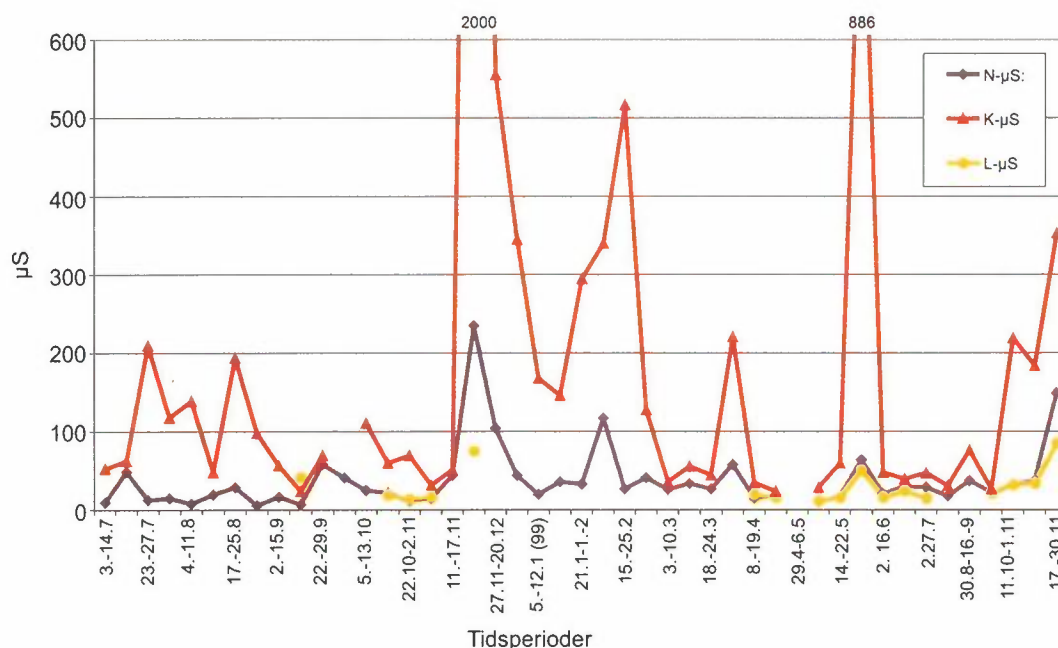
pH i lokksamleren og nedbør lå som ventet nær hverandre, dog oftest med litt lavere verdi for lokksamler. Dette indikerer at tørravsetning som tilføres nedbørsamleren er mer alkalisk (inneholder mindre sure komponenter), og således har en tendens til å heve pH noe. I lokksamleren har pH ved alle målingene ligget rundt 4,5. Vi har imidlertid ikke fått med tilstrekkelig med nedbørperioder med ekstremverdier på grunn av at lokksamler i disse perioder var ute av drift. Innenfor de måleperioder hvor det foreligger data fra begge samlerne var korrelasjonen god.

### 6.1.3 Ledningsevne ( $\mu S$ )

Ledningsevne gir et vist uttrykk for ionemengde i nedbør. Som ventet er den alltid betydelig høyere i regnvann fra kronedrypp enn i nedbøren. Dette skyldes at

trekronene fungerer som store støvsamlere for all slags tørravsetninger. Det er også karakteristisk at de aller høyeste konsentrasjonene i kronedrypp fås ved relativt små nedbørmengder. Ved et kraftig regnskyll vil derimot det meste av oppsamlede tørravsetninger i trekronen løses ut. Siden vil trekronen bli mer eller mindre renvasket, og konsentrasjonen i kronedryppet vil da selvsagt falle.

En måleperiode med lite nedbør og også lav ledningsevne i kronedrypp vil således kunne indikere lite aerosolforurensning. Eksempel på dette har vi i måleperioden 18-24.3.99 (Figur 18). Lite vind, som det var i denne perioden, fører og til liten tørravsetning i trekronen.



Figur 18: Ledningsevne ( $\mu\text{S}$ ) i nedbør (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).

På samme måte som for pH var korrelasjonen mellom ledningsevne ( $\mu\text{S}$ ) i nedbør og lokksamler god.

Kronedrypp inneholder alltid mer, og ofte svært mye mer ioner enn nedbøren. Dette kommer av at trekronen blir avvasket for tørravsetninger. For bartrær vil evnen til å fange inn tørravsetninger vedvare året rundt, mens den samme evnen vil være redusert hos løvtrærne vinterstid når løvet er borte. Ledningsevnen i nedbør og kronedrypp har for det meste dårlig samvariasjon.

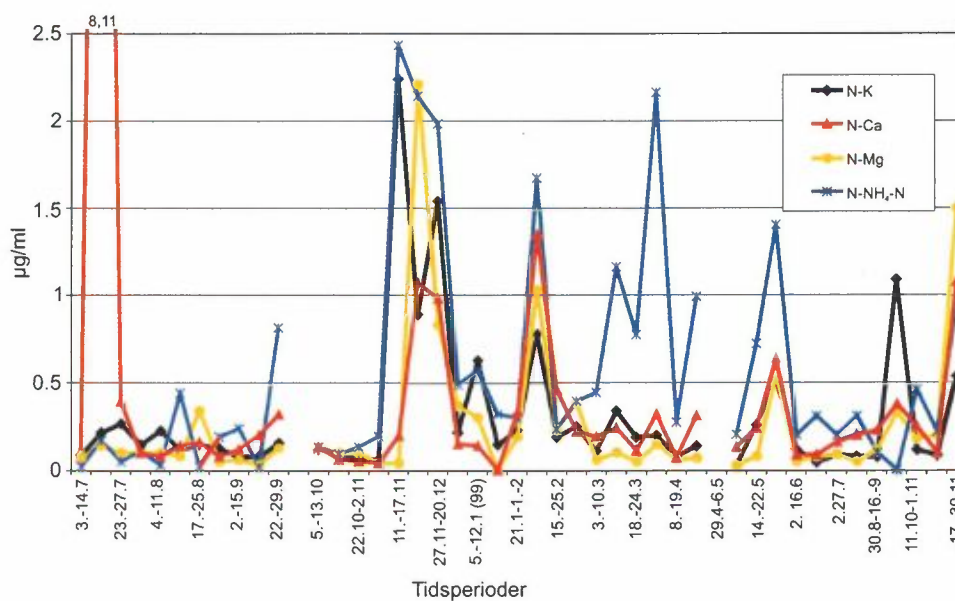
Flere måleperioder, særlig 17-27.11.98 og 22.5-2.6.99 har svært høye  $\mu\text{S}$ -verdier. Dette faller sammen med mye og relativt sterke vinder fra SV. Generelt gir relativt sterke vinder fra SV og sørlig kant forhøyede ione-verdier, på grunn av økt innblåsing av salter fra havet, som øker ledningsevnen i regnvannet og kronedryppet.

Særlig førstnevnte periode slo også kraftig ut i nedbøren.

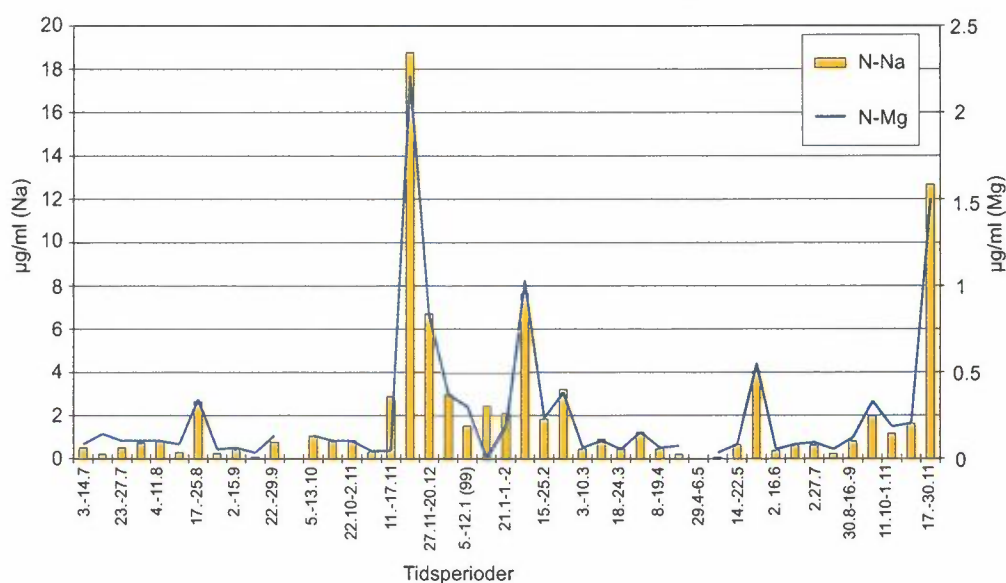
### 6.1.4 Kationer

Kationene omfatter den positivt ladede delen av de vannløselige saltene. I vårt tilfelle betyr det metalleden av saltene samt ammoniumionet ( $\text{NH}_4$ ), (Tabell C2).

Konsentrasjonen av både natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), og magnesium (Mg) har noe varierende samvariasjon i nedbøren hele perioden sett under ett (Figur 19). Na og Mg har hatt meget god samvariasjon (Figur 20). Siden Mg normalt vil være havrelatert synes altså Na også å være det. Bare periodene 11-17.11.98 og 12-21.1.99 var avvikende ved at Na var sterkt overrepresentert. I begge tilfeller var det svært lite havsalt (Mg) i nedbøren, og følgelig har Na sannsynligvis i disse tilfeller en lokal kilde.



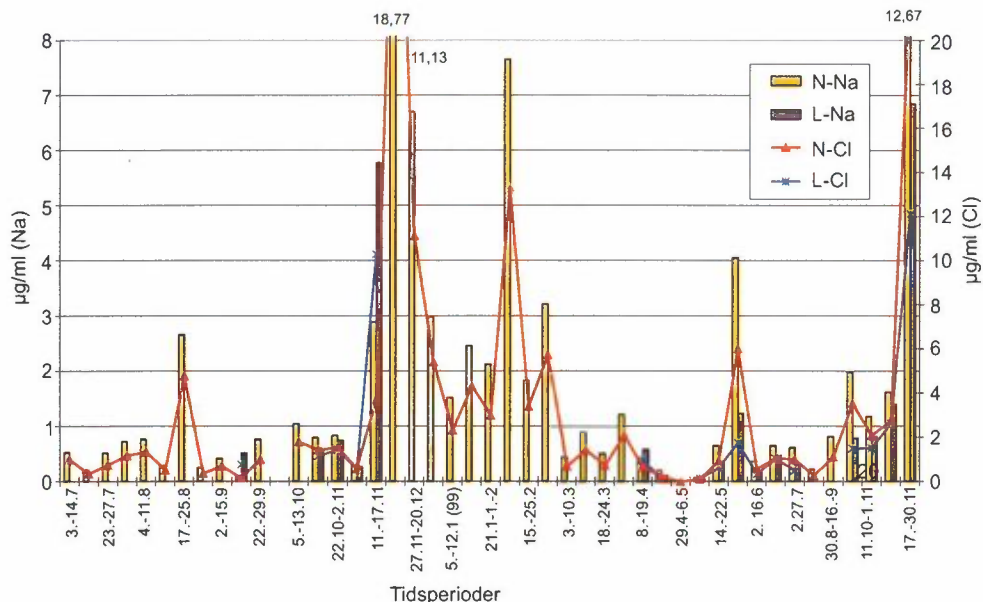
Figur 19: Kationer i nedbør.



Figur 20: Natrium (Na) og magnesium (Mg) i nedbør.

De aller fleste Mg-toppene registrert på Prestebakke finner vi også igjen på Begby (Figur 20 og Figur C2). Dette indikerer langtransporterte havsalter. På grunn av kortere avstand til havet er imidlertid konsentrasjonene normalt noe høyere på Begby.

Av Figur 21 ser vi at Na og klorid (Cl) var godt korrelert, hvilket tyder på at disse ionene i hovedsak er bundet som natriumklorid NaCl som er det dominerende saltet i havsalt.



Figur 21: Natrium (Na) og klor (Cl) i nedbør (N) og lokksamler (L).

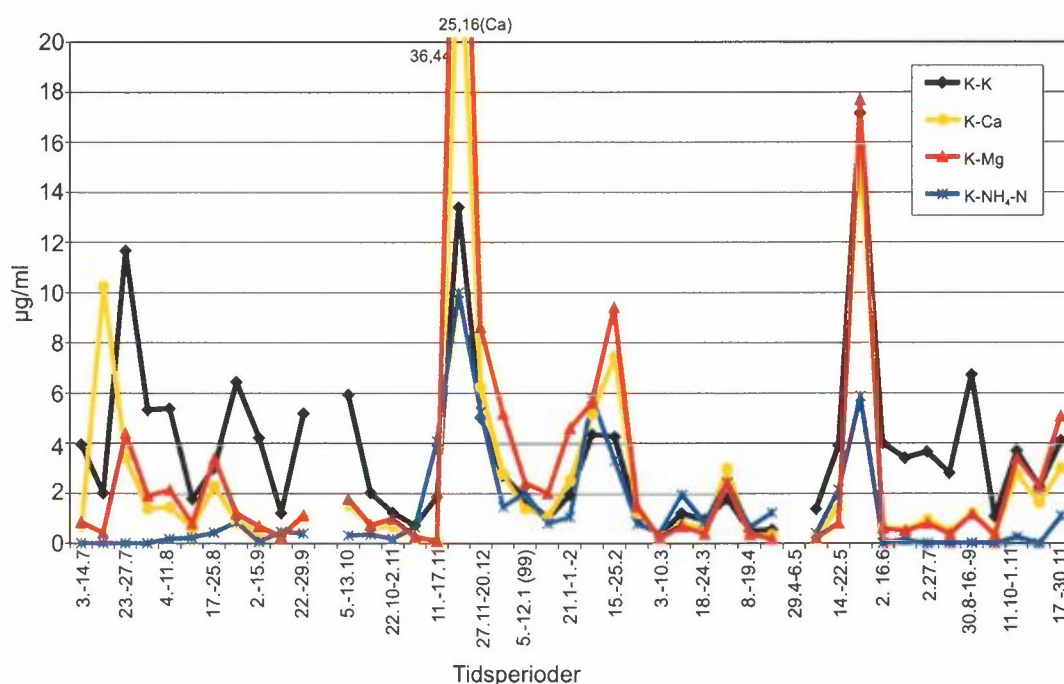
Konsentrasjonen av  $\text{NH}_4$  samvarierer stort sett dårlig med de andre kationene (Figur 19). Ved studie av vinddata fra Borge kan vi se at konsentrasjonstoppene (bortsett fra  $\text{NH}_4$ ) oftest faller sammen med moderate til sterke vinder fra sørlig kant. Dette indikerer at havet er hovedkilden (Figur C3).

Ammoniumkonsentrasjonene var høyest om våren i mars og særlig april (Figur 19). Lokale kilder for ammonium kan være forråtnelsesprosesser, gårdsdrift og gjødsling. Merk at målepunktet var forholdsvis godt skjermet mot nord av skog. Man kan heller ikke se bort fra at brakkvannsområdet på Øra kan gi et bidrag. Ammonium er dessuten et viktig kation i langtransportert forurensning og en vesentlig del av ammoniumkonsentrasjonen vil være langtransportert (ref. resultatene fra Prestebakke).

I perioden 14.-23.7.98 hadde man en særdeles høy topp av kalsium (Ca). Dette er trolig av lokal opprinnelse, sannsynligvis kalking av jorder under spesielle vindforhold. For øvrig var Ca relatert til havsalt vanligvis sterkt overrepresentert. Det kan derfor være andre lokale Ca-kilder foruten kalking av jorder. Ca-verdiene er imidlertid normalt lave, dvs. omtrent på samme nivå som Prestebakke.

Uke 51 i 1998 har på Prestebakke relativt høye konsentrasjoner for alle ioner i nedbøren. Dette er også tilfelle på Begby. Dette viser at et større område av Øst-Norge i perioden har fått en episode med langtransportert forurenset nedbør.

I kronedrypp vil ionekonsentrasjonene være mye høyere enn for nedbør, gjerne ti ganger høyere (Figur 22). Dette skyldes som tidligere nevnt tørravsetningen som vaskes av trekronen ved regnvær. Det betyr at de vannløselige aerosolene i trekronen på Begby i hovedsak skyldes havsaltdrift. Av Figur 22 ser vi at særlig periodene 17-27.11.98 og 22.5-2.6.99 hadde store mengder kationer i kronedrypp. Begge periodene er preget av mye vind fra SV.

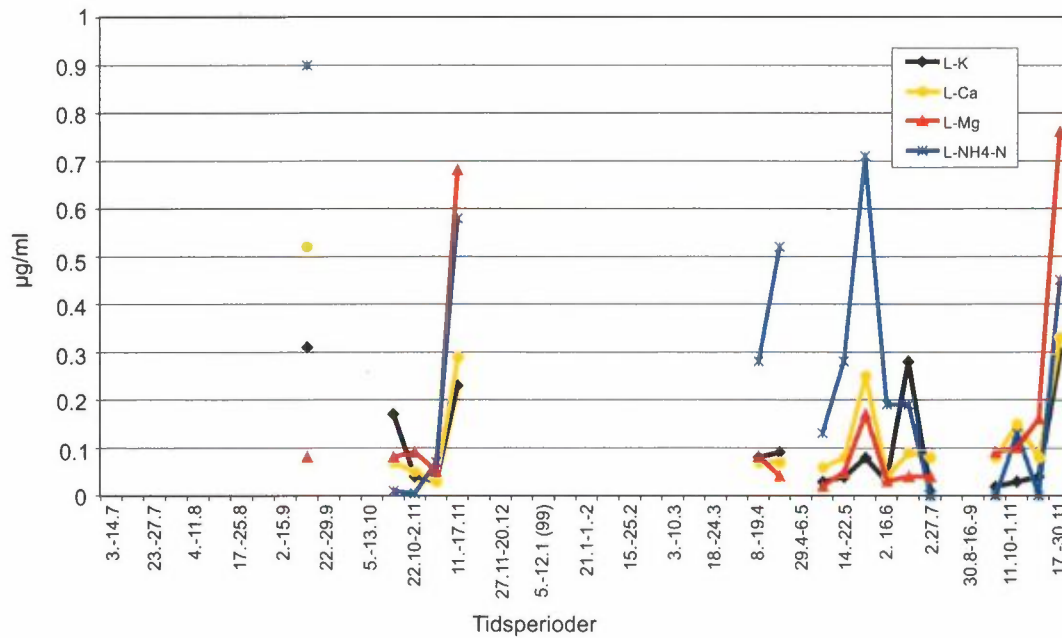


Figur 22: Kationer i kronedrypp.

To andre effekter kan også registreres i kronedryppet. Om høsten var kaliumkonsentrasjonen forhøyet (Figur 22). Dette kommer trolig av at vegetabilsk materiale avgir kalium under nedbrytningsprosessen siden vegetasjon er en vanlig kilde for kalium.

Når det gjelder ammoniumionene så forsvinner disse nesten helt fra sommeren av og til rundt november (Figur 22). Vegetasjon har stort behov for nitrogen i sin vekstperiode. Det kan se ut som trær tar opp nitrogenholdige ioner som ammonium direkte i denne årstiden. Enda mer markert er opptaket av nitrat i samme årstid (se anioner).

Vi har ikke like lange serier med lokksamler som for nedbør og kronedrypp. Konsentrasjonsnivåene er som ventet klart lavere enn for nedbørssamleren (Figur 23). Samvariasjonen mellom lokksamler og nedbørssamler var imidlertid ikke alltid like god (Figur 19 og Figur 23). Dette skyldes variasjoner i aerosoltilførselen mellom regnbygene.

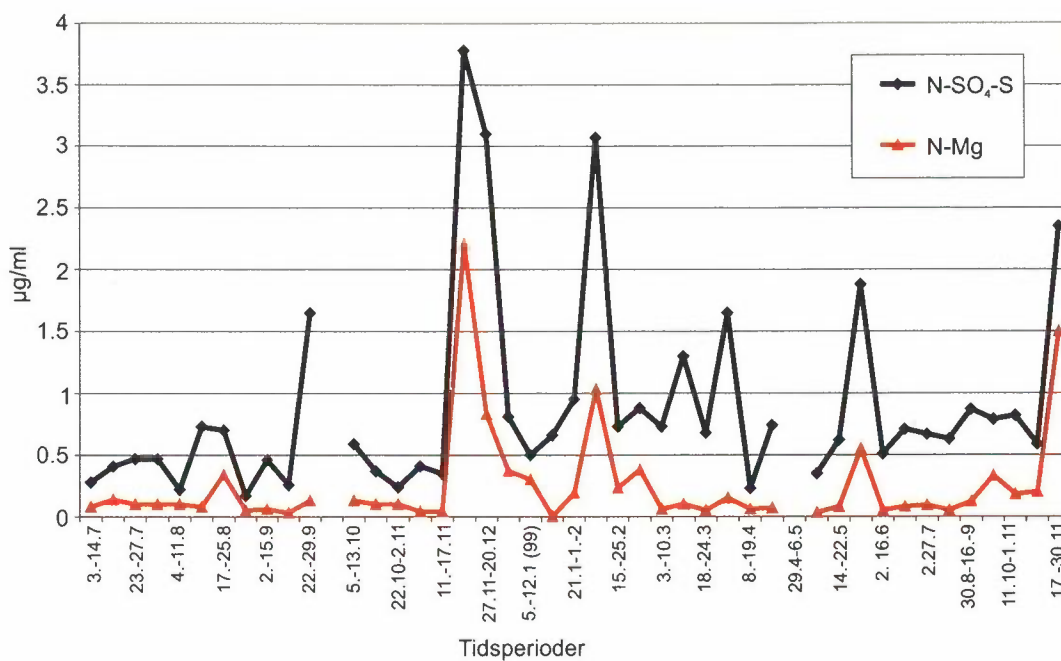


Figur 23: Kationer i lokksamler.

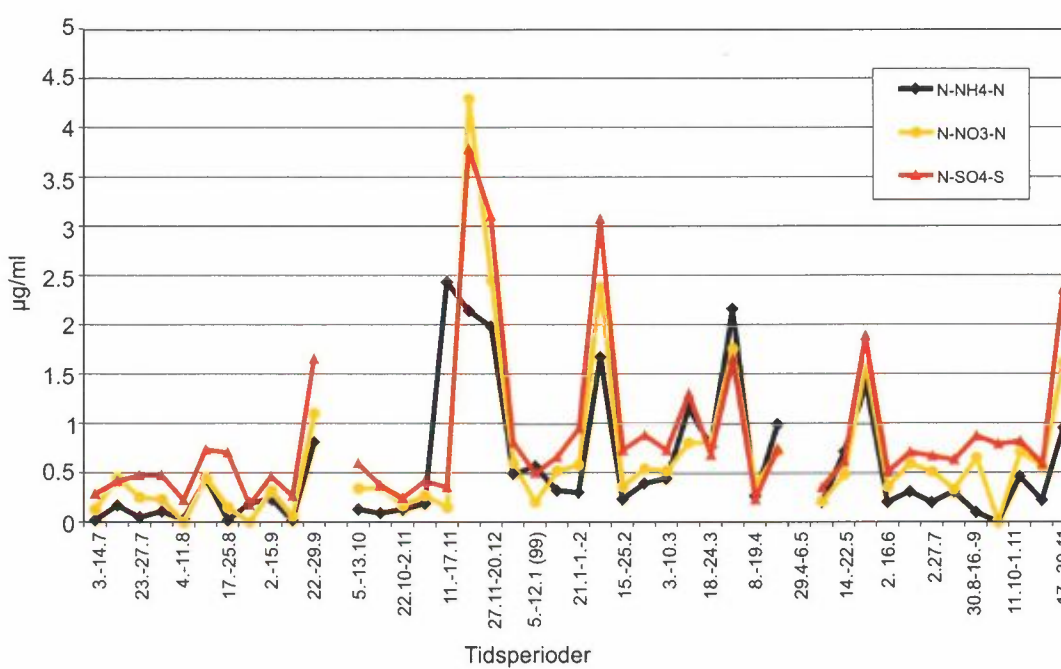
### 6.1.5 Anioner

Anionene utgjør den negativt ladede delen av de vannløselige saltene, som i vårt tilfelle omfatter klorider (Cl), nitrater (NO<sub>3</sub>) og sulfater (SO<sub>4</sub>). Merk at mengden nitrater og sulfater alltid er oppgitt som henholdsvis nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) og svovel (SO<sub>4</sub>-S), (Tabell C3). Hvis en ønsker å få verdiene i NO<sub>3</sub> og SO<sub>4</sub> må verdiene ganges med 4,5 for NO<sub>3</sub>-N og 3 for SO<sub>4</sub>-S.

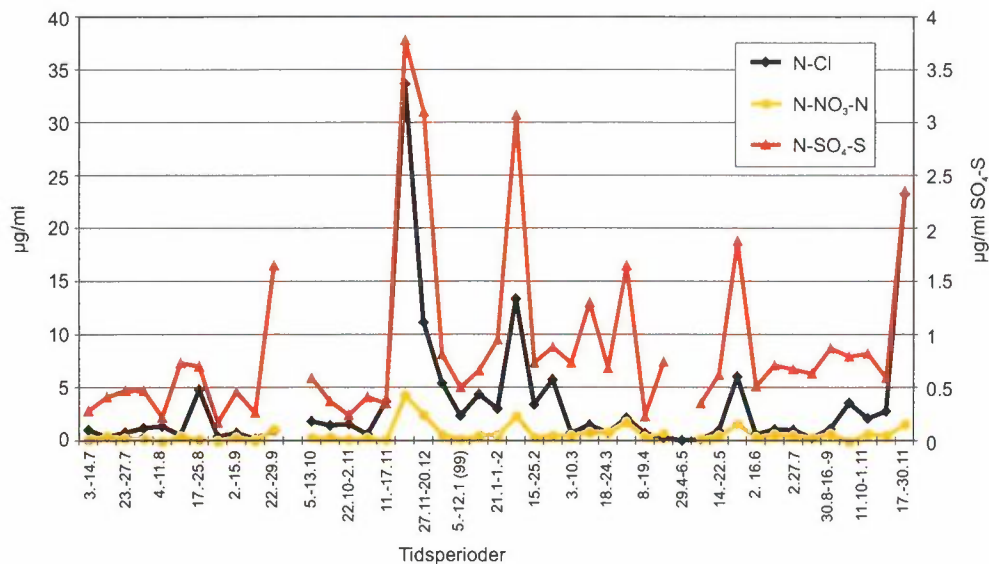
Samvariasjonen mellom magnesium (Mg) som er havsaltrelatert og SO<sub>4</sub>-konsentrasjonen i nedbør var heller dårlig (Figur 24). SO<sub>4</sub> samvarierer derimot atskillig bedre med NO<sub>3</sub> og kationet NH<sub>4</sub> (Figur 25). Havet ga et målbart bidrag til SO<sub>4</sub>-konsentrasjonen ved kraftig vedvarende vind fra sørvest (Figur 26), men sammenlignet med typiske havsaltkomponenter (som eksempelvis Mg og Na) var SO<sub>4</sub> sterkt overrepresentert. Det viser at det finnes andre lokale kilder for SO<sub>4</sub> i området rundt Begby. Hovedkilden for det lokale bidraget er trolig boligoppvarming og i noen grad industriutslipp fra industrier på Øraområdet i Fredrikstad. Ved å sammenholde døgntemperaturene på Borge-stasjonen (Figur C1) ser man at de perioder med lavest temperatur og forventet mer fyring, stort sett faller sammen med perioder med forhøyede sulfatverdier på Begby.



Figur 24: Sulfat (SO<sub>4</sub>) og magnesium (Mg) i nedbør.



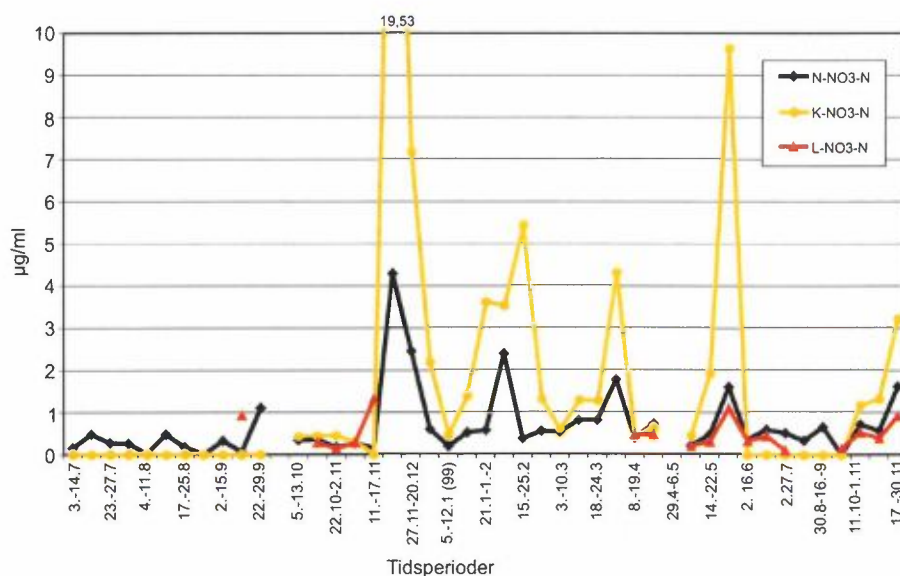
Figur 25: Ammonium (NH<sub>4</sub>), nitrat (NO<sub>3</sub>) og sulfat (SO<sub>4</sub>).



Figur 26: Anioner: klorid (Cl), nitrat (NO<sub>3</sub>) og sulfat (SO<sub>4</sub>) i nedbør.

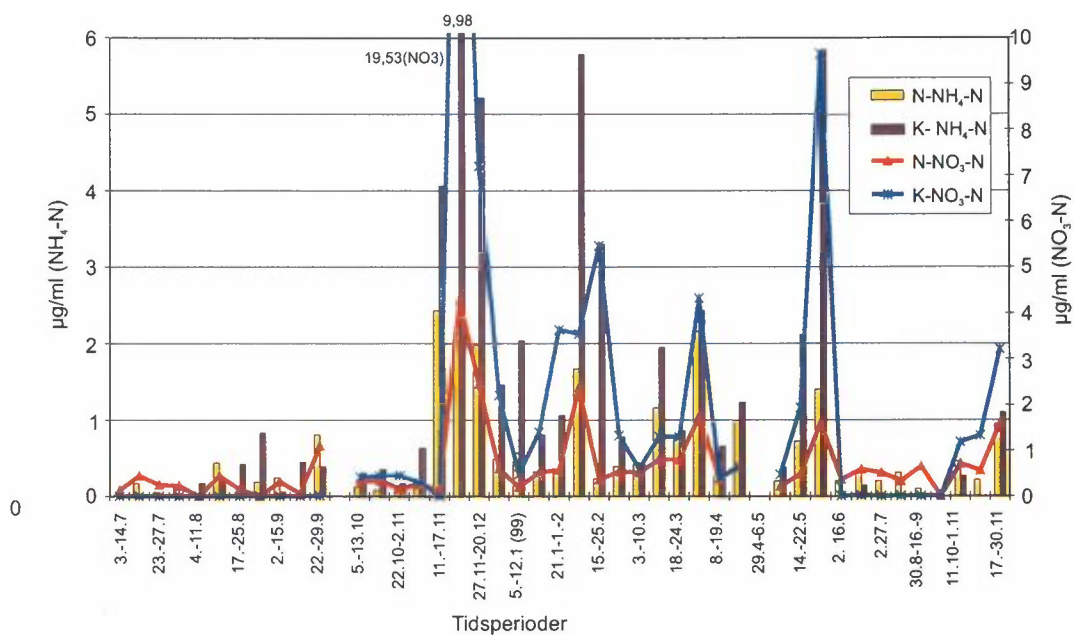
Når det gjelder de nitrogenholdige ionene (NH<sub>4</sub> og NO<sub>3</sub>) vil kildene være andre enn for SO<sub>4</sub>, men de korrelerer fordi retningen til kildene er den samme. Sulfat- og nitratkonsentrasjonene på Prestebakke og Begby er av samme størrelsesorden. Flere av de aller største nitrat-toppene på Prestebakke faller sammen med toppene på Begby (Figur 25 og Figur C2). Dette indikerer at langtransporterte forurensninger spiller en rolle for belastningen.

I kronedrypp ble konsentrasjonene av nitrat nær lik null om høsten helt frem til november (Figur 27). Også ammonium var sterkt redusert i samme tidsrom (se kationer). Det var ellers i året bra samvariasjon mellom disse ionene i nedbør (Figur 28).



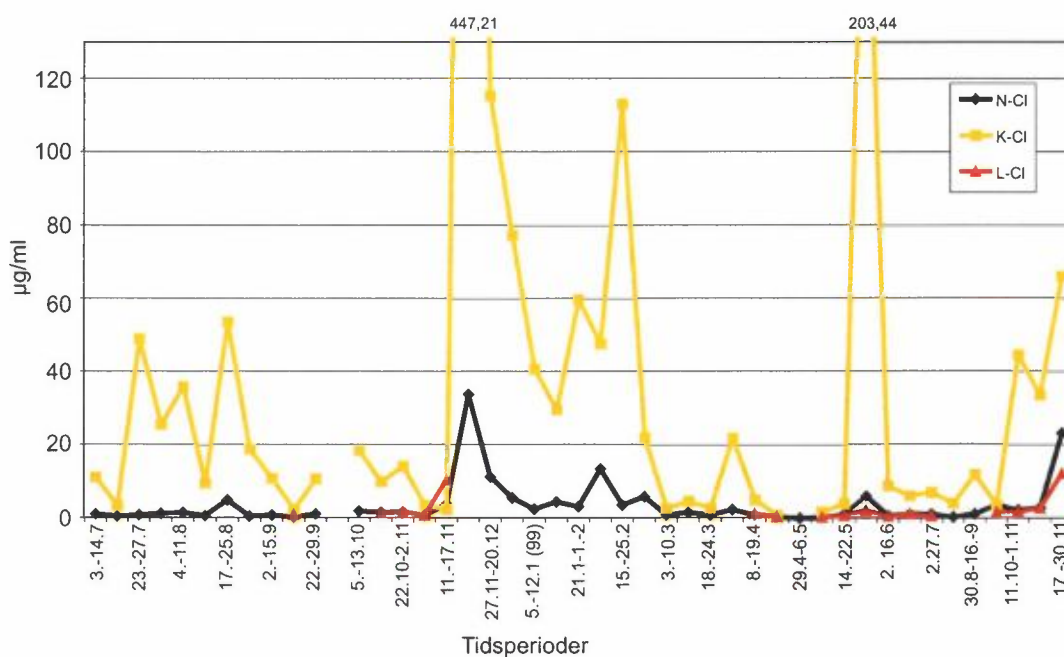
Figur 27: Nitrat (NO<sub>3</sub>) i nedbør (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).



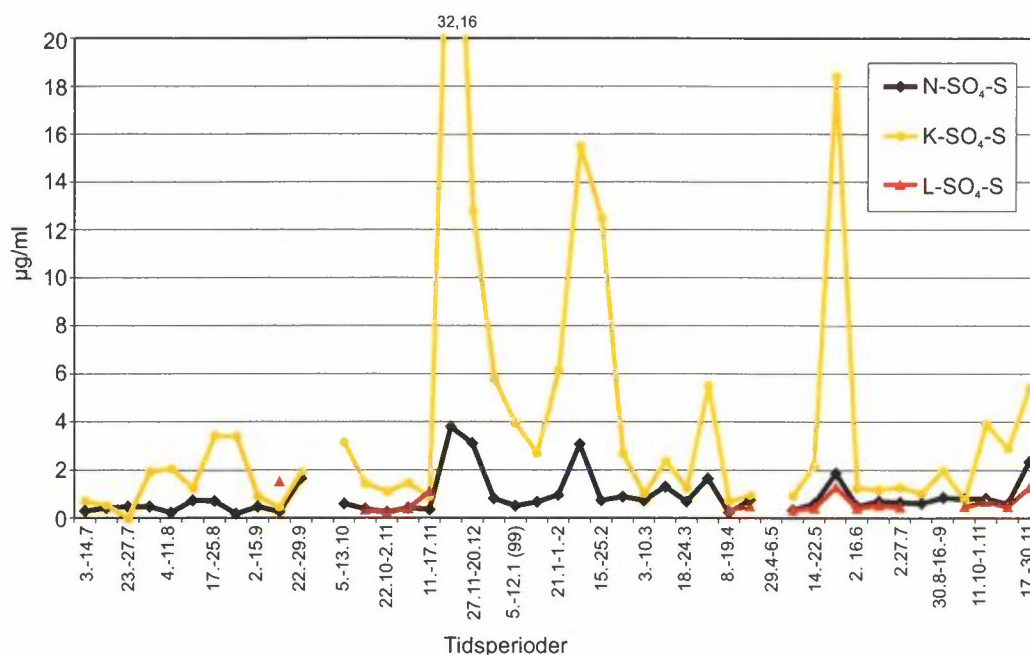


Figur 28: NH<sub>4</sub> og nitrat (NO<sub>3</sub>) i nedbør (N) og kronedrypp (K).

Lokksamleren har som ventet generelt lavere ionekonsentrasjoner enn nedbør (Figur 29 og Figur 30).



Figur 29: Klor (Cl) i nedbør (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).



Figur 30: Sulfat (SO<sub>4</sub>) i nedbør (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).

### 6.1.6 Sammendrag av nedbørresultatene

Natrium (Na) var det kation som klart forekom i størst mengde i nedbøren. Ionet er i hovedsak knyttet til klor (Cl) som havsalt (NaCl). På samme måte som for magnesium (Mg) er kilden havet.

Ammoniumkonsentrasjonene var høyest om våren i mars og særlig april (1999). De lokale hovedkildene kan være forråtnelsesprosesser, gårdsdrift og gjødsling.

Kalsiumkonsentrasjonene er høyere enn det en får fra havet. Det kan derfor være flere lokale kalsiumkilder foruten kalking av jorder i området. Kalking av jorder var trolig årsaken til den kraftige kalsiumtoppen i startfasen av prosjektet.

I kronedrypp var ionekonsentrasjonene mye høyere enn for nedbør, gjerne ti ganger høyere. Tre kronene fanger opp tørravsetninger i betydelig grad.

Ammoniumionene forsvant nesten helt fra sommeren av og til rundt november. Trolig tok treet opp nitrogenholdige ioner direkte fra regnvannet i denne årstiden. Enda mer markert var opptaket av nitrat .

Om høsten var kaliumkonsentrasjonen forhøyet, noe som trolig skyldes utvasking av kalium fra vegetabilsk materiale.

Samvariasjonen for kationer i lokksamler og nedbørssamler var ofte dårlig, og dette skyldes variasjon i tilførselen av tørravsetning mellom regnperiodene.

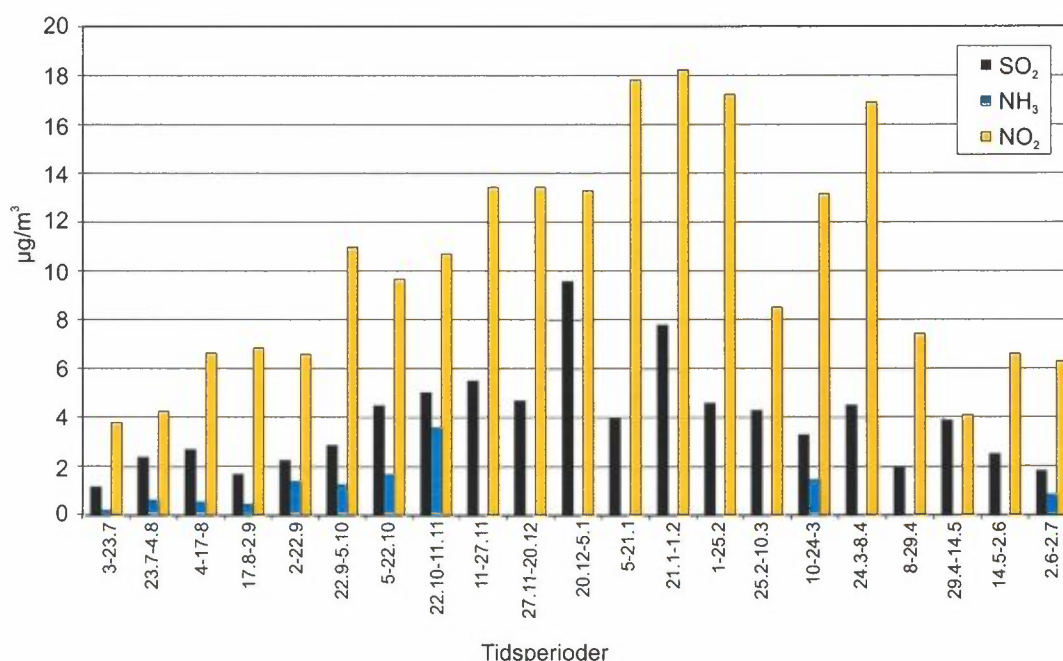
Normalt er det små mengder SO<sub>4</sub> i nedbør, og en lokal hovedkilde er trolig boligoppvarming og muligens industriutslipp fra industrier på Øraområdet i

Fredrikstad, dvs forurensninger av antropogen opprinnelse. I enkelte episoder er det et målbart bidrag fra havet.

Når det gjelder de nitrogenholdige ionene ( $\text{NH}_4$  og  $\text{NO}_3$ ) vil kildene være andre enn for  $\text{SO}_4$ , men de korrelerer fordi retningen til kildene er den samme. Langtransport antas være hovedkilden for  $\text{NO}_3$  og for en vesentlig del av  $\text{NH}_4$ , se kationer.

## 6.2 Analyser av forurensende gasser

Resultatene fra analysene av de passive prøvetakerne er basert på eksponering av prøvetakerne i 14-dagersperioder, fra 3. juli 1998 til 2. juli 1999 (Tabell C4, Figur 31).



Figur 31: Svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) juli 1998-juni 1999.

### 6.2.1 Svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ )

$\text{SO}_2$ -nivåene om sommeren:  $1\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vinterstid:  $4\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Forhøyede verdier om vinteren skyldes hovedsakelig boligoppvarming.

Svoveldioksidkonsentrasjonene er generelt lave, med sommerkonsentrasjoner på nær  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og høst- og vinterverdier mellom  $4$  og  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . På Prestebakke forekommer sjelden verdier over  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . I periodene 20.12.98-5.1.99 og 21.1-1.2.99 hadde man de høyeste verdiene med henholdsvis i underkant av  $10$  og  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De forhøyede vinterverdier skyldes sannsynligvis boligoppvarming. Meteorologiske forhold (inversjoner) om vinteren fører generelt til dårligere utlufting og således til økt forurensninger. Industriutslipp har man hele året. Den største forurensningskilden i området er Borregaard fabrikk i Sarpsborg. Det har

imidlertid ikke vært mulig å spore SO<sub>2</sub> fra Sarpsborg i måleperioden, selv ikke i perioden (4-8.12.98) hvor det var relativt sterke og vedvarende vinder fra retning Sarpsborg. Vindretning fra Sarpsborg forekom bare i mindre grad i forhold til den typiske retningssektor SV-S hvor vindstyrken også var atskillig høyere. Våre målinger tyder på at Begby påvirkes primært av mer lokale kilder, som industrien i Fredrikstadorrådet.

### 6.2.2 Nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>)

Nitrogendioksidkonsentrasjonene lå sommerstid mellom 4 og 7 µg/m<sup>3</sup>. Fra oktober og utover vinteren steg konsentrasjonen til ca 18 µg/m<sup>3</sup>. Nære trafikkåre og nærheten til Fredrikstad by er trolig årsak til de relativt høye verdier. I april falt konsentrasjonen igjen ned mot sommernivå. Som for SO<sub>2</sub> vil konsentrasjon også her øke på grunn av dårlig utlufting vinterstid. Hovedkilden for NO<sub>2</sub> vil i bolig- og bystrøk være biltrafikk og i noe mindre grad oppvarming. Biltrafikken generer mest nitrogenmonoksid som oksideres videre til NO<sub>2</sub> i atmosfæren. Hvor mye som oksideres er avhengig av flere faktorer som avstand til trafikkert vei tilstedeværelse av katalysatorer, tilgang på ozon mm. På Begby vil mesteparten av nitrogenutslippet ha blitt omdannet til NO<sub>2</sub>.

### 6.2.3 Ammoniakk (NH<sub>3</sub>)

Ammoniakkonsentrasjonene var små og ble med ett unntak bare registrert i perioden juni til november hvor nivåene lå mellom 0,5 og 1,5 µg/m<sup>3</sup>.

Gårdsdrift med dyrehold er den vanligste kilden til NH<sub>3</sub>. Minimumsverdiene får vi vinterstid da gårdsdriftsaktiviteten ute er redusert. Naturens forråtnelsesprosesser som også generer NH<sub>3</sub> er på sitt laveste vinterstid. NH<sub>3</sub> er meget lett løselig i vann. At man således ikke registrerer NH<sub>3</sub> i en måleperiode kan også bety at gassen har blitt fjernet av større mengder nedbør i perioden.

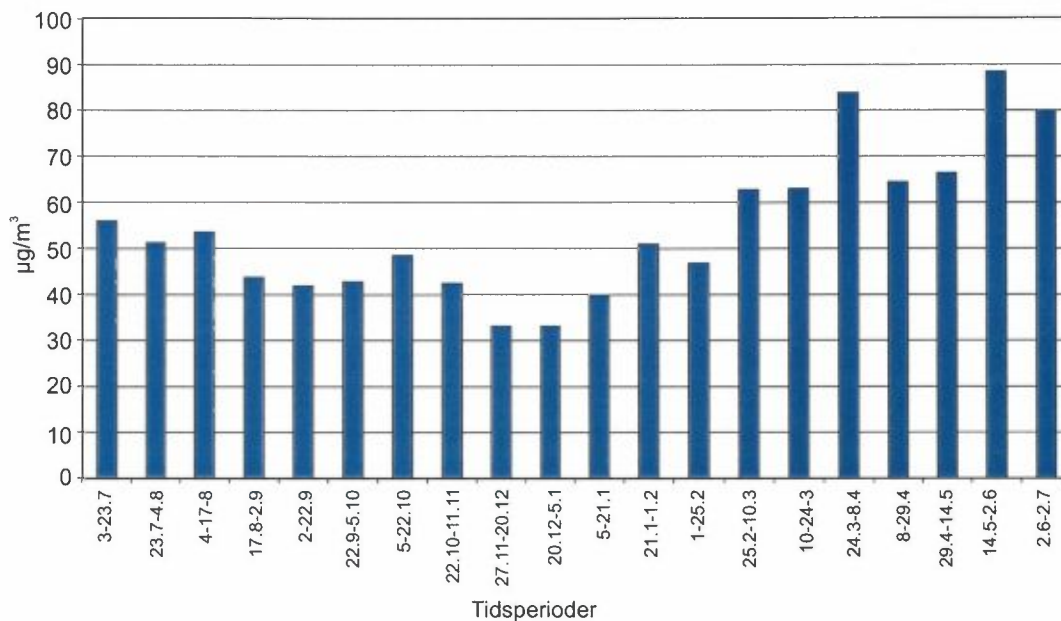
Trolig har måleperioden vært altfor kort til å få et representativt uttrykk for fluktuasjoner i NH<sub>3</sub>-nivåene over et normalår.

### 6.2.4 Ozon (O<sub>3</sub>)

Midlingstiden har variert ganske mye (fra 1 til 3 uker, siste periode 4 uker). Middelkonsentrasjonene har ligget mellom 33 og 56 µg/m<sup>3</sup> i perioden 03.07.98-25.02.99. Fra 25.02 til 2.07.99 varierte konsentrasjonene mellom 62,8 og 88,5 µg/m<sup>3</sup> (Figur 32).

Konsentrasjonene på Prestebakke lå på tilnærmet samme nivå som Begby i de samme tidsperiodene.

Ozon forbrukes ved oksidering av NO til NO<sub>2</sub>. Ozonnivået på Begby er så høyt at en forventer at tilnærmet all NO er oksidert til NO<sub>2</sub> i området.



Figur 32: Målekonsentrasjoner av ozon ved bruk av passive prøvetakere.

### 6.2.5 Sammendrag, resultater av forurensende gasser

Svoveldioksidkonsentrasjonene var generelt lave, med sommerverdier på nær  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og høst- og vinterverdier mellom 4 og  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hovedkilde i vinterhalvåret er boligoppvarming. Det har ikke vært mulig å spore  $\text{SO}_2$  fra Sarpsborg området i måleperioden. Det finnes andre lokale kilder for  $\text{SO}_2$  i området siden bakgrunnsverdien på Prestebakke var  $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Utslipp fra industri i Fredrikstad-området er den mest sannsynlige kilden om sommeren.

Hovedkilden for  $\text{NO}_2$  vil i bolig- og bystrøk være biltrafikk og i noe mindre grad oppvarming. Nitrogendioksidkonsentrasjonene lå sommerstid mellom 4 og  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Fra oktober og utover vinteren steg konsentrasjonen til ca  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bakgrunnsverdien på Prestebakke på årsbasis er ca  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dette viser at det spesielt på vinterstid, er det et bidrag fra lokale kilder til  $\text{NO}_2$ -belastningen.

Ammoniakkonsentrasjonene var små og ble med ett unntak bare registrert i perioden juni til november hvor nivåene lå mellom 0,5 og  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gårdsdrift med dyrehold er den sannsynlige hovedkilden til  $\text{NH}_3$ .

Konsentrasjonene for ozon på Begby lå på samme nivå som bakgrunnsstasjonen Prestebakke. Ozonnivået er så høyt at det vil oksidere tilgjengelig NO til  $\text{NO}_2$ .

### 6.3 Vannløselig tørravsetning

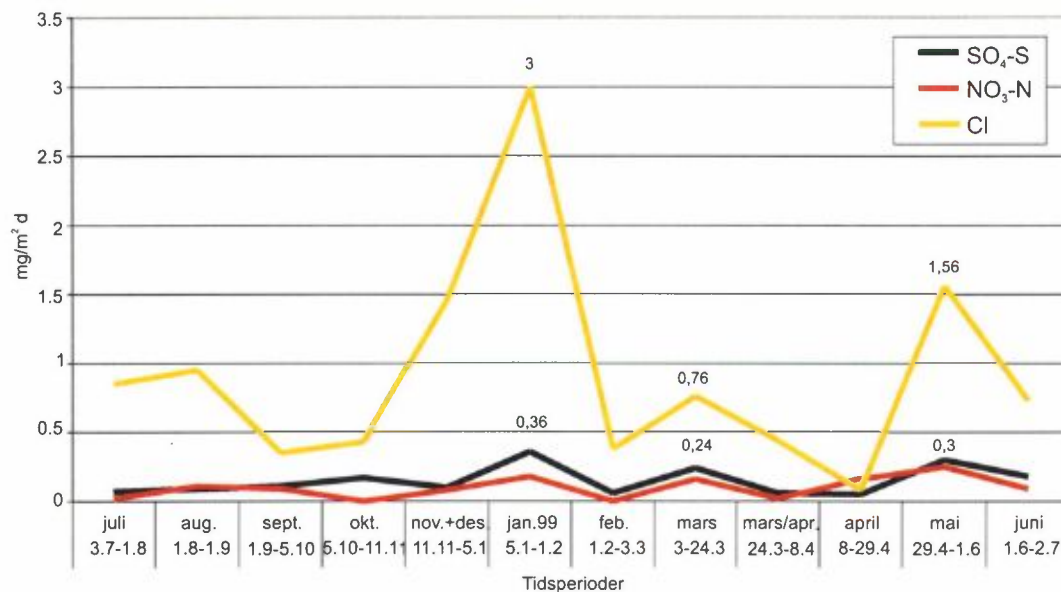
Til måling av vannløselige, tørravsatte salter anvendes NILUs aerosolfelle. Den fanger inn aerosolene på et fuktig horisontalt liggende papirfilter. Metoden har særlig vært anvendt for klorider. En ulempe med metoden er at den krever nokså lang eksponeringstid, vanligvis 1 måned. Ionemengden blir angitt i mg pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn.

I vårt tilfelle har man også bestemt mengden av  $\text{SO}_4\text{-S}$  og  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

En saltdriftundersøkelse ble i tiden 1.10-17.12.97 gjennomført i Borge omfattende 10 målepunkter fra kysten og flere kilometer innover land (se kap 6.5). Generelt viste undersøkelsen at skjerming ved hjelp av skogsvegetasjon gir en tydelig demping av saltdriften (se mer om Borgeundersøkelsen nedenfor).

Et av målepunktene i Borgeundersøkelsen lå på Begby, men da i sørenden av åsryggen. De fleste helleristningsfelt finnes på nordvestsiden av åsen. Målepunktet ved undersøkelsen i 98 og 99 var nærmere disse og var dermed trolig mer skjermet mot saltdrift fra sør (havet). Høyden over havet var omtrent den samme for begge punktene, ca. 26 m i bakkenivå.

Kloridnivåene var omtrent som ventet eller kanskje noe høyere ut fra tidligere målinger i området. Særlig perioden januar (5.1-1.2.99) må betegnes som høy med  $3 \text{ mg pr. m}^2 \text{ pr. døgn}$ . Disse forholdsvis store kloridmengdene kom ikke klart frem i våtavsetningen, slik at dette trolig skyldes saltdrift fra havet. Dette vil i så fall også gi en noe forhøyet sulfatverdi. På Figur 33 kan man se at dette var tilfellet, selv om utslaget var lite.



Figur 33: Aerosolfelledata (1998-1999). Havsaltforhold  $\text{Cl/S}=21,5$ .

Aerosolfellen vil bare fange inn Cl fra nedbør når vinden er så sterk at vi får horisontalt innslag. Dette forekommer meget sjelden på Begby. De største saltavsetningene (hovedsakelig klorid) vil en derfor få i disse områdene under tørre værforhold og sterk vind fra sør og sørvest.

Normalt lå Cl-verdiene under  $1 \text{ mg pr. m}^2 \text{ pr. døgn}$ .

Både  $\text{SO}_4\text{-S}$  og  $\text{NO}_3\text{-N}$  viste lave verdier. Sulfat var imidlertid overrepresentert i forhold til havsalt og har derfor et betydelig tilskudd fra andre kilder. Kildene for disse ioner er antropogene (hovedsakelig oppvarming og trafikk).

Samvariasjonen med klorid (havrelatert) var best med sterkere vinder fra sektor sør og sørvest. Begge kildene (havet og antropogene forurensninger fra Fredrikstadorrådet) har omtrentlig samme himmelretning. Når sterke vinder kom fra andre retninger (slik som i april 99) var kloridverdien lav.

### 6.3.1 Sammendrag

De største saltavsetningene (hovedsakelig klorid) vil en få på Begby under tørre værforhold og sterk vind fra sør og sørvest. Kloridavsetningene må betegnes som små. Dette skyldes at avstanden til åpent hav er relativt stor og at det er skjermende vegetasjon og topografi som fanger opp saltdriften. Normalt lå Cl-verdiene under 1 mg pr.  $\text{m}^2$  pr. døgn.

Både  $\text{SO}_4\text{-S}$  og  $\text{NO}_3\text{-N}$  viste lave verdier. Sulfat var imidlertid overrepresentert i forhold til havsalt. Kildene for disse ioner er antropogene (hovedsakelig oppvarming og trafikk).

## 6.4 Forurensningssituasjonen i tidligere perioder

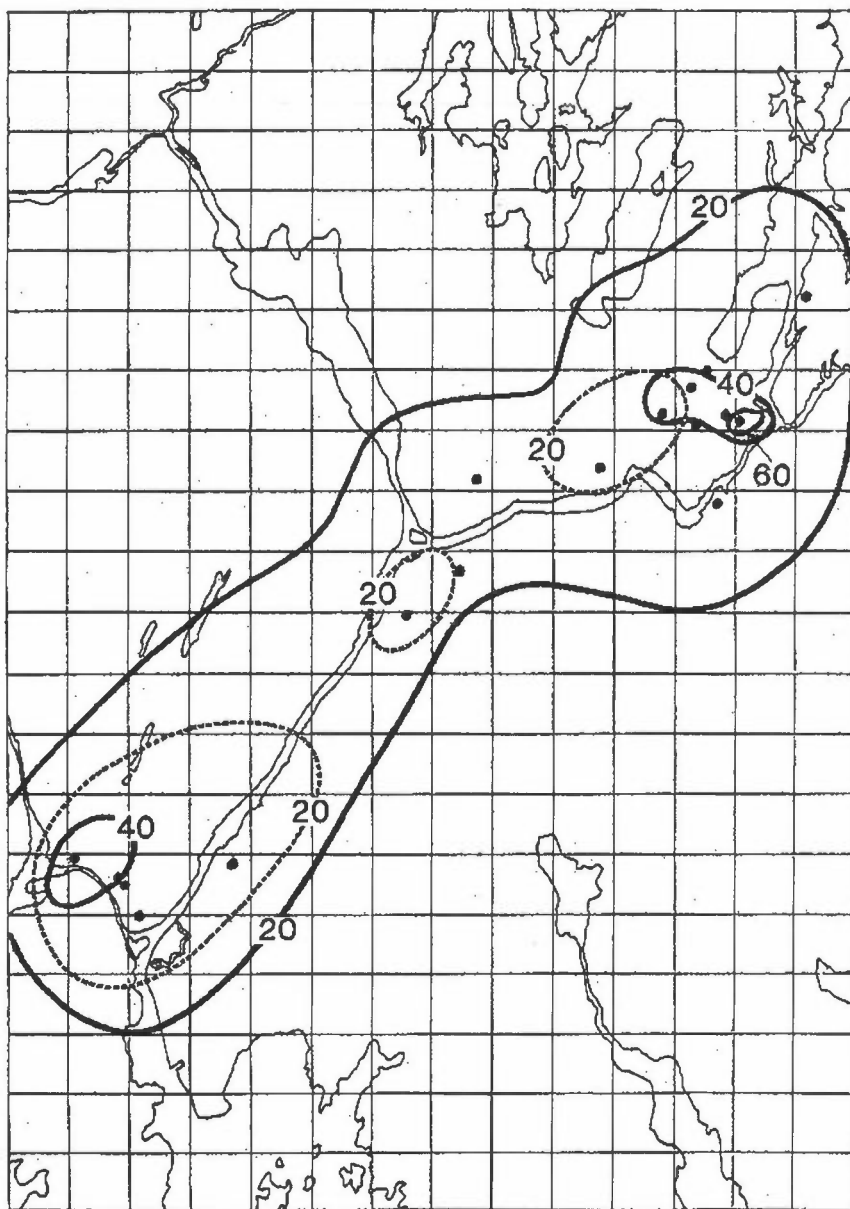
Forurensningssituasjonen i Fredrikstadregionen har endret seg mye til det bedre de siste tiårene. Eksempelvis har konsentrasjonene av de sure gassene svoveldioksid og saltsyredamper avtatt betydelig. Dette skyldes dels bruk av mer svovelfattig olje og dels bedre rensing av utslippene som en følge av mer restriktive utslippsnormer.

Figur 34 viser  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i vinterhalvåret 1981/82 beregnet på grunnlag av spredningsmodeller. Går vi lenger tilbake i tiden var konsentrasjonene enda høyere. Allerede to år tidligere enn angitt i Figur 34 var  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen i Fredrikstad 50% høyere (Hagen, 1984).

Går vi enda lenger tilbake i tiden så finnes det ikke målinger. Det er imidlertid mulig å anslå utslipp av svovel ut fra det en vet om produksjon og bruk av fossilt brensel. I 1993 ble det gjennomført en slik studie for hele Europa. (Mylona, 1993). Resultatene for Norge er vist i Figur 35.

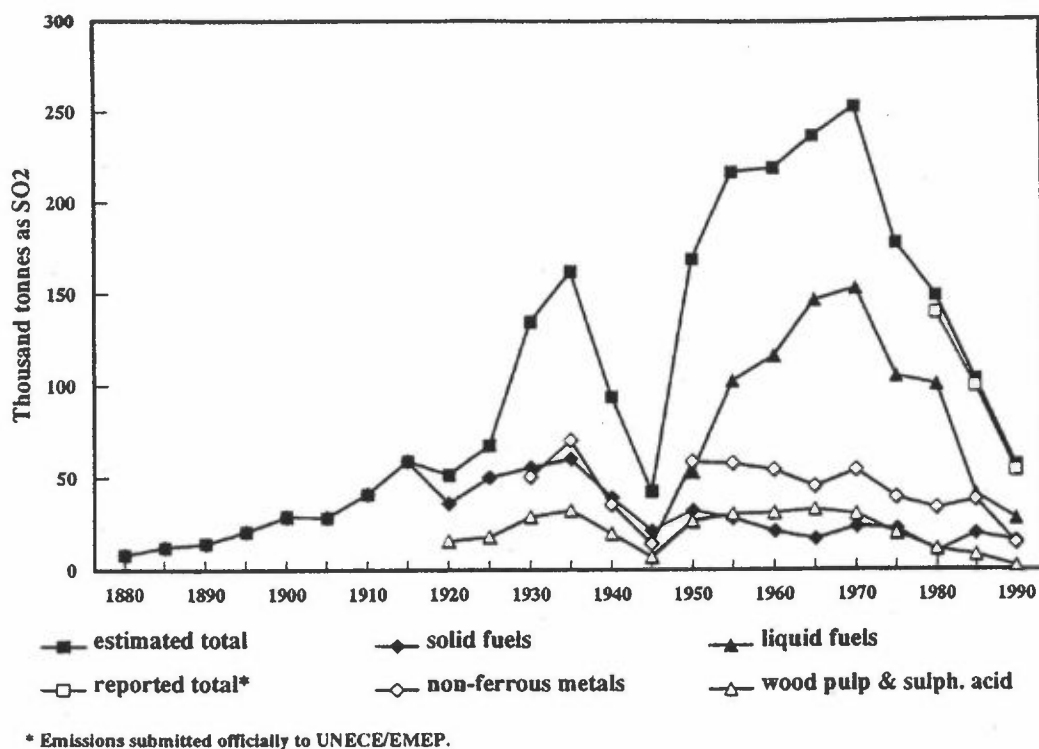
På landsbasis kom den store økningen fra 1920 og fram til 1970 med en kraftig reduksjon under den andre verdenskrig. De store tiltakene mot forurensning startet rundt 1970 og i dag er utslippet av svovel tilbake på nivået man hadde rundt 1920. Det er rimelig å anta at forholdene rundt Nedre Glomma tilsvarte forholdene ellers i landet. I historisk sammenheng utgjør derfor forurensningsperioden en meget liten del av helleristningenes levetid. Perioden kan likevel ha stor betydning for tilstanden siden sure gasser og sur nedbør kan være meget aggressive ovenfor stein av ulik type. Nedbøren var også surere på 1970-tallet enn idag for hele Østlandet. På NILUs målestasjoner var pH nær 4.0 i 1997-årene og er i dag mellom pH 4.5 og 5.0. Lokalt kan en selvfølgelig avvike fra det generelle bildet. I Fredrikstad-området var det mye småindustri før og etter annen verdenskrig og en hadde ikke bygget opp den industri en har på Øra i dag. Man brukte da

svovelholdig kull og svovelholdig olje i stedet for den svovelfattige olje til oppvarming som brukes i dag. Dette ga store  $\text{SO}_2$ -utslipp til atmosfæren.



Figur 34: Halvårsmidler av  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) og sot i Sarpsborg-Fredrikstadregionen vinteren 1981/82. Tykk strek angir  $\text{SO}_2$ . Stiplet linje angir sot (Hagen, 1984).





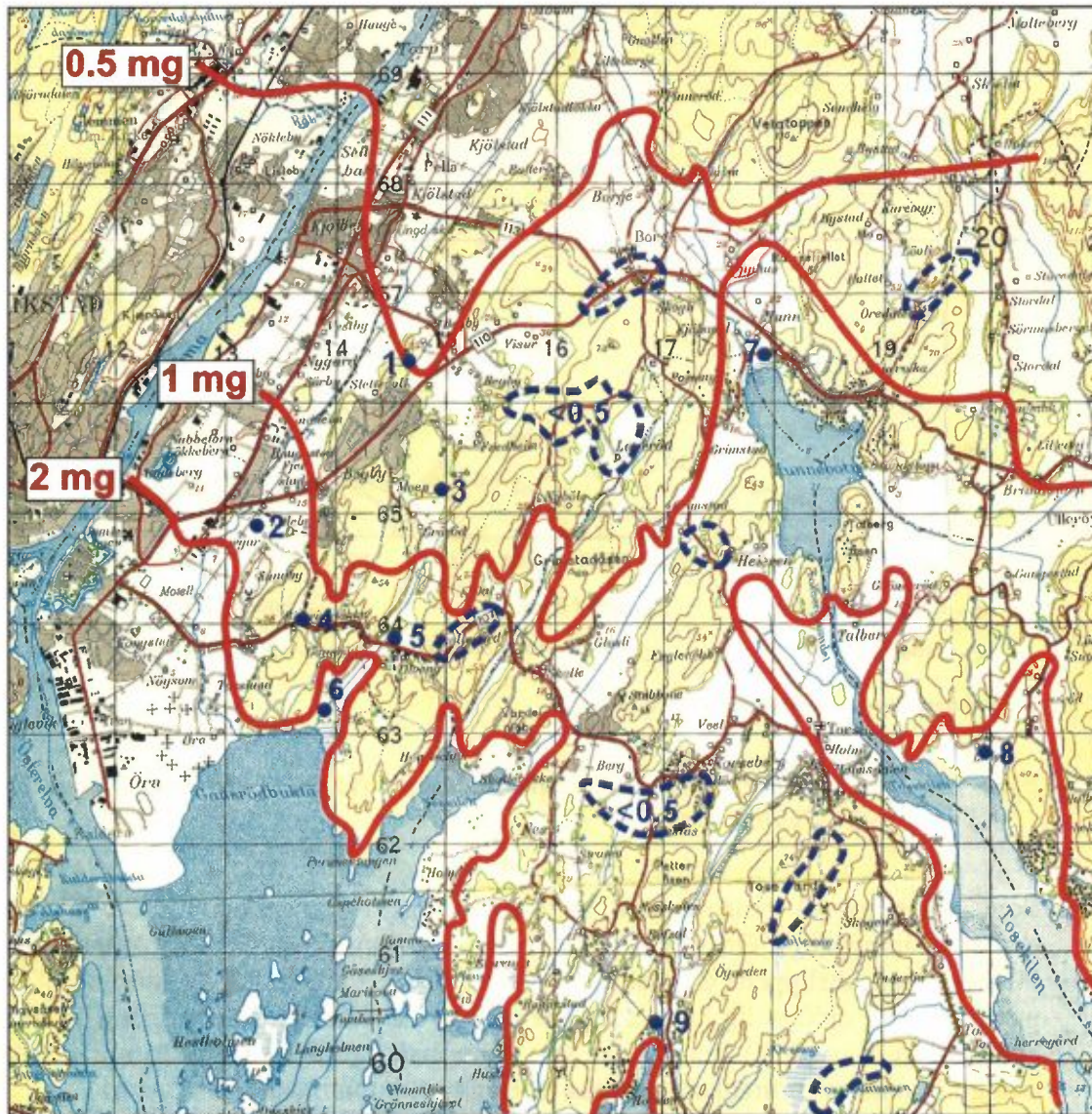
Figur 35: En historisk oversikt over svovelutslippet i Norge i perioden 1880 til 1990 (Mylona, 1993).

Som eksempel på rensing som er gjennomført i industrien kan avfallsforbrenningsanlegget på Øra nevnes. Ved installasjon av skrubber i begynnelsen av 90-årene sank utslippene dramatisk med flere 100% for saltsyre og støv, og SO<sub>2</sub>-utslippene ble omtrentlig halvert. Større utslipp fra andre industribedrifter på Øra er registrert til ut på 80-årene. I dag kan vi normalt betrakte at industriområdet på Øra gir et mindre forurensningsbidrag til Begby slik målingene også viser.

### 6.5 Saltdriftundersøkelse i Borge i tiden 1.10-17.12.97.

En saltdriftundersøkelse ble foretatt i Borge i et området i hovedsak øst for Fredrikstad. Aerosolfellen ble benyttet til måling av havsalt (klorid og sulfat). Det ble videre brukt passive prøvetakere for måling av svovel (SO<sub>2</sub>) og nitrogen (NO<sub>2</sub>).

Ti målepunkter var fordelt rundt i området fra kysten til 6-7 km innover land, se Figur 36. Målepunktene høyde over havet varierte fra ca. 1 m til rundt 25 m. Alle ti målepunkter hadde aerosolfelle. Noen færre målepunkter hadde SO<sub>2</sub>-målinger. På ett sted (Rå) ble det også målt NO<sub>2</sub>.



Figur 36: Normal saltdrift (klorid) målt med NILUs aerosolfelle i området øst for Fredrikstad (Borge). Isolinjene gir veiledende grenser for kloriddrift (0,5 l og 2 mg Cl pr. m<sup>2</sup> pr. døgn). Skraverte felter er områder hvor skjerming (vegetasjon og fjell) gir lavere kloridverdier enn isolinjene tilsier. Målepunktene er nummerert som i teksten. Målestokk: 2 cm = 1 km.



*Figur 37: Målepunkt 2, Sundby med Fredrikstadorrådet i bakgrunnen.  
Aerosolfellen sees i forgrunnen.*



*Figur 38: Målepunkt 8, Lilleng med utsyn over Tosekilen.*

Tabell 4: Oversikt over steder i Borgeområdet hvor det ble foretatt en salt driftundersøkelse. Tallene i parentes referer til avmerking på kart, se Figur 36.

Målepunkt	Stasjonsbeskrivelse
Gansrød (6)	Uskjermet mot S og SV, noe skjernet mot øst, 100 m fra sjø. Flatt terreng.
Ødegården (9)	Uskjermet mot SSV, 100 m fra sjø, skjernet mot Ø og V. Åpent og flatt.
Lilleng (8)	Uskjermet mot S, 6 km inne i fjorden, smalt kuppert område 200 m til sjø. Skjernet mot Ø og V, særlig av vegetasjon.
Hunn (7)	Uskjermet mot S, innerst i 10 km fjord, åpent terreng, 300 m fra sjø, vei i N.
Bjerringløkka (4)	Skjernet mot S og N, ved vei, 900 m fra sjø.
Ulfeng (5)	Skjerming, men i god avstand i S, 1200 m fra sjø. Flatt jordbruksområde. Dalsenkning med skjerming god mot Ø og V.
Sundby (2)	Åpent, flatt terreng mot S, skjerming i Ø, 750 m fra sjø, når Fredrikstad
Grårud (3)	Åpne jorder i S, siden skjerming av skog, skjerming i Ø og V. 2100 m fra sjø. Villa bebyggelse i N.
Begby (1)	Noe skjernet av vegetasjon og bygninger, 3500 m fra sjø, plassert på SV av åsrygg, bilvei ca. 100 m i SØ.
Rå (10)	Relativt åpent lende nær villabebyggelse og trafikkert bilvei, 6500 m fra sjø.

Ut fra resultatene som er vist i figurer og tabeller har vi trukket følgende konklusjoner:

1. Salt driften målt som klorid lå i middel lavt for hele området bortsett fra Lilleng (8) i Tosekilen som i flere av måleperiodene hadde høye verdier. Dette skyldes trolig den lange smale fjorden som vil kanalisere vinden. Lilleng hadde som midlere maksimal kloridavsetning 8,7 mg pr. m<sup>2</sup> pr. døgn for perioden 29.10 – 12.11. Middelkloridavsetningen alle måleperioder sett under ett lå for alle punktene unntatt Lilleng mellom 0,5 og 1,8 mg pr. m<sup>2</sup> pr. døgn. For Begby oversteg avsetningen 0,5 bare i en av måleperiodene.
2. Sulfatavsetningen representerer i størrelsesorden ca. 1/10 av kloridavsetningen, og i ingen av måleperiodene lå avsetningen over 0,9 mg pr. m<sup>2</sup> pr. døgn på noen av målepunktene. Sulfatavsetningen var sjøsaltrelatert, for Lilleng mens det for øvrige målepunktene ikke var god korrelasjon. Målepunkter beliggende nær veg og bebyggelse syntes å få bidrag fra disse kilder. Men det meget små verdier det er snakk om. Begby er blant de målesteder som viser de aller laveste verdier (mellom 0,04 og 0,22 mg pr. m<sup>2</sup> pr. døgn).
3. Konsentrasjonen av SO<sub>2</sub> var med bare ett unntak høyest i målepunktet Sundby (2) med en middelvei over de fem måleperiodene på ca. 11 µg/m<sup>3</sup> (verdiene lå mellom 7 og 18). De andre målepunktene viste verdier som i størrelsesorden lå rundt 5 µg lavere. Karakteristisk for Sundby er at målepunktet er det punkt som er nærmest Fredrikstad og industriområdet Øra.

Selv om Sundby under ugunstige værssituasjoner kan være påvirket av nevnte områder tyder målingene på at SO<sub>2</sub> –nivået ikke er så retningsavhengig, men snarere temperaturavhengig. Inversjon er således trolig den viktigste faktor her.

4. På en stasjon, Rå (10) ble det målt NO<sub>2</sub> fordi dette målepunkt lå like ved sterkt trafikkert vei. Middelerdiene i måleperiodene lå mellom 12 og 23 µg/m<sup>3</sup>. To av periodene viste verdier over 22 µg/m<sup>3</sup>. Verdiene vil være høyere enn dette om dagen, og tilsvarende lavere om natta. Dette er nivåer en kan forvente i trafikkerte områder i norske byer. Av figur ser man at det er liten om noen sammenheng mellom SO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub>. Dette skulle man heller ikke vente da kildene er forskjellige.
5. Generelt viser undersøkelsen at skjerming med skogsvegetasjon gir en tydelig demping av saltdriften. Bjerringløkka (4) og Begby er gode eksempler på dette. Under normale vindforhold syntes ikke saltdriften å være særlig stor i det området av Borge vi har undersøkt. Det er mulig at topografi og vegetasjon i forhold til de vindretninger som gir størst vindhastighet kan forklare dette. Tosekilen med målesteden Lilleng er således den eneste lokalitet som var spesielt utsatt for havvinder fra SSØ.
6. Figur 36 viser et kart fra Borge området hvor isolinjer for kloridavsetninger er tegnet på basis av de data en har fått fra aerosolprøvetakingsnettet. Nøyaktigheten vil avhenge av flere faktorer som antall målepunkter, plassering av punktene, utypiske værssituasjoner mm. Slike karter vil følgelig være forenklet og må først og fremst betraktes som veiledende. I dette tilfellet har vi valgt isolinjer ved avsetninger på 0,5, 1 og 2 mg Cl pr. m<sup>2</sup> pr. døgn. I spesielt skjermede områder ( skraverte felter på kartet) kan man forvente lavere kloridbelastninger (<0,5 mg pr. m<sup>2</sup> pr. døgn). I liknende terreng og meteorologiske forhold kan man trolig ut fra dette kart stipulere avsetninger andre steder, eventuelt koblet med et meget begrenset antall målinger

## 6.6 Konklusjoner av NILUs miljømålinger

De antatt viktigste konklusjoner er summert opp nedenfor. Det har under prosjektperioden på 1 ½ år vært noe over normal nedbørmengde sett i relasjon til 30 års middelet.

Stort sett har pH i nedbøren ligget mellom 4 og 5 i hele prosjektperioden. En ”pH-topp” ble registrert 14-23.7.98 med verdien 9,2. Bunnverdien fikk man dette året i perioden 17-27.11 med 3,75. Årsaken til den høye pH-verdien var trolig hovedsakelig kalking av jorder i nærområdet. Den lave pH-verdien skyldtes sannsynligvis boligoppvarming fra Fredrikstadområdet.

Som oftest korrelerte ekstremverdiene i kronedrypp og i nedbøren, og i alle disse tilfellene var pH i kronedrypp noe lavere enn i nedbøren. For øvrig var korrelasjonen heller dårlig.

Aerosolene som tilføres nedbøren syntes å ha en tendens til å heve pH noe. Det var liten forskjell på pH i nedbør på bakgrunnsstasjonen Prestebakke og pH på Begby.

Generelt ga relativt sterke vinder fra SV og sørlig kant forhøyede ionekonsentrasjoner, hvilket utpeker havet som en viktig kilde.

Kronedrypp inneholdt alltid mer, og ofte svært mye mer ioner enn nedbøren. Kronedrypp hadde derfor alltid høyere  $\mu\text{S}$ -verdi.

Natrium var det kation som klart forekom i størst mengde i nedbøren. Ionet er i hovedsak bundet til klor (Cl) som natriumklorid (NaCl) med havet som kilde. Ammoniumionene forsvant nesten helt fra sommeren og frem til november i kronedrypp. Trolig tok vegetasjonen opp nitrogenholdige ioner i denne årstiden. Dette er enda mer markert for opptak av nitrat. Om høsten var kaliumkonsentrasjonen forhøyet. Kilden til kalium er sannsynligvis utvasking fra vegetabilsk materiale.

Det er vanligvis lave sulfatkonsentrasjoner i nedbør, men noe høyere enn på Prestebakke. Hovedkilden er trolig boligoppvarming og industriutslipp fra Fredrikstadorrådet (eventuelt industrien på Øra), dvs av antropogen opprinnelse. Langtransportforurensninger er den andre kilden for sulfat og antas være hovedkilden for nitrat ( $\text{NO}_3$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4$ ).

Svoveldioksidkonsentrasjonene var generelt lave, med sommerverdier på nær  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og høst- og vinterverdier mellom 4 og  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hovedkilde i vinterhalvåret er boligoppvarming. Det har ikke vært mulig å spore  $\text{SO}_2$  fra Sarpsborgområdet i måleperioden. Det må finnes andre lokale kilder for  $\text{SO}_2$  i området siden bakgrunnsverdien på Prestebakke var  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og utslipp fra industri i Fredrikstadorrådet er den mest sannsynlige kilden.

Hovedkilden for  $\text{NO}_2$  vil i bolig- og bystrøk være biltrafikk og i noe mindre grad oppvarming. Nitrogendioksidkonsentrasjonene lå sommerstid mellom 4 og  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Fra oktober og utover vinteren steg konsentrasjonen til ca  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bakgrunnsverdien på Prestebakke på årsbasis er ca  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dette viser at spesielt på vinterstid er det et bidrag fra lokale kilder til  $\text{NO}_2$ -belastningen

Ammoniakkonsentrasjonene var små og ble med ett unntak bare detektert i perioden juni til november hvor nivåene lå mellom 0,5 og  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gårdsdrift med dyrehold er den sannsynlige hovedkilden til  $\text{NH}_3$ .

Konsentrasjonene for ozon på Begby lå på samme nivå som bakgrunnsstasjonen Prestebakke. Ozonnivået er så høyt at det vil oksidere tilgjengelig NO til  $\text{NO}_2$ .

De største saltavsetningene (hovedsakelig klorid) vil en få i disse områdene under tørre værforhold og sterk vind fra sør og sørvest. Kloridavsetningene må betegnes som små. Normalt lå Cl-verdiene under  $1 \text{ mg pr. m}^2 \text{ pr. døgn}$  målt med NILUs aerosolfelle.

Forurensningssituasjonen i Fredrikstadregionen har endret seg mye til det bedre de siste tiårene. Eksempelvis har konsentrasjonene av de sure gassene  $\text{SO}_2$  og saltsyredamper avtatt betydelig. Dette skyldes dels bruk av mer svovelfattig olje og dels bedre rensing av utslippene som en følge av mer restriktive utslippsnormer.

Det er mulig å kartlegge saltbelastningen og lage en grov oversikt over kloridavsetninger som isolinjer med basis i de data en har fått fra et aerosolprøvetakingsnett. Nøyaktigheten vil avhenge av flere faktorer som antall målepunkter, plassering av punktene, utypiske vær-situasjoner mm. Slike karter vil følgelig være forenklet og må først og fremst betraktes som veiledende.

### 6.7 Måling av fukt og temperatur ved bruk av WETCORR-sensoren

Målingene med WETCORR- instrumentet startet 3. juli 1998 og siste avlesning var 30. november 1999 (Vedlegg B). I måleperioden har det vært registrert enkelte avbrudd i måleserien (Tabell 5).

Tabell 5: Måleperioder WETCORR som mangler.

Måleperioder som mangler	Målepunkt	Grunn
3. juli – 23. juli 1998	Sa01 nA03 og temp 03	Defekt sensor
3. oktober–15. oktober 1998	alle	Svikt i strømtilførselen

Sensorene som var 2,5 x 2 cm ble festet med silikonlim (3145 RTV MILA 46 196, Adhesive Sealant. Non Corrosive) på fjellet. Plassering av sensorene og koden for sensorene er beskrevet i Tabell 1. Fem av sensorene er plassert på fjell uten overdekning med ulike viklinger mot solen og ulik fuktighetsbelastning. En sensor er lagt under et naturlig torvlag på ca 10 cm ned mot fjellet. En sensor står under en strålingsskjerm for å måle lufttemperaturen, og en sensor står som referanse for nedbør på en treplanke 45° mot sør.

### 6.8 Måling av fukt og temperatur ved bruk av WETCORR-sensoren

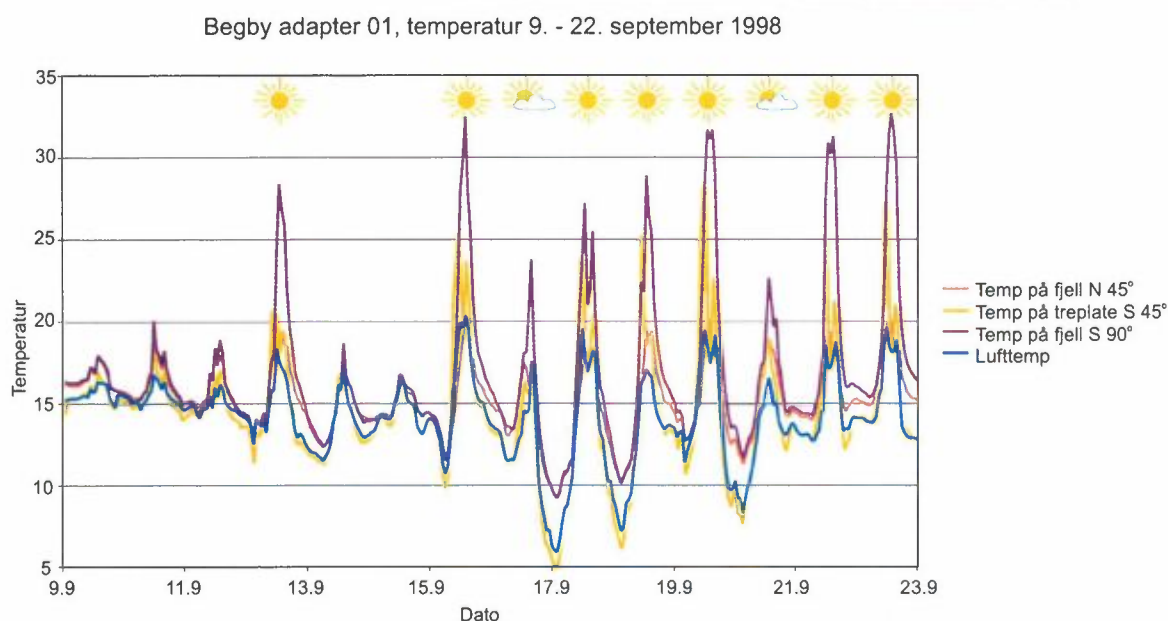
En viktig målsetting i prosjektet var å studere de ulike årstidenes innvirkning på fukt- og temperaturbelastningen på bergoverflaten. I den forbindelse er parametrene våttid, innfrysing og temperatursvingninger sett på ved forskjellige værforhold. WETCORR instrumentet som er benyttet til disse målingen er satt opp til å registrere forholdene hver time gjennom året. Enkelt detaljer ved variasjonene kan lettest observeres ved å studerer tidsplott over utvalgte perioder slik som det er vist i kapittel 6.8.1. For de fleste forhold vil en bearbeiding av dataene til måneds- og årsverdier gi den ønskede informasjon. Disse resultatene er presentert i kapitlene 6.8.2.-6.8.5.

#### 6.8.1 Eksempel på tolkning av data fra måling med WETCORR-instrumentet

I Figur 39 er temperaturmålingene for to målinger på fjell, lufttemperaturen og temperaturen på regnreferansen gitt for fjorten dager i september 1998. I Figur 40, Figur 41 og Figur 42 er det vist resultater fra perioden 1. mars til 15. mars 1999.

Figur 39 viser et typisk tilfelle med dager med solskinn og overskyet vær. Det var solskinn den 12. september og fra 15. til og med 22. september. Fjellet får betydelig oppvarming hver dag og avkjøling hver natt og i 7 av dagene kan det registreres temperaturdifferanser mellom dag og natt på 15°C eller mer. Lufttemperaturen så vel som sensoren som står på fjell vendt mot nord uten at solstråling når området får minst oppvarming. De to sensorene som står vendt mot

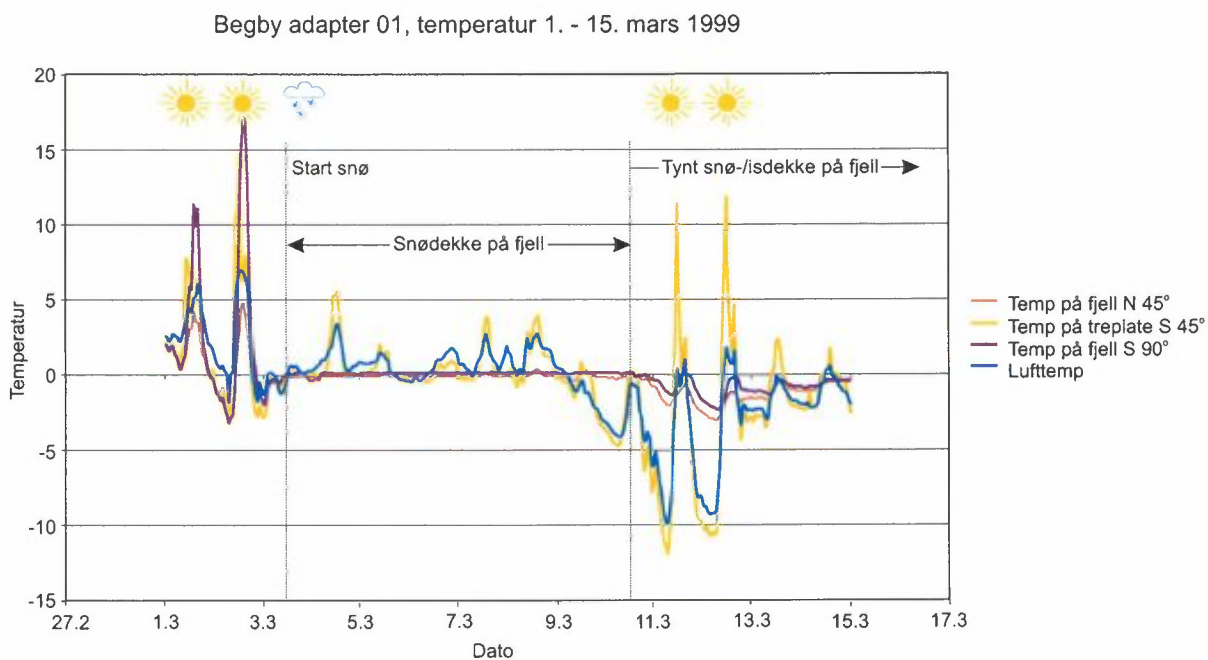
solen får begge økt temperatur om dagen og den som står på fjellet får høyest temperatur. Dette viser at fjellet magasinerer mer varme enn trepanelet ved solstråling. Den magasinerte varmen gjør at nattemperaturen også blir høyere på fjellet enn på de andre sensorene. Dette gjelder også sensoren som står i skygge mot nord.



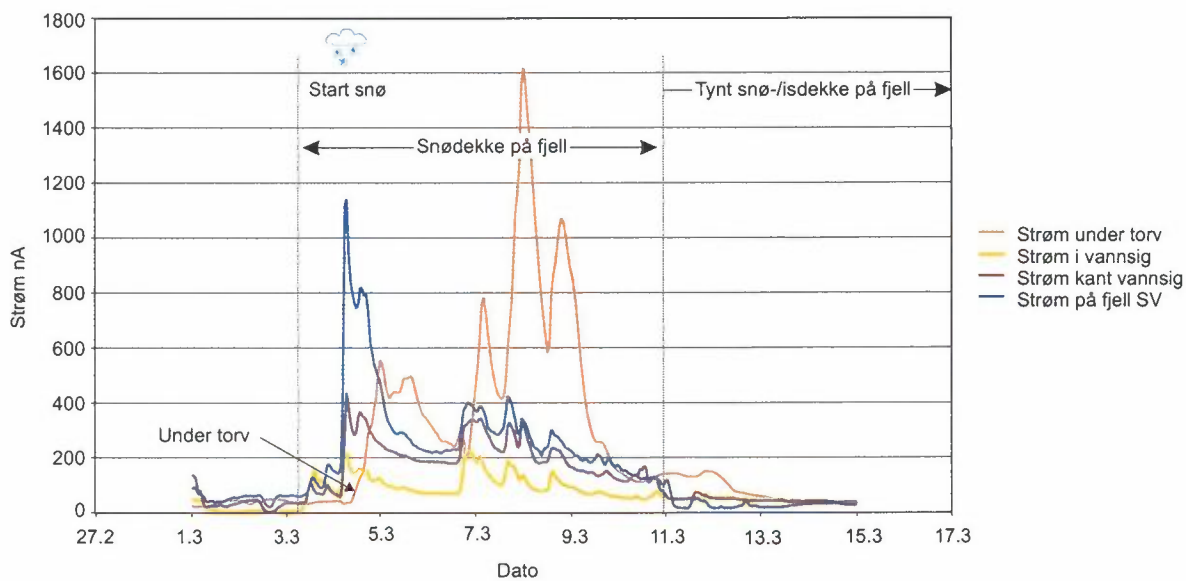
Figur 39: Temperaturmålingene for sensorene tilkoblet sensor adapter 01 for perioden 9. til 23. september 1998.

Figur 40, Figur 41 og Figur 42 viser en periode hvor det kommer snø på sensorene som ligger på fjellet. Perioden starter med fint vær de to første dagene og det er store svingninger i temperaturen på alle målepunktene. Natt til 4. mars kommer det nedbør og det blir en kraftig strømkning på sensorene som ligger på fjellet se Figur 41. Sensorene får en ytterligere strømkning når temperaturen stiger om dagen når snøen blir våtere og derved leder strømmen bedre (se Figur 40 og Figur 41). Det tar cirka et døgn før denne fuktigheten når ned til sensoren under torven (kurven under torv i Figur 41). At nedbøren legger seg som snø kan sees av temperaturmålingen på de samme sensorene (Figur 42). I smeltende snø er temperaturen tilnærmet 0°C og temperaturen ligger konstant ved 0°C fram til 11. mars. Av Figur 40 ser en at temperaturen på referansesensorene ligger over 0°C i store deler av perioden og at referansesensorene derfor ikke har fått et snødekke, mens sensorene på fjellet har snødekke. Det gjelder både sensoren som er vendt mot nord og den mot sør. Den 12. og 13. mars er det sol, og referansesensoren for regn reagerer fordi den er uten snø. Ingen av sensorene på fjell reagerer på solen, og det viser at det fremdeles er et tynt lag med snø og is på sensorene. Siden snølaget er tynt isolerer ikke snøen tilstrekkelig, og temperaturen faller under 0°C om natten, men ikke over 0°C om dagen. At snølaget er tynnere sees også på Figur 41 ved at strømstyrken på sensorene blir lavere.



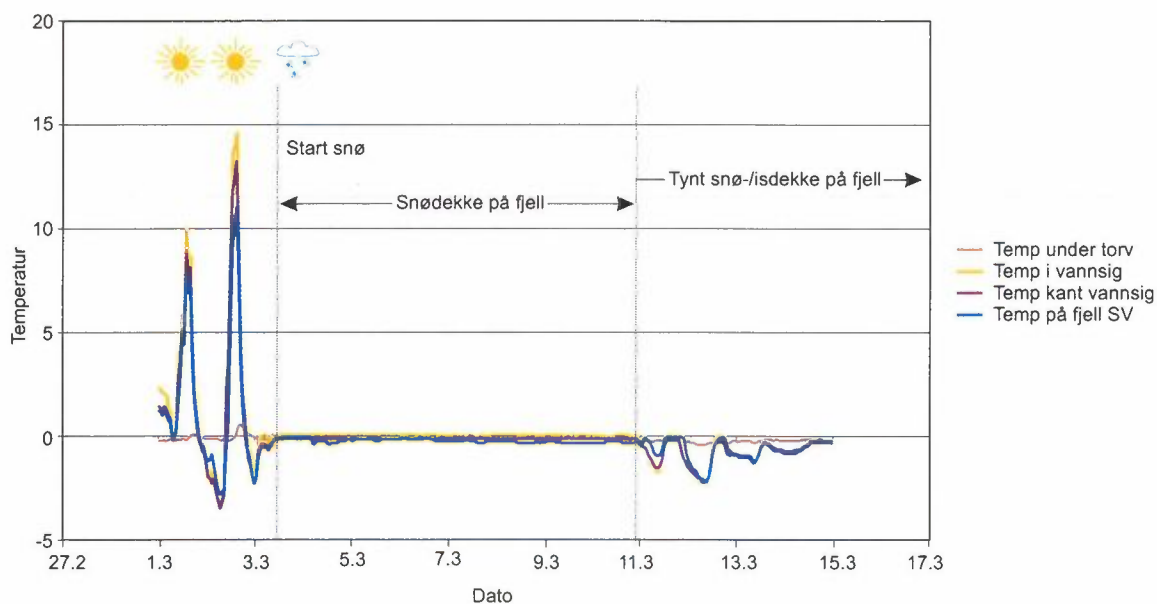


Figur 40: Temperaturmålingene for sensorene tilkoblet sensor adapter 01 for perioden 1. til 15. mars 1999.



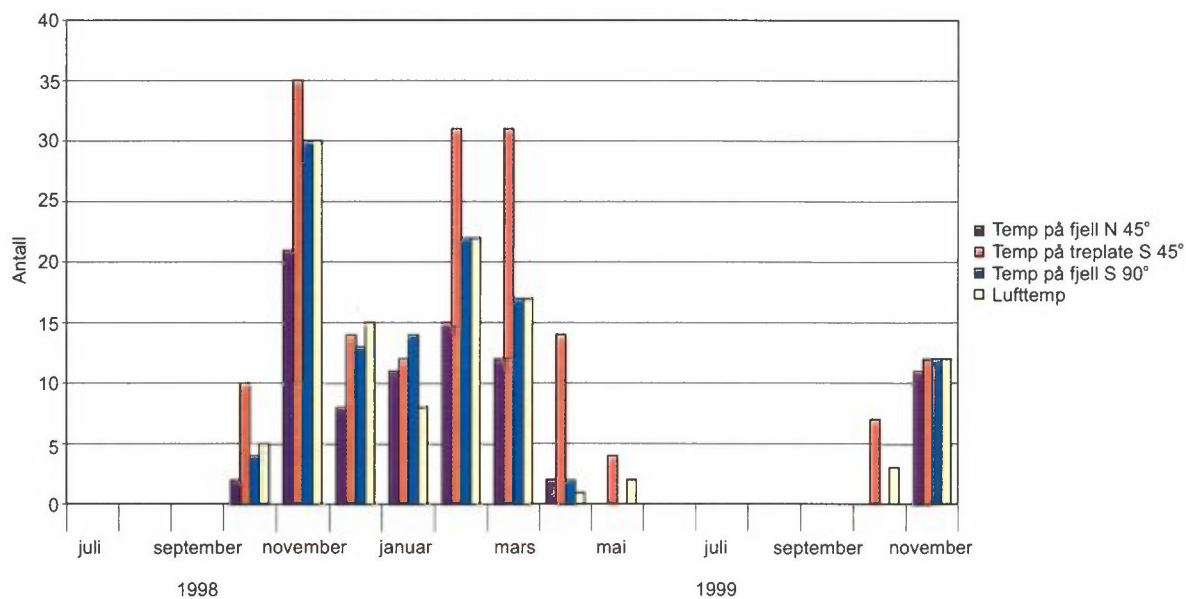
Figur 41: Strømmålingene for sensorene tilkoblet sensor adapter 02 for perioden 1. til 15. mars 1999.

Begby adapter 02, temperatur 1. - 15. mars 1999

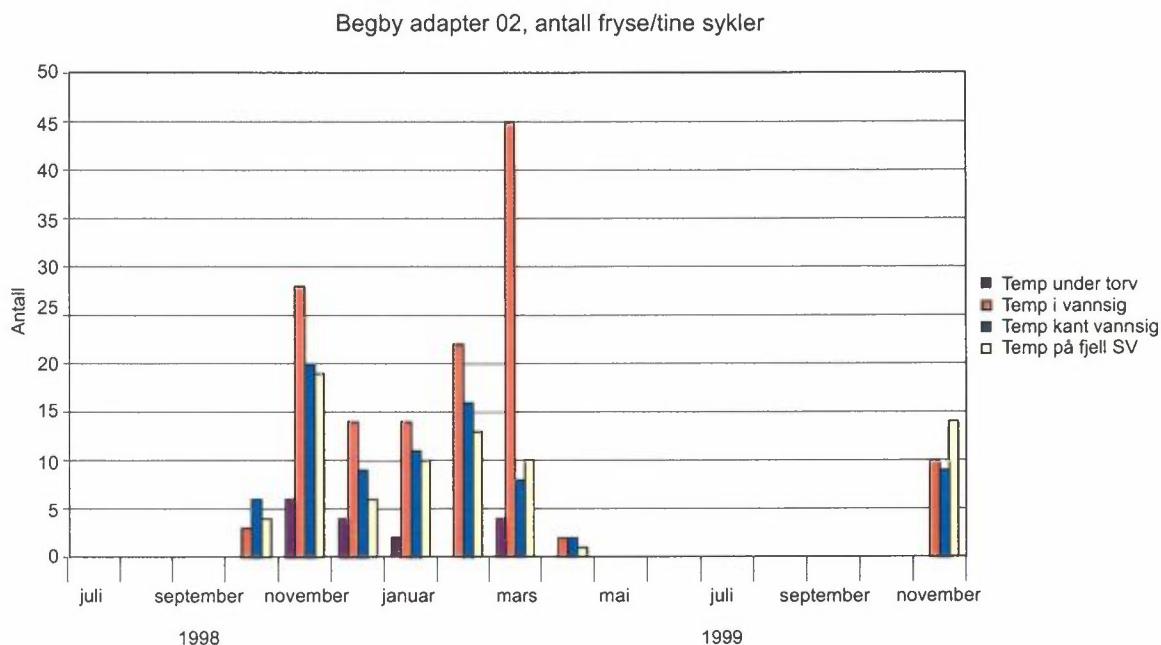


Figur 42: Temperaturmålingene på sensorene tilkoblet sensor adapter 02 for perioden 1. til 15. mars 1999.

Begby adapter 01, antall fryse/tine sykler



Figur 43: Antall passeringer av  $0^{\circ}\text{C}$  per måned for sensorene tilkoblet adapter 01.



Figur 44: Antall passeringer av  $0^{\circ}\text{C}$  per måned for sensorene tilkoblet adapter 02.

### 6.8.2 Periode med svingninger rundt $0^{\circ}\text{C}$

For å kunne vurdere i hvilken grad frostsprengning kan bidra til nedbrytning av bergflaten er det registrert antall ganger temperaturen synker fra  $0^{\circ}\text{C}$  og til lavere temperaturer. Her er  $0^{\circ}\text{C}$  antatt å være grensen for frostsprengning, men dette kan variere fra en bergart til en annen. Videre vet vi at høyt saltinnhold på eller i bergarten vil senke frysetemperaturen.

Figur 43 og Figur 44 viser antall passeringer av  $0^{\circ}\text{C}$  per måned for samtlige målepunkter.

Registrering av frostsykluser viser følgende:

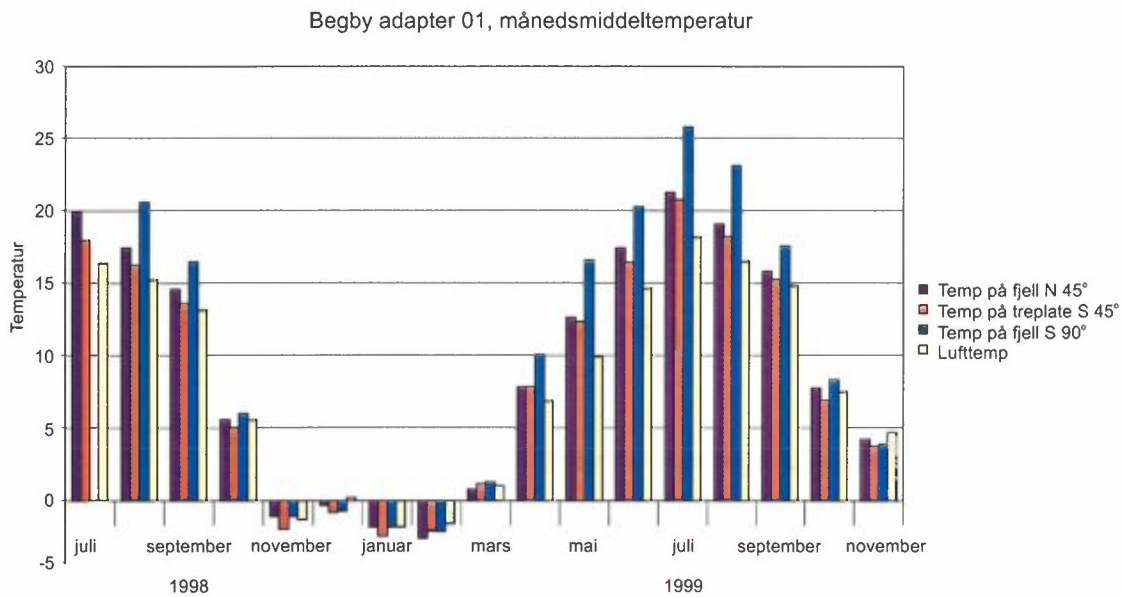
- Gjennom hele året er det betydelig mindre frostsykler på sensoren som er beskyttet av torv enn noen av de andre målepunktene (Figur 44).
- Bortsett fra sensoren som står vertikalt vendt mot sør (Figur 43), så har de andre sensorene på fjell uten overdekning samme antall frost-tinesykler og fem ganger så mange som den under torven. Første høsten var det en tendens til at sensoren i vannsaget hadde mindre sykler enn den i utkanten av siget (Figur 44), men det slår ikke ut på årsmiddelet.
- Frost-tinesyklene i luften er lik antallet på sensoren den vertikale sensoren mot sør (Figur 43). Disse har 40% høyere antall sykler enn målingene ellers på fjell.
- Referansesensoren for regn som er plassert  $45^{\circ}$  mot sør har høyest antall sykler, ca 70% mer enn for stein fritt eksponert (Figur 43).

Resultatene viser klart at tildekning vil redusere faren for frost-tine forvitring. Dette er i samsvar med hva en mener å registrere når en avdekker steinen under

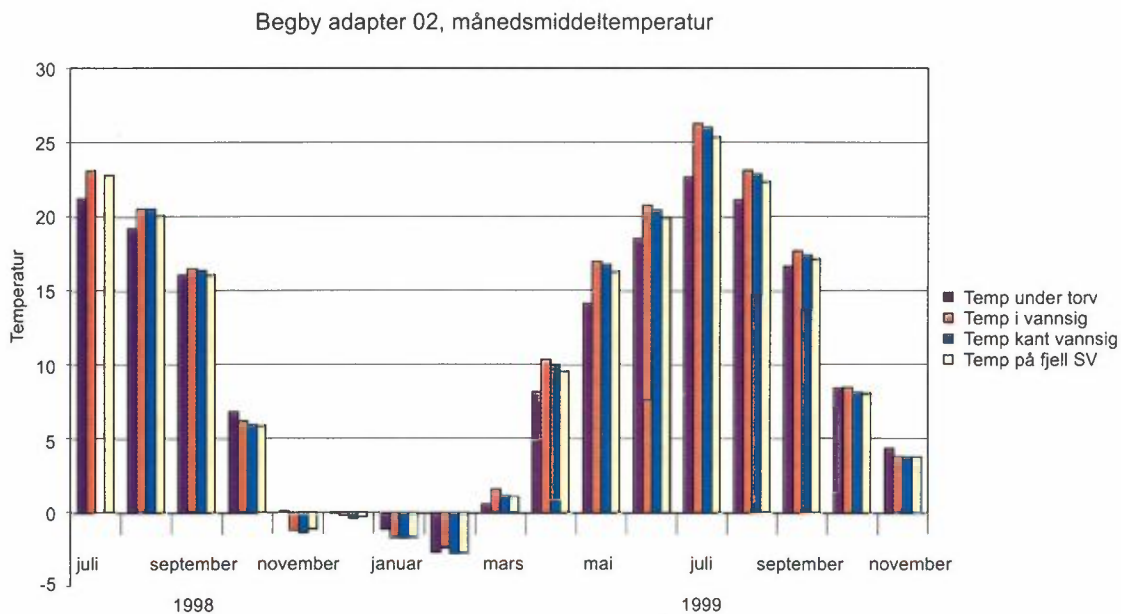
torvlaget. Fjellets store varmekapasitet gjør at det blir færre frost-tinesyklus på fjellet enn i luften. For fjell som er vendt mot sør får en økt frost-tine effekt siden solen varmer opp fjellet lokalt på slike områder. Det er naturlig at fjellet også på disse punktene får færre sykler enn andre materialer uten stor varmekapasitet. Sensoren på tre får derfor størst antall sykler av alle målepunktene.

### 6.8.3 Middeltemperatur over året

Månedsmiddeltemperatur for målepunktene er vist i Figur 45 og Figur 46.



Figur 45: Månedsmiddeltemperatur for sensorene tilkoblet adapter 01.



Figur 46: Månedsmiddeltemperatur for sensorene tilkoblet adapter 02.

Sesongvariasjonen fra vinter til sommer er i samme størrelsesorden som døgnvariasjonen på solskinnsdager. Sensoren under torvlaget har lavere temperatur enn de andre sensorene på stein hele sommeren og torven reduserer avkjølingen utover høsten (Figur 46). Først i februar har den nådd samme temperatur som de fleste andre punktene. Årsmiddelverdiene for målesteder hvor solen treffer fjellet varierer fra 9.5°C til 10°C. Sensoren i vannsaget har laveste middeltemperatur av sensorene på fjell. Middeltemperaturen i luft på 7.1°C og det er betydelig lavere enn på fjell. Også under torven er middeltemperaturen høyere enn i luften (8.0°C).

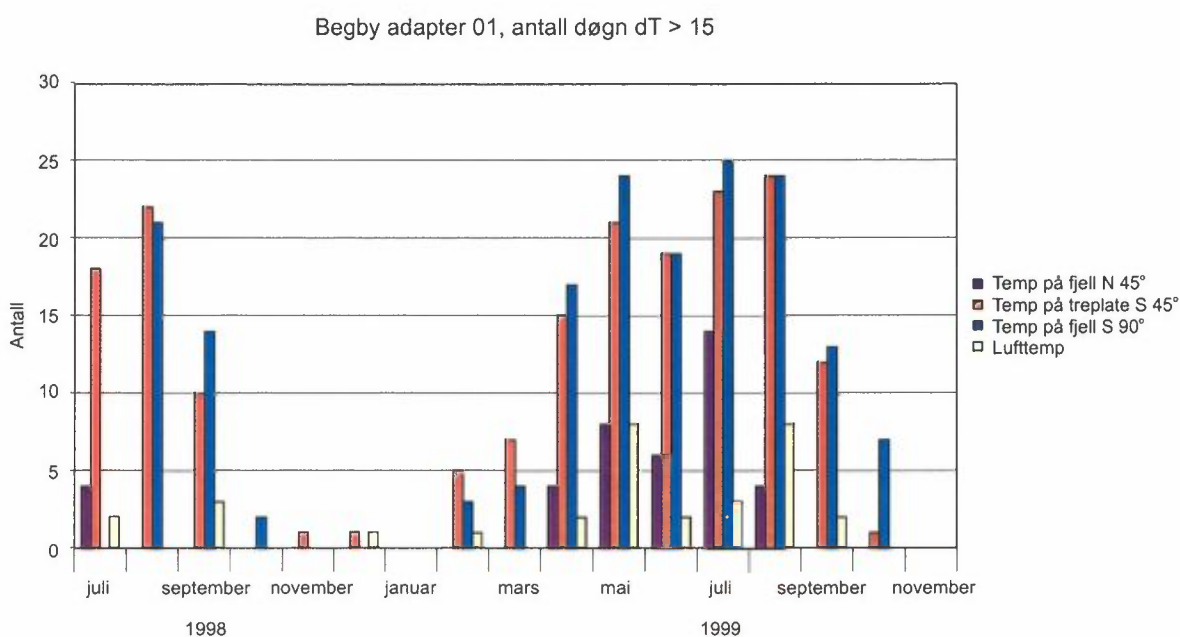
#### 6.8.4 Perioder med store temperatursvingninger, differanse på 15°C

Bergarter og mineraler kan sprekke ved store temperaturvariasjoner. En kartlegging av store temperaturdifferanser kan gi indikasjoner på i hvor stor grad bergarten er utsatt for slike påkjenninger. Vi har valgt å registrere antall døgnlige svingninger pr. måned med temperaturdifferanser på mer enn 15°C.

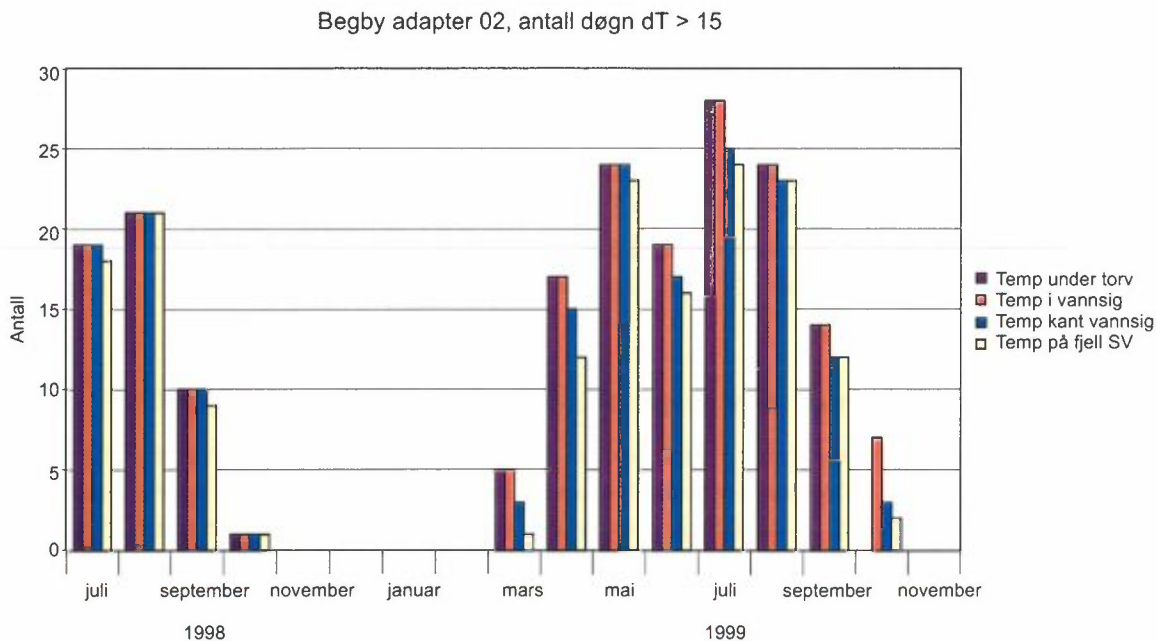
Figur 47 og Figur 48 viser variasjonene i temperaturdifferanser for sensorer plassert på Begby.

Målinger av temperatursvingninger har vist at antall med 15°C differanse har vært ti ganger flere på fjellet enn i luften. Unntaket har vært målepunktet som er i full skygge. Der har antall svingninger vært omtrent som i luft (Figur 47). Det er også en tendens til at målepunktet i det mørke vannsaget har færre svingninger på mer enn 15°C (Figur 48).

Registreringene viser at direkte sollys er avgjørende for å få kraftige temperatursvingninger over ett døgn. Dette vises også ved at svingningene stort sett bare er store nok på sommeren. På fjellet er det ikke registrert slike svingninger i november, desember og januar.



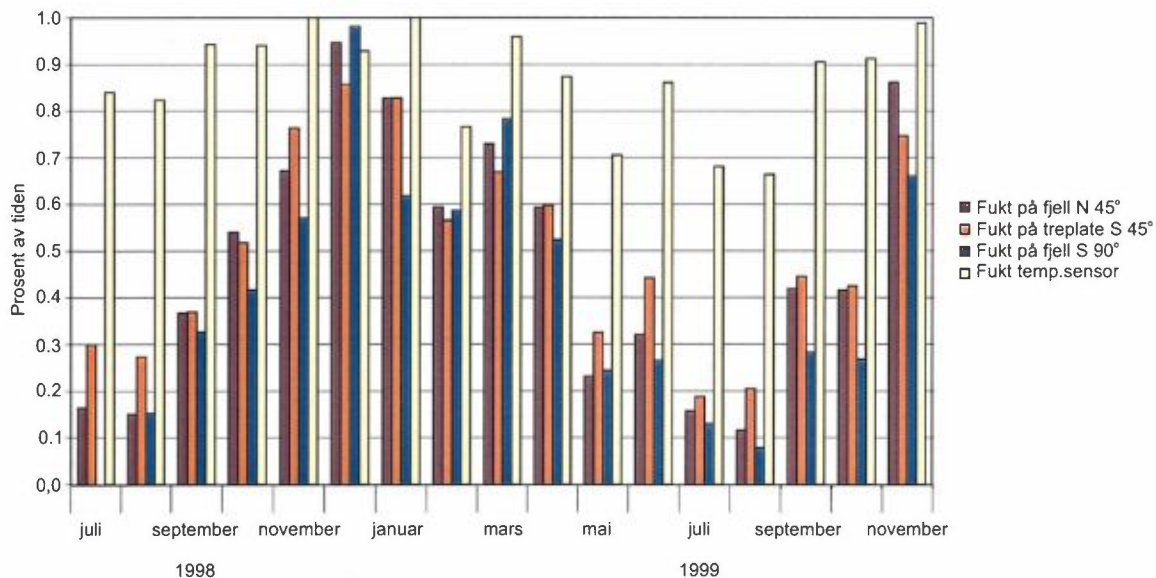
Figur 47: Totalt antall temperaturdifferanser på 15° for sensorene på adapter 01.



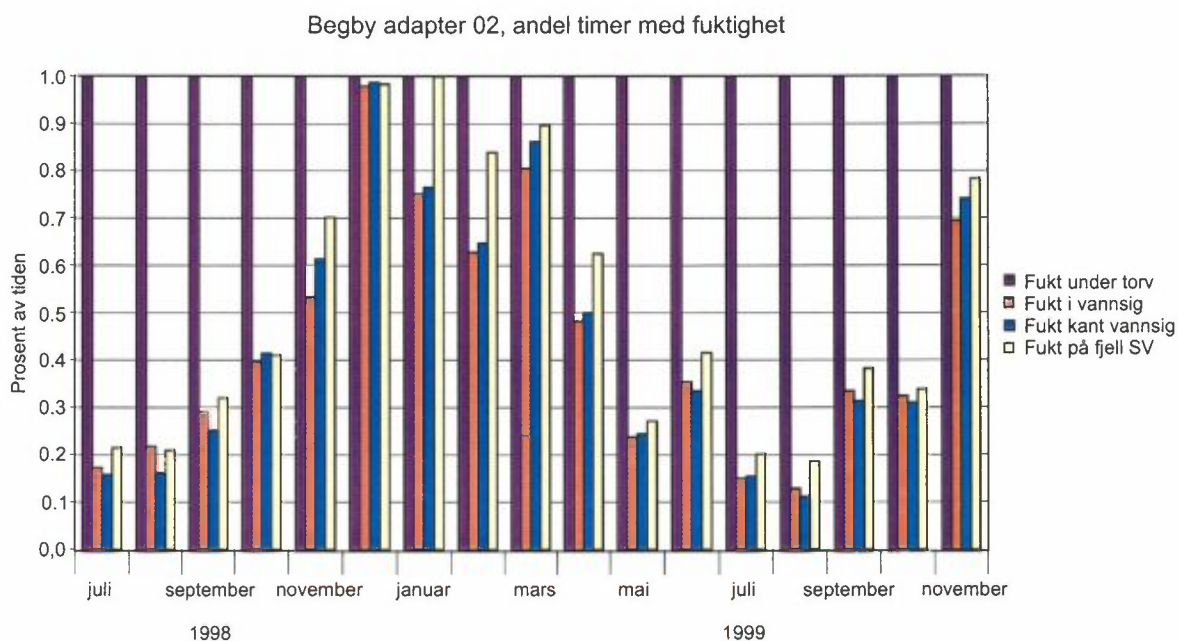
Figur 48: Totalt antall temperaturdifferanser på 15° for sensorene på adapter 02.

### 6.8.5 Perioder med fuktighet på målestedene

Figur 49 og Figur 50 viser andel av perioden hvor strømmen har vært over 15nA. 15nA ble definert som perioder med påtagelig fuktighet på overflaten.



Figur 49: Andel av tiden med fuktig overflate for sensorer tilkoblet adapter 01.



Figur 50: Andel av tiden med fuktig overflate for sensorene tilkoblet adapter 02.

Resultatene viser at det under torven alltid er tilstrekkelig fuktighet til at overflaten kan beskrives som fuktig (Figur 50). Sensoren under strålingsskjermen har fuktighet over 15 nA i 86% av tiden. Denne sensoren er beskyttet mot regn. Sensoren viser derfor at det er betydelige mengder med hygroskopiske partikler i luften og at den relative fuktigheten i luften er tilstrekkelig høy store deler av året til å danne fuktig overflate (Figur 50). Fuktfilmen er normalt så tynn at den ikke kan registreres med øyet. De andre sensorene har fuktighet over grensen i ca 50% av tiden og avviker ikke fra referansesensoren som skal registrere nedbørperiodene over året. Sensoren som står vertikalt vendt mot sør har lavest strømmengde og lavest prosent med fuktighet av alle sensorene (Figur 49). Dette skyldes sannsynligvis sensorens plassering og at enkelte regnvær ikke treffer den vertikale flaten. For samtlige sensorer har en samme årstidsvariasjon med høyest fuktbelastning sent på høsten og vinteren og lavest om sommeren i juli og august. Sensoren i vannsaget har noe lengere fuktighetsperioder enn de andre sensorene 57%, men den største forskjellen var totalstrømmen over sensoren. Den er 10 ganger større enn for de andre sensorene på stein og dobbelt så høy som sensoren under strålingsskjermen selv om denne har lengere våttid. Det at en har strøm på sensorene også i perioder med temperatur under null viser at frysepunktet for vannet er lavere enn null på sensorene.

### 6.8.6 Diskusjon

Målinger av fuktighet og temperatur på fjellet viser store variasjoner over året for alle målepunktene. Solen tørker fjellet, reduserer strømmen over sensoren og hever temperaturen. Store deler av året er middeltemperaturen på fjellet høyere enn i luften. Kun i de mørkeste månedene november til februar er lufttemperaturen høyest. Fjellet har betydelig bedre evne enn trepanelet til å magasinere varme. Selv målepunktet som alltid er i skygge har høyere middeltemperatur fra mai til oktober enn trepanelet som står midt i solen.

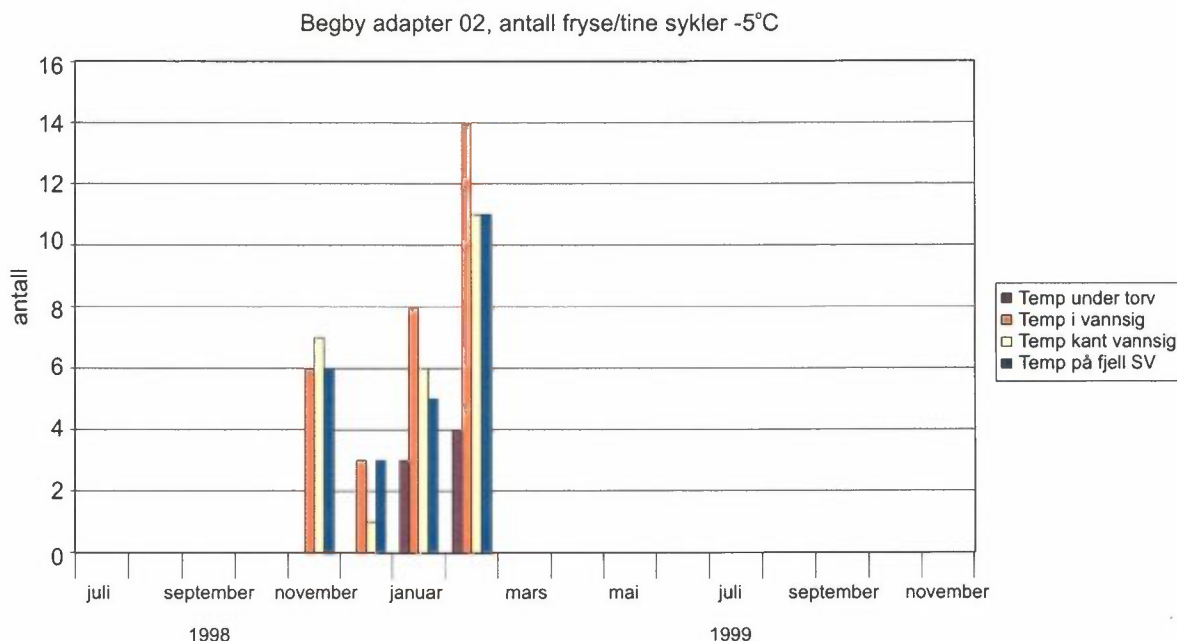
Ved registrering av svingninger rundt frysepunktet har vi valgt å beregne passeringer av  $0^{\circ}\text{C}$  selv om frysning sannsynligvis vil skje ved en lavere temperatur på grunn av ionene i vannfilmen. Frostsprenging er mest virksom i områder hvor det er rikelig med overflatevann og når man har hyppige fryse/tinesykluser. Mye tyder på at frostsprenging er spesielt virksom ved temperaturer mellom  $-5$  og  $-15^{\circ}\text{C}$  (Thorseth et al., 1997). Resultatene viser at fjell som står mest utsatt for sollys er også mest utsatt for frost-tinesykler. Områder som ikke er avdekket har markert mindre frost-tinesykler enn de andre målepunktene. For de andre målepunktene på fjell er det registrert at frost-tinesyklene er ca 70% av syklene i luft. På fjellet er det registrert frost-tinesykler i perioden oktober til april. Det er flest sykler i overgangen mellom høst og vinter og mellom vinter og vår. I desember og januar er fjellet kaldere enn  $0^{\circ}\text{C}$  og innstrålingen av sol meget liten.

Hvis forvitringen er sterkt korrelert med frost-tinesyklene så vil vegetasjon som skjermer for solstråling bety redusert risiko. Siden grensen for frostsprengning sannsynligvis ligger lavere enn  $0^{\circ}\text{C}$ , så ble antall svingninger rundt en frostgrense lavere enn  $0^{\circ}\text{C}$  undersøkt. Det er spesielt interessant å se på adapter 02 hvor en av sensorene ligger under torv. Den siste svingningen gjennom en lavere temperatur forsvant ved  $-10^{\circ}\text{C}$  under torvlaget og ved  $-14^{\circ}\text{C}$  for målepunktene uten overdekning. I Figur 51 er resultatene for svingninger rundt  $-5^{\circ}\text{C}$  vist. Antallet svingninger er betydelig redusert og perioden med svingninger er redusert til det halve, 4 måneder isteden for 8 for målingene på bart fjell og 2 isteden for 4 under torven. Under torven ser en at antallet har økt noe i januar og spesielt i februar sammenlignet med  $0^{\circ}\text{C}$ . Dette skyldes at middeltemperaturen ligger under  $0^{\circ}\text{C}$  i de månedene og at temperatursvingningene under torven er små. Små svingninger kan indikere at risikoen for frostsprengninger blir mindre. Det er ikke satt noen grenser for hvor store svingningene skal være før den blir registrert som en frostsykel i beregningsprogrammet. Målingene gir likevel et entydig resultat. Uansett hvor frost-tinegrensen blir satt, så vill et torvlag redusere risikoen for frostsprenging sammenlignet med fritt eksponerte flater.

Termiske belastninger på grunn av temperatursvingninger per døgn kan gi spenningsgradienter og oppsprekking i fjelloverflaten. I denne rapporten er det valgt å presentere belastningene ved svingninger over  $15^{\circ}\text{C}$ . Disse resultatene har et helt annet mønster enn frost-tinesyklene. Lufttemperaturen har betydelig færre svingninger enn de andre målepunktene. De fleste andre målepunktene hadde mer enn 6 ganger så mange svingninger. Mønsteret følger mønsteret for middeltemperatur og skjer bare i perioden mars til oktober med høyest belastning i juli.

Målepunktet som står i hel skygge har få termiske belastninger i samme del av året som resten av sensorene på fjellet. Det er noe mindre belastningen i område med avrenning enn på andre partier av fjellet. Det er noe usikkert hva dette skyldes. Punktet kan ligge noe mer i skyggen enn de andre punktene. Det er også mulig at det mørke biologiske belegget som sitter i avrenningsområdet trenger sollyset til sine biologiske prosesser og at dette reduserer temperatursvingningene. På samme måte som for frost-tinesykler, så vil en skjerming av solstrålingen redusere belastningen.





Figur 51: Antall passeringer av  $-5^{\circ}\text{C}$  per måned for sensorene tilkoblet adapter 02.

Kjemisk forvitring krever gjerne fuktighet ved normale temperaturer. Det er derfor størst mulighet for kjemisk nedbrytning der fuktbelastningen er stor. I tillegg til fuktighet er det også nødvendig at fuktigheten inneholder aggressive ioner som sure forbindelser og klorider. Blant målepunktene er det området under torvlaget som er mest belastet med fuktighet. Fuktigheten er over den definerte grensen på 15nA i hele måleperioden og strømstyrken er i snitt 30 ganger høyere enn på bart fjell. Torv vil normalt buffre ionebalansen og en må derfor også ta hensyn til den kjemiske sammensetningen for å trekke den endelige konklusjonen.

Alle målepunktene på fjell har fuktighet i ca 50% av tiden. Sensoren som sitter som temperaturreferanse under strålingsskjermen har betydelig mer tid med fuktighet, ca 86%. Sensoren har også høyere strømmengde enn de fleste målepunktene. Dette skyldes avsetninger av hygroskopiske partikler på overflaten, og siden sensoren er skjermet for regn så blir sensoren aldri vasket ren. Videre ser en at sensoren som ligger i vannsiget nedenfor torvlaget har samme våttid som de andre fjellsensorene, men med høyere strømstyrke. Dette skyldes åpenbart utløste ioner fra torvlaget. Resultatene indikerer at der hvor en har mye sur nedbør så kan tildekkede overflater med aktivt biologisk materiale som torv gi økt risiko for nedbrytning. Hvis en bygger tak over et helleristningsfelt er risikoen for oppsamling av hygroskopiske salter til stede. Taket vil derimot være en fordel for temperatur og frost-tinebelastningene og med periodisk avvasking av feltet under tak kan effekten av tørravsetningen reduseres betydelig.



## 7 Petrografiske og geokjemiske undersøkelser av bergarten på Begby

(Bakgrunnsdata for de geokjemiske undersøkelsene er vist i Vedlegg D)

### 7.1 Mineralogi og tekstur

Makroskopisk viser kjerneprøver fra nordsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann og fra vannsig (2) en massiv, middelskornet (1-5 mm) og jevnkornet bergart med generell grålig til svakt rosa-grålig farge under en øvre gulbrun-rødbrun forvittringssone (Tabell 2; Figur 12A og D; Figur 52A). Kjerner fra sørsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann og fra vannsig (1) viser en mer uhomogen bergart i form av erts- og biotittrike bånd og aggregater, hvor kornstørrelsen varierer fra middels- til finkornig (Tabell 2; Figur 12B og C; Figur 53B og C) til en svakt porfyrisk tekstur (ulikekornet), med kalifeltspat-krystaller opptil 12 mm (Figur 12B og Figur 52B). Sammenliknet med kjerner fra nordsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann har kjerner fra sørsiden av feltet en mer gulbrun farge gjennom hele kjernedypet, noe som gjør det vanskeligere å bestemme forvittringsdypet (Figur 52B).

Generelt består bergarten av liknende andeler kvarts og plagioklas, noe høyere andel kalifeltspat og mindre mengder biotitt, kloritt og erts- (opake) mineraler. I tillegg opptrer en rekke spor-mineraler. Som nevnt ovenfor varierer mineral-sammensetningen en del mellom de ulike prøvelokalitetene på testfeltet. Vertikale snitt gjennom kjerneprøvene viser således en gjennomsnittlig variasjon på 21-31% kvarts, 26-34% plagioklas, 31-42% kalifeltspat og 3-6% biotitt/kloritt mellom de ulike lokalitetene (Tabell D1 og Figur 54). Mineralsammensetningen varierer også på centimeterskala, selv i tilsynelatende homogene prøver. For eksempel på nordsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann varierer kvarts mellom 19-32%, plagioklas mellom 26-42% og kalifeltspat mellom 23-44% i horisontale kjernesnitt med dybdeforskjell <1 cm (III/1:1h-11h).

Sen-magmatiske eller tidligere hydrotermale omdanningsprosesser har ført til delvis sausrittisering/serisittisering/leirmineralisering av plagioklas og klorittisering av biotitt (se avsnitt 7.1.1.). Omdanningsgraden varierer noe, men er klart høyest på sørsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann, hvor mesteparten av biotitten er helt eller delvis omdannet til kloritt, spesielt i øvre del.

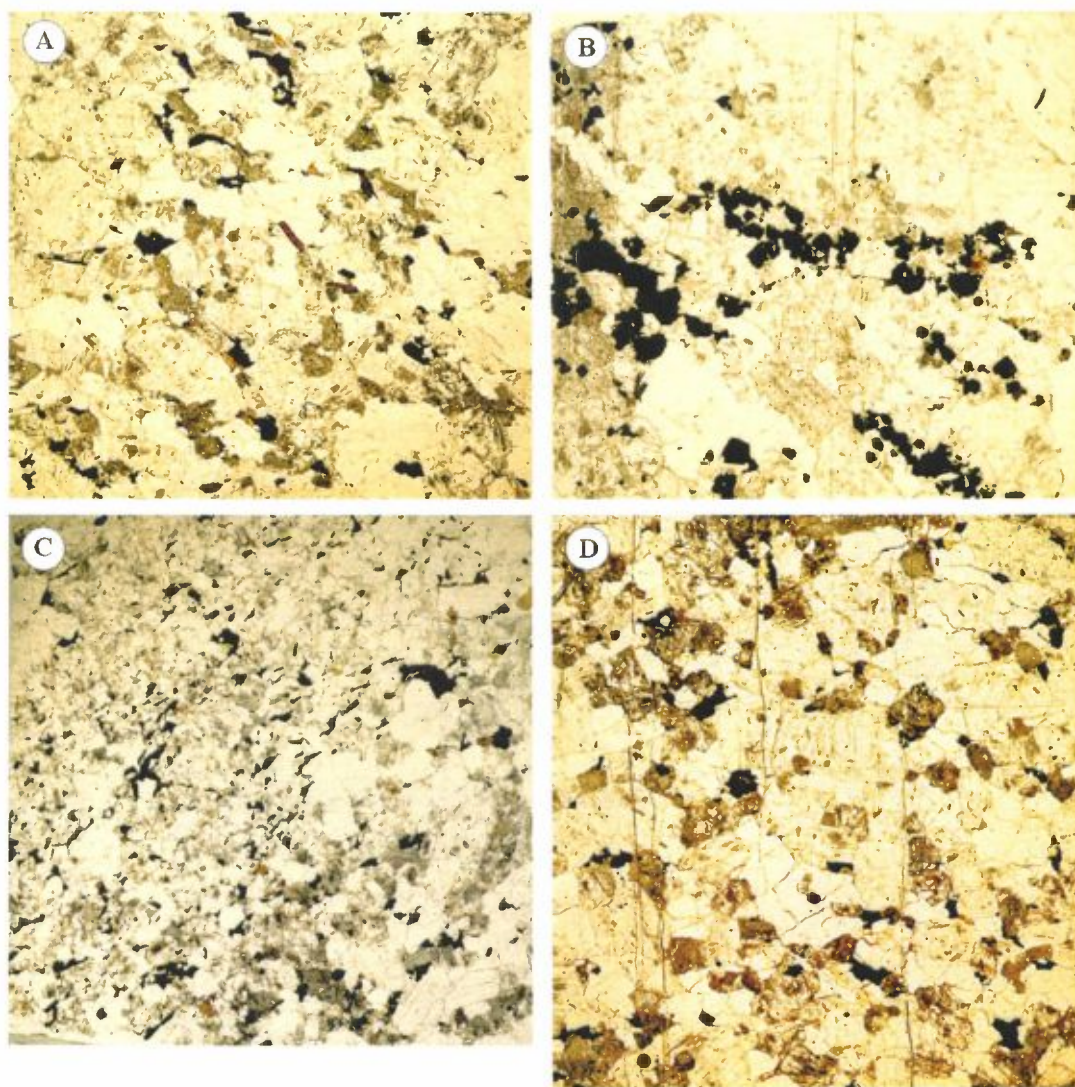
#### 7.1.1 Uvitret bergart

I uvitret bergart under forvittringssonen er det utviklet varierende grad av mikrosprekker, både langs korn grenser og gjennom mineraler, spesielt av kvarts og plagioklas (Figur 55A). Sprekkene er helt/delvis fylt med fibrøse mineralfaser (Figur 55B). EDS-analyser indikerer at de sprekketyllende fasene veksler mellom leirmineralene kaolinitt (like deler silisium (Si) og aluminium (Al)) og smektitt (lavere aluminium-innhold og mindre mengder magnesium (Mg), kalsium (Ca) og jern (Fe)). Sprekketyllingene er stedvis sterkt anrikt i Fe, Ca, P og ulike sporelementer Cerium (Ce), Lanthan (La), Neodyn (Nd) og Thorium (Th) (Figur 55A og C) og mangler i mange tilfeller helt Si og Al. Dette tyder på at de førstnevnte elementene ikke er inkorporert i leirmineralene, men representerer egne separate faser. Prøvene fra sørsiden av avrenningsfeltet inneholder særlig mange sprekker og har i tillegg en del ensrettede vertikale

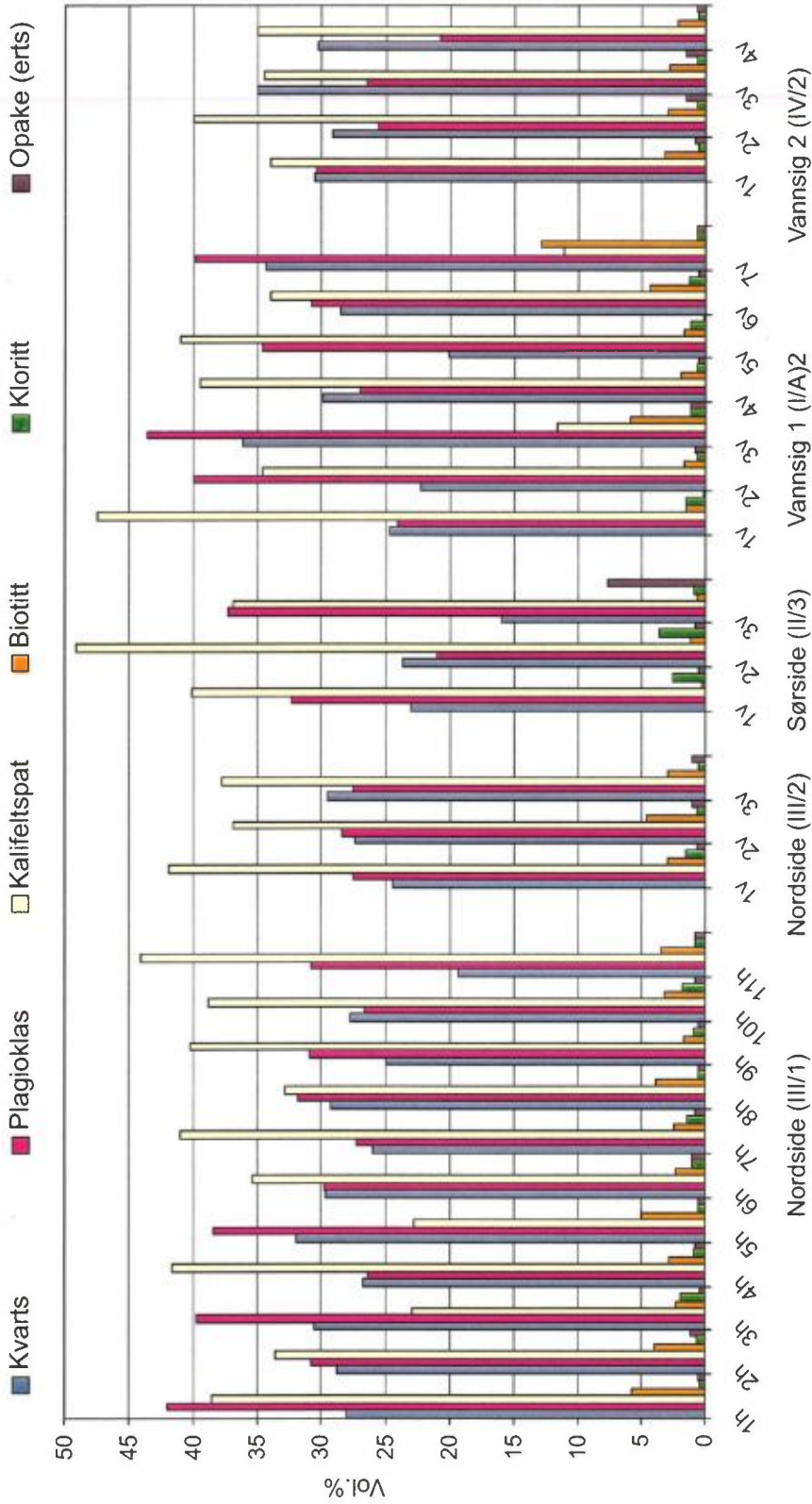
mikrosprekker, som lett observeres i lysmikroskop (Figur 53D). De vertikale sprekke er ofte forseglet med kalifeltspat, men epidot og kaolinit kan også observeres (Figur 55D). Der sprekke kutter primære kalifeltspat-korn og er fylt med sekundær kalifeltspat, kan de i SEM bare observeres ved at den sprekkefylende mineralfasen inneholder et høyt antall mikroporer, mange delvis fylt av Fe- og sporelement-rike faser (Figur 55E). Stedvis er sprekke forseglet med flusspat og i tillegg sporelement-rike faser som mikrosprekkene forøvrig (Figur 55F).



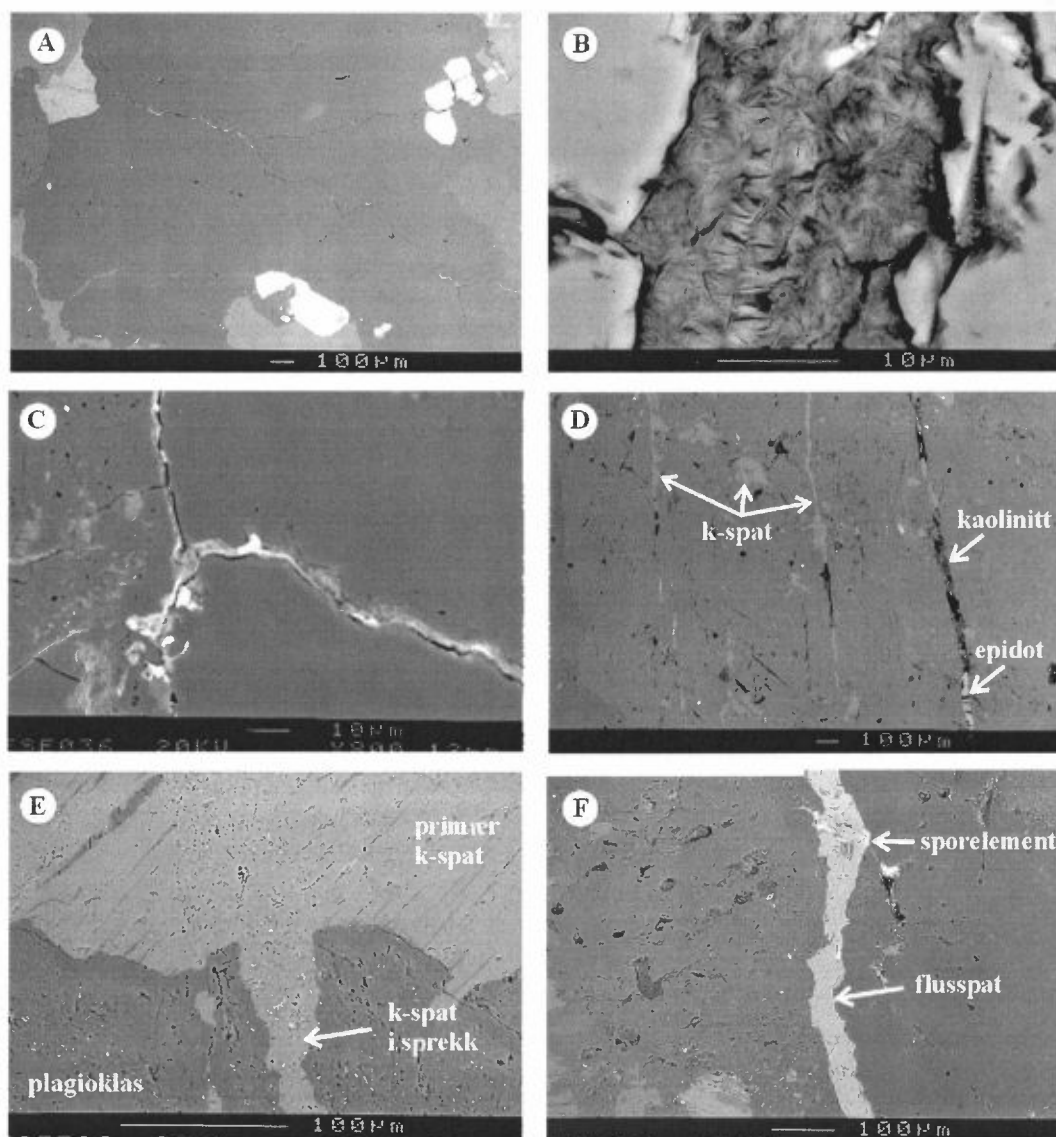
*Figur 52: Tverrsnitt av borekjerne fra hver side av innsamlingsfelt for avrenningsvann som illustrerer ulike fargenyanser i bergarten. A). Borekjerne fra nordsiden av feltet (III/1). Øverst er en ca. 2 cm tykk gulbrun - rødlig forvittringssone. Under denne har bergarten en grålig til svak rosa farge. Denne delen representerer tilsynelatende frisk, uforvitret bergart. B). Borekjerne fra sørsiden av avrenningsfelt (II/3). Hele kjernen har en gulbrun farge. Øverste ca. 3.5 cm har imidlertid en mere rødlig farge og representerer trolig forvittringssonen.*



Figur 53: Lysmikroskopbilder av petrografiske tynnslip. A). Middelskornet, homogen bergart fra nordsiden av innsamlingsfelt for avrenningsvann (III/2). B). Uhomogen, porfyrisk bergart på sørsiden av innsamlingsfelt for avrenningsvann, med innslag av ertsrike bånd. C). Overgang mellom middelskornet bergart og mer finkornet biotitt-rikt bånd ved vannsig (1) (I/A-3v). D). Vertikale mikrosprekker i kjerne fra sørsiden av innsamlingsfelt for avrenningsvann (II/3-1v). Et nettverk av retningsløse mikrosprekker langs korngrenser og på tvers av korn er også synlig. Mange av sprekkene er rustfarget på grunn av forvitring.



Figur 54: Mineralsammensetning (vol. %) av kjerneprøver fra nord- og sørside av innsamlingsfelt for avrenningsvann og fra vannsig (1) (ved WETCORR-instrument) og vannsig (2) (data fra Tabell 7.1). (1h-11h er nummer på tynnslip, lagt som horisontale snitt parallelt overflaten, ett per ca. 0.6 cm dyp gjennom hele kjernen, hvor 1h er fra øverste del. 1v-7v er nummer på tynnslip lagt som vertikal profil gjennom kjernene, hvor 1v er fra øverste del.



Figur 55: Backscatter-bilder (SEM) av polerte tynnslip. A). Mikrosprekker i kvarts. Hvite sprekketryllinger inneholder Fe og/eller ulike sporelement som Ce, La, Nd, oftest sammen med Ca og noen steder P (III/2-3v). B). Leirmineral-faser (kaolinit og smektitt), som fyller mikrosprekker i bergarten (III/2-1v). C). Anrikning av Fe, Ca, P, Ce og La i sprekker (hvit) (B98-3.1). D). Vertikale mikrosprekker i plagioklas, fylt med kalifeltspat, epidot og kaolinit (II/3-3v). E). Vertikal sprekk fylt med kalifeltspat. I det primære kalifeltspat-kornet (øverst) er sprekketryllingen bare synlig i form av et bånd rikt i mikroporer. Mange av porene er delvis fylt av faser rik på Fe og sporelementer (II/3-2v). F). Vertikal mikrosprekk i plagioklas, fylt med flusspat og mindre mengder av sporelement-rike faser (II/3-2v).

Foruten leirmineralfylte mikrosprekker observeres også ofte en flekkvis, diffus leirmineralisering av plagioklas (Figur 56A og B). Plagioklas er i tillegg ofte helt eller delvis sausrittisert/serisittisert (omdannet til epidot, serisitt,  $\pm$  muskovitt,  $\pm$  kalsitt,  $\pm$  kalifeltspat) (Figur 56C og D). Sausurrittiseringen varierer tilsynelatende

fra å omfatte hele korn til bare sentrale deler eller bare tilfeldig flekkvis omdanning, men er klart mest omfattende på sørsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann (Tabell D.1). En del omdanning følger tvilling- og kløvretninger. Myrmekitt og sekundær overvekst av albitt kan også observeres enkelte steder. Enkelte korn har inneslutninger av apatitt og klorittisert biotitt.

Kalifeltspat inneholder ofte mikropertitt (lameller av plagioklas) (Figur 56E) og større krystaller har inneslutninger av plagioklas, kvarts, biotitt/kloritt og apatitt. Omdanning av mikropertitt-lameller og plagioklas-inneslutninger kan ofte observeres.

Biotitt viser varierende grad av klorittisering (Tabell D.1). I prøver fra nordsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann og fra vannsig (2) er biotitt lite klorittisert. Ved klorittisering er denne mest utviklet langs kløvretningen. Klorittiseringen har ofte ført til dannelse av sekundær rutil. Det er få korn som er helt omdannet. Noe omdanning til epidot, allanitt,  $\pm$  kvartslinser,  $\pm$  muskovitt kan også observeres (Figur 56F). I prøvene fra sørsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann er det meste av biotitten klorittisert. Enkelte steder danner epidot pseudomorfer etter biotitt. Pleokroittiske haloer i biotitt og kloritt skyldes innesluttet zirkon.

Foruten sekundær epidot i forbindelse med sausrittisering/serisittisering av plagioklas og klorittisering av biotitt, finnes også en del euhedral (godt utviklet krystallform) epidot. Denne representerer trolig primære krystaller.

Euhedrale korn av et heterogent, delvis fibrigt materiale, med sammensetning som sprekkefyllende faser som er sterkt anrikt i La, Ce, Nd og Th, kan ofte observeres i tilknytning til epidot og biotitt (Figur 57A, B, C og E). Dette er mest trolig pseudomorfer etter allanitt. Det har imidlertid ikke vært mulig å påvise rester av frisk, uomdannet allanitt. Derimot finnes det monazitt i enkelte slike korn (Figur 57D). Disse representerer imidlertid trolig opprinnelige monazitt-inkluderinger i allanitt.

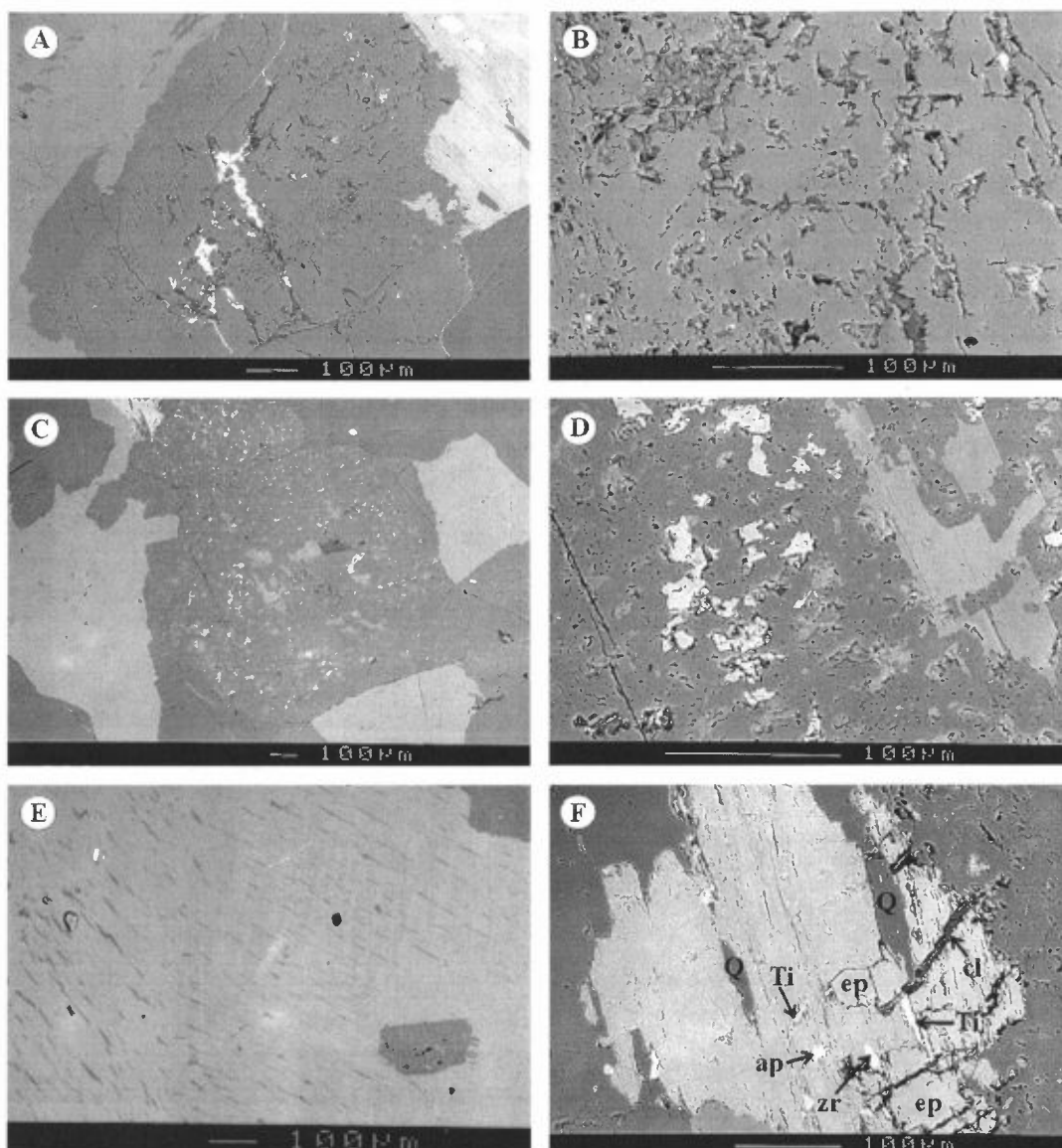
### **7.1.2 Forvitret bergart**

Makroskopisk sees forvitringen som en skarp til diffus øvre rødbrun – gulbrun sone. Ved innsamlingsfeltet for avrenningsvann varierer forvitringssonen i tykkelse fra ca. 2–3.5 cm (Figur 52A og B). Andre steder på feltet ser imidlertid forvitringssonen oftest ut til å være noe grunnere (1 cm og mindre) (Tabell D.1). I motsetning til de øvrige bergartsprøvene viser prøvene fra det torvdekkede området en svak avfarging i øvre del.

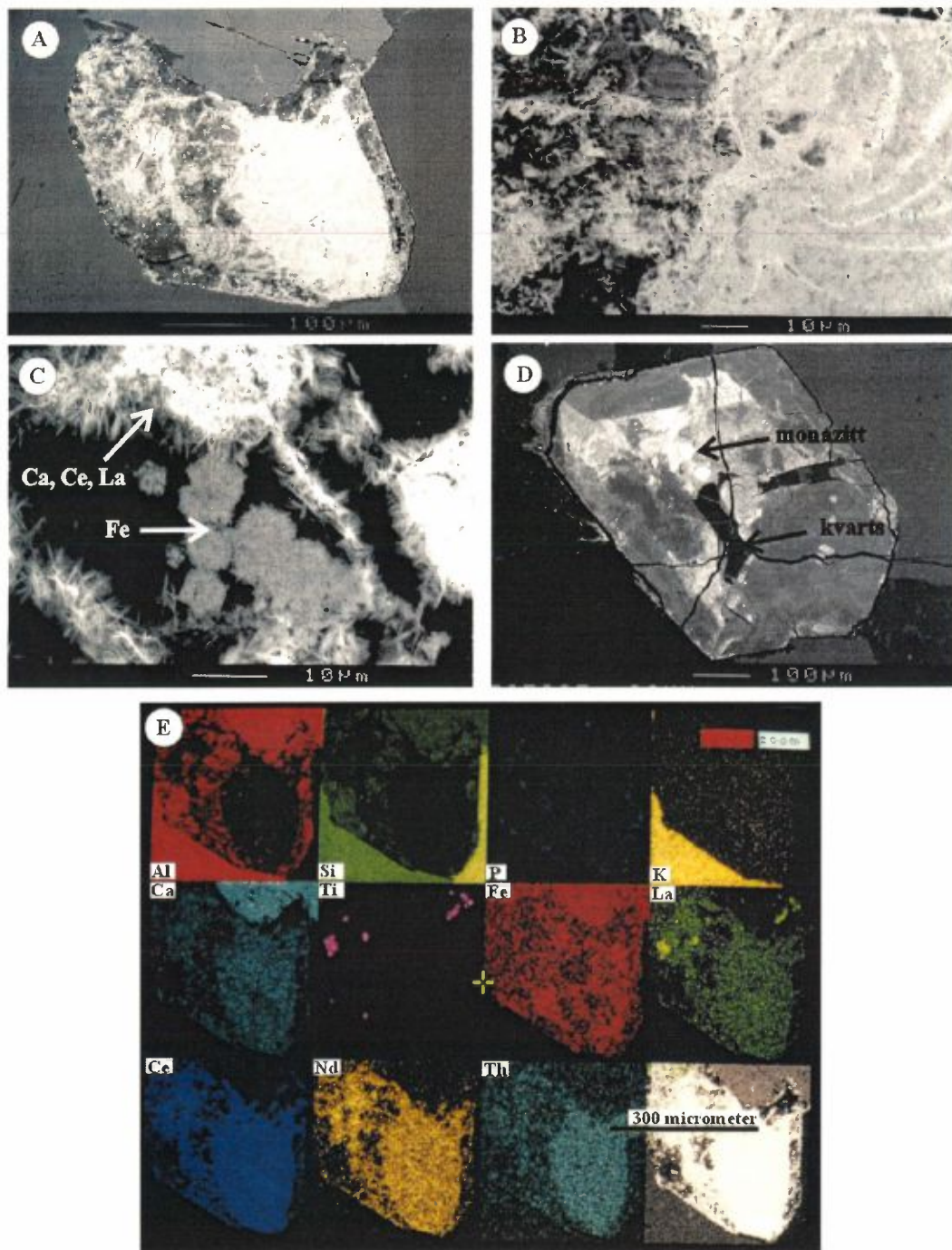
I petrografisk lysmikroskop sees forvitringen først og fremst som rustfarge langs de tidlige utviklede mikrosprekkene (Figur 53D). I SEM kan det i de øvre 1–2 millimeterne imidlertid observeres en begynnende oppløsning av biotitt og plagioklas (Figur 58). I mikrosprekkene er mye av leirmineralene fortsatt tilstede, men faser rike i Fe, Ca, Ce, La etc. er oppløst. Sprekkene er dermed ofte delvis åpne, men også mer eller mindre utvidet, spesielt i den øverste delen (se også kap. 9 og Tabell D.4). Antall mikrosprekker er også noe høyere i øvre del av forvitringssonen enn ellers i bergarten. I nedre del av forvitringssonen er det vanskelig å påvise noen endring av mineralogi og tekstur. Bergartsprøvene fra den



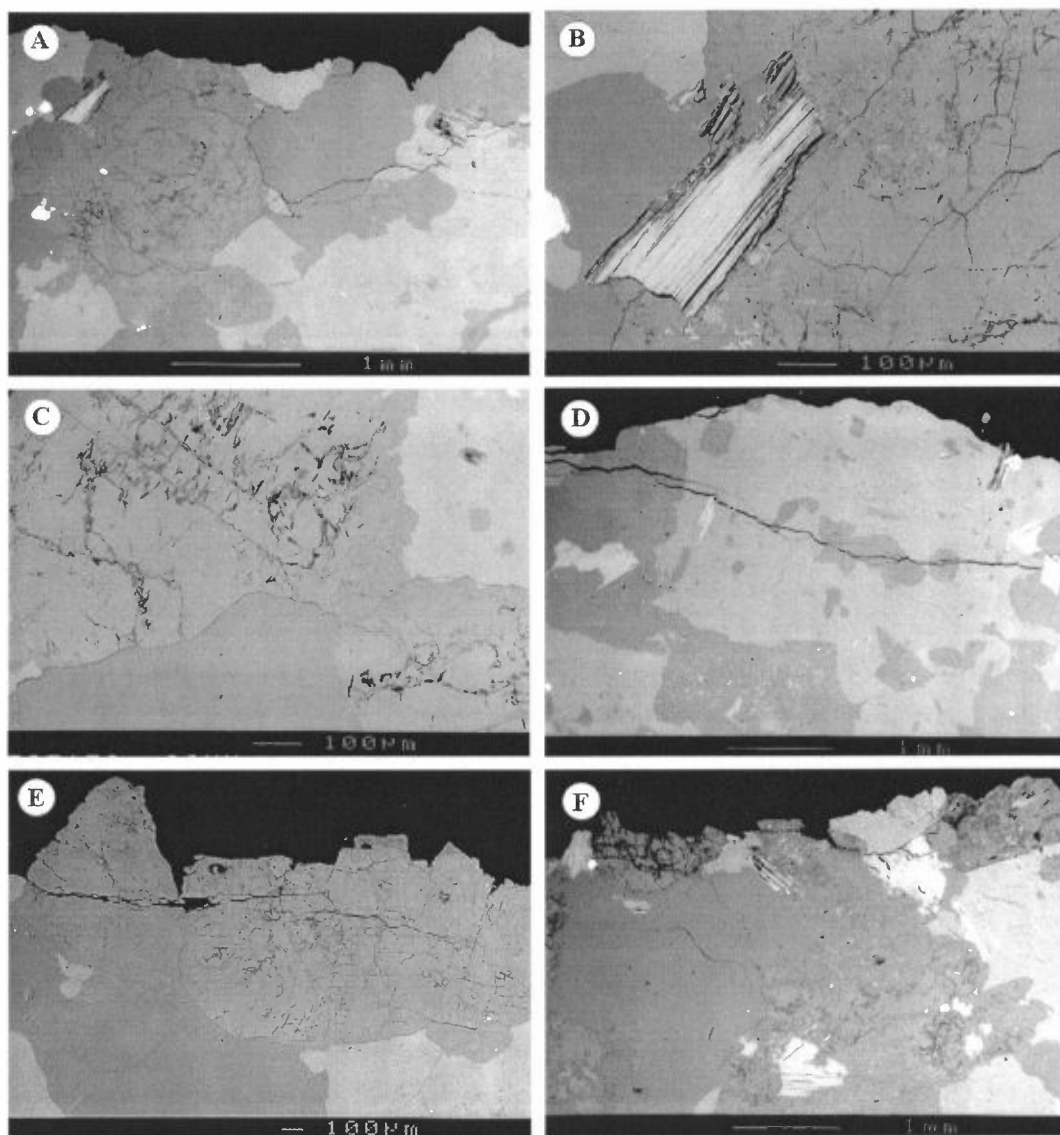
torvdekkede flaten viser større grad av kjemisk oppløsning av plagioklas, spesielt i en øvre 1 mm tykk sone, enn det som observeres i de øvrige prøvene (Figur 58F).



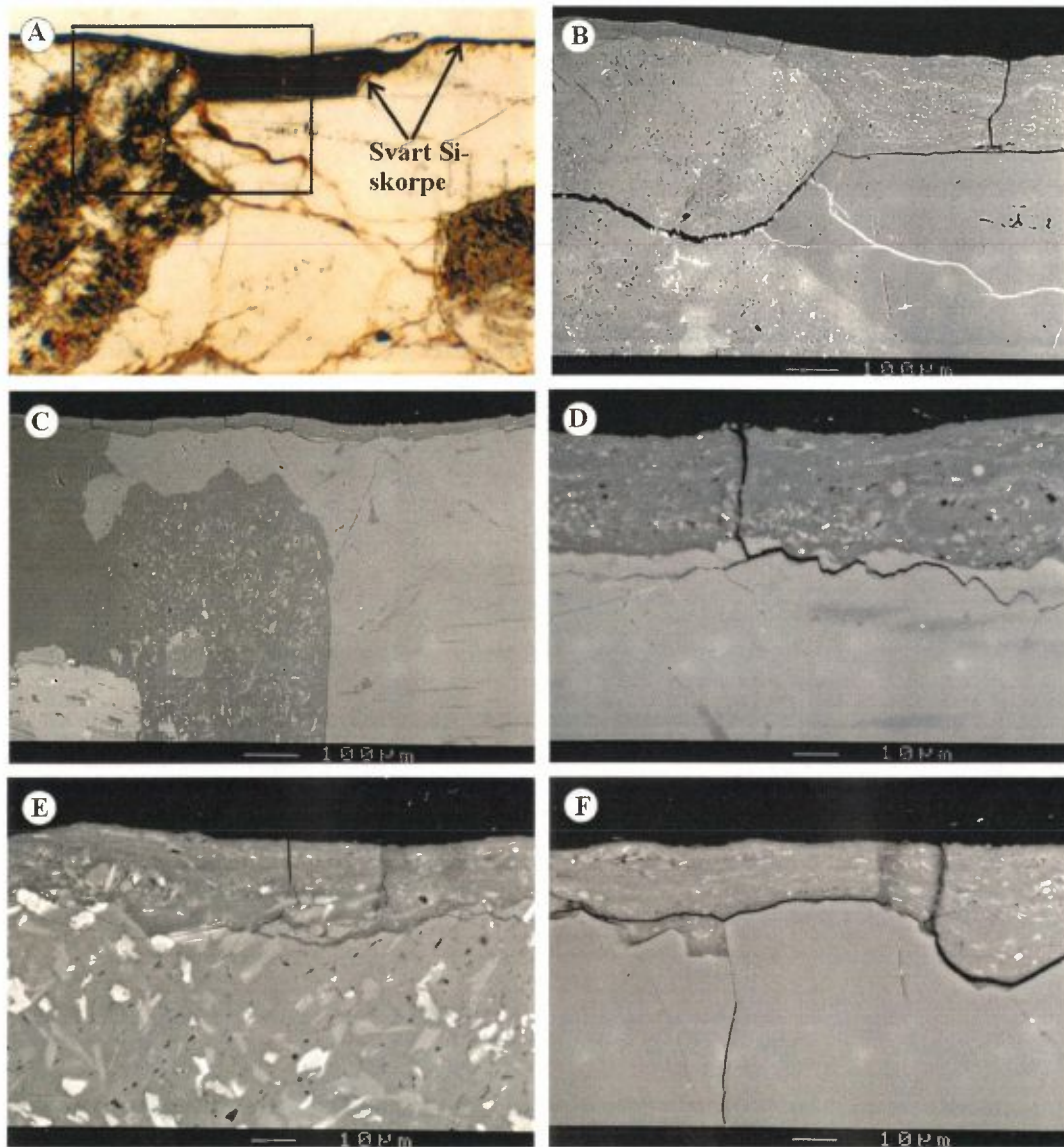
Figur 56: Backscatter-bilder (SEM) av polerte tynnslip. A). Leirmineralisering av plagioklas. Hvite områder har faser rik på Ca og ulike sporelement som Ce, La, Nd og stedvis også Fe, Ti og P (III/1-1h). B). Detalj av A som viser diffus, flekkvis leirmineralisering i plagioklas. C). Sauserittisert plagioklas (senter) (III/2-3v). D). Detalj av C. Sekundær epidot (hvit), serisitt og muskovitt (lys grå) i plagioklas. E). Mikropertitt (lameller) og inklusjoner av plagioklas i kalifeltspat (B98-3.2). F). Klorittisert biotitt med inklusjoner av Ti-oksidd (Ti), kvartslinser (Q), epidot (ep), apatitt (ap), zirkon (zr) og sprekker med leirmineraler (cl) (III/2-3v).



Figur 57: Backscatter-bilder av petrografiske tynnslip. A). Heterogent omdannet euhedral allanitt(?). Lyse områder er anriktet i Ca, Ce, La, Nd og Th, mens mørke områder stort sett består av Si, Al og Fe (B98-3.1). B). Detalj av A, som viser at materialet som er anriktet i sporelementer er fibrøst. C). Detalj-bilde av pseudomorf som viser rosetter av ren Fe-oksidad fase sammen med fibrøs fase rik på sporelement. D). Pseudomorf med inklusjon av frisk monazitt (B98-3.1). E). Element-kart av A.



Figur 58: Backscatter-bilder av petrografiske tynnslip. A). Begynnende oppløsning av plagioklas og biotitt i de øverste 1-2 mm (B98-8.2). Likeledes er sprekkefyllende mineralfaser, rik i Fe, Ca og sporelementer, oppløst og mangler helt i denne øverste delen. B). Detalj av A som viser begynnelsen av oppløsning av biotitt langs kornkant og kløvplan. C). Begynnende oppløsning av plagioklas følger svakhetsplan slik som korngrenser og tidligere omdanning (B98-8.2). D). Trolig nydannet sprekke i forbindelse med forvitring (B98-5.2). E). Synlig forvitring i kjerne fra nordsiden av innsamlingsfelt for avrenningsvann er bare ca. 1 mm dyp (III/2-1v). F). Under torv er dyp for påvisbar oppløsning større, ca. 2 mm (B98-4.2).



Figur 59: Svart Silisium-skorpe på bergoverflate i tilknytning til vannsig (B98-3.1). A). Lysmikroskop-bilde som viser hvordan den svarte skorpen ligger på bergoverflaten og fyller små uregelmessigheter mellom mineralkornene. B). Backscatterbilde av markert område i bilde A. Mineralene i bergoverflaten viser lite tegn til kjemisk oppløsning. Likeledes er oppløsningen av sprekkefyllende mineraler mindre fremtredende enn i prøver uten Silisium-skorpe. C). Skorpen har en gjennomsettende vertikal, så vel som horisontal oppsprekking. D). De horisontale sprekke går ofte ned i bergoverflatens mineralkorn. E). Fragmenter av plagioklas som er innlemmet i den overliggende Silisium-skorpen. F). Laminasjoner i skorpen som følger det underliggende mineralkornets topografi.

Den svarte misfargingen i vannsig skyldes utfelling av en mørk silisium (kisel)-skorpe på bergoverflaten (Figur 59A). Skorpen fyller ofte opp små groper mellom mineralkorn og danner slik en jevn overflate (Figur 59A, B og F). Skorpen har både en vertikal og en horisontal oppsprekking (Figur 59C). Den horisontale oppsprekkingen følger ikke alltid grenseflaten mot bergarten, men går ofte også ned i mineralkornene (Figur 59D). I nedre del av skorpen er små bruddstykker av det underliggende mineralet stedvis innlemmet (Figur 59E). I øvre del er det ofte utviklet en laminasjon av ørsmå innlemmede mineralkorn (Figur 59F). I områder med velutviklet skorpe viser bergarten liten grad av kjemisk oppløsning (Figur 59B og E).

## 7.2 Mineralkjemi

Det er blitt utført kjemiske analyser av plagioklas, kalifeltspat og biotitt fra prøver på begge sider av innsamlingsfeltet for avrenningsvann. Et representativt utvalg av analyser for de ulike mineralene er vist i Tabell D.2 og D.3.

Plagioklas har en uhomogen sammensetning som varierer etter grad/type omdanning (Figur 60 og Tabell D.2). Generelt har korn eller deler av korn med flekkvis leirmineralisering men ingen sausrittisering/serisittisering ca. 4-6 wt.% CaO og ca. 8-8.6 wt.% Na<sub>2</sub>O (oligoklas-sammensetning), mens sausrittiserte områder har <1-2 wt.% CaO og ca. 10 wt.% Na<sub>2</sub>O (albitt-sammensetning).

Kalifeltspat viser liten variasjon i sammensetning og har et midlere K<sub>2</sub>O-innhold på ca. 16 og Na<sub>2</sub>O på <1 wt.% (Tabell D.3).

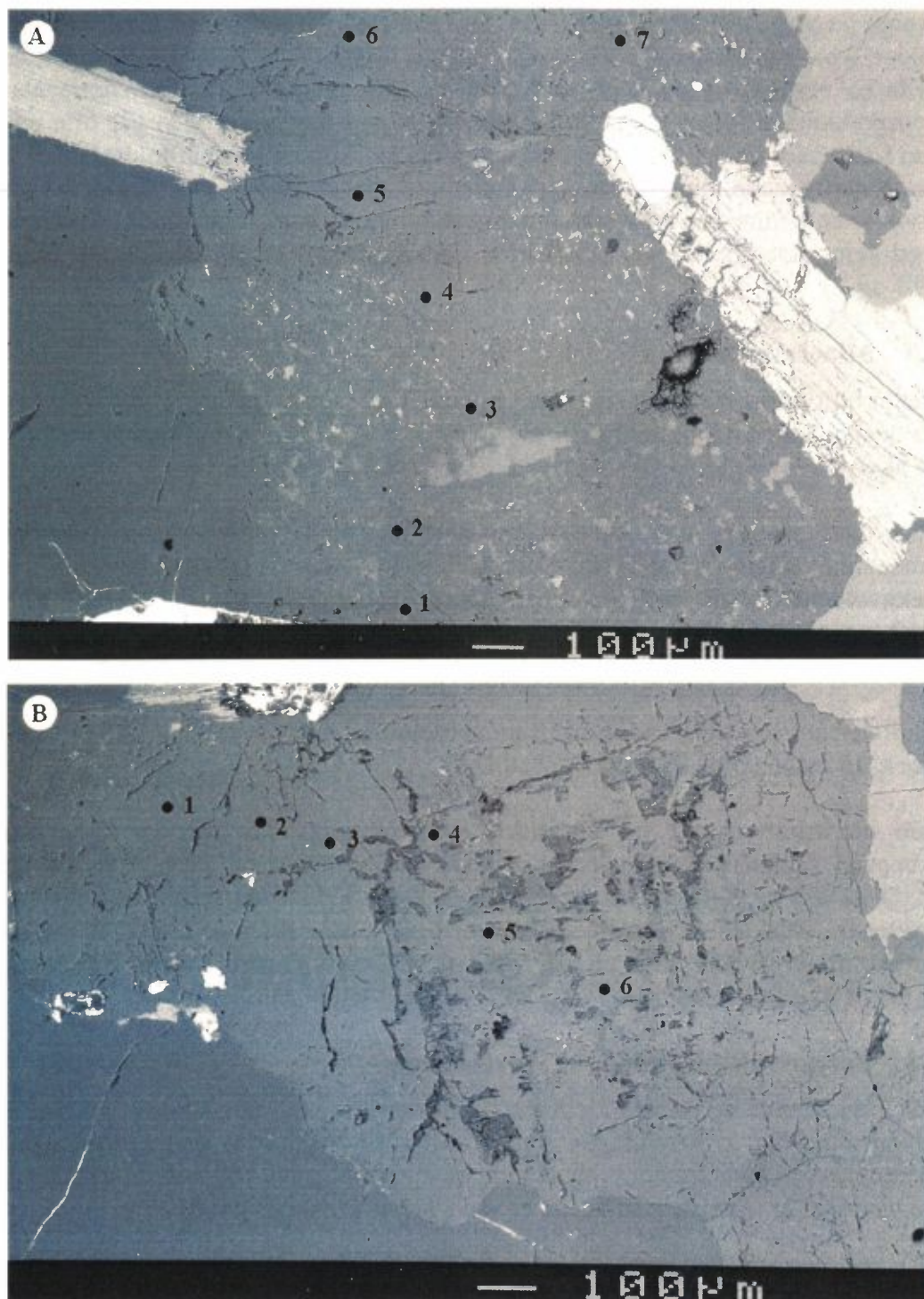
Lite klorittisert biotitt fra nordsiden av avrenningsfeltet har en forholdsvis homogen sammensetning, med et midlere FeO<sub>t</sub>-innhold på 22.9, TiO<sub>2</sub> på 2.6, MgO på 8.0 og K<sub>2</sub>O på 9.8 wt.% (Tabell D.3). Fullstendig klorittisert biotitt i prøver fra sørsiden av avrenningsfeltet er også relativt homogen, med et midlere FeO<sub>t</sub>-innhold på 30.9, TiO<sub>2</sub> på 0.2, MgO på 10.2 og K<sub>2</sub>O på 0.1 wt.%. Biotitt som er delvis klorittisert viser stor variasjon i sammensetningen.

## 7.3 Bergartskjemi: Hoved- og sporelementer

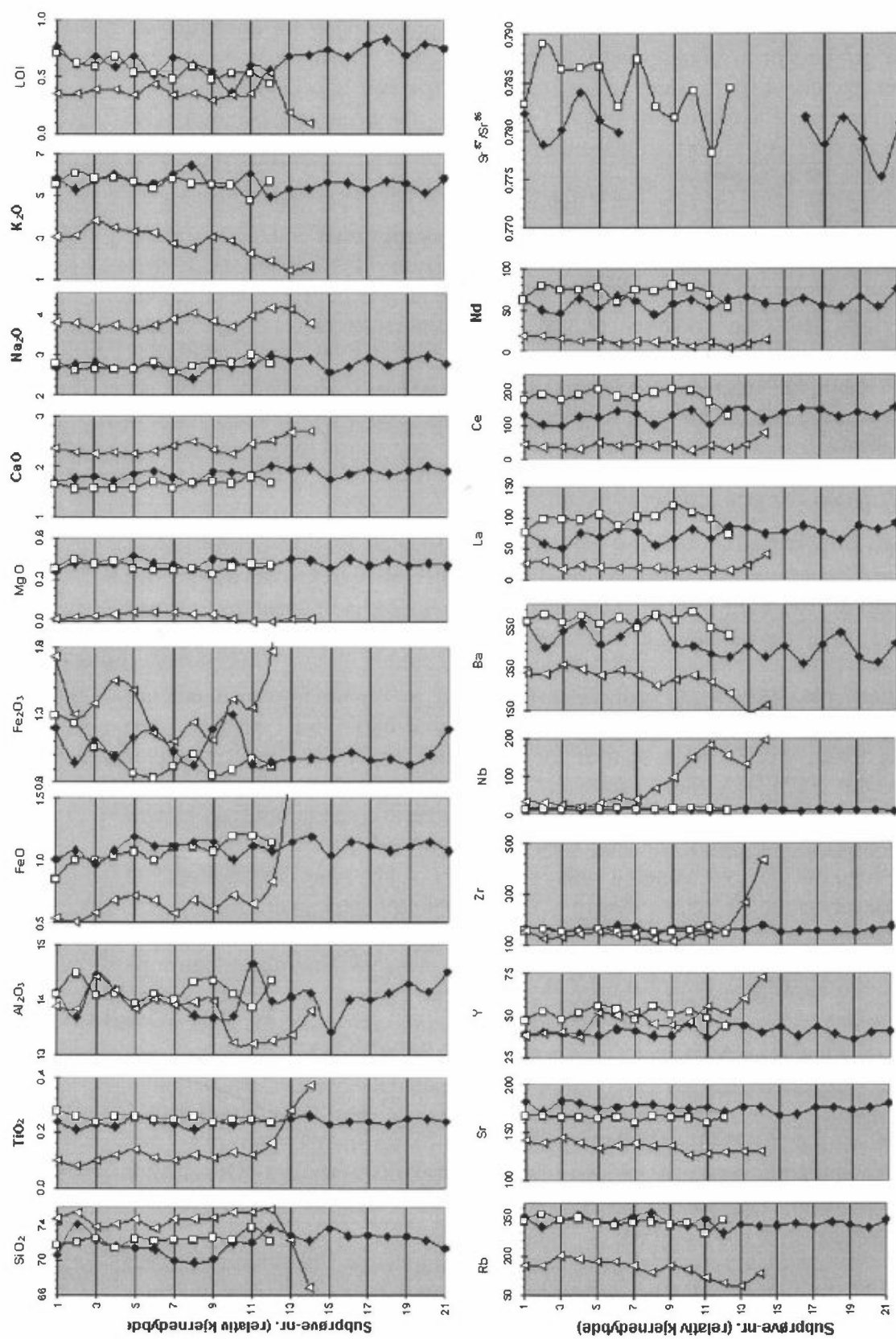
For å undersøke bergartens kjemiske sammensetning og eventuelle endringer av denne som følge av forvitringen er det utført XRF-analyser av de mest homogene kjerneprøvene både fra nord- og sørside av innsamlingsfelt for avrenningsvann og fra vannsig (2). Analyseresultatene er vist i Tabell D.4 og Figur 61.

Den kjemiske sammensetning varierer relativt lite både mellom de ulike lokalitetene og gjennom de enkelte kjernene. Generelt inneholder bergarten ca 70-75 wt.% SiO<sub>2</sub>, 0.1-0.3 wt.% TiO<sub>2</sub>, 14 wt.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2 wt.% FeO<sup>t</sup>, 1-2 wt.% CaO, 2-4 wt.% Na<sub>2</sub>O, 2-6 wt.% K<sub>2</sub>O og har et glødetap på 0.3-0.8 wt.%. Størst likhet er det mellom prøvene fra nordsiden av avrenningsfeltet og fra vannsiget. Prøven fra sørsiden av avrenningsfeltet har imidlertid noe høyere innhold av SiO<sub>2</sub>, CaO og Na<sub>2</sub>O og noe lavere innhold av TiO<sub>2</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, Rb, Sr, Ba, La, Ce og Nd.

Forvitringen ser ut til å ha gitt liten eller ingen generell endring av den kjemiske sammensetningen. Jern er imidlertid klart mer oksidert i kjernenes øvre del, som sammenfaller med den makroskopisk synlige vitringssonen (Figur 12A, B og D).



Figur 60: Backscatter-bilder av A) sauserittisert plagioklas og B) plagioklas med flekkvis leirmineralisering (III/2-1v). Nummererte punkt i begge bilder refererer til mikrosondeanalyser vist i Tabell 7.2.



Figur 61: Diagrammer som viser kjemisk sammensetning (hoved- og sporelement og Sr-isotop data fra Tabell 5) gjennom borekjemner fra nord-norøstlige borekjemnerfelt for avrenningsfeltet (IV/2). Åpen kvadrant: nordside (III/3); åpen trekant: sørside (III/1); fylt diamant: vannsig (2) (IV/2).

## 7.4 Sr-isotoper

### 7.4.1 Sr-isotoper i bergart

Bergartens  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold har blitt bestemt for prøver både fra nordsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann og fra vannsig (2) (Tabell D.4). Analysene ble utført på ca. 4 mm tykke subprøver både fra den uforvitrete delen av kjerneprøvene og fra forvitringssonen. I tillegg til disse har en 1-2 mm tykk subprøve av øvre del av forvitringssonen ved avrenningsfeltet (prøve III/2) også blitt analysert (se også avsnitt 5.4.7).

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet i bergarten på nordsiden av avrenningsfeltet er litt høyere enn ved vannsiget, med gjennomsnittsverdier på henholdsvis 0,78438 (0,77782-0,78912) og 0,78017 (0,77529-0,78392). Forvitringen i øvre del ser ikke ut til å ha påvirket forholdet i de tykkeste subprøvene. Analyser av den 1-2 mm tykke overflateprøven fra avrenningsfeltet indikerer imidlertid en svak økning i forholdet med en verdi på 0,79065. Dette indikerer at en større andel av mineralfaser med lavt isotopforhold har gått i løsning i forhold til faser som har et høyere forhold.

### 7.4.2 Sr-isotoper i mineraler

Analyser av  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet i plagioklas, kalifeltspat og biotitt i uvitret, så vel som vitret bergart fra nordsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann og fra vannsig (2) er utført. Et mindre antall analyser av Sr- og Rb-konsentrasjonen er også utført. Analyseresultatene er vist i Tabell D.5.

Analyser av plagioklaskorn, som viser ulik grad av hydrotermal omdanning (sausurittisering, serisittisering og leirmineralisering) fra prøver ved avrenningsfeltet, viser at korn som er lite omdannet har lavest  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -verdier (gjennomsnitt 0,71242), korn som er mye omdannet har høyest verdier (gjennomsnitt 0,75924) og korn som viser en midlere omdanningsgrad har en midlere verdi (0,73067). Omdannede korn med høyt  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold har også et høyt Rb-innhold. Rb vil generelt være anrikt i kalium-rike mineralfaser. I plagioklaskornene er Rb trolig anrikt i omdanningsproduktet serisitt.

Ut fra punkttellingsdataene (se avsnitt 7.1.1) vet en at ca. 14% av plagioklasen på nordsiden av avrenningsfeltet er mye omdannet. Dersom en antar at den resterende plagioklasen utgjør like deler lite og medium omdannet (43% av hver) gir dette en gjennomsnittlig isotop-sammensetning på 0,72682. Dersom all den resterende plagioklasen regnes som medium omdannet får en verdien 0,73467. Analyser av uforvitret plagioklas i prøver fra vannsiget viser mindre variasjon i  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet (0,71469-0,72940) og har en noe lavere gjennomsnittsverdi (0,72568). Omdanningsgraden av disse kornene ble ikke bestemt. Den lavere verdien kan derfor skyldes at korn som er mye omdannet ikke har blitt analysert.

Analyser av forvitrede plagioklaskorn øverst i vitringssonen ved avrenningsfeltet viser verdier som ligger innenfor variasjonen for uforvitrede korn. Gjennomsnittsverdien (0,75005) er imidlertid noe høyere enn de beregnede gjennomsnittsverdiene for uforvitret plagioklas (se foregående avsnitt). Siden det var vanskelig å bestemme omdanningsgraden i forvitrede korn under prepareringen, er det vanskelig å si sikkert om det forhøyede forholdet skyldes stor grad av hydrotermal



omdanning eller om det skyldes forvitring. Det er imidlertid trolig at forvitringen kan føre til en økning av forholdet, ved at omdanningsprodukt som har høyt isotop-forhold (høyt Rb-innhold) og samtidig er mer resistent mot kjemisk forvitring, slik som serisitt, har blitt løst opp i mindre grad enn faser som er mindre resistente og har lavere isotop-forhold, slik som albitt og epidot. Sr-innholdet er imidlertid i samme nivå som uforvitrede korn (317 ppm), noe som tyder på svært lite oppløsning.

Kalifeltspat har et noe høyere  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold enn plagioklas og viser også noe mindre variasjon. Ved vannsiget er gjennomsnittsverdien 0,80402 (0,80045-0,81047) og ved avrenningsfeltet 0,81372 (0,80272-0,83015). En del av variasjonen skyldes trolig ulik mengde plagioklas-lameller i de enkelte korn (se avsnitt 7.1.1). Siden kalifeltspat ikke viser tegn til kjemisk forvitring er det lite trolig at Sr-forholdet har endret seg. Kalifeltspatkorn fra forvitringssonen har derfor ikke blitt analysert.

Analyser av uforvitret biotitt viser et sterkt varierende  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold med en gjennomsnittsverdi ved vannsiget på 2,68402 og ved avrenningsfeltet på 7,98011. Analyse av et forvitret biotittkorn øverst i forvitringssonen ved avrenningsfeltet indikerer en sterk nedgang i forholdet til 3,27395.

## 7.5 Diskusjon

Tidligere studier har vist at oppløsningshastigheten for silikatmineraler varierer etter mineralenes krystallstruktur og kjemiske sammensetning (f.eks. Thorseth et al., 1997 og tilhørende referanser). Kvarts, som består bare av Si-oksyd og har sterke tredimensjonale indre bindinger, er svært resistent mot kjemisk forvitring. Feltspat derimot, er mindre stabil, og oppløsningshastigheten øker med økende Al-innhold. Andre viktige kontrollerende faktorer er mengde svakhetssoner og størrelse av overflate som eksponeres for kontakt med vannfasen.

Av hovedmineralene i bergarten på Begby-feltet er det biotitt/kloritt og plagioklas som viser høyest grad av kjemisk oppløsning (Fig. 60). Kvarts og kalifeltspat viser derimot liten-ingen oppløsning. Dette stemmer overens med resultater fra tidligere studier (e.g. Thorseth et al., 1997). Den svake variasjonen i Al-innhold i plagioklas ser ikke ut til å ha påvirket oppløsningsgraden. Teksturene tyder derimot på at oppløsningen hovedsaklig er kontrollert av indre svakhetssoner/uhomogeniteter i form av sekundære mineralgrenser og porer i mineralkornene, forårsaket av den tidligere hydrotermale omdanningen. Det at bergflater under torvdekke viser større grad av kjemisk oppløsning enn eksponerte flater kan skyldes produksjon av  $\text{CO}_2$  og organiske syrer og kompleksdannere i torven (Thorseth et al., 1997).

Selv om kalifeltspat har et liknende Al-innhold som plagioklas, viser mineralet lite tegn til oppløsning. I tidligere studier er stabiliteten til kalifeltspat blitt forklart med at mineralet ofte er nærmere en kjemisk likevekt med vannfasen, og at oppløsningshastigheten dermed blir lavere. En annen viktig årsak her kan være at kalifeltspat har et mye lavere antall av indre svakhetssoner.

De hydrotermalt-dannede mikrosprekkene langs mange korngrenser og på tvers av korn er klart en viktig kontrollerende forvitningsfaktor. Dette skyldes delvis at

de utgjør svakhetssoner i bergarten, men også at de Fe- og sporelement-rike sprekkefasene trolig er mindre resistente mot kjemisk forvitring enn de øvrige mineralene. Økning i sprekkebredde i forvitringssonen kan skyldes både kjemisk oppløsning og fysisk sprenging. Fysisk oppsprenging spiller imidlertid trolig en viktig rolle, både i form av temperaturvariasjoner (frostsprenging) og/eller på grunn av biologisk aktivitet (se avsnitt 4.2.).

Vanligvis representerer korngrenser også svakhetssoner og oppløsnings-hastigheten vil normalt være høyere her. Det at det er flere åpne sprekker i forvitringssonen enn fylte mikrosprekker i uvitret bergart skyldes trolig kjemisk oppløsning langs korngrenser.

Oppløsning langs mikrosprekker og korngrenser og utvidelse av disse fører gradvis til at de enkelte mineraler eller deler av disse løsner (grusvitring). Graden av dette vil trolig variere etter hydrotermal omdanningsgrad og antall mikrosprekker. Siden oppsprekking og omdanning vil være mest omfattende i områder med høyt innhold av biotitt, plagioklas og kvarts vil trolig også grusvitringen være hurtigere her, sammenlignet med områder rik i kalifeltspat. Bergarten på sørsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann, som har størst grad av hydrotermal omdanning og mest mikrosprekker, har også den makroskopisk dypeste vitringssonen.

Selv om forvitringen ikke har gitt påvisbare oppløsningsteksturer dypere en noen få millimeter (Fig. 59), er den makroskopiske forvitringedybden, i form av rødbrun missfarging av kjernenes øvre del, vanligvis fra 1 til flere centimeter dyp (Tabell D.1 og Fig. 52). Den makroskopiske forvitringedybden påvises i lysmikroskop som rustfarge langs mikrosprekker og hydrotermale omdannings-faser (Fig. 55D). Rustfargen skyldes trolig begynnende oppløsning og oksidasjon av jernholdige sprekkefaser, av sekundær epidot i plagioklas, men også av biotitt, kloritt og erts. Økningen i mengde oksydert jern i øvre del av kjernene viser også dette (Tabell D.5). Oppløsningsgraden er imidlertid så liten at det ikke har vært mulig å påvise endringer i den øvrige geokjemiske sammensetningen innenfor en dybde på ca. 4 mm.

Den store variasjonen i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -innholdet i øvre del av kjernen fra vannsig (2) og særlig i kjernen fra sørsiden av innsamlingsfeltet for avrenningsvann, skyldes trolig en irregulær vitringedybde (Tabell D.1). En kan imidlertid ikke utelukke at noe av oksidasjonen skyldes de tidligere hydrotermale omdanningsprosessene.

En svak økning av bergartens  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold i forvitringssonens øverste 1-2 mm, indikerer at en større andel av faser med lavt isotopforhold har blitt oppløst i forhold til faser med høyere isotopforhold. Plagioklas er det hovedmineralet som har lavest isotopforhold. Kalifeltspat har et noe høyere Sr-forhold, mens biotitt har den høyeste verdien. Oppløsningsteksturene viser at det er hovedsaklig biotitt og plagioklas som har blitt oppløst. Isotopforholdet i plagioklaskorn indikerer at forvitringen fører til en økning av forholdet i disse. Kjemisk forvitring av biotitt ser derimot ut til å resultere i et lavere isotopforhold. Innholdet av plagioklas er imidlertid mye høyere enn for biotitt og vil derfor trolig ha større betydning for isotopforholdet i bergarten. Liten oppløsning av kalifeltspat i forhold til plagioklas, vil også føre til at verdien i bergarten øker.

## 7.6 Sammendrag og konklusjoner

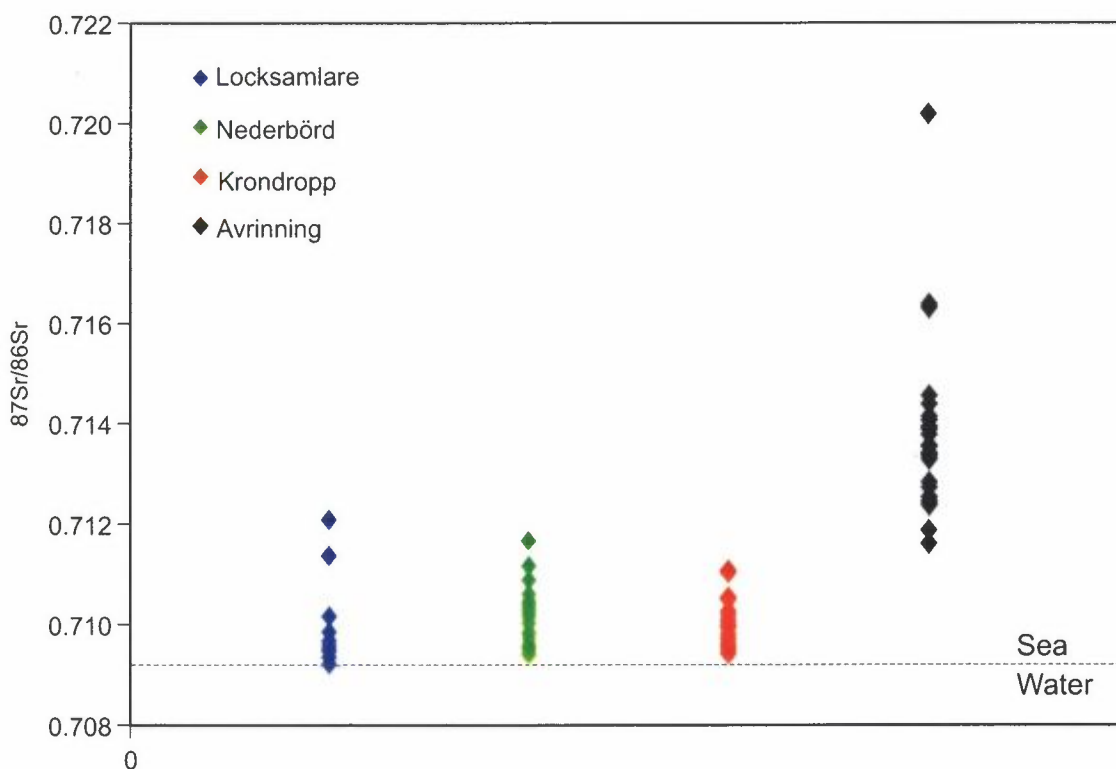
1. Bergarten er en grålig til svakt rosa-grålig, middelskornet (1-5 mm) granitt og består av liknende deler kvarts og plagioklas, noe høyere andel kalifeltspat og mindre mengder biotitt, kloritt og erts-mineraler. Både kornstørrelse og sammensetning varierer en god del, ofte i form av større kalifeltspatkorn og erts- og biotittrike bånd og aggregater.
2. Tidligere hydrotermale omdanningsprosesser har ført til dannelse av en mengde mikrosprekker, fylt med leirmineraler og faser rik på Fe og/eller Ca, P og sporelementer, sausrittisering/serisittisering av plagioklas, klorittisering av biotitt og nedbrytning av allanitt.
3. Makroskopisk sees forvitringen som en >1 –3,5 cm øvre rødbrun – gulbrun sone. I de øvre 0,5–4 mm viser biotitt og plagioklas en begynnende oppløsning. Likeledes er sprekkefaser som er rike i jern, kalsium og sporelementer oppløst, mens mye av leirmineralene fortsatt er tilstede. Mikrosprekkene er dermed ofte delvis åpne i øvre del av forvitringssonen. Bergflater under torv viser større grad av kjemisk oppløsning enn eksponerte flater. I nedre del av forvitringssonen er det vanskelig å påvise noen oppløsning av mineralene. Kjemiske analyser viser imidlertid at forvitringssonen inneholder en økt andel oksidert jern. Rustfargen skyldes da trolig en begynnende oppløsning og oksidasjon av jernholdige mineralfaser. Andre kjemiske endringer har ikke vært mulig å påvise sikkert. Et unntak fra dette er en svak økning i bergartens  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold i øvre del av forvitringssonen.
4. Det at forvitringen i stor grad følger de tidligere dannede mikrosprekkene og de sekundære hydrotermale mineralfasene viser at disse danner svakhetssoner i bergarten. Den hydrotermale omdanningen er dermed en viktig kontrollerende forvittringsfaktor, både for kjemiske, fysiske og biologiske prosesser. Den sterkt varierende forvittringsdybden skyldes trolig ofte at mengde mikrosprekker og omdanning varierer.
5. Åpning av mikrosprekker og porer ved kjemisk oppløsning og eventuelt videre utvidelse og oppsprenging av disse ved fysiske og biologiske prosesser fører til at mineralcornene løsner fra overflaten (grusvitring).
6. Sort misfarging av bergflatene i forbindelse med vannsig skyldes utfelling av en silisium-skorpe. Den kjemiske forvitringen av bergflaten under slik skorpe er tilsynelatende mindre enn ellers på testfeltet. Oppsprekking og flekkvis avskalling av skorpen, hvor biter av de underliggende mineralene også følger med, bryter likevel ned bergflaten over tid.



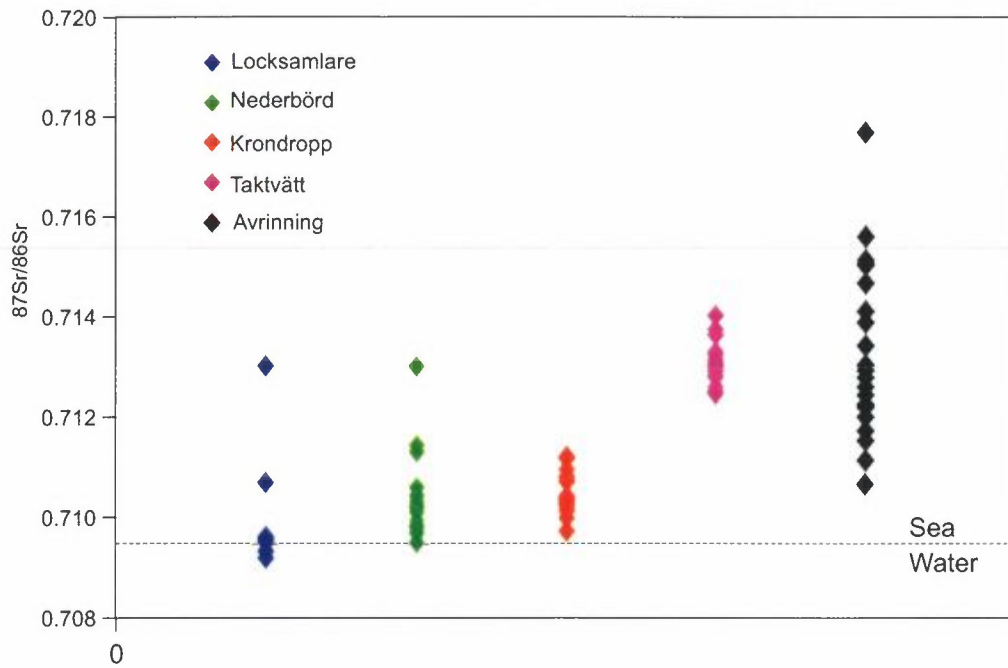
## 8 Isotopförhållande

### 8.1 Analys av nederbörds- och avrinningsprover

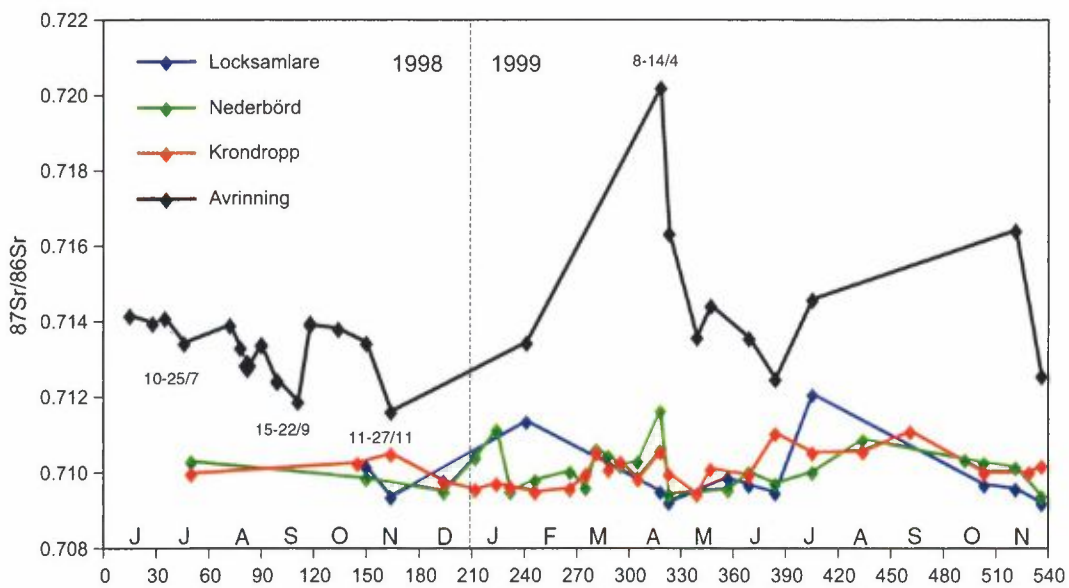
Trots Begbys närhet till havet och att locksamlaren endast är öppen vid regn så har det uppsamlade provet redan kontaminerats med mindre mängder damm och salter som tvättats ur atmosfären av regnet. Detta indikeras av avvikelser i strontium (Sr) isotopförhållanden från havsvatten linjen (Figur 62). Strontium isotop värdena från locksamlaren i Litsleby visar på lägre Sr värden än i Begby och ett starkare inslag från havet (Figur 62). Det är förhållandevis stor spridning i Sr värden för bägge locksamlarna (från 0.710 och uppåt med några spridda extremvärden) som visar hur regnvattnet har kontaminerats till olika grad av dammpartiklar och salter.



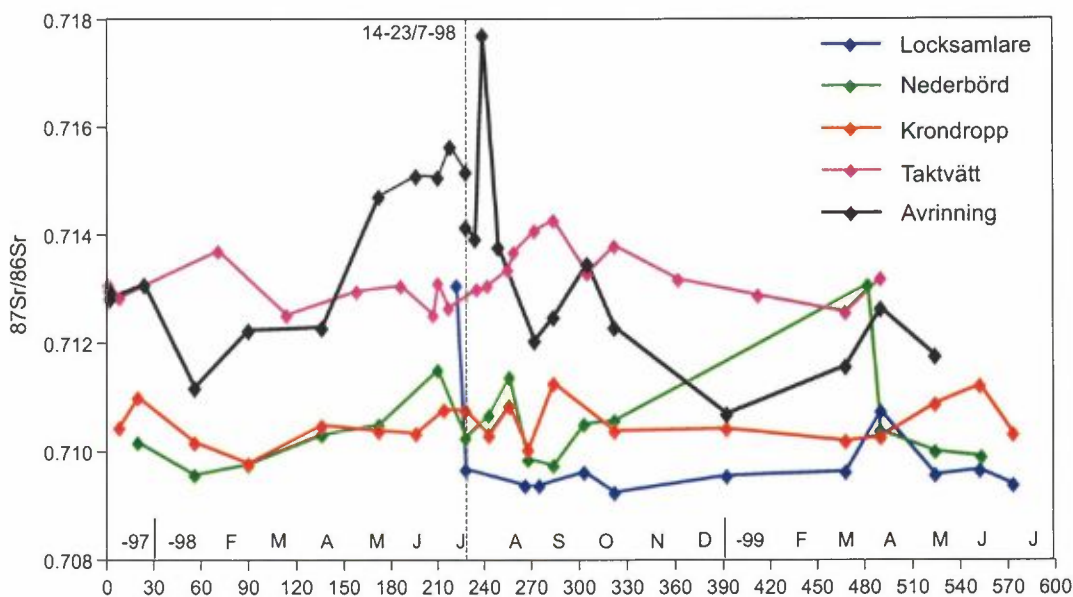
Figur 62: Spridning i Sr-isotopvärden för locksamlare, nederbörd, krondropp och avrinning från Begby, juli 1998 - november 1999.



Figur 63: Spridning i Sr-isotopvärden för locksamlare, nederbörd, krondropp, taktvätt och avrinning från Litsleby, december 1997 - juli 1999.



Figur 64: Variation i Sr-isotopvärden från Begby i 1998 och 1999.



Figur 65: Variation i Sr-isotopvärden på Litsleby från 1997 till 1999.

Nederbördsamlaren på Begby visar en större variation i Sr isotopförhållanden än locksamlaren vilket tyder på mer långtransporterade föroreningar och föroreningar från partiklar, damm och salter. Detta visar att nederbördssamlarna har varit effektiva som insamlare av torrdeposition. Nederbördsamlaren har också större spridning i Sr värden än krondroppssamlaren (Figur 62). Däremot är Sr koncentrationen mycket högre i krondroppet vilket visar att de källor som dominerar isotopförhållandet är inom ett ganska litet intervall. Nederbörden med sin lägre Sr koncentration kan därför lättare påverkas av längre transporterat material med ett annat och avvikande isotopvärde.

Krondropp är den torrdeposition som samlats upp i trädens grenverk (vilka kan ses som stora dammsamlare) och som vid regn sköljs ned på marken, eller i detta fall en krondroppssamlare (typ nederbördssamlare). Den variation i Sr värden som kan ses från Figur 62 är förmodligen beroende på skillnader i vindriktning och olika tillskott av mineralpartiklar/damm från marken. Huvudsakligen västliga vindar från havet ger låga Sr värden beroende på dominansen av havssalter, medan damm och mineralpartiklar från jord och vittrat berg ger högre värden. Det ganska begränsade intervallet för Sr isotoperna av cirka  $0.7100 \pm 0.0005$  i krondroppet tillsammans med höga koncentrationer pekar mot ett lokalt inslag av korttransporterat material som är Ca och Sr rikt. Förmodligen gödsling av de omkringliggande fälten.

Avrinningen som samlats inom en stor provyta på berghällen i Begby visar på en kraftig spridning i Sr förhållanden (Figur 62). Förutom regnvattnet och torrdepositionen (damm, partiklar, salter, aerosoler etc.) så blir det här också ett tillskott från berghällen själv med ett Sr värde på cirka 0.80. Det lägsta Sr isotopvärdet för avrinningen är högre än det högsta Sr värdet från krondroppet och lika det högsta värdet från regnvattnet. Detta pekar mot att den huvudsakliga Sr källan i Begby är bergartshällen och vittringsprodukterna från den.

Samma förhållande mellan de olika insamlade vattnen visas också på provhällen i Litsleby. Men här har det också samlats in vatten genom spolning av hällen under det uppsatta skyddstaket. Värdena på tvättvattnet under tak ligger kraftigt över Sr värdena för kronddropp, nederbörd och locksamlare (Figur 63). Däremot så ligger tvättvattnet mitt på intervallet för avrinningen (referensytan) vilket tyder på influens av andra källor. Skild bergartssammansättning på referensytan respektive under taket samt kraftigare vittring är troliga alternativ då det i de övriga insamlade vattnen inte finns något som pekar på tillskott från varken en kort- eller långtransporterad källa utan att den måste vara mycket lokal.

De förändringar som skett under drygt 1 års Sr analyser på Begby är sammanfattade i Figur 64. Kurvorna för nederbörd och kronddropp sammanfaller under slutet av 1998, men avviker från varandra under årsskiftet 1998-99 för att sedan åter följa varandra. Avrinningen under året har en lite annorlunda utveckling men hela tiden med högre värden än för nederbörd och kronddropp. En jämförelse mellan Figur 62 och Figur 63 visar samma trender men på Figur 63 finns också mätningar av spolvatten från under det uppsatta taket. Samma utveckling under året som i Figur 64 kan följaktligen också ses i Figur 65. Den skillnad i avvik i Sr isotopmätningarna mellan avrinning respektive under tak visar att det sker ett betydligt tillskott i Begby och Litsleby från en annan och mer dominerande källa, i dessa fall bergartsytan.

I avrinningsvärdena 10/7-25/7 1998 från Begby (Tabell 6, Figur 64) ses en markant nedgång i Sr isotopförhållande samtidigt som pH i avrinningen ökat något från 4.9 till 5.3 medan pH i regnvatten ökat extremt till cirka 9.16. Koncentrationerna av Sr, Rb, Ca, Na och  $\text{NH}_4$  fördubblas också i jämförelse med veckorna före och efter. Det mycket höga pH värdet i regnvattnet under tiden 10/7-25/7 samman med förändringarna i övriga element tyder på ett lokalt utsläpp, typ kalkning, eller långtransporterat material som flygaska eller utsläpp från någon annan industriell förbränning?

Nästa motsvarande anomali i Sr isotopförhållande var mellan 15/9-29/9 1998 (Figur 64). En stor skillnad var dock att koncentrationerna för Sr, Rb, Ca och Na istället minskat till 1/10 av de omkringliggande värdena (Tabell 6). Emellertid så var  $\text{NH}_4$  koncentrationen extremt hög liksom att pH i avrinningen gick upp kraftigt från 5.2 till 7.2. Tyvärr fanns inga pH mätningar i regnvatten för den aktuella tiden men den starka pH ökningen i avrinningsvattnet tyder mer på en lokal källa snarare än en långtransporterad. Sambandet mellan de höga ammonium- och pH värdena i slutet av september pekar snarare mot att det skett gödsling med naturgödsel av de åkrar som omger hållristningsområdet.



Tabell 6: Variation i Sr-isotopförhållande, elementkoncentrationer och pH under 2 extrema tillfällen på Begby.

Begby	<sup>87</sup> Sr/ <sup>66</sup> Sr	Sr µg/l	Rb µg/l	Ca mg/l	Na mg/l	NH <sub>4</sub> µM	pH	pH regn
1998								NILU
30/6-10/7	0,7141	1,79	1,44	0,55	0,44	29	4,9	
10/7-25/7	0,7135	2,99	2,18	0,79	0,84	49	5,3	9,16
25/7-11/8	0,7139	1,04	0,84	0,32	0,51	40	5,0	
2/9-15/9	0,7124	2,29	6,00	1,07	23	0	5,2	
15/9-22/9	0,7119	0,30	0,67	0,11	0,54	2790	7,2	
22/9-29/9	0,7139	2,73	1,60	0,88	1,63	64	6,3	
11/11-27/11	0,7117	Extremt	höga	Na + Cl	värden.	200 ggr	15.sep	3,75

Den sista kraftiga negativa anomalien under 1998, mellan 11/11-27/11, motsvaras av bland annat extremt höga Na + Cl värden vilket tyder på att höststormarna satt in med saltspray. Dock är pH värdet i regnvattnet emellertid mycket lågt vilket skulle kunna peka mot att havsalterna åtföljts av långtransporterad sur nederbörd eller utsläpp från industrierna i sydväst.

I en jämförelse av avrinningsvärdena för Litsleby och Begby (Figur 64 och Figur 65) fås liknande trender som t.ex den negativa anomalien 14-23/7 1998, den positiva i mitten av april 1999, och den negativa mellan juni-juli 1999. Det är intressant att det finns så pass stora likheter mellan 2 lokaler med ett geografiskt avstånd på cirka 100 km och med inland- respektive havsmiljö. De negativa anomalierna (mot lägre Sr isotopvärden) skulle kunna förklaras med ett kraftigare inslag av havssalter med ett lågt värde beroende på sydvästliga vindar och de högre värdena kan vara en naturlig bakgrund eller bero på långtransport av föroreningar som då affekterar bägge områdena. För Litsleby ses inslaget av deposition vid jämförelse med den spolade ytan under tak. Speciellt markant 14-23/7 1998 då alla Sr värdena går ned utom under taket där de går upp (Figur 65).

Sommaren 1998 (10/7-22/7) flyttades avrinningsmätningarna från ett område till ett annat inom Litslebylokalen. Avrinningsvattnet från bägge dammarna samlades in parallellt under en vecka och gav mycket skilda resultat. Känsligheten i mätningarna kan ses i Tabell 7 och visar klart hur tillskottet från bergarten, eller dammens läge för avsättning av torrdeposition, inverkar på avrinningsvärdena. Detta visar vikten av att hålla sig till ett väl definierat provområde och för att kunna dra relevanta slutsatser från ett försöksområde är det helt klart att mätningarna måste utföras på samma plats och samma material.

## 8.2 Slutsatser

De värden som erhållits på Begby och Litsleby visar tydligt att det med hjälp av Sr isotoper finns möjlighet att särskilja olika typer av deposition och deras källor. I en jämförelse mellan olika typer av vatten som rent regnvatten samlat i en locksamlare, regnvatten från en alltid öppen vattensamlare, krondropp samlat under träd, avrinning från en bergartsyta, och vatten samlat genom avspolning av bergartsyta skyddat av tak, fås skilda Sr isotopvärden. Förutom vattnets eget värde sker det olika tillskott från partiklar, salter, damm etc. från hav, åkerbruk, trafik, bostäder och industri. Variationen i tillskott från olika källor under året avspeglas i resultaten från analyserna. En viktig erfarenhet från undersökningen var att hålla sig till en definierad provyta under hela undersökningen.

Tabell 7: Förändring i Sr isotopförhållande, elementkoncentration och pH vid flytting av avrinning (Refdam) i Litsleby.

Litsleby	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Sr µg/l	Rb µg/l	Ca mg/l	K mg/l	Na mg/l	pH
1998							
Refdam 10a 10/7-22/7	0,7157	4,92	2,13	0,98	0,50	2,96	4,39
Refdam 12 10/7-22/7	0,7142	0,81	0,27	0,19	< 0,40	0,86	4,79

Vittringen av bergartsytan ger ett kraftigt tillskott till avrinningen och kan lätt ses i skillnaden i spridning i Sr isotopvärden i förhållande till de andra insamlade vattentyperna. En kombination och sammanställning av isotopvärdena tillsammans med andra geokemiska och petrografiska parametrar möjliggör en uppskattning av vittringshastigheten på bergartsytorna i Begby och Litsleby.

Användningen av naturligt förekommande isotopsystem, som strontium, är mycket användbart för att karaktärisera olika föroreningskällor. När sedan källorna och deras tillskott till den totala föroreningssituationen är kända kan man vidtaga de rätta åtgärderna för att reducera utsläppen. Hällristningarna på Begby har ett utsatt läge då de förutom naturlig vittring är utsatta för utsläpp från intilliggande trafik, industri, samt lokala och atmosfäriskt långtransporterade föroreningar.

## 9 Avrinningsstudier på ytan i Begby

### 9.1 Vittring

Vittring av mineral är således starkt avhängig av den omgivande miljön. Vissa joner närvaro inhiberar vittring och vissa andra kan öka densamma. Mätningar av själva vittringshastigheten och elektrolyteffekter blir därför underordnad vid en fältstudie, eftersom detta bättre kan mätas i laboratoriet. En uppfattning om vittringen kan däremot fås genom mätningar av halterna av olika element såsom kisel (Si) och aluminium (Al) vid en fältundersökning. Det är därför av stor vikt att vid fältstudier beskriva den kemiska miljön för hållristningarna, vilken tillsammans med mineralers vittringsegenskaper användes för att bestämma vittringen. Den kemiska miljön skiftar mellan torrdepositionsperioder och våtdepositionsperioder och dessa måste beskrivas var för sig för att kunna utföra beräkningar. Andra miljöer uppstår om ytan överspolas av vatten från t ex ett överliggande skogsområde.

Den miljö som finns på både i Begby och Litsleby är i kemiskt hänseende mycket komplex. Stora variationer har uppmätts i kemi under olika tid och på små avstånd (några meter). Problemet får en annan dimension när beräkningar visar att vittringen av plagioklas de senaste 3000 åren motsvarar betydligt mindre än 1 mm på hällytan. Den kemiska vittringen vid korngränser blir därmed betydelsefull såtillvida att denna kan 'lösgöra' mineralet från sin omgivning. Medelst fysikalisk vittring blir så sedan ett eller flera korn bortplockat från hällytan, vilket också vanligen observeras i hållristningsområden i Bohuslän och Östfold (exempelvis på Aspeberget i Tanums kommun). Transport av vatten in i bergarten och borttransport av joner blir därför av stor betydelse för den kemiska vittringen av korngränser. Den kemiska miljön försvåras ytterligare av att de undersökta områdena (Begby, Litsleby) är omgivna av jordbruksmark.

Det här avsnittet i denna rapport beskriver uteslutande resultat från avrinningsstudier i Begby. Dock, tas det inom rapportens ram fram vissa jämförelser med de resultat som erhållits i Litsleby, särskilt rörande vittringshastigheter. Effekten av avtvättning av ytorna är att man minskar saltkoncentrationer och att man tar bort partiklar och gas som adsorberats på ytorna och har en försurande effekt. Detta skall förhoppningsvis innebära att man erhåller lägre hastigheter på vittringen än en helt oskyddad hällyta. För att kontrollera detta har två provtagningsytor utsetts i Litsleby vilka har liknande geologiska, topografiska samt nederbördsmissiga förhållanden. Den ena ytan är placerad utanför taket och skall motsvara en referensyta utan något som helst skydd. En tredje provyta utsågs i Begby, där framför allt atmosfärens inverkan är olik mot den i Litsleby, men bergarten är mycket jämförbar med den granit som avrinningsytorna ligger på i Litsleby.

### 9.2 Hur kan vittring mätas?

Massbalanser är en av de metoder som är användbar för att mäta vittringshastigheter under fältförhållanden (Paces, 1983). Vittringen bestäms som element M i utlopp från hällytan minus den del som härstammar från deposition ( $nd = \text{nederbörd alltså den uppmätta depositionen i öppna nederbördstrattar}$ ), per tidsenhet och ytenhet:

$$MB = M_{\text{avrinning}} - (M_{\text{nd}}/Cl_{\text{nd}}) * Cl_{\text{avrinning}}$$

Massbalans kan naturligtvis vara olika för olika element. För att kunna beräkna depositionens elementkoncentrationer utnyttjas kloridhalten, dvs för att kunna bestämma tillskottet av deposition till den avrinnande bergytan görs antagandet att allt klorid härör från depositionen och inget från vittringen. Elementkoncentrationerna i avrinningen minskas då med respektive element förhållande till klorid i depositionen relaterat till klorid i avrinningen.

Beroenden av t.ex. temperatur och fuktighet kan sedan bestämmas med olika log-log plottar. Massbalanserna kan också ge information om vilka mineral som vittrar och då visa rimligheten i studiens resultat.

Svårigheterna i metoden ligger i att mätningar måste ske av all tillförsel av ett visst element liksom all uttransport av samma element från ett givet system. Vanligen kallar man tillförsel av ett ämne för källa och uttransport för sänka. Ett system kan sedan vara ett avrinningsområde innehållande jordtäcke och skog eller en avgränsad yta på en berghäll.

Således, avrinning från det givna systemet av vatten liksom tillförsel av vatten (nederbörd) är några av de viktigaste parametrarna när ett flux skall beräknas, dvs elementtransport per tidsenhet och yta. I jordtäckta avrinningsområden kompliceras bilden av att varje element har en residensid och att residensiden för varje element är olika. Detta kan kringås om mätningarna sker under en längre tidsperiod, därför att det då är möjligt att anta att systemet är i ett sk steady-state, vad gäller det biologiska och geokemiska kretsloppet. Den residensid som vattnet har på hällytan är däremot inte den reaktionstid vattnet har med mineralerna. Reaktionstiden bestäms av hur länge hällytan har varit fuktig. Nederbörd fungerar som en tvättningsprocess liknande den tvättning nederbörd har för atmosfären. Mätningar av fuktighetstid måste uppskattas för att kunna beräkna vittringshastigheter i fält. Hänsyn måste även tas till vid vilken temperatur som reaktionen sker, för att jämförelser med laboratorieexperiment skall vara meningsfullt. Olika mineral vittrar olika fort och de vittringshastigheter som mäts i fält är därför ett medelvärde för bergarten eller marken ifråga. För att kunna jämföra laboratorieundersökningar av vittringshastigheter och fältundersökningar krävs därför kunskap om bergartens/markens mineralsammansättning och därmed dess kemiska sammansättning.

### 9.3 Undersökningens strategi

Mäta alla källor och sänkor så att vittringen kan bestämmas. Vittringen mäts både med hjälp av massbalanser av huvudelementen Kisel (Si), Aluminium (Al), Natrium (Na), Kalium (K), Kalcium (Ca), Järn (Fe), Magnesium (Mg) och Mangan (Mn) samt med hjälp av elementkvoter av huvudelementen och spårelement. Isotoper av Strontium (Sr) ska också användas för att bestämma vittringen. För att bestämma vittringen måste också depositionen bestämmas, dvs vad deponeras och i vilken form. Detta görs med isotopbestämningar av svavel samt bestämningar av kloridhalten.

Det skall noteras att koncentrationsförändringar bestäms bättre med elementkvoter om halterna är mycket små. Förfarandet är snarlikt massbalanserna i så motto att

vattenbalansen måste bestämmas mycket noggrant. Isotoper lämnar ett fingeravtryck så att det går att härleda hur stor mängd som vittringen bidrar med i avrinningen. Svavelisotopsammansättningen kommer inte att förändras särskilt mycket genom reaktioner med bergarten utan fungerar som ett utmärkt mått på depositionen. Strontiums isotopkvoter påverkas och förändras med det tillskott som sker från vittring och kommer därför med sin isotopkvotsförändring att ge ett mått på vittring. Depositionens Sr - kvot kommer troligen att variera varför denna måste bestämmas kontinuerligt. Avrinningens Sr - kvot varierar beroende på deposition och reaktionstid med hällyta (vittringstid) varför även avrinningens Sr - kvot måste bestämmas kontinuerligt och noggrant. Uran förekommer mycket sparsamt i depositionen. Stenytan står därför för nästan hela mängden U i avrinningen. Vi kommer därför att göra kontinuerliga bestämningar av U med ICP-MS. Tillämpningen av U kompliceras dock av att U lätt adsorberas eller fälls ut som sekundär fas.

#### 9.4 Metodik

Eftersom takbygget i Litsleby blev försenat ett antal månader och inte blev färdigställt förrän under senhösten 1997 kunde endast projektplanering och inledande arbete utföras under 1997, såsom val av provtytor, provtagande av borrhävar och dyl. I samband med att taket byggdes kunde vi provta 6 st c:a 1 meter långa borrhävar 7 cm i diameter. Efter att taket blev färdigställt på hällen i Litsleby iordningställdes två stycken provtytor (dammar) ca 2 m<sup>2</sup> stora. Dammarna konstruerades av 17 mm silikon slang som fästes vid bergartsytan med silikonlim. Nederkanten på dammarna gjordes i plexiglas i vilken en utlopps slang med en innerdiameter på ca 3 cm är fastsatt i plexiglas. Ifrån denna slang samlas sedan avrinningen in. En damm placerades under taket och den andra på en likvärdig referensyta utanför taket. Samtidigt satte vi upp trattar för insamling av nederbörd (öppen tratt – samlar även torrdeposition) och kron dropp båda i nära anslutning till taket. Därigenom kunde det vattenkemiska arbetet påbörjas i Litsleby.

En del av vårt arbete inom Interreg II projekt 3A har varit relaterat till arbetet i Østfold. Vid mötet i Tanum i början av maj 1998 bestämdes en lämplig arbetsfördelning och en provyta i Begby kunde väljas. Det ankom då på oss att ta hand om och analysera avrinningen från den ytan. Vi ordningställde därför en sluten damm med samma material och storlek som dammarna i Litsleby. Det skall påpekas att ytorna har rengjorts både från organiskt material samt lösa bergartsfragment.

Undersökningarna i Begby påbörjades i slutet av juli, och vi har installerat en locksamlare där samtidigt med att en blev installerad i Litsleby.

Provtagning har gått till på så vis att under tak sköljs ytan av med avjonat vatten, vilket provtas och då innehåller torrdeponerat material samt vittringsprodukter. Medan referensytan i Litsleby och dammen i Begby provtas enbart i samband med regn och då representerar en blandning av nederbörd, torrdeponerat material samt vittringsprodukter. Provtagning ägde rum 1 ggr/vecka eller mer sällan. Själva provtagningen har gått mycket enkelt tillväga genom att vi bytt ut de fyra 5-10 liters plastdunkar som använts för att samla in deposition (Litsleby) och avrinning (Litsleby och Begby). För att vittringshastigheter skall kunna bestämmas är det

nödvändigt att veta ytans storlek och mängden vatten som rinner över ytan och önskvärt att känna till vissa parametrar såsom tiden ytan är fuktig och temperaturen på ytan. Vi märkte tidigt att 5-10 liters dunkar inte förslog alls för att provta avrinnande vatten i Litsleby. För att provta avrinnande vatten ökade vi därför dunkens storlek vid referensytan i Litsleby till 25 l och installerade en våg så att vi skulle få några bestämningar av avrinnande vatten. En 25 liters dunk och en våg installerades därför direkt vid uppstarten av de vattenkemiska undersökningarna i Begby.

#### **9.4.1 Kemisk analysmetodik.**

Katjoner (huvudelement) har analyserats med ICP-OES på Institutionen för geologi och geokemi (IGG) vid Stockholms universitet. Anjoner har analyserats med jonkromatografi (IC) på IGG, spårämnen har analyserats på prover från 1998 på SGAB Analytica i Luleå med ICP-MS och HR-ICP-MS samt på prov 1999 med ICP-OES på IGG. Isotopanalyser av svavel har analyserats med CF-IRMS teknik (Delta+ med Elementaranalysator). Konduktivitet, pH och alkalinitet har blivit analyserade på IGG.

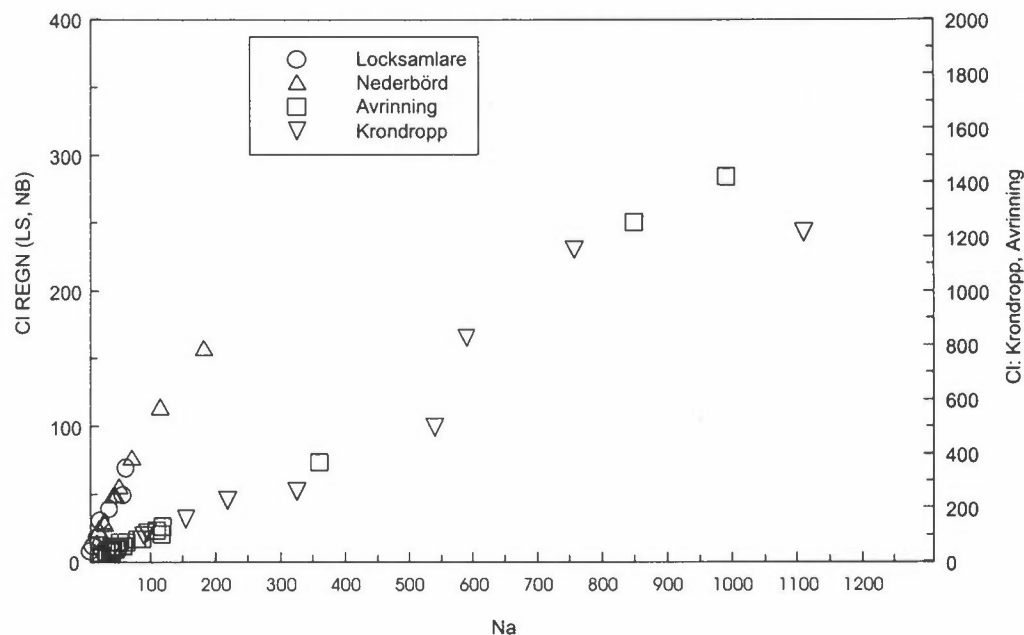
Inte bara avrinningsprover har blivit kemiskt analyserade utan även prov som representerar deposition (krondropp, nederbörd och locksamlare) har blivit analyserade på särskilt kisel och aluminium, men även andra huvudelement, kat- som anjoner.

### **9.5 Resultat och diskussion**

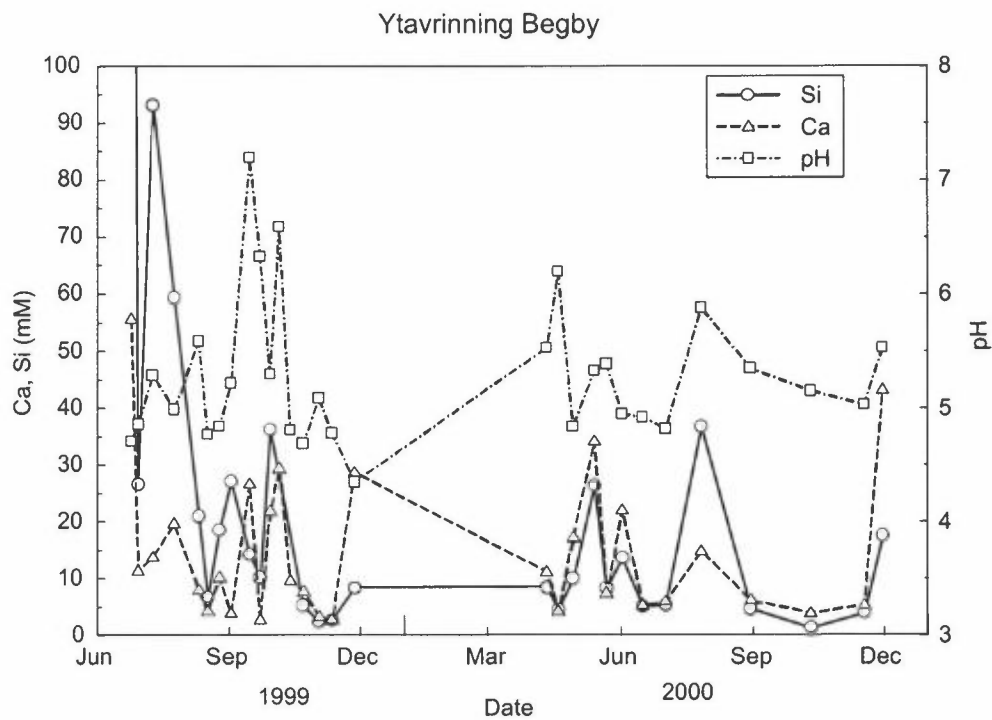
Totalt 30 prov från avrinningen har blivit analyserade från Begby under undersökningsperioden mellan juli 1998 och november 1999, vilket ungefärligen motsvarar den planerade. I tabell E1 finns resultat från alla provtagna vatten på Begby fältet: avrinning, nederbörd (locksamlare, öppna trattar) samt krondropp.

För att ge vattenkemin från Litsleby en kortfattad beskrivning så kan vi säga att alla vatten är tämligen sura utom vattnet som används att tvätta takytan. Krondroppet har ett pH som normalt är under 4 och har ganska hög konduktivitet medan regnets och ref-ytans avrinning pH-värde alltid är under 5 och den senare vid flera tillfällen har ett pH som är lägre än 4 vilket regnet aldrig har. Konduktiviteten är lägst i taktvätt och nederbörd och 1-5 ggr högre i refdammens avrinning. Motsvarande data för pH, konduktivitet och för de flesta element från avrinningen i Begby visar helt jämförbara siffror under motsvarande undersökningsperiod med undantag av pH som är något högre i Begby. Kisel och aluminium halter är mycket jämförbara men något lite lägre i Begby. Si varierar t.ex. mellan 7-90 (förutom första provtagningstillfället)  $\mu\text{M}$  under 1998 att jämföra att 8-130  $\mu\text{M}$  i Litsleby. Detta betyder i klartext att vittringen är någorlunda jämförbar mellan Litsleby och Begby. Vattenkemin illustreras vidare i Figur 66 och Figur 67. Figur 66 visar att natrium och klorid korrelerar och har ett förhållande som är praktiskt taget detsamma som i havsvatten oavsett vilket vatten som undersökes. Figur 67 beskriver variationen i vattenkemi med avseende på pH, kisel och kalcium halt under hela den ett och ett halvt år långa undersökningsperioden. I figuren kan man se en viss tendens till negativ korrelation mellan högt och låga halter av Ca och Si, vilket inte är så konstigt

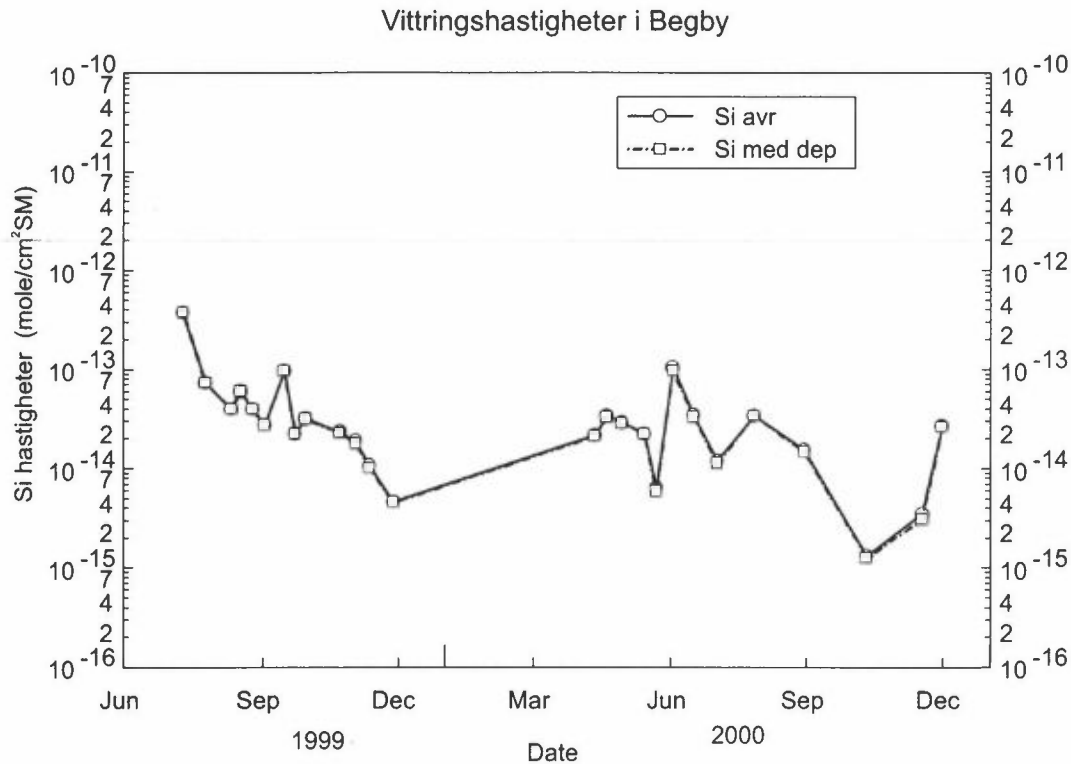
eftersom upplösningshastigheten är som lägst vid svagt sura till neutrala pH (White och Brantley, 1995).



Figur 66: Jämförelse mellan olika vatten i Begby och korrelationen mellan Na och Cl som har samma förhållande som havsvatten



Figur 67: Kalcium och kiselconcentration samt pH variationer under hela undersökningsperioden från juli 1998 – november 1999



Figur 68: Vittringshastigheten i Begby beräknad som maximal vittring med deposition borträknad eller medtagen (under hela undersökningsperioden från juli 1998 – november 1999). Som synes blir skillnaden inte märkbar i diagrammet

Beräkningarna för den kemiska vittringshastigheten i Litsleby och Begby leder till några av de viktigaste resultaten i denna studie. Det visar sig nämligen att vittringshastigheten för kisel är 37 ggr snabbare utanför taket än under detsamma. Bland annat har de kemiska vittringshastigheterna baserad på urankoncentrationen blivit beräknad preliminärt, men ingen hänsyn har därvid tagits till den partikulära fasen (det som finns på filtren). Resultaten från beräkningen ger för referensytan en upplösnings-hastighet på  $1.43 \cdot 10^{-12}$  mol/cm<sup>2</sup>/s baserat på U jämfört med  $1.14 \cdot 10^{-13}$  mol/cm<sup>2</sup>/s baserat på Si dvs 12 ggr högre. För takyten blev resultaten  $2.39 \cdot 10^{-14}$  mol/cm<sup>2</sup>/s respektive  $4.64 \cdot 10^{-15}$  mol/cm<sup>2</sup>/s alltså 5 ggr högre baserat på U än Si, men 60 ggr lägre för takyten än referensytan. Motsvarande data från Begby med avseende på Si och hela den undersökta tidsperioden (juli 1998-nov 1999) ger värden mellan  $5 \cdot 10^{-15}$  mol/cm<sup>2</sup>/s och  $3 \cdot 10^{-13}$  mol/cm<sup>2</sup>/s och ett medelvärde för vittringshastigheten under hela perioden som är  $4.5 \cdot 10^{-14}$  mol/cm<sup>2</sup>/s och alltså tämligen jämförbara data med Litsleby Figur 68. Dessa resultat pekar på att vittringshastigheten är ett hundratal ggr fortare än den som uppmäts i laborieförsök, vilket inte är korrekt utan snarare är den maximala vittringshastighet vi beräknar där vi inte tar hänsyn till varken torrdepositionens storlek eller den specifika ytans storlek. Nya resultat pekar också på att vittringshastigheten i fältförsöket på Litsleby är något lägre än i laborieförsök (10ggr, detta är det normala fallet vilket visar att forskningen fungerar), i alla fall med en jämförelse för Ca utlösningshastighet från graniten och upplösningen av plagioklas på labbet. Detta om vi använder den specifika ytan som är bestämd



ifrån BETanalys (ytan blir mer än 1000ggr större). I analogi med Litsleby så skulle naturligtvis en bättre bedömning av den specifika ytan troligtvis ge samma resultat för Begby.

Uppenbarligen är det så att skillnaderna i kemisk vittringshastighet mellan ytorna i Litsleby och mellan Litsleby och Begby kan förklaras genom de fysiska och kemiska parametrarna som är verksamma på ytorna, nämligen temperatur, och pH eftersom vi erhåller en mycket god korrelation mellan temperatur och vittringshastighet (jfr pH ovan). En annan parameter som spelar stor roll är vattenflödena.

Vittringskinetik och mekanismer har studerats i detalj vid Inst. för geologi och geokemi, Stockholms universitet för de enskilda mineral, som utgör huvuddelen av graniten i Bohuslän. Det har visat sig att vittringsmiljön är mycket viktig för hastigheten av den kemiska vittringen. Enligt rapporter till RAÄ (1994-1995) har pH och salt stor inverkan på vittringshastigheten för ingående mineral. Fältspater vittrar snabbt i sura lösningar men har ett minimum i upplösningshastighet runt pH=6-7 (se t.ex. Schweda, 1990; Sjöberg, 1989). Detta minima ligger för kvarts vid pH=3-4. I basiska lösningar ökar vittringshastigheten vid närvaro av Li, Na och K för både fältspat och kvarts, medan i sura lösningar inhiberas istället vittring av deras närvaro. Skiktmineral som flogopit och biotit lakas preferentiellt på K vid låga pH i omgivningen, men vid tillsats av K i lösningen inhiberas upplösningen. Detta innebär att vittringen inhiberas om vattenlösningen är i jämvikt eller snarare i ett kemiskt "steady state" med mineralet eller bergarten.

I både Tanum och Begby kan både pH och saltkoncentrationer periodvis ha lokalt extrema värden men det visar sig att koncentrationen i avrinningen nästan aldrig är så stor att den skulle påverka vittringshastigheten nämnvärt.

Vissa element från vittring och deposition, som Fe och Mn, kommer att ha stor affinitet till lermineral som finns på hällytorna och kommer därför adsorberas. En del element, som tex Al, Fe och Mn kommer eventuellt att fällas ut som sekundära mineral i analogi med resultat som erhållits ifrån Litsleby, där gibbsit visade sig vara stabilt under taket, och möjligen kan fällas ut på ytan. De kommer då eventuellt att få negativa eller felaktiga massbalanser.

Provtagning av hällmaterialet är nödvändigt efter provtagningsseriens avslut för att tolkning av vittringen skall vara möjlig. Borrkärnor kan vara intressant, men pga den korta provtagningsserien så kommer förmodligen skillnaden från innan vara ytterst liten. Däremot borde det vara möjligt att provta sekundära faser på hällytorna. Vid bergartsbestämelsen kan lermineral andelen bestämmas så att en uppfattning kan fås om möjlig adsorptionsförmåga.

Andra element som K, kommer att tas upp av organiskt material så att de försvinner ur massbalanserna. Vi antar att denna förlust är försumbar eftersom en stor del av det organiska materialet är borttaget.

## 9.6 Slutsatser

Vi föreslår att skillnaden i kemisk vittringshastighet mellan ytorna och mellan Litsleby och Begby kan förklaras genom de fysiska och kemiska parametrarna

som är verksamma på ytorna, nämligen temperatur och pH eftersom vi erhåller en mycket god korrelation mellan temperatur och vittringshastighet (jfr pH ovan). En annan parameter som spelar stor roll är vattenflödena.

## 10 Biologisk materiale på bergflatene og i forvittringssonen

### 10.1 Biologisk materiale på bergflatene og i forvittringssonen: Begby, Østfold

#### 10.1.1 Lavvegetasjon

I overgangen mellom makrovegetasjonen og de lavbegrodde bergflatene dominerer ulike mosearter. Mosedekket avtar ofte gradvis ut over bergflaten. På den åpne og skyggefrie flaten forekommer det kun enkelte spredte moseindivider, med unntak av enkelte store sprekker og forsenkninger der moser dominerer helt. På selve helleristningsflatene er det lav som dominerer. En representativ lavbegrodd bergflate fra Begby er vist på Figur 69. Det ble registrert totalt mellom 20 og 30 lavarter (Tabell 8). Generelt dominerer skorpelav (ca. 15 arter), men flekkvis forekommer også en del bladlav (ca. 6 arter). Busklav forekommer kun sporadisk (ca. 2 arter). De fleste registrerte artene vokser spredt over hele feltet og bare et fåtall av artene dominerer over større flater. Av skorpelav er det *Rhizocarpon lecanorinum*, en nær slektning av kartlav, og *Aspicilia caesiocinerea* ("gråsteinslav") som dominerer. Andre vanlige skorpelav er *Acarospora fuscata*, *Lecanora intricata*, *Lecidea fuscoatra* og *Rhizocarpon* spp. Navlelaven blærelav (*Lasallia pustulata*) og stiftnavlelav (*Umbilicaria deusta*) vokser ofte sammen med bladlaven brunberglav (*Cetraria commixta*). Stiftsteinlav (*Xanthoparmelia conspersa*) forekommer spredt rundt hele feltet, og er den mest dominerende blant bladlavene. Andre registrerte bladlav er blant annet skålskjærgårdslav (*Neofuscelia pulla*) og grå fargelav (*Parmelia saxatilis*). Som nevnt ble det registrert få busklav på feltet. Kun enkelte individer av saltlav (*Stereocaulon* spp.) ble registrert på selve bergflatene, mens ulike begerlav (*Cladonia* spp.) forekommer sammen med mosene.

I vannsigene er det lite eller ingen lavvegetasjon (Figur 70). Hvor mye lavvegetasjon det er i vannsigene avhenger av hvor lenge og hvor mye vann som renner over flatene. De flatene som var oftest overrislet med vann var overgrodd av cyanobakterier, alger og/eller ikke-lavdannende sopp, mens flater som er tørre i lengre perioder kan være flekkvis overgrodd av lav.

#### 10.1.2 Biologisk materiale i forvittringssonen

Ut fra en vurdering i felt ble 4 av de registrerte artene valgt ut for å undersøke bergarten under lavthallus med hensyn til forvitring og inntrenging/mengde av biologisk materiale. For å undersøke om det er forskjell mellom ulike vekstformer så vel som mellom arter ble det valgt ut 2 skorpelav og 2 bladlav. Det ble valgt lav med ulike vekstformer fordi de festes forskjellig til substratet (Figur 71), en faktor som kan ha innvirkning på graden av påvirkning på berget. Bladlav festes til substratet ved hjelp av rhiziner eller haptere, mens skorpelav festes til substratet med hyfer fra margsjiktet. Navlelav festes til underlaget i en sentral festeskive, en navle.

De 4 undersøkte artene er arter som er svært vanlige på bergflatene på Begby. Disse artene er: Bladlavene blærelav (*Lasallia pustulata*, navlelav) og stiftsteinlav (*Xanthoparmelia conspersa*), samt skorpelavene *Lecidea fuscoatra* og *Rhizocarpon lecanorinum*. Dybde for utvikling av åpne mikrosprekker og porer i forvittringssonen og inntrengningsdyp og relativ mengde av biologisk materiale i

sprekker/porer under de ulike artene er gitt i Tabell 9. De åpne sprekkene går dypere under skorpelav enn under bladlav, henholdsvis ca. 3.0 og 2.0 mm. Et unntak er rett under navlen hos blærelav hvor de åpne sprekkene er ca. 5.0 mm dype.



*Figur 69: Lavdekket bergflate ved WETCORR-feltet på Begby.*



*Figur 70: Lavvegetasjon ved et vannsig på Begby.*

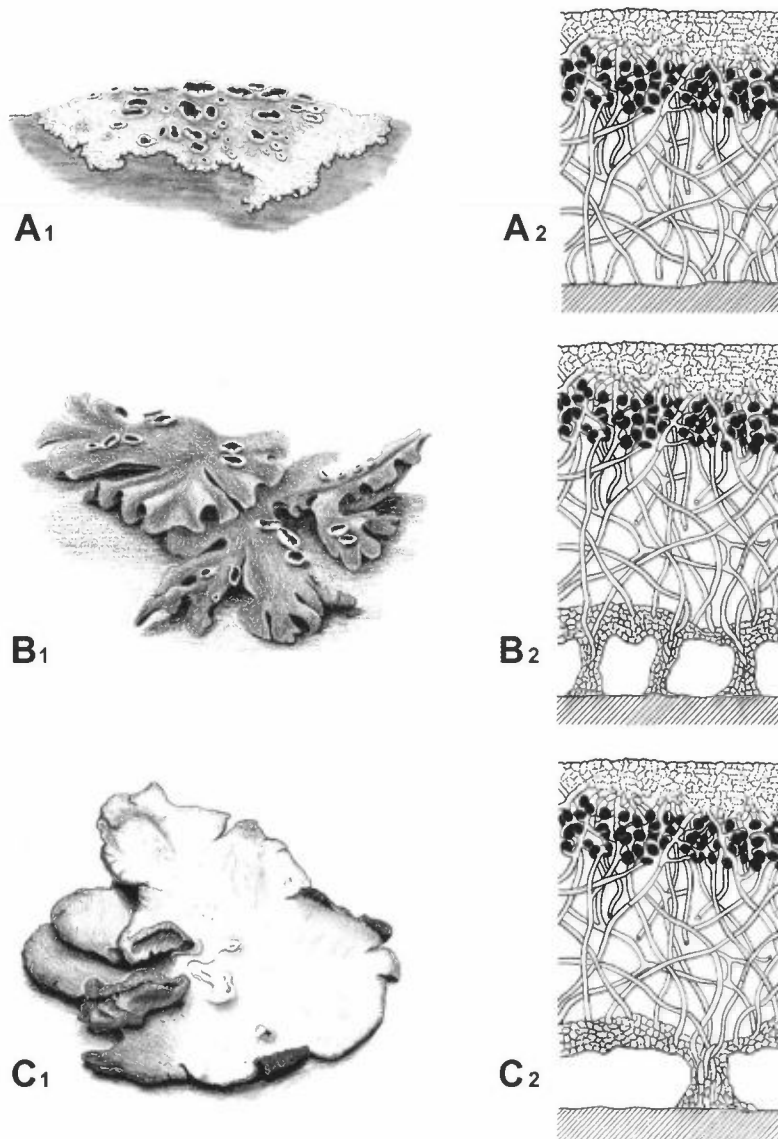
Tabell 8: Registrerte lav på Begby feltet, 17. september 1998.

ARTER	Innenfor avrenningsfeltet	Like utenfor avrenningsfeltet	Ved beholder for avrenningsvann	Området mellom avrenningsfelt og WETCORR-felt	Innenfor WETCORR-feltet
<i>Acarospora fuscata</i> (skorpelav)				x	x
<i>Aspicilia cacaesiocinerea</i> (skorpelav)	x	x		x	
<i>Aspicilia cinerea</i> (skorpelav)	x		x	x	
<i>Carbonea supersparsa</i> (?) (skorpelav)			x		
<i>Cetraria commixta</i> - brunberglav (bladlav)					x
<i>Cladonia rangiferina</i> – grå reinlav (busklav)					x
<i>Cladonia spp.</i> - begerlav (busklav)			x		
<b>Lasallia pustulata</b> – blærelav (bladlav/navlelav)		x	x		
<i>Lecanora intricata</i> (skorpelav)		x	x		
<b>Lecidea fuscoatra</b> (skorpelav)			x		x
<i>Lepraria neglecta</i> (skorpelav)		x	x		x
<i>Neofuscelia pulla</i> - skålskjærgårdslav (bladlav)				x	
<i>Parmelia saxatilis</i> - grå fargelav (bladlav)		x			x
<i>Pertusaria excludens</i> (skorpelav)				x	
<i>Pseudephebe pubescens</i> - vanlig steinskjegg (busklav)				x	
<i>Porpidia platycarpoides</i> (?) (skorpelav)				x	
<i>Rhizocarpon eupetraeum</i> (skorpelav)				x	
<i>Rhizocarpon geographicum</i> (skorpelav)			x		x
<b>Rhizocarpon lecanorinum</b> (skorpelav)		x			
<i>Rhizocarpon platycarpoides</i> (skorpelav)				x	
<i>Rhizocarpon cf. subgeminatum</i> (skorpelav)		x	x		x
<i>Stereocaulon sp.</i> - saltlav (busklav)			x		x
<i>Umbilicaria deusta</i> - stiftnavlelav (bladlav/navlelav)		x	x		x
<b>Xanthoparmelia conspersa</b> – stiftsteinlav (bladlav)			x		x

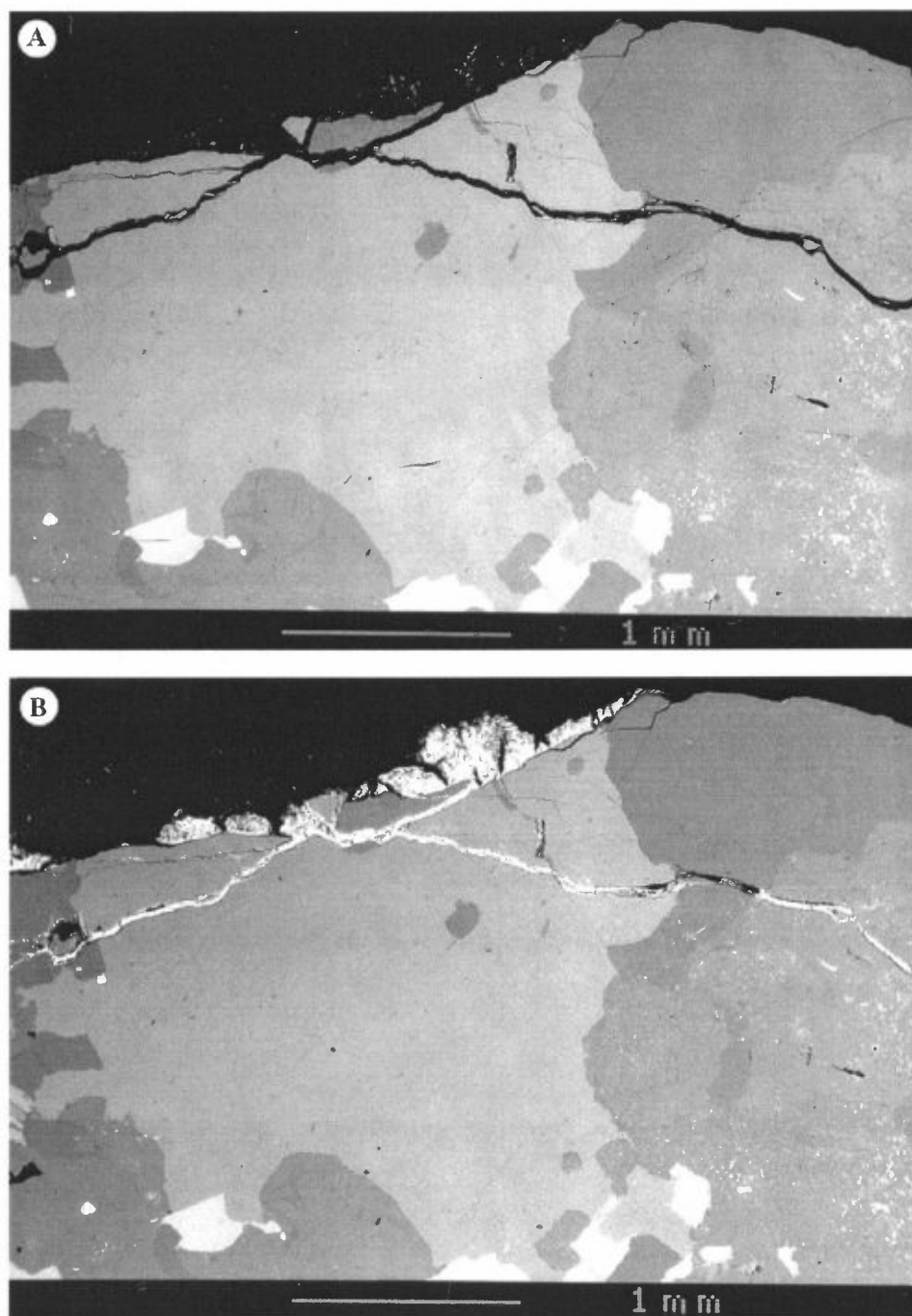
Arter hvor bergarten under thallus er undersøkt med hensyn til forvitring er skrevet med uthevet skrift.

Tabell 9: Forvittringsdybde og inntrengingsdyp/mengde biomasse i forvittringssonen.

	Makroskopisk forvittringsdybde (fargeendring); mm	Dybde for markert åpne sprekker; mm	Inntrenging av biologisk materiale i forvittringssonen; mm	Relativ mengde biomasse i forvittringssonen
<b>Lasallia pustulata</b> – blærelav (bladlav/navlelav)	5.0 – 9.0	2.0 – 5.0	1.5 – 3.0	en del under navlen, ellers lite
<b>Xanthoparmelia conspersa</b> – stiftsteinlav (bladlav)	3.0 – 12.0	0.5 – 2.0	0.5 – 1.0	varierende, noen sprekker er fylt, andre har bare spor
<i>Lecidea fuscoatra</i> (skorpelav)	3.0 – 4.0	2.5 – 3.0	2.0 – 3.0	fyller helt de fleste sprekker
<i>Rhizocarpon lecanorinum</i> (skorpelav)	2.0 – 5.0	2.0 – 3.0	1.0 – 3.0	fyller delvis de fleste sprekker
under torv	5.0	3.0 – 4.0 (?)	5.0	øverste sone (0.5 mm) <u>uten</u> biomasse, nederste sone fylt
nord for avrenningsfelt	20.0			
sør for avrenningsfelt	20.0 – 40.0			
vannsig 1: innenfor	2.0 – 6.0			
vannsig 2 (v/WETCORR): -innenfor	3.0 – 4.0			
-utenfor	5.0			

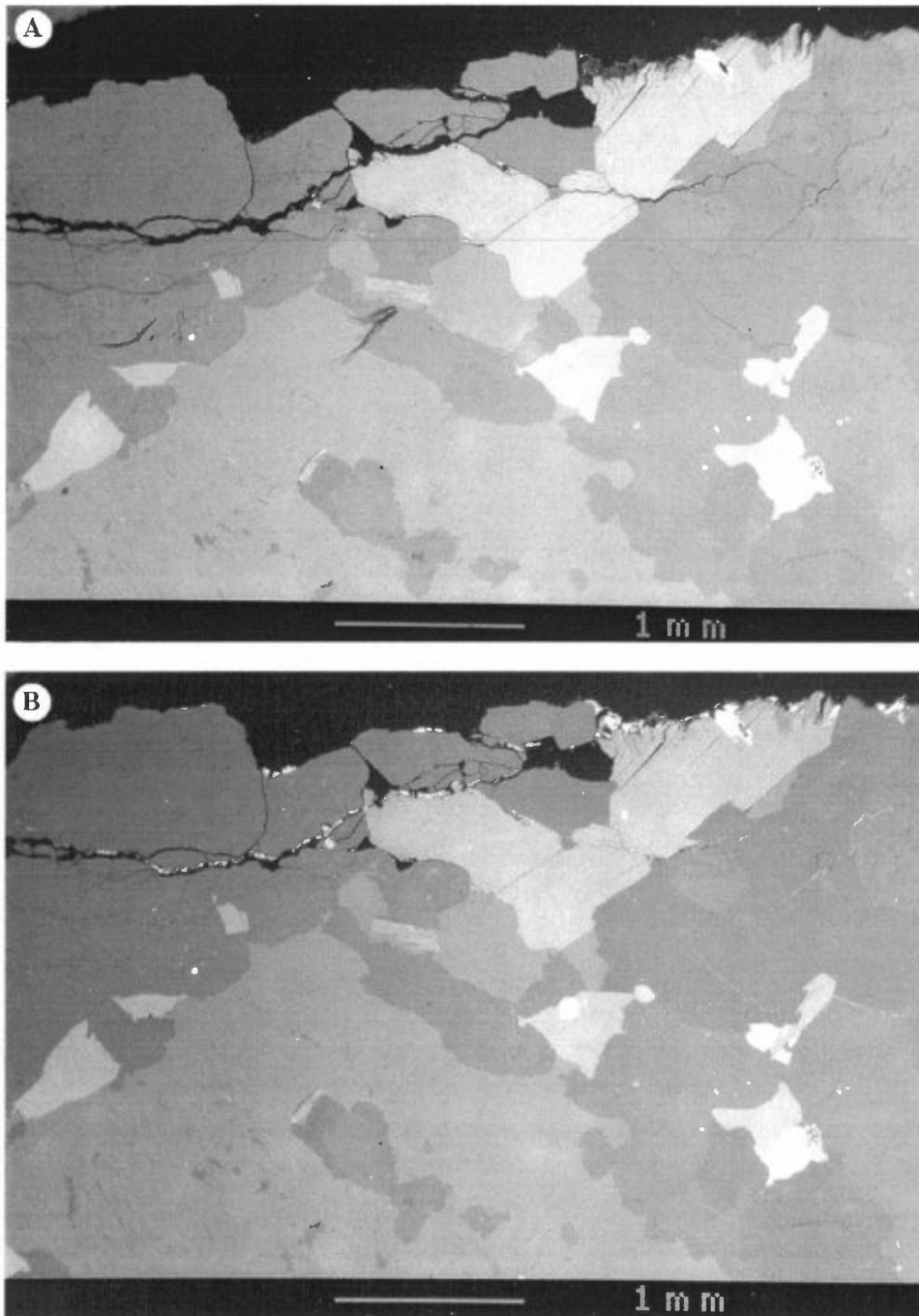


Figur 71: Festefunksjonen til ulike vekstformer hos lav; (A) skorpelav, (B) bladlav og (C) navlelav (tegnet av B.H. Ingvartsen).



Figur 72: Backscatter-bilder (SEM) av et forvittringsprofil under *Lecidea fuscoatra* før (A) og etter farging med bly-citrat (B).

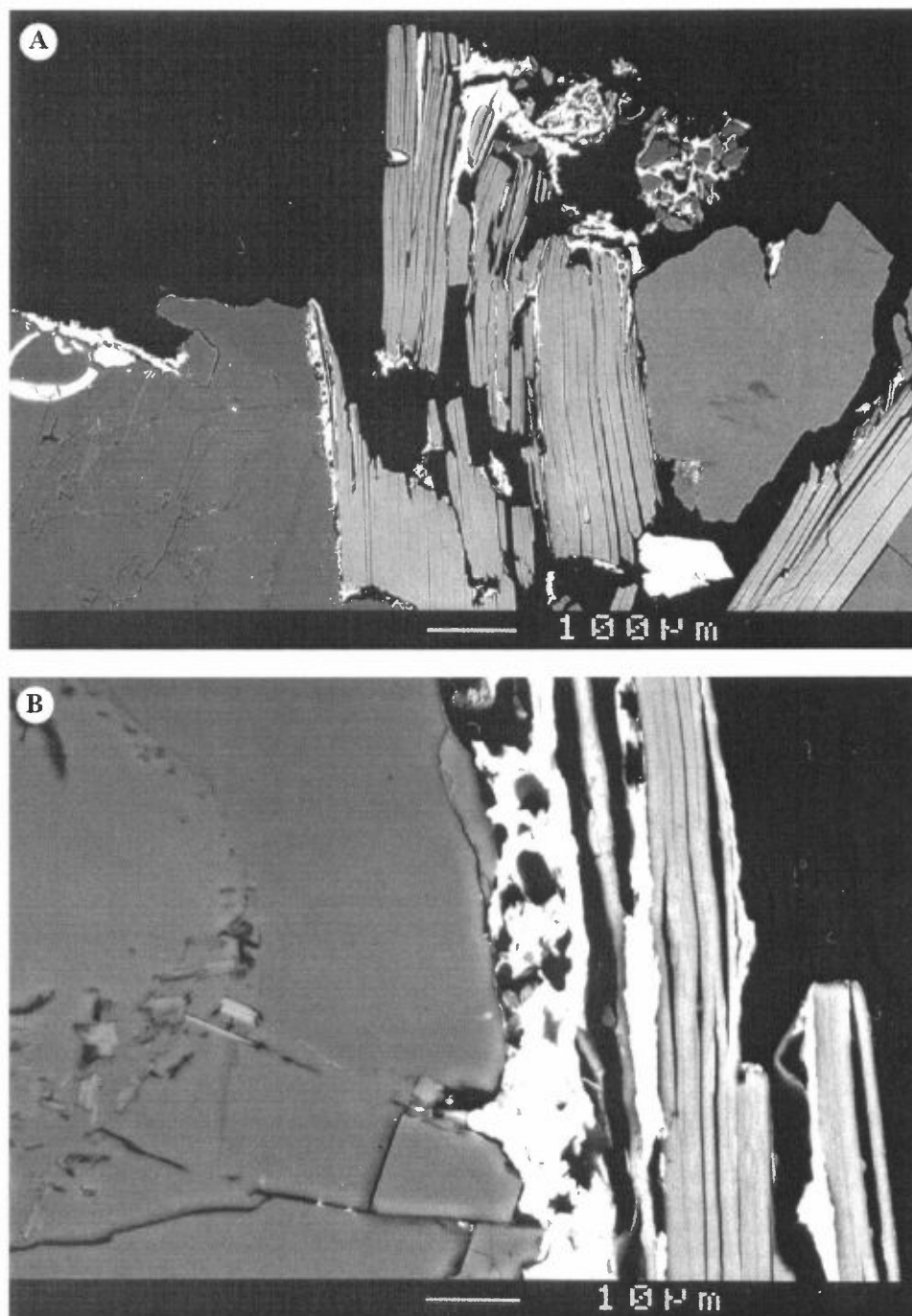
Det er generelt mer biologisk materiale og inntrengingen i sprekken er dypere under skorpelav enn under bladlav, henholdsvis ca. 3.0 og 1.0 mm. Figur 72 viser mengden biologisk materiale i et forvittringsprofil under *Lecidea fuscoatra*, henholdsvis før (A) og etter farging med bly-citrat (B). De øverste mineralalkornene i forvittringsprofilet under laven er infiltrert av hyfer. Som Figur 73 viser er mengden biologisk materiale i forvittringsprofilet under stiftsteinlav (*Xanthoparmelia conspersa*) betraktelig mye mindre enn under skorpelaven (Figur 72). Under blærelav (*Lasallia pustulata*) er det også generelt lite sopphyfer i forvittringssonen, men det forekommer en god del hyfer like under navlen.



Figur 73: Backscatter-bilder (SEM) av et forvittringsprofil under stiftsteinlav (*Xanthoparmelia conspersa*) før (A) og etter farging med bly-citrat (B).

I tillegg til at hyfene trenger inn i porer og sprekker i forvittringsprofilen, kan de også penetrere mineraler. På grunn av et perfekt kløv er glimmerkorn spesielt utsatt for infiltrering av hyfer. Biotittkornene like under lavthallus er alltid infiltrert av sopphyfer, uavhengig av hvilken art som vokser på berget. Figur 74 viser hvordan sopphyfene til *Lecidea fuscoatra* infiltrerer et biotittkorn øverst i forvittringssonen.

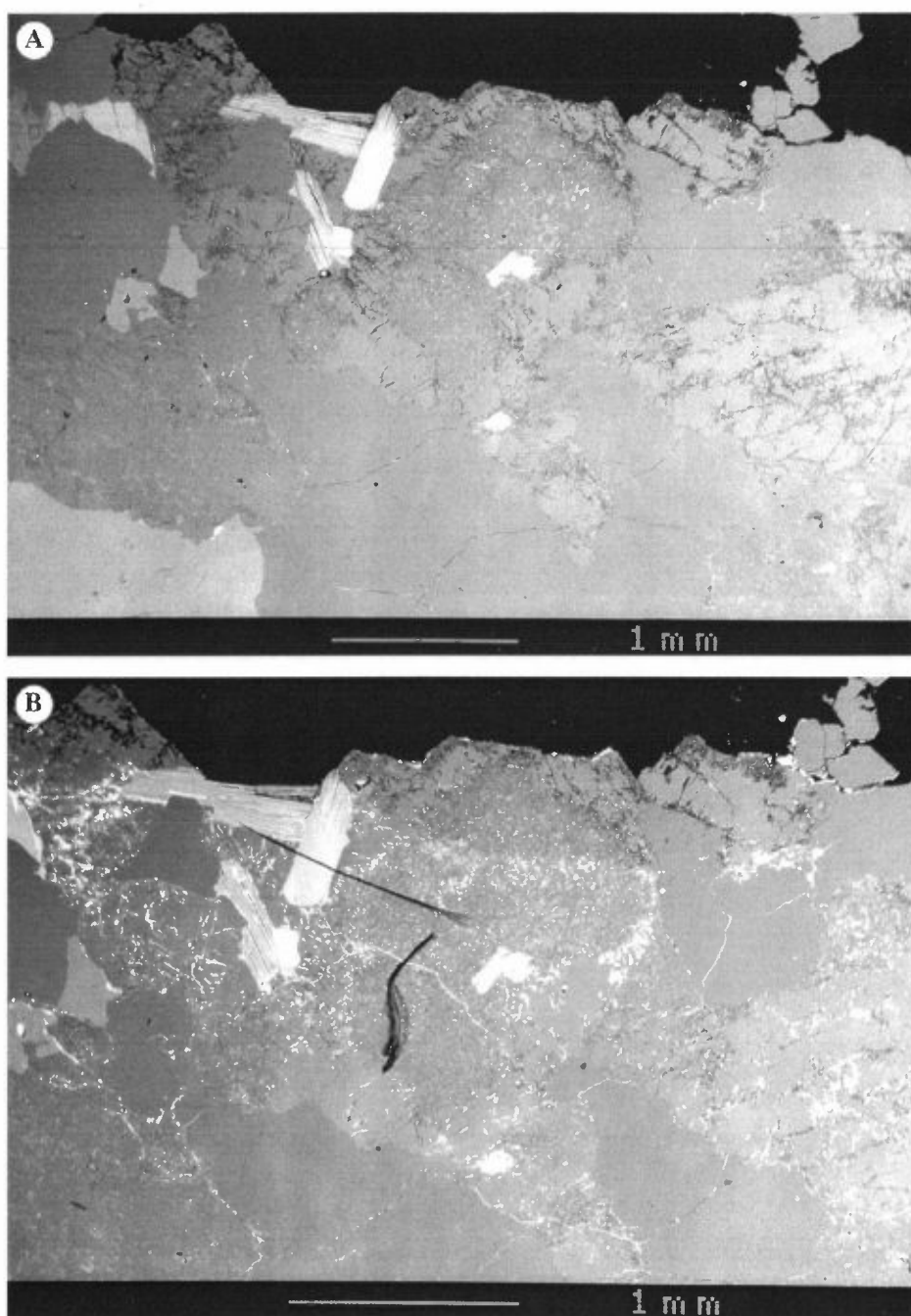




Figur 74: Backscatter-bilde (SEM) av et biotittkorn som er infiltrert av sopphyfer i forvitringssonen under *Lecidea fuscoatra*.

### 10.1.3 Biologisk materiale i forvitringssonen under torvdekke

Det er mye åpne mikrosprekker og porer i forvitringssonen i kjernen som er tatt under torvdekke. Figur 75A viser et backscatter-bilde (SEM) av forvittringsprofilen under torv. Dybde for utvikling av åpne sprekker og porer i forvitringssonen er 3.0 mm. I de øverste 0.5 mm av profilet mangler det biologisk materiale, men de åpne sprekkene under denne sonen er fylt av biologisk materiale (Figur 75B).



Figur 75: Backscatter-bilder (SEM) av et forvittringsprofil under torvdekke før (A) og etter farging med bly-citrat (B).

#### 10.1.4 Biologisk materiale i Si-skorpe tilknyttet vannsig

En detaljert beskrivelse av strukturen til Si-skorpen er gitt i avsnitt 7.1.2. Analysene i SEM indikerer at Si-skorpen inneholder dels store mengder mikroorganismer. Undersøkelse med fluorescensmikroskop viste imidlertid ingen autofluorescens fra alger eller cyanobakterier. Den mikrobielle veksten må derfor bestå av sopp og/eller bakterier.

## 10.2 Diskusjon

Biologisk/mikrobiologisk aktivitet kan føre både til mekanisk desintegrasjon og kjemisk forvitring av mineraler og bergarter på flere ulike måter. Mekanisk forvitring forårsaket av lav skjer ved ekspansjon og kontraksjon av sopphyfene til laven ved temperatur- og fuktighetsforskjeller. Den kjemiske forvitringen tilskrives produksjon av oksalsyre og andre reaktive lavstoff (Thorseth et al. 1997, og referanser i denne).

Analysene av borekjernene viser at mikrosprekkene og porene øverst i forvitringssonen under skorpelav er fylt av hyfer. Enkelte steder er det sopphyfene til laven som holder mineralkornene sammen. Når sopphyfene trenger ned i den allerede forvitrede granitten kan de på denne måten bidra til videre oppsprekking og desintegrasjon av bergoverflaten. Vekst av hyfene kan føre til separering av mineralkornene, ved at de "løftes opp" fra substratet og infiltreres i lavthallus. Disse mineralkornene, samt de øverst i forvitringssonen, faller av når laven dør eller fjernes fra substratet. Kornstørrelsen i granitten er relativt stor, mellom 1-5 mm. Store korn som løsner og faller av fra substratet vil derfor kunne gi synlige små "groper" på bergoverflaten.

Bladlav festes ikke så hardt til substratet som skorpelav og det er derfor mindre biologisk materiale i forvitringssonen under bladlav enn under skorpelav. Det er derfor sannsynlig at denne vekstformen også har en mindre nedbrytende effekt på substratet i forhold til skorpelav.

Selv om det ikke ble observert biologisk materiale i hele forvitringssonen under lav, kan det ikke utelukkes at det finnes mindre mengder dypere ned. Sprekkefyllingene i granitten er ofte anriket på tunge elementer som fremtrer som lyse partier i SEM med backscatter. Det er derfor vanskelig å se om sprekkene inneholder biologisk materiale.

I vannsigene er det lite eller ingen lavvegetasjon, blant annet fordi det er vanskelig å etablere seg i et vannsig. Noen lavarter er riktignok tilpasset å være oversvømt av vann, men i de undersøkte vannsigene er det hovedsaklig cyanobakterier, alger og/eller ikke-lavdannende sopp som vokser.

Under torv er det relativt mange åpne mikrosprekker og porer i forvitringssonen. Porene og sprekkene nær overflaten er rene, mens det er en del organisk materiale igjen dypere ned i forvitringssonen. Årsaken til at det mangler biologisk materiale i de øverste 0.5 mm i profilet under torvdekke, er at det har forsvunnet i perioden etter at torven ble fjernet og til borekjernen ble tatt.

Tildekkingsforsøket på Litsleby viste at ved overdekking forsvinner det biologiske materialet fra forvitringssonen (se Tabell 12). Borekjernen under torvdekket på Begby indikerer imidlertid at porene fylles igjen etter en stund med overdekking. Når bergflaten er dekket av lav er det sopphyfer som utgjør størsteparten av biomassen i forvitringssonen. Ved tildekking av torv dør laven på grunn av lysmangel. Etter en tid vil også hyfene til laven i forvitringssonen forsvinne. Habitatforholdene i forvitringsprofilet under torven endres gradvis og andre typer mikroorganismer vil etter hvert utgjøre biomassen i forvitringssonen.

### 10.3 Konklusjoner

- Lavvegetasjonen på Begby domineres av skorpelav, men det forekommer flekkvise partier med bladlav.
- Skorpelav trenger dypere ned i forvitringssonen (2-3 mm) enn bladlav, bortsett fra like under navlen hos navlelav.
- Det er mer organisk materiale i mikrosprekker og porer under skorpelav enn under bladlav.
- Biotittkorn like under lavthallus er ofte infiltrert av soppfyfene til laven.
- Porene og sprekkene nær overflaten i forvitringssonen under torv er rene, mens det er en del organisk materiale igjen dypere ned i forvitringsprofilen.
- Den svarte Silisium-skorpen inneholder dels store mengder mikroorganismer, sannsynligvis sopp og/eller bakterier.

## 11 Registrering av biologisk vekst i forbindelse med skjøtsels-tiltak

### 11.1 Gjennomføring

Prosjektet startet opp våren 1998 og ble avsluttet desember 1999. Overdekkingsforsøket startet opp sommeren 1998, og dette førte til oppfølgende feltarbeid hvilket omfattet undersøkelser, registrering og innhenting av prøver tre ganger (høst -98, vår -99 og høst -99).

Prosjektarbeidet har omfattet feltarbeid på de to forsøksfeltene i Begby, Østfold og Litleby, Tanum. Etter klarering med prosjektledelsen, ble selve feltforsøkene konsentrert til Tanum for å utnytte resursene maksimalt.

Aktuelle aktiviteter er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Aktiviteter inne delprosjekt om biologisk nedbrytning av stein.

Deloppgave	Innhold
Tilstandsanalyse av aktuelle prøveflater i Østfold/Tanum	<i>Deloppgave 1</i> I. Registrering av tilstand II. Prøvetaking III. Dokumentasjon av tilstand IV. Vurdering av tilstand V. Anbefaling av aktuelle tiltak VI. Oppfølgingsrutiner
Laboratoriearbeid	<i>Deloppgave 2</i> I. Prøveanalyse II. Dokumentasjon av etablert vekst
Felt./labforsøk	<i>Deloppgave 3</i> I. Fjerning av begroing (mekaniske, kjemiske, biologiske metoder; aktive/passive tiltak) II. Oppfølging av nyetablering III. Tildekking (metodikk, uttesting, oppfølging)
Vurdering	<i>Deloppgave 4</i> I. Oppsummering av felt-/lab.forsøk II. Vurdering og konklusjon III. Rapportarbeidelse

## 11.2 Resultater

### 11.2.1 Feltregistrering

De to flatene er relativt like i topografi, himmelretning og naturtype. Inngående beskrivelse av geologi og klimatiske forhold beskrives av andre prosjektdeltakere (IFE, NILU, samt til dels av UiB).

Generelt ligger begge feltene i et småkupert område med blanding av skog, bebyggelse og jordbruksbygd. Bergflatene har en vestvendt eksponering. Tett opp mot feltene er det spredt blandingsskog, med dominans av furutrær mens selve bergflatene er relativt åpne og uten høyere busker/trær (Figur 14A og B).

### 11.2.2 Område 1

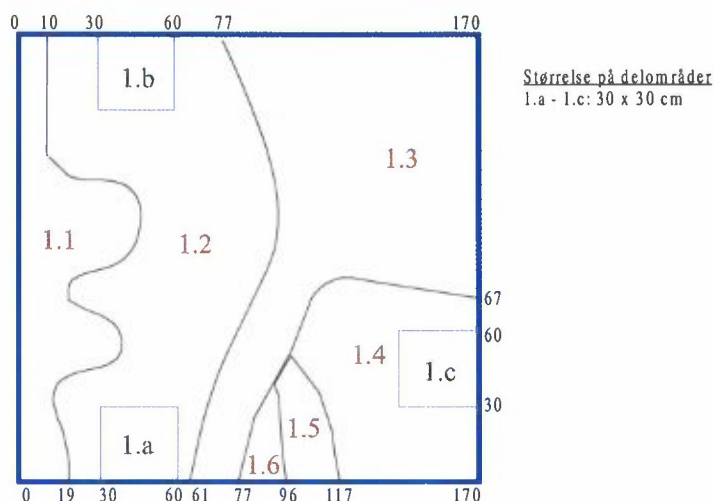
Innenfor takets dekningsområde, ble en representativ flate med referansepunkter valgt ut. Prøveflaten er forskjøvet opp fra den vereksponeerte veståpningen.

Selve prøveflaten ble delt inn i seks delområder (1.1-1.6) (Figur 76), basert på den makroskopiske fordelingen av ulike felt med begroing. Generelt sett, viste flaten tydelige tegn til å være relativt nylig rengjort for jord, gress og planter, ved at det er lite begroing av mikroorganismer. Dette var synlig i samtlige tre delfelt, hvor det var relativt lite begroing.

Veksten på bergflaten besto hovedsakelig av en tynn, overflatisk misfarging med svartbrun grunnfarge. I tillegg var det spredt forekomst av kartlav (*Rhizocarpon* Spp.), enkelte kolonier av *Xantaparmelia centrifuga* og *Lasallia pustulata*. I tillegg var det registrert en koloni av *Aspicilia caeciocinerea*.

Kontaktprøvene vise en rik flora av mikroorganismer. Prøveresultatene fra kontaktprøvene er vist i Tabell 11. Det var en rikelig vekst av mange av de vanligste muggsopper (arter/slekter) som er å finne i utendørs prøver. Det ble identifisert følgende sopper: *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *C. macrocarpum*, *C. sphaerospermum*, *Eurotium herbariorum*, *Fusarium* sp., gjærsopp, *Mucor* sp., *Penicillium* spp. og trolig *Trichoderma viride*. I tillegg var det en del sterilt soppvev, som ikke kunne identifiseres.

Det var ikke tegn til noen spesiell fordeling av mikroorganismene i disse prøvene.



Figur 76: Skisse over registrert vekst i prøveflate 1, under tak, Litsleby.

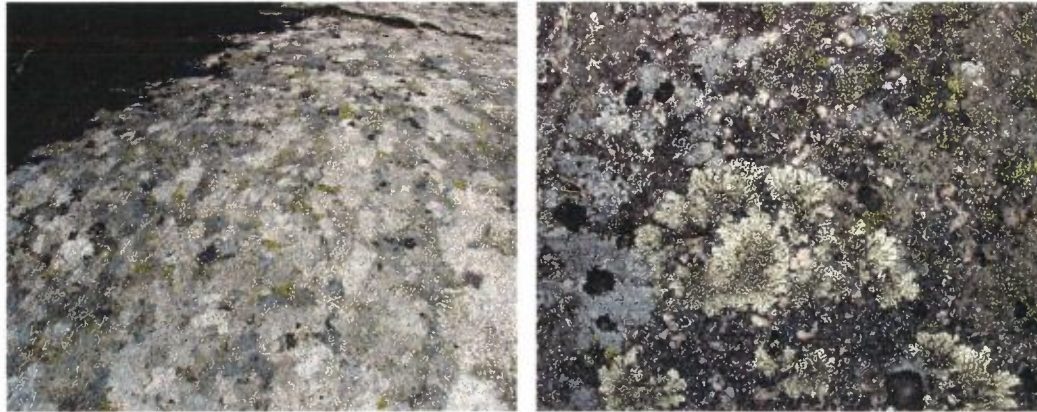
### 11.2.3 Område 2

Dette området skulle ikke utsettes for noen spesiell eksponering, men fungere som et kontrollfelt. Flaten var tydelig preget av vannsig. Dette førte til at fordelingen av mikrobiologisk vekst var klart avgrenset i fire felt (2.1-2.4).

Felt 2.1 hadde en tydelig brunsvart misfarging, men ingen synlig vekst av lav. Felt 2.2 hadde en lite overvokst flate, noe som skyldes jevnlig oversig av vann fra tungen med vegetasjon et par meter ovenfor. Felt 2.3 var rikelig bevokst med kartlav, mens felt 2.4 hadde en kraftig, generell forekomst av skorpelav og enkelte bladlav, hovedsakelig innen slekten *Parmelia* samt *Lasallia pustulata*. I høyre del av felt 2.4 var det et område med lite vekst, noe som så ut å skyldes nylig avdekking (fjerning av jord/vegetasjon) av området.

### 11.2.4 Område 3

Dette området hadde tydelig og kraftig vekst av ulike lavarter med rikelig forekomst av *Aspicilia cinerea*, *A. caesiocinerea*, *Xantoparmelia centrifuga*, *Lasallia pustulata* og *Umbilicaria polyphylla* (Figur 77). Det var også her mulig å registrere en brunsvart misfarging på bergflaten i de områder hvor det ikke forekom spesielt kraftig vekst av lav.



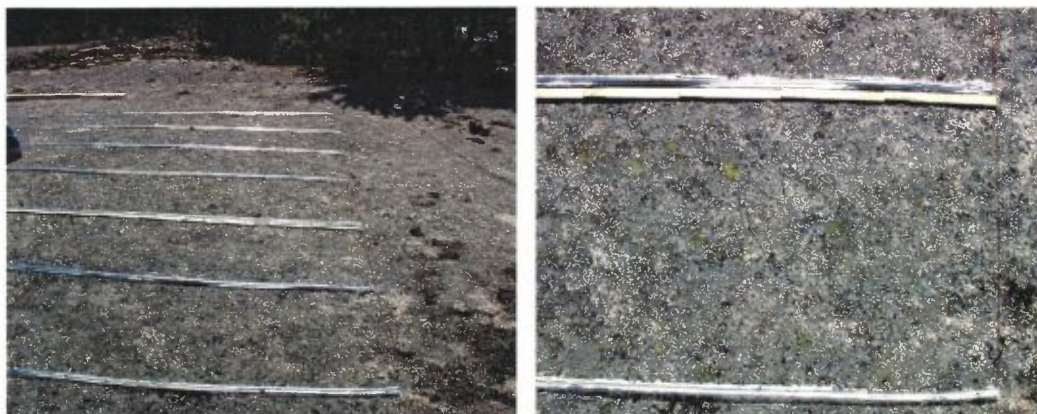
A

B

*Figur 77: A) Bergflate i prøveområde 3 før overdekking, med jevn, dekkende vekst av skorpelav.*

*B) Skorpelav dominerer, men stedvis var det bladlav, mose og høyere planter (lyng, gress).*

Overdekkingsforsøket ble lagt i forbindelse med en mest mulig ensartet bergflate med hensyn til oveflatestruktur, og eksponering (Figur 78).



A

B

*Figur 78: A) Overdekkingsforsøket, med seks delfelt ble plassert på mest mulig ensartet overflate og med lik eksponering for sol, nedbør og tilsig.*

*B) Detalj av foto A. Overflaten var 100% dekket med skorpelav.*



Tabell 11: Resultat av feltundersøkelse i Litsleby, før overdekking.

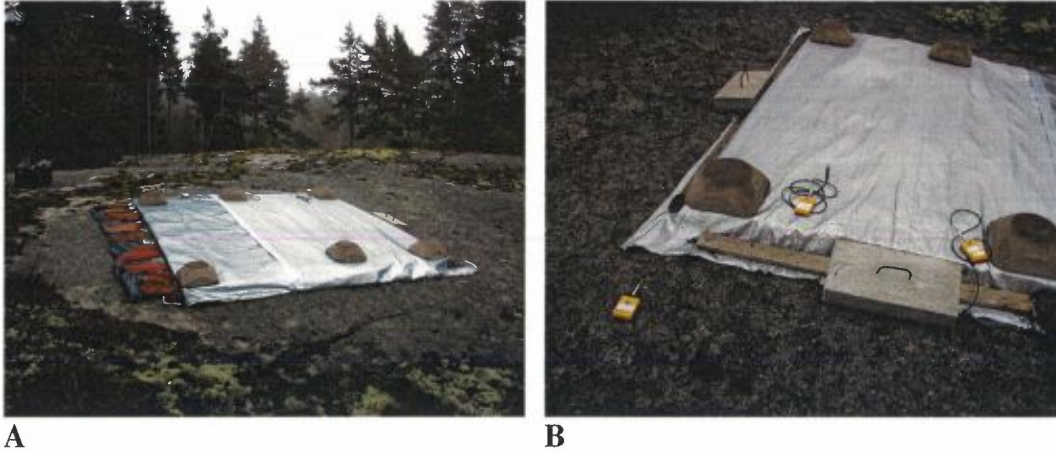
Sted	Medium	Observasjon
1.1	DG18	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium spp.</i> , <i>Penicillium (cf. chrysogenum)</i> , hvitt sterilt mycel.
1.1	DG18	<i>Cladosporium spp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> , hvitt sterilt mycel, gjærsopp, <i>B. cinerea</i>
1.1	MA	Gjærsopp, hvitt sterilt mycel
1.2	MA	Flere typer av gjærsopp, hvitt sterilt mycel.
1.3	DG18	<i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>C. herbarum</i> , <i>Penicillium sp.</i>
1.3	MA	Noe <i>A. pullulans</i> , gjærsopp, sterilt mycel
1.3	DG18	<i>C. herbarum</i> , <i>Penicillium, cf. verucosum</i> , gjærsopp
1.3	DG18	samme som raden ovenfor, samt <i>Eurotium herbariourm</i>
1.3	DG18	samme som raden ovenfor
1.3	MA	<i>Mucor, cf. plumbeus</i> , gjærsopp, <i>Penicillium spp.</i>
1.3	MA	se raden over
1.3	MA	Sterilt hvitt mycel, noe gjærsopp
1.4	MA	Gjærsopp, sterilt hvitt mycel
1.5	MA	se 1.4
1.5	MA	se 1.4
2.1	DG18	<i>Penicillium griseofulvum</i> , gjærsopp
2.1	MA	Gjærsopp, sterilt mycel
2.1	DG18	<i>B. cinerea</i> , gjærsopp, <i>A. pullulans</i>
2.1	MA	Gjærsopp
2.1	MA	<i>Mucor sp.</i> , sterilt mycel, gjærsopp
2.2	DG18	Gjærsopp i ulike former, sterilt mycel
2.2	MA	Gjærsopp
3.1	MA	se 2.2
3.1	MA	se 2.2

### 11.3 Overdekkingsforsøk

#### 11.3.1 Avdekking 23.9.98

Den første avdekkingen skjedde etter drøyt to måneders eksponering (fra 16. juli til 23. september 1998). I øvre del av overdekkingen ble det foretatt fuktmåling i flere delfelt (Figur 79). Generelt sett kan det sies at temperatur og fuktforholdene på overdekkingen og fjellet var relativt like, med raske svingninger i forhold til værforholdene. Da målerne ble lagt ut var det tåke, men etter hvert som solen brøt frem så steg temperaturen og fuktigheten sank. Under overdekkingen i delfelt 1, 4 og 5 var det like forhold med hensyn til at det var tilnærmet 100% relativ luftfuktighet og jevn temperatur rundt 16-18°C.

Ved avdekking var det en godt synlig effekt under samtlige delfelt med hensyn til overflatevekst av lav (Figur 79). Variasjoner var imidlertid synlige, og den tilsynelatende beste effekten var under overdekkingen av torvmose (delfelt 5) og jord på fiberduken (delfelt 3). Under disse to delfeltene var skorpelaven tilnærmet helt vekk. I tillegg var store deler av det svarte belegget (som trolig er forårsaket av en uidentifisert mikrosopp) blitt borte, slik at selve granitt-overflaten var synlig.



*Figur 79: A) Avdekking skjedde fra nedre del og oppover.*

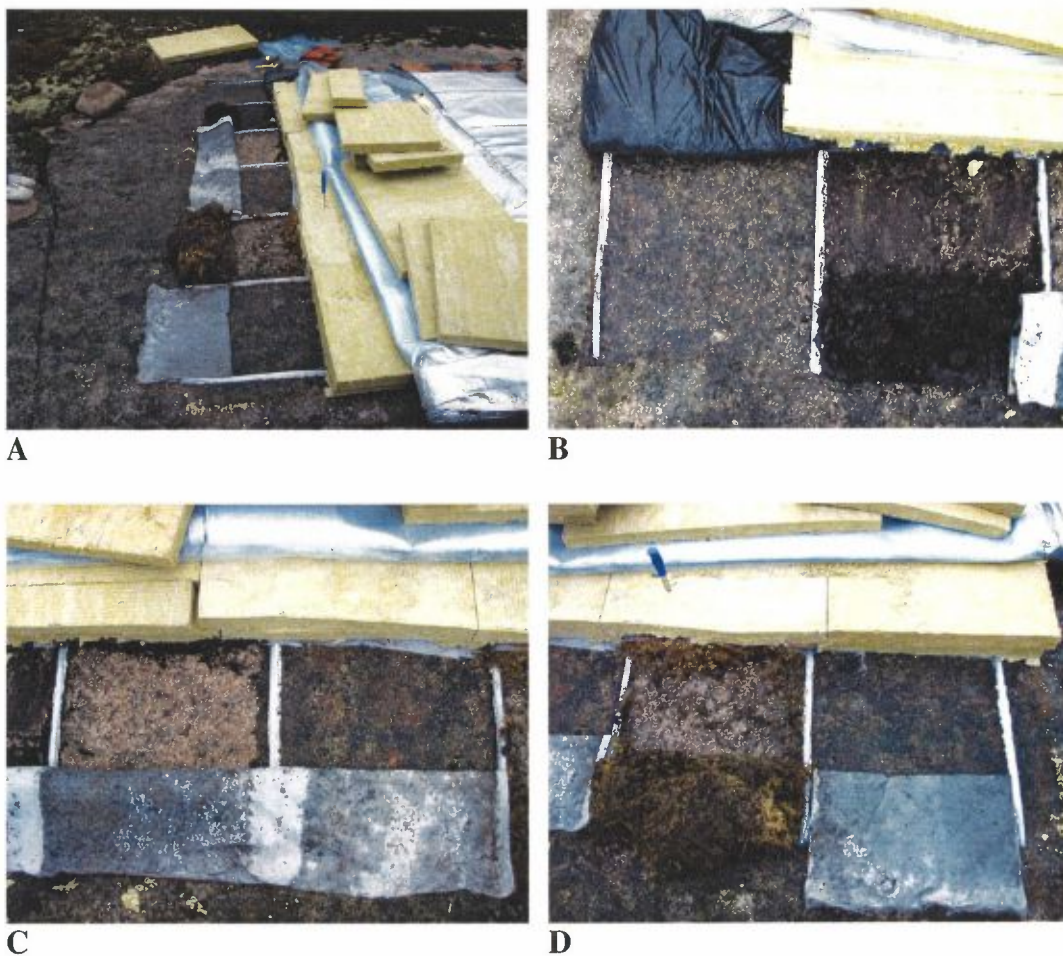
*B) Måling av temperatur og relativ luftfuktighet under overdekking ble utført i forbindelse med avdekkingsarbeidet.*

Mindre synlig effekt, men fortsatt godt synlig, var det under overdekkingen med plastsekker (delfelt 1), hvor skorpelaven var borte, men en varierende grad av svart misfarging fortsatt var synlig. Stedvis gjenværende skorpelav og mer tydelig felt av svart misfarging var det fortsatt under de øvrige overdekkingene; under jord direkte på fjellet (delfelt 2), minst synlig effekt var det under overdekkingene med isolasjon (delfelt 4 og 6).

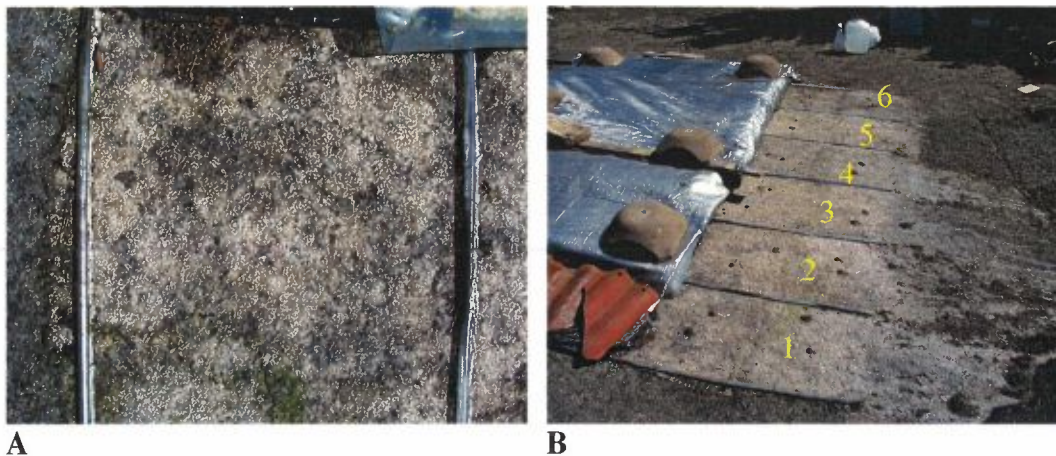
### **11.3.2 Avdekking 6.5.99**

Denne avdekkingen ble utført etter ca. 9,5 måneders overdekking. Inn mot overdekkingen, og særlig på nedsiden var det etablert vekst av grønnalger (Figur 80A). Et nytt område på ca. 0,5 meter ble avdekket fra nedre del av prøvefeltet.

Det viste seg at flatene i dette området hadde et tilsvarende utseende som etter den første avdekkingen; hvor den klareste effekten var å se under torvmosen og jorden som lå på fiberduken. Det var fortsatt noe tegn til den svarte misfargingen i bergflaten – særlig under overdekkingen i delfelt 1, 2, 4 og 6 (Figur 80B).

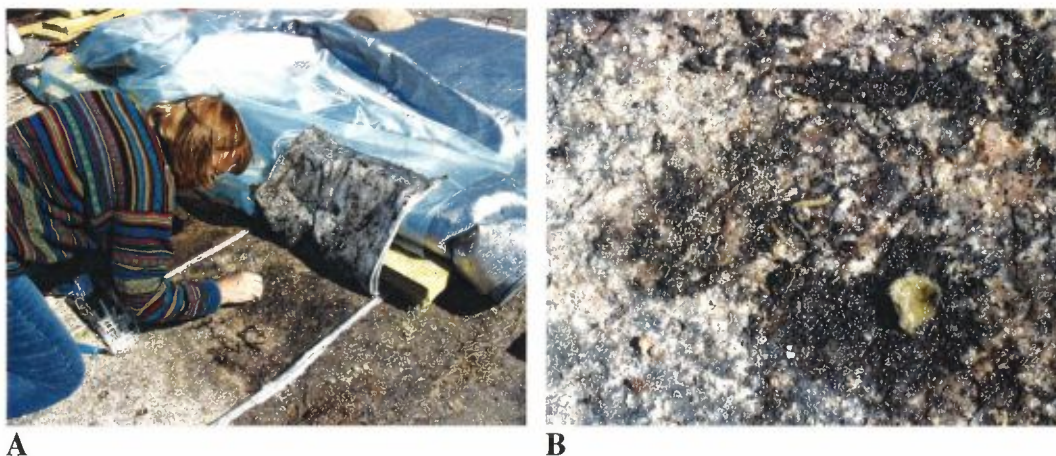


Figur 80: A) Avdekking etter drøyt to måneders overdekking. Størst synlig endring er det under felt 3 og 5.  
 B) Under overdekkingen i delfelt 1 og 2 var skorpelavene stort sett borte, men fortsatt en misfarget overflate.  
 C) I delfelt 3 (venstre) var både skorpelavene og misfargingen tilnærmet borte. I delfelt 4 var det noe skorpelav og en del svart misfarging.  
 D) I delfelt 5 var forholdene som i delfelt 3, mens det i delfelt 6 var omtrent som delfelt 1, 2 og 4.



Figur 81: A) Avdekket delfelt med overdekking av plastsekker som var fylt med jord. I nedre del har det vokst grønnalger p.g.a. vedvarende fuktighet. B) Oversiktsbilde etter avdekking. En variasjon i gjenværende misfarging av bergflaten er synlig, med minst vekst på delfelt tre og fem.

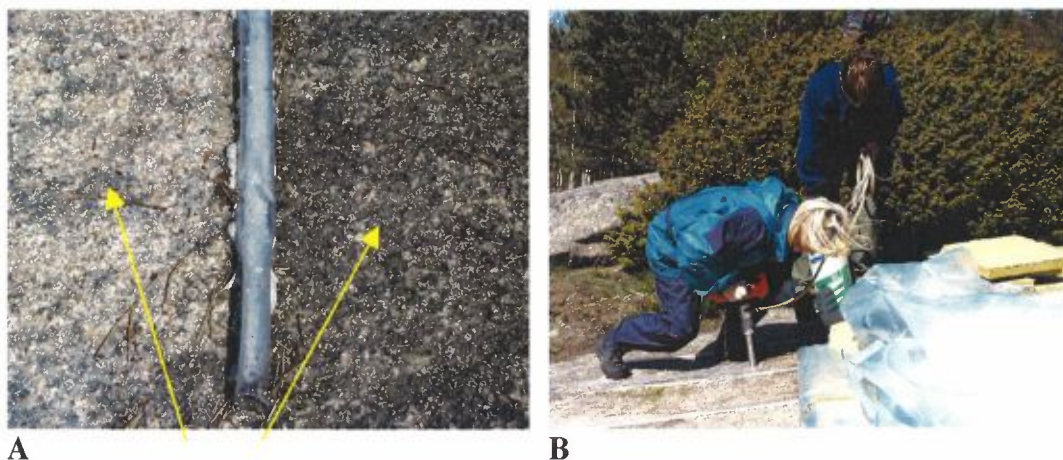
Under deler av overdekkingen ble det ved oppdyrking av kontaktprøver påvist forekomst av muggsopp, bl.a. innen slekten *Penicillium*, *Aurebasidium pullulans* og *Trichoderma viride*. I tillegg var det en del forekomst av gjærsopp. Prøvetakingen viste ikke så klare forskjeller at det var mulig å se eventuelle variasjoner i forekomsten av muggsopp/mikroorganismer på bergflatene.



Figur 82: A) Ved avdekking av delfelt 6, var det synlig aktivitet av meitemark, skrukke-troll og andre smådyr. B) Detalj av foto A.

Under deler av overdekkingen var det synlig ulike små dyr. Særlig fremtredende var meitemark, skrukke-troll, enkelte skolependere og tusenben (Figur 82). Forekomsten var spredt og det var ikke noe klart mønster i hvor dyrene ble påvist.

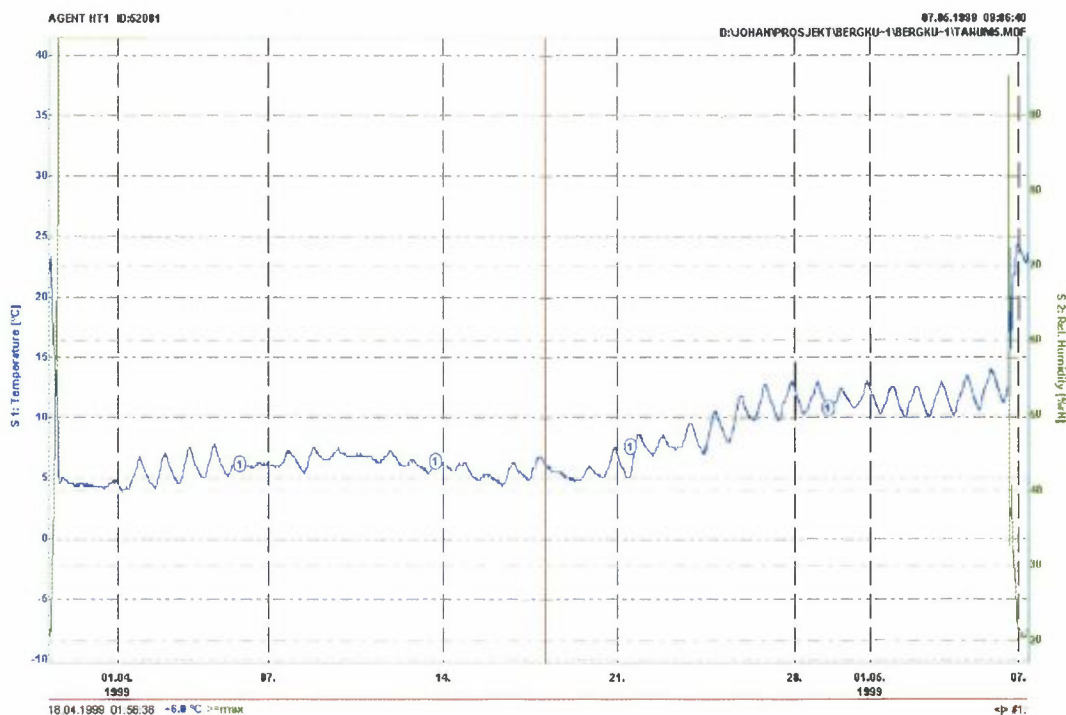
Selv om det fortsatt var varierende grad av synlig misfarging i overflaten av bergflaten, var det likevel meget stor forskjell mot den tilstøtende, ubehandlede overflaten (Figur 83A).



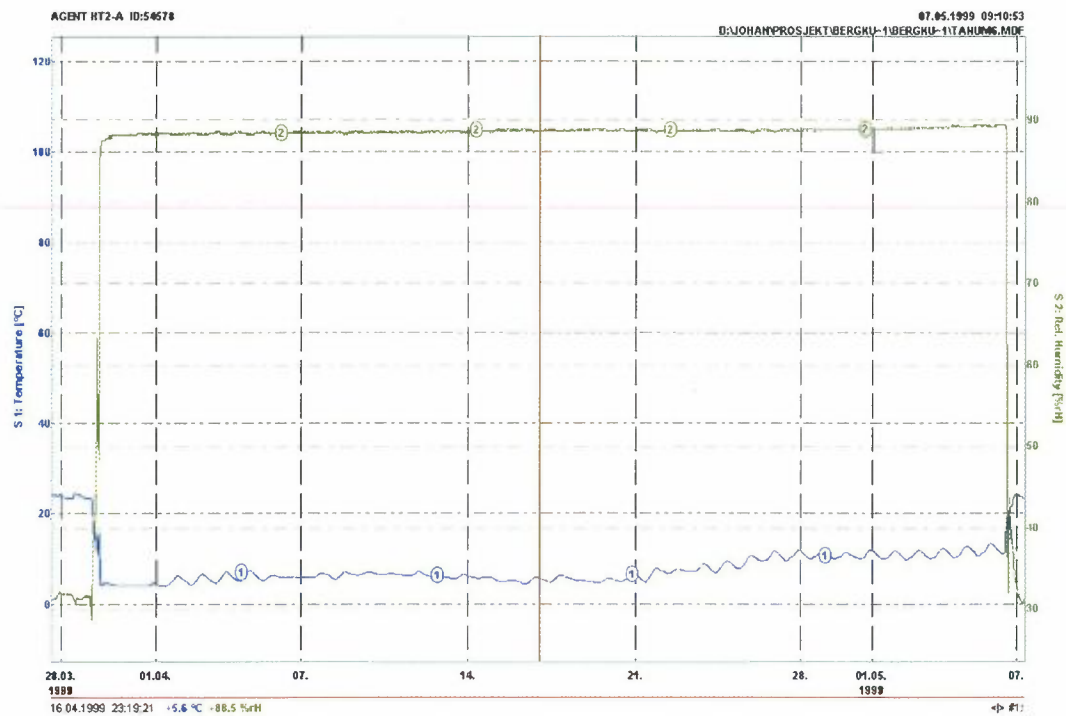
Figur 83: A) Selv med en del gjenværende misfarging i overflaten, var det en vesentlig forskjell mot referanseflaten ved siden av overdekkingen. B) Prøvetaking muliggjorde analyse av forekomst av gjenværende sopphyfer ned i bergflaten.

Borekjerneprøver ble tatt ut på tilsvarende måte som ved forrige avdekking (Figur 83B). Analyse av disse prøvene ble foretatt av UiB og GU.

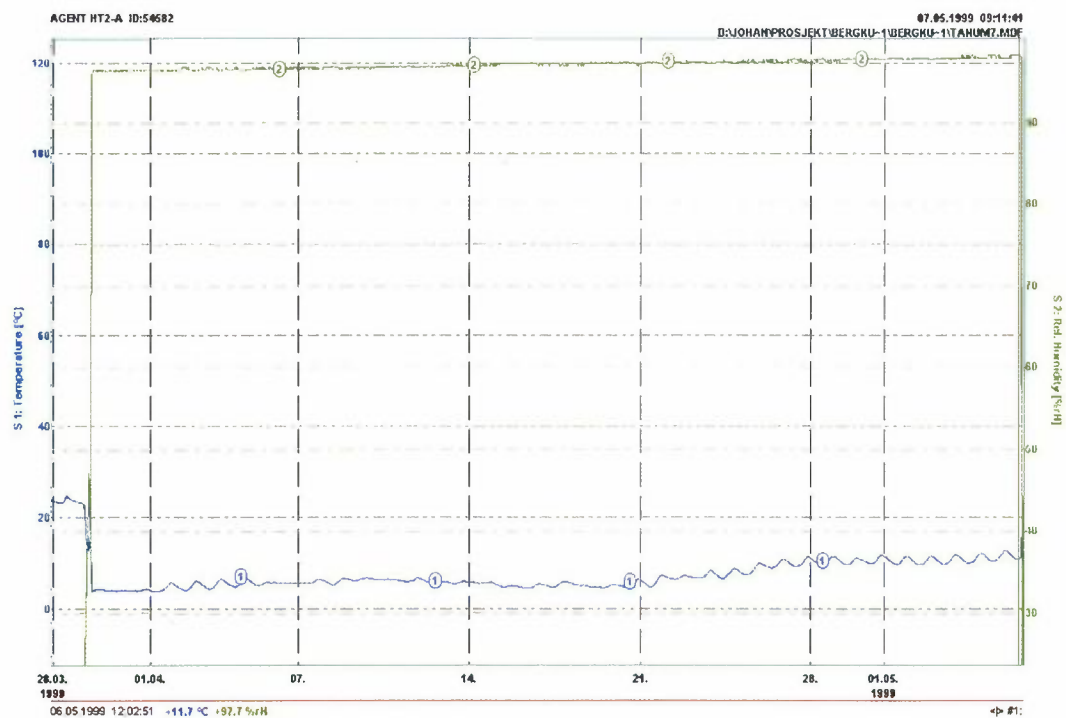
Fuktregistrering i perioden april – mai er vist i følgende figurer:



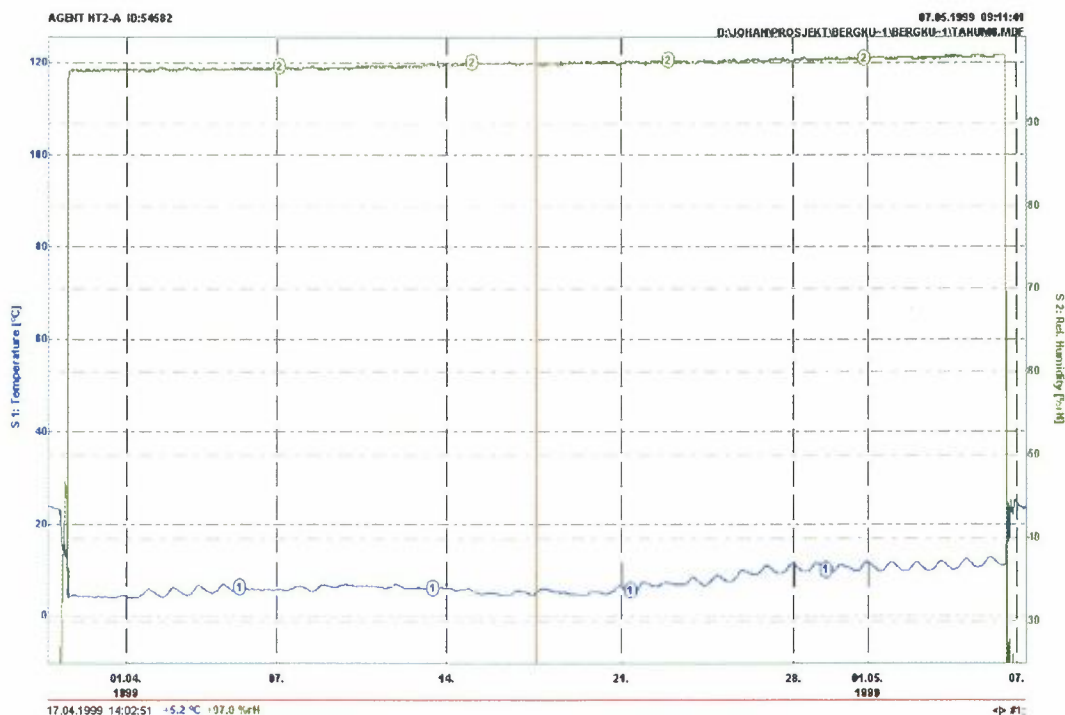
Figur 84: Registrering av temperatur og relativ luftfuktighet under delfelt 6.



Figur 85: Registrering av temperatur og relativ luftfuktighet under delfelt 5.



Figur 86: Registrering av temperatur og relativ luftfuktighet under delfelt 4.



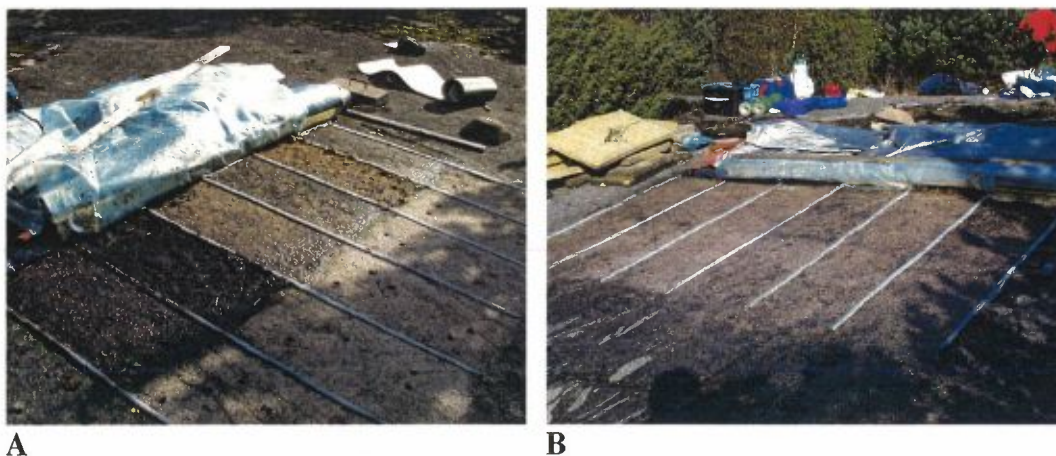
Figur 87: Registrering av temperatur og relativ luftfuktighet under delfelt 3.

Fuktmåling under delfelt 1, ble ikke mulig å lese av på grunn av at instrumentet fikk funksjonsfeil underveis.

Resultatet av fuktmålingene viste at det generelt sett var tilnærmet 100% relativ luftfuktighet i samtlige av de områdene hvor målerne var plassert under overdekkingen. Måleperioden var i en periode med snøsmelting og en del nedbør. Man kan derfor anta at det var en relativt jevn tilførsel av fuktighet via nedbør. Temperaturvariasjonen i måleperioden var i store trekk relativt lik under de ulike overdekkingene, særlig delfelt 3, 4 og 5. I delfelt 6 var det klart større døgnvariasjoner. Svingningene var ikke dramatisk annerledes enn i de øvrige feltene, men likevel så klare at dette kan ha innvirkning i perioder rundt frysepunktet.

### 11.3.3 Avdekking 29.9.99

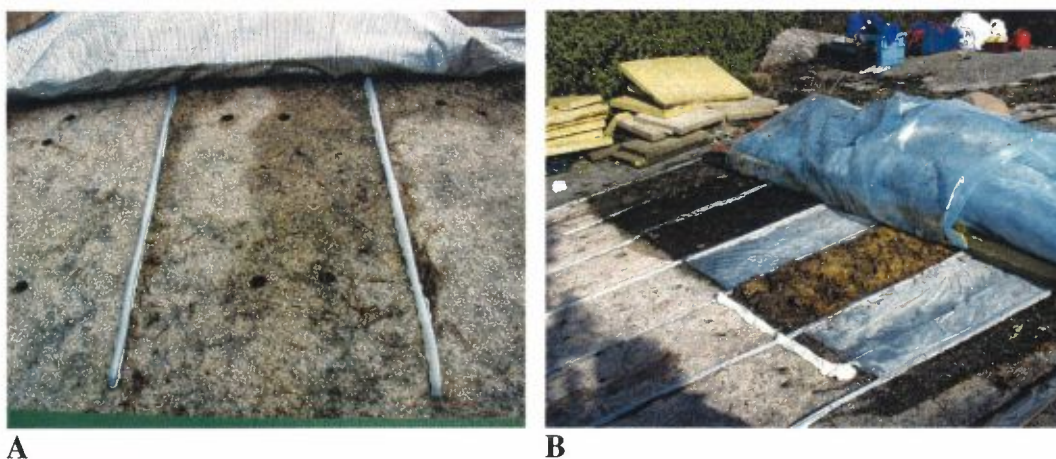
Ved den avsluttende avdekkingen ble det fjernet ytterligere et felt med overdekking i de seks delfeltene, slik at det kun gjensto ca. 1 meter med overdekking (Figur 88). Denne ble liggende for eventuell ytterligere avdekking i fremtiden.



*Figur 88: A) Ved siste avdekkingen, var det synlig fuktvariasjon under overdekkingen.  
B) I felt 3 og 5 var det minst gjenværende misfarging i overflaten.*

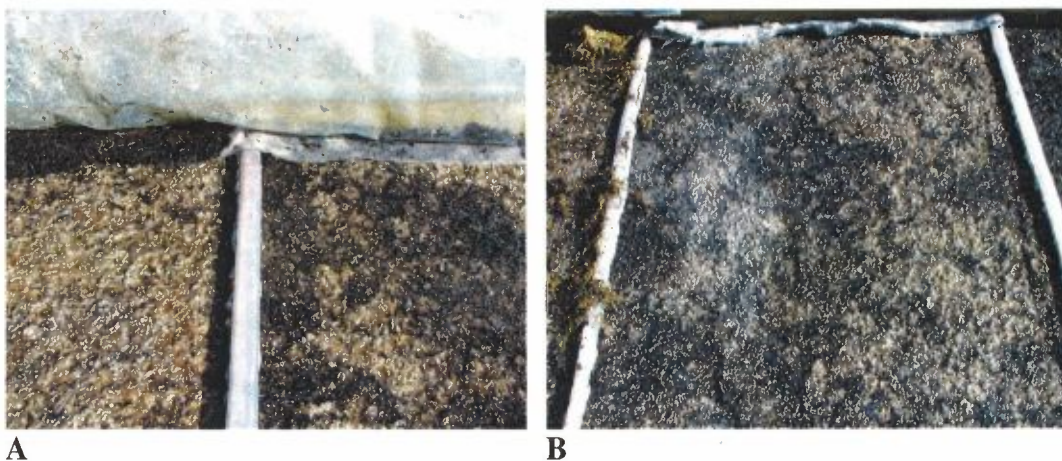
På nedsiden av overdekkingen og etter hvert som selve overdekkingen ble fjernet, var det en synlig forskjell i fuktbelastning (Figur 88A og B). Det hadde vært nedbør dagen før befaringen, og i enkelte felt var det fortsatt en markant sig av fuktighet ut fra overdekkingen. Mest fuktighet trakk ut fra delfeltet med jord direkte på bergflaten, mens det var minst fuktighet fra delfelt 4, hvor det kun var en fiberduk, byggplast og isolasjon.

I et område av delfelt 6 var fiberduken relativt tørr ved avdekkingen (Figur 89A). Når duken ble fjernet, viste det seg at forekomst av den svarte misfarging korresponderte godt med det tørre området av fiberduken (Figur 89B).



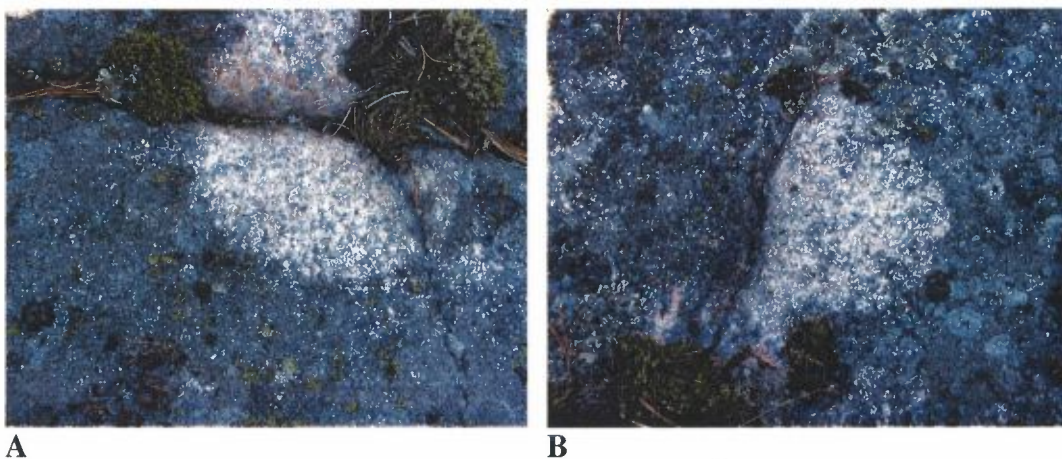
*Figur 89: A) Et felt med sig av fuktighet etter nedbør fra et felt viser at overdekkingen holder på fuktigheten, sammenlignet med det tilstøtende tørre delfeltet.  
B) Ved avdekking av overdekkingene, var det relativt tørt i delfelt 6.*





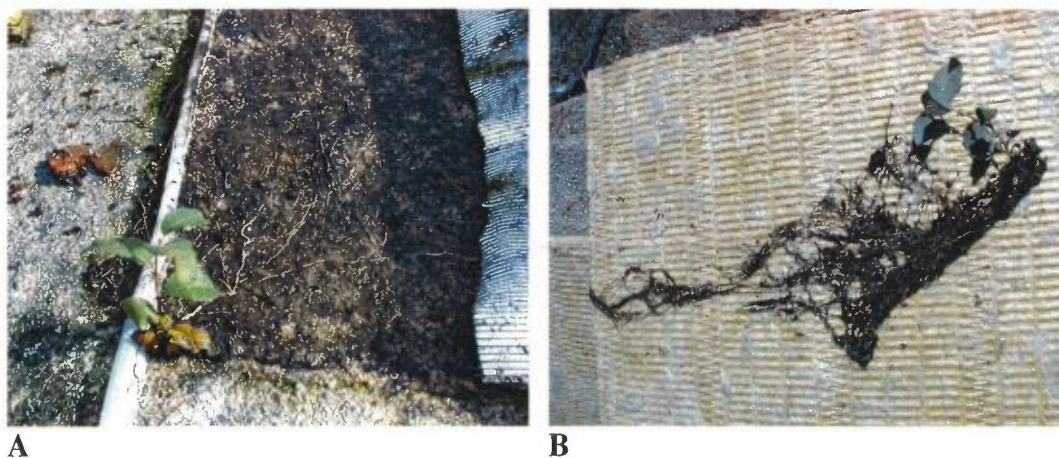
*Figur 90: A) Forskjell mellom gjenværende overflatisk misfarging var tydelig mellom delområde 3 og 4.  
B) I delområde 6, var det stedvis kraftig gjenværende misfarging – hovedsakelig i de tørre feltene.*

På den samme bergflaten som overdekkingen, vokste det mose i spredte kolonier. Ved å fjerne en frittstående mosekoloni, kom et lyst parti av bergflaten til syne (Figur 91A og B). Dette viser at den samme effekten som overdekkingsprosjektet har påvist, også opptrer ved naturlig overdekkning. Det er uklart hvor raskt mosen har vokst, men vi antar at det er skjedd i løpet av minimum 8-12 år.



*Figur 91: A) Avdekket bergflate (under mose) viser naturlig fjerning av skorpelav.  
B) Tilsvarende som A.*

Overdekkingen har stedvis ført til at det jevne siget av fuktighet danner gunstig vekstgrunnlag for ulike planter. Etter to vekstsesonger var det f.eks. en tydelig etablering av bjørk (Figur 92A og B).



Figur 92: A) På nedsiden og videre inn under overdekkingen i delfelt 1, vokste det en bjørkeplante.  
B) Rotsystemet til bjørken på A viste et omfattende rotsystem inn under overdekkingen.

#### 11.3.4 Laboratorieundersøkelser

Visuell kontroll av prøver fra overflaten på stein som har vært overdekket viste generelt svært lite tilstedeværelse av skorpelav. Enkelte steder var det en løs masse av noe som helt klart hadde vært vev av bl.a. kartlav. Ved forsøk på preparering gikk den i oppløsning. Mikroskopering av prøver fra de avdekkede områdene viste ikke tegn til lav i form av normal, frisk tilstand.

Prøver fra bergoverflaten fra områder som har vært overdekket viste en del tilstedeværelse av mikrosopp. Ved oppdyringsprøver var det en blanding av mange vanlige muggsopper samt en rekke uidentifiserte kolonier. Det så ut til at de mest dominerende slektene var *Penicillium*, *Trichoderma* og *Aureobasidium* samt en del gjærsopp.

Tabell 12: Mengde biologisk materiale på overflate og i forvittringssonen for de ulike delfelt etter ulik tid med tildekking. Skalering av relative mengder biologisk materiale for 1) overflate: min = lavthallus borte, men fortsatt missfarging av flaten; ren = lavthallus borte og vesentlig reduksjon av missfarging; 2) forvittringssone: max = 20-30% igjen av opprinnelig biologisk materiale; min = kun spor; ren = tomme porer og sprekker

	tid	felt 1	felt 2	felt 3	felt 4	felt 5	felt 6
<b>Overflate</b>	2 mnd	middels	middels	ren	middels	ren	middels
<b>Forvittrings- sone</b>	2 mnd						
<b>Overflate</b>	9,5 mnd	ren/min	ren/min	ren	ren/min	ren	ren/min
<b>Forvittrings- sone</b>	9,5 mnd	min/ren	ren/min.	ren/min.	max.	max.	min/middels
<b>Overflate</b>	14,5 mnd	ren	ren	ren	ren	ren	flekkvis ren
<b>Forvittrings- sone</b>	14,5 mnd	ren/min	ren/min.	ren	min.	ren	min/middels

### **11.3.5 Biologisk materiale i forvitringssonen og effekt av ulike typer overdekking**

Referanseprøvene fra utildekket bergflate i umiddelbar nærhet til testfeltet for overdekking var overvokst av ulike lav. I forvitringssonen under disse er mikrosprekker og porer i bergarten stortsett fylt med biologisk materiale ned til 0.45mm. I sprekkene og porene lenger inn i forvitringssonen er det kun observert mindre mengder biologisk materiale. Biologisk materiale ble funnet ned til 1.4 mm i referanseprøvene.

Tabell 12 viser en oversikt over resultatene fra overdekkingsforsøket. Mengde biologisk materiale i forvitringssonen ble ikke undersøkt etter første avdekking (2 mnd.). Resultatene etter andre avdekking (9,5 mnd) viser at det er mest biologisk materiale i forvitringssonene på testfelt 4 (fiberduk, plast, isolasjon, plast, folie) og 5 (torvmose, plast, isolasjon, plast, folie). På felt 2 (jord, plast, isolasjon, plast, folie) og 3 (fiberduk, jord, plast, isolasjon, plast, folie) var forvitringssonen nesten helt ren, mens det på felt 1 (plastsekker med jord) og 6 (fiberduk, isolasjon, plast, folie) var en del organisk materiale igjen i forvitringssonen. Prøvene fra felt 4, 5 og 6 har alle en tendens til at porene og sprekkene nær overflaten er rene, mens det er en del organisk materiale igjen dypere i prøven.

Etter siste avdekking (14,5 mnd) var porene og sprekkene på testfelt 3 og 5 helt rene. Felt 1 og 2 er også tilnærmet rene. På felt 4 var det fortsatt litt biologisk materiale igjen i forvitringssonen, men markert mindre enn etter andre avdekking. På felt 6 var det små/ingen endringer fra andre avdekking.

## **11.4 Diskusjon**

### **11.4.1 Biologisk nedbrytning av stein**

Det er kjent og godt dokumentert at stein generelt sett kan brytes ned av mikroorganismer, enten på grunn av mekanisk eller kjemisk påvirkning. Imidlertid er det vanskelig å skille på forskjellige nedbrytningsfaktorer, ikke minst å se hvilken effekt de ulike faktorene har. Eksempelvis kan en synlig grusforvitring under en skorpelav være forårsaket av mange årsaker, både på grunn av fysiske forhold, kjemisk nedbrytning eller biologisk aktivitet. I mange tilfeller er det derfor meget vanskelig å fastslå hvilken effekt man får ved å fjerne lav i forhold til å la den bli sittende.

En steinflate som er eksponert for store svingninger av temperatur og fuktighet kan utsettes for nedbrytning på grunn av denne påvirkningen. Et beskyttende dekke i form av jord, planter eller annen overdekking kan redusere temperatur-svingningene slik at nedbrytningshastigheten avtar. Av den grunn kan det tenkes at et overflatisk dekkende sjikt kan ha en beskyttende effekt som er større enn de nedbrytende faktorene som sjiktet fører til. En konsekvent fjerning av lav og annen overflatebegroing kan derfor ut fra dagens kunnskap ikke anbefales. Det finnes imidlertid tilfeller hvor det er ønskelig å fjerne lav fra helleristninger eller andre steinmaterialer. Ved slike anledninger er det meget viktig å kunne benytte seg av metoder som er mest mulig skånsomme mot den aktuelle bergflaten, omgivelsene og den person som utfører tiltaket.

I tidligere tider, helt frem til i dag, har det vært benyttet varierende tiltak for å fjerne lav fra stein. Omfattende bruk av ulike typer av kjemikalier og mekaniske tiltak har vært regel i stedet for unntak. Flere av disse metodene har en dokumentert skadelig effekt på steinflaten (miljøet og den utførende personen), mens andre mistenkes for å ha en slik negativ effekt.

Feltforsøkene i dette prosjektet viser meget klart at man med enkle midler og på relativt kort tid kan oppnå meget effektiv fjerning av overflatisk begroing av lav og svertesopp fra steinflater. Metodikken har ingen synlig direkte skadelig effekt på steinflaten og produktene som benyttes er billige og miljøvennlige.

## 11.5 Konklusjon

På grunnlag av resultatene i prosjektet, ser vi følgende resultater:

- **Begroing, overflate:** Vekst av lav og planter er naturlig på eksponerte flater. Eksponering og fuktbelastning påvirker hvilken innsmitting og etablering som skjer.
- **Overflaterengjøring:** Rask overflaterengjøring av en steinflate kan oppnås ved en effektiv overdekking i løpet av ca. 8 uker, trolig kan man oppnå store deler lik effekt i løpet av 3-4 uker sommerstid.
- **Metode:** Mest effektivt i overdekkingsforsøk ser ut til å være å legge fuktig torvmose i et 10-20 cm tykt lag direkte på steinflaten, med en overdekking av en dampsperre. Alternativt kan trolig en fiberduk mot steinflaten, fuktig 5-10 cm jordlag, evt. 10 cm isolasjon og overdekking med dampsperre ha en tilsvarende god effekt. Problemet er imidlertid at dette krever noe mer innsats i forhold til oppbygging.
- **Effekt:** Når overdekkingen har ført til effektiv nedbrytning av overflateveksten av skorpelav, ser det ut til at også hyfer nedover i sprekker og porer i stor grad blir brutt ned og forsvinner. Den hurtigste metoden for å fjerne biologisk materiale i forvitringssonen er tildekking med jord (delfelt 3). Tilsvarende effekt kan imidlertid oppnås ved bruk av andre materialer, men krever noe lenger tid.
- **Tilbakevekst:** Etter at overdekking fjernes, skjer tilfeldig innsmitting. Omfanget og hastigheten på denne tilbakevekst avhenger av hvilket innsmittingspress bergflaten utsettes for. Hvis det er tilsig av fuktighet med rikelig lavforekomst like over flaten, må man trolig regne med en regelmessig overdekking hvert 5-10 år. Hvis det er flater som ligger tørt og har liten mulighet for tilsig av fuktighet, kan man regne med lengre intervall mellom overdekkingstidspunktene, trolig 15-20 år.
- **Indirekte beskyttelse:** Lokal fjerning/beskjæring av tilstøtende vegetasjon, overheng o.l. har stor effekt i forhold til fuktbelastning og innsmitting av nye organismer.

## 12 Forslag til skjøtselstiltak

Med utgangspunkt i de undersøkelserne som er gjort ved prøvefeltene på Begby og Litsleby kan følgende skjøtselstiltak vurderes for bergkunsten på Begby. Tiltakene kan med stor sannsynlighet også være gjeldende for en stor del av bergkunstfeltene som er hugget i granitt i Østfold. **Det må her taes forbehold om lokale forhold som krever spesielle tiltak fordi man ikke kjenner til årsaken til nedbrytningsprosessene på det enkelte sted.**

Bergkunsten på Begbyfeltet utsettes for følgende eksponeringer:

1. Klimatiske belastninger som nedbør, frost-tine sykluser, temperatursjokk og saltdrift fra havet
2. Noe forurensende belastning fra lokale kilder og noe belastning fra langtransportert forurensning.
3. Området er noe belastet med forurensning fra biltrafikk og denne kan øke i fremtiden
4. Biologisk påvirkning fra vegetasjon på og omkring bergkunstfeltene
5. Mekanisk slitasje fra besøkende

Forslag til mulige skjøtselstiltak som kan forbedre de nåværende forhold på bergkunstfeltene. Anbefalingene er kun gitt ut fra naturvitenskapelig kriterier:

- Analysene av avrenningsvannet fra området under det beskyttende taket på Litsleby har vist at forvitringen fra dette området er mindre enn fra området utenfor taket, under forutsetning av at det vaskes rent med destillert vann under taket med jevne mellomrom. Det ble også registrert færre fryse/tine sykluser under taket enn utenfor. Det å bygge et tak over en helleristning kan imidlertid ha flere andre ulemper og det er vanskelig å trekke noen konklusjoner ut fra erfaringer fra kun et felt.
- Helleristningsflatene bør skjermes for all overrenning av vann som kommer fra kronedrypp (dvs omkringliggende trær og vegetasjon) i det dette vannet ofte kan være surt og inneholde større mengder med forurensning og salter. Dette kan løses ved at det lages et avrenningssystem i overkant av feltene som leder overrenningsvannet bort.
- Dersom det er nødvendig å fjerne lav og mose fra bergoverflaten er det viktig at det gjøres med en metode som skåner berget mest mulig. Resultater fra overdekningsforsøket på Litsleby viste at overflaten var relativt ren etter en overdekking på ca. 8 uker. For å fjerne biologisk materiale på overflaten ser den mest effektive måten ut til å være tildekking med fuktig torvmose i et 10-20 cm tykt lag direkte på steinflaten, med en overdekking av en dampsperre. Alternativt kan trolig en fiberduk mot steinflaten, et fuktig 5-10 cm jordlag, eventuelt 10 cm isolasjon og en overdekking med dampsperre ha en tilsvarende god effekt. Det tar imidlertid lengre tid å få sprekkene og porene i forvitringssonen helt rene. Resultatene indikerer at en lavdekket bergoverflate må være tildekket i ca. 15 måneder før mesteparten av det biologiske materialet i porene og sprekkene i forvitringssonen er nedbrutt.

- Etter at overdekking fjernes, skjer tilfeldig innsmitting. Omfanget og hastigheten på denne tilbakeveksten avhenger av hvilket innsmittingspress bergflaten utsettes for. Hvis det er tilsig av fuktighet med rikelig lavforekomst like over flaten, må man trolig regne med en regelmessig overdekking hvert 5-10 år. Hvis det er flater som ligger tørt og har liten mulighet for tilsig av fuktighet, kan man regne med lengre intervall mellom overdekkings-tidspunktene, trolig 15-20 år.
- Lokal fjerning/beskjæring av tilstøtende vegetasjon, overheng o.l. har stor effekt i forhold til fukt- og saltbelastning og vegetasjonen på selve bergflaten endres. Vegetasjonen rundt bergkunstfeltene vil fange opp tørravsetning fra forurensende kilder og salter i fra havet eller fra salting av vei vinterstid. Trær og annen vegetasjon kan derfor benyttes som en beskyttelse for å skjerme helleristningene mot tørrdeposisjon og salter.
- Bergkunsten bør skjermes mest mulig for påvirkning av frost/tine- sykluser. Resultater fra måling av fuktighet og temperatur har vist at områder som er skjermet for direkte soloppvarming får færre frost/tine- sykluser. Det betyr at vegetasjon rundt bergkunstfeltene i form av høye trær kan være gunstig som skjerming for solen, samtidig som vi har sett at vegetasjon for nær feltet ikke er av det gode. En overdekking av feltet om vinteren kan derfor være mer gunstig slik at man får en jevnere temperatur på bergoverflaten, dette ble vist ved målinger av temperatur under et 10 cm tykt torvlag på Begby.
- Bergkunsten bør generelt skjermes for overtråkking av mennesker. Dette kan gjøres ved oppbygging av en rampe, slik at tilgjengeligheten øker og et naturlig skille mellom tillatt/forbudt område dannes. Det bør i tillegg settes opp informasjon i forbindelse med rampen, slik at man unngår tråkk på bergoverflaten for å kunne observere helleristningene. Dette er allerede gjort ved et av feltene på Begby, men bør være et tiltak ved flere av bergkunstfeltene.

### 13 Konklusjon

Bergkunstfeltene i Østfold og i Bohuslän blir belastet fra både naturlige og antropogene kilder og en til dels kraftig forvitring er registrert på flere steder. Hovedmålsettingen med prosjektet har derfor vært ved hjelp av tverrfaglig svensk og norsk kompetanse å kartlegge og vurdere belastningen fra ulike miljøparametre samt klargjøre årsakssammenhenger når det gjelder forvitningsprosessene. I tillegg er det foreslått mulige skjøtselstiltak for å minske nedbrytningen av bergkunsten i Østfold og Bohuslän.

Bergkunstfeltene i begge undersøkelsesområdene er hugget i granitt, Iddefjordgranitt i Østfold og Bohusgranitt i Bohuslän. En viktig kontrollerende forvittringsfaktor (for både kjemiske, fysiske og biologiske prosesser) er tidligere omdanning/oppsprekking av granitten. Ved studier av borekjerner er det påvist en forvittringsdybde fra 1- 3.5 cm som trolig skyldes delvis varierende mengde mikrosprekker og omdanning. Det er videre gjennom studier av bergarten med SEM påvist åpning av mikrosprekker og porer som skyldes kjemisk oppløsning. En videre utvidelse og oppsprengning av disse ved fysiske og biologiske prosesser fører til at mineraler løses fra overflaten (grusvitring).

Miljømålingene har vist at prøvemarken på Begby blir utsatt for noe svoveldioksid og nitrogendioksid. Dette skyldes utslipp fra fyring, trafikk og industri. Utslippene fra industrien kommer mest sannsynlig fra Fredrikstadområdet. Belastningene er i dag moderate 2-6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{SO}_2$  og 4-18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{NO}_2$ . Isotopanalyser av avrenningsvannet har vist at svovelet i atmosfæren er både lokal- og langtransportert, mens strontium først og fremst kommer fra havet, men med tilskudd fra bergoverflaten. Den marine innflytelsen på nedbøren som renner over bergflatene er tydelig. Kalsiumkonsentrasjonene i nedbøren var derimot høyere enn det som kommer fra havet, hvilket tyder på lokale kilder som blant annet kalking av jorder i området. Høye kalsiumverdier om høsten skyldes trolig utvasking av vegetabilsk materiale.

Analyser av avrenningsvannet har vist at de ulike mineralene i bergarten har ulik forvittringshastighet. Feltspat forvittrer raskt i sure løsninger, men har et minimum i oppløsningshastighet ved ca pH 6-7. For kvarts ligger dette minimum ved pH 3-4. I basiske løsninger øker forvittringshastigheten for begge disse mineralene dersom vannfasen inneholder Litium (Li), Natrium (Na) og Kalium (K). I sure løsninger fører imidlertid disse elementene til en reduksjon i forvittringshastigheten. I miljø med lav pH vil skiktmineraler som flogopit og biotitt bli selektivt tappet for K. Dersom K er tilstede i vannfasen vil imidlertid dette forhindres/reduceres. Avrenningsforsøkene på Litsleby har vist at nedbrytningen er betydelig større utenfor takkonstruksjonen enn under taket, for eksempel forvittrer kisel 37 ganger raskere utenfor taket. Analysene av avrenningsvannet fra Begby viser at nedbrytningshastigheten der, er den samme som utenfor taket på Litsleby.

Målinger av pH i nedbøren har vist verdier mellom 4.0 og 5.5, med de laveste verdiene om vinteren. I november 1998 målte man på Begby en verdi helt ned til 3.75, som sannsynligvis skyldes en kombinasjon av de meteorologiske forhold og

boligoppvarming fra Fredrikstadområdet. Kronedrypp hadde i perioder lavere pH enn nedbøren, og det ble gjennomgående målt høyere verdier av forurensende komponenter som svovel og nitrogen, samt havsalt og kalium i kronedryppet. Kronedrypp kan normalt betraktes som mer aggressivt enn regnvann, pH er ofte lavere og saltmengden er større. På Begby derimot ble det i siste halvdel av 1999 registrert flere perioder hvor pH var klart høyere enn i nedbøren. Regnvann er mer nøytralt etter hvert som effekten av langtransporterte forurensninger har avtatt. Regnvann i likevekt med luftens innhold av CO<sub>2</sub> har en pH på 5.6.

Ved å vurdere historiske måledata kan vi se at SO<sub>2</sub>-belastningen har vært betydelig større i perioden fra 1945 og fram til 1990. Selv om en slik periode er ubetydelig i historisk sammenheng kan effekten ha vært påtagelig. Nedbrytningen øker spesielt mye når pH kommer under 4 og høye SO<sub>2</sub>-konsentrasjoner vil ytterligere kunne bidra til å gjøre nedbøren surere. I den mest forurensede perioden etter 1945 hadde regnvannet ofte pH verdier under 4.0 og den kjemiske forvitringen ble spesielt stor i områder med sur nedbør kombinert med lokale forurensninger.

På begge prøvefeldene ble det målt temperatur og fuktighet på bergoverflaten. Temperaturmålingene viste mange fryse-tine sykluser, spesielt i februar, mars og november. På Begby ble det i mars 1999 registrert opp til 45 fryse/tinesykluser, mens det under ca 10 cm med torv (mose) kun var 6 passeringer av frysepunktet. Tilsvarende ble registrert på Litsleby med opp til 30 sykler på det åpne prøvefeldet, mens det under taket kun ble registrert 6 passeringer. I desember og januar var det færre fryse-tine sykluser siden temperaturen på fjellet lå under 0°C i store deler av tiden og solen sto så lavt at den ikke fikk tinet opp flatene. Det er mulig at vannet på steinflatene og i mikrosprekkene ikke fryser før ved -5°C, på grunn av eventuell frysepunktnedsettelse ved tilførsel av salter. Dette vil redusere antall fryse-tine sykluser per år. Soloppvarming på dagtid om vinteren er årsaken til dannelsen av fryse-tine sykluser. Skjerming mot sol enten ved tildekning med torv eller ved vegetasjon vil redusere denne muligheten for fryse-tine effekter.

Temperatur-sjokk kan gi mikrosprekker i stein. Svingninger over 15°C i løpet av et døgn ble registrert i sommerhalvåret på alle målepunktene som ble soloppvarmet. Steinflater som ligger i skygge har betydelig færre temperatursjokk i samme periode.

Det er registrert ca. 25 lavarter på bergflatene i Begby. Generelt dominerer skorpelav (ca. 15 arter), men flekkvis forekommer også en del bladlav (ca. 6 arter). Busklav forekommer kun sporadisk (ca. 2 arter). Noen av de vanligste artene er: *Aspicilia caesiocinerea*, brunberglav (*Cetraria commixta*), blærelav (*Lasallia pustulata*), *Lecanora intricata*, *Rhizocarpon lecanorinum* og stiftsteinlav (*Xanthoparmelia conspersa*). Bergflatene på Litsleby og Begby er stort sett like med hensyn til type lavvegetasjon, men dekningsgraden er litt mindre enkelte steder på Litsleby.

I vannsig er det lite eller ingen lavvegetasjon. Vannsigene er overgrodd av cyanobakterier, alger og/eller ikke-lavdannende sopp.



Sort Si-skorpe i forbindelse med vannsig inneholder dels store mengder mikroorganismer, sannsynligvis sopp og/eller bakterier. Den kjemiske forvitringen av bergflaten under slik skorpe er tilsynelatende mindre enn ellers på testfeltet. Oppsprekking og flekkvis avskalling av skorpen, hvor biter av de underliggende mineralene også følger med, bryter likevel ned bergflaten over tid.

Skorpelav trenger dypere ned i forvitringssonen (2-3 mm) og det er generelt mer biologisk materiale i sprekker og porer under skorpelav enn under bladlav. Sopphyfene til laven kan også penetrere selve mineralkornene i forvitringssonen.

Et økt antall åpne mikrosprekker og porer i forvitringssonen under torvdekke indikerer økt kjemisk oppløsning. Porene og sprekkenes nær overflaten er rene, mens det er mye biologisk materiale dypere ned i forvitringsprofilen. Trolig har biologisk materiale i øvre delen av forvitringssonen blitt nedbrutt i tiden mellom avtorving og prøvetaking.

Resultater fra overdekningsforøket på Litsleby viste at overflaten var relativt ren etter en overdekking på ca. 8 uker. For å fjerne biologisk materiale på overflaten ser den mest effektive måten ut til å være tildekking med fuktig torvmose i et 10-20 cm tykt lag direkte på steinflaten, med en overdekking av en dampspærre. Alternativt kan trolig en fiberduk mot steinflaten, et fuktig 5-10 cm jordlag, eventuelt 10 cm isolasjon og en overdekking med dampspærre ha en tilsvarende god effekt.

Det tar imidlertid lengre tid å få sprekkenes og porene i forvitringssonen helt rene. Resultatene indikerer at en lavdekket bergoverflate må være tildekket i ca. 15 måneder før mesteparten av det biologiske materialet i porene og sprekkenes i forvitringssonen er nedbrutt.

Undersøkelsene på Litsleby viser at forvitringen kan reduseres med en form for overdekking som for eksempel en takkonstruksjon. Tørravsetning av partikler og sure gasser vil skje også under tak og det er derfor viktig at overflaten vaskes regelmessig hvis en skal oppnå positiv effekt over tid. Takets materiale og utforming samt hvordan bergflaten skal rengjøres krever derimot flere undersøkelser.

Bergkunsten bør skjermes mest mulig for påvirkning av frost/tine sykluser. Resultater fra måling av fuktighet og temperatur har vist at områder som er skjermet for direkte soloppvarming får færre frost/tine sykluser. Det betyr at vegetasjon rundt bergkunstfeltene i form av høye trær kan være gunstig som skjerming for solen, samtidig som vi har sett at vegetasjon for nær feltet ikke er av det gode. En overdekking av feltet om vinteren kan derfor være mer gunstig, slik at man får en jevnere temperatur på bergoverflaten.

Miljømålingene har bare pågått i en periode på ca 1 ½ år, noe som er en svært kort tid for å få frem resultater som kan si noe sikkert om nedbrytningshastigheten og årsakene til denne. De klimatiske forhold vil dessuten variere betydelig fra ett år til et annet og 1 ½ år vil derfor ikke gi et representativt bilde av klimaet over tid. Steinforvitring er en langsom prosess og for å få sikrere kunnskap om selve

forvittringshastigheten må en følge prosessene. Det vil derfor være viktig å kunne fortsette med miljømålinger av bergkunstfelt i Østfold- og Bohuslänområdet.

## 14 Referanser

- Anda, O. (1991) Passive prøvetakere (Sorpsjon av forurensningsgasser i luft). Lillestrøm (NILU TR 10/91).
- Anda, O. (1993) Utprøving av passive prøvetakere. Lillestrøm (NILU TR 6/93).
- Arup, U., Ekman, S., Lindblom, L. & Mattsson, J.-E. (1993) High performance thin layer chromatography (HPTLC), an improved technique for screening lichen substances. *Lichenologist*, 25, 61-71.
- Bozzola, J.J and Russel, L.D. (1992) Electron microscopy: principles and techniques for biologists. Boston, Jones and Bartlett Publishers.
- Bøhlerengen, T. og Mattsson, J. (1996) Tilstandsanalyse av utvendig treverk. Oslo. (NBI Anvisning, 35).
- Dahlin, E., Elvedal, U., Henriksen, J.F., Anda, O., Mattson, J., Iden, K. og Åberg, G. (1998) Miljøovervåking av bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo. Kjeller (NILU OR 22/98).
- Elfving, P. and Lindqvist, O. (1992) SO<sub>2</sub> deposition on micas and feldspars in a humid atmosphere containing SO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>. Göteborg, Institutionen för Oorganisk Kemi, Chalmers Tekniska Högskola.
- Elvedal, U., Henriksen, J.F, and Haagenrud, S. (1998) EU-project ENV4-T95-0110 Wood-Assess. Project deliverable no. 7.1. Final report WP2: Calibration of WETCORR sensors in field and laboratory. Kjeller (NILU OR 46/98).
- Ferm, M. (1991) A sensitive diffusional sampler. Göteborg, Swedish Environmental Research Institute (IVL-rapport L91-172).
- Govindaraju, K., (1984) 1984 compaliation of working values and sample-discrimination for 170 international reference samples of mainly silicaterocks and minerals. *Geostandards Newsletter*, 8, 1-91.
- Gram, F. (1994) Utslipp av NO<sub>x</sub> og NMVOC i Oslo i 1991. Nitrogenoksider og oksidanter i byområder; dannelse og effekter. Kjeller (NILU OR 79/94).
- Graversen, O. (1984) Geology and structural evolution of the Precambrian rocks of the Oslofjorden Area, Southeast Norway. Trondheim, Norges Geologiske Undersøkelser (NGU Bull. 398).
- Hagen L.O. (1984) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983. Delrapport A: Målinger av meteorologi og luftkvalitet. Lillestrøm (NILU OR 22/84).
- Henriksen, J.F. and Haagenrud, S.E. (1994) The EUREKA project EU 615 EURO CARE WETCORR. Report from the NBS-MK seminar at ABB Conference Centre, Billingstad, 24 November 1993. Kjeller (NILU OR 37/94).

- Holøs, S.B. og Mattsson, J. (1994) Muggsopp. Biologi, analyse og skadevurdering. Oslo, Mycoteam.
- Howarth, R.J. and McArthur, J.M. (1997) Statistics for strontium isotope stratigraphy: A robust LOWESS fit to the marine Sr-isotope curve for 0 to 206 Ma, with look-up Table for derivation of numeric age. *J. Geology*, 105, 441-456.
- Hygen, A.-S. (1994) Tilstandsregistrering, konservering og skjøtsel av helleristninger i Østfold 1993. Sarpsborg. (Publikasjoner utgitt ved Kulturavdelingen Østfold fylkeskommune nr. 1).
- Hygen, A.-S. og Bengtsson, L. (1999) Helleristninger i Grensebygd, Bohuslän og Østfold. Göteborg, Warne Förlag.
- Krog, H., Østhagen, H. og Tønsberg, T. (1980) Lavflora. Norske busk- og bladlav. Oslo, Universitetsforlaget.
- Løddøen, T., Klungseth, Mandt, G. og Riisøen, K., Hauge (1997) Sikring av bergkunst, problemer - metoder - tiltak. Rapport fra kurs i sikring av bergkunst. Arkeologisk institutt, Bergen Museum. (Bergkunstrapporter fra Universitetet i Bergen 1).
- Löfvendahl, R. (1996) Research and development on stone degradation. In: *Degradation of materials and the Swedish heritage 1992-1995*. Stockholm, Riksantikvarieämbetet och Statens Historiska Museer (Rapport RIK 11) pp. 114-134.
- Löfvendahl, R. and Bertilsson, U. (1996) Rock carvings. In: *Degradation of materials and the Swedish heritage 1992-1995*. Stockholm, Riksantikvarieämbetet och Statens Historiska Museer (Rapport RIK 11) pp. 18-29.
- Löfvendahl, R. (1998) Nedbrytning av hällristningar och möjliga bevarandemetoder - en kunskapsöversikt. Stockholm, Riksantikvarieämbetet.
- Magunsson, J. og Berg, C. (1994). Skadeinventering av hällristningar i Bohuslän. Lägesrapport av juli 1994 på oppdrag av Riksantikvarieämbetet i Stockholm. Länsstyrelsen i Göteborgs og Bohus län, Kulturmiljøenheten, Göteborg.
- Mandt, G. (1992) Introduction. In: *Conservation, preservation and presentation of rock art*. Universitetet i Bergen, Historisk Museum (Arkeologiske Skrifter, No. 6) pp. 11-14.
- Moberg, R. og Holmåsen, I. (1982) Lavar. En fälthandbok. Stockholm, Interpublishing.
- Mylona, S.(1993) Trends of sulphur dioxide emission, air concentrations and depositions of sulphur in Europe since 1880. Oslo, Norwegian Meteorological Institute (EMEP/MSC-W Report 2/93).
- Norrish, K. and Hutton, T.T. (1969) An accurate X-ray spectrographic method for analysis of a wide range of geochemical samples. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, 431-453.

- Paces, T. (1983) Rate constants of dissolution from the measurements of mass balances in hydrological catchments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 1855-1863.
- Painter, T.J. (1995) Chemical and microbial aspects of the preservation process in Sphagnum peat. In: *Bog Bodies: New discoveries and new perspectives.*, ed. by R.C. Turner and TR. G. Scaife. London British Museum Press, pp 88-89.
- Pedersen, S. and Maaløe, S. (1990) The Iddefjord granite, geology and age. *NGU Bull.* 417, 55-64.
- Pin, C., Briot, D., Bassin, C., and Poitrasson, F. (1994). Concomitant separation of strontium and samarium-neodymium for isotope analyses in silicate samples, based on specific extraction chromatography. *Anal. Chim. Acta*, 298, 209-217.
- Rühling, Å. (1994) Atmospheric heavy metal deposition in Europe - estimations based on moss analysis. Copenhagen, Nordic Council of Ministers (Nord 1994:9).
- Santesson, R. (1993). The lichens and lichenicolous fungi of Sweden and Norway. Lund: SBT- förlaget.
- Schweda, P. (1990) Kinetics and mechanism of alkali feldspar dissolution at low temperatures. Ph.D. Dissertation (Medd. Stockholms Univ. Inst. Geologi och Geokemi, 281).
- Sjöberg, L. (1989) Kinetics and non-stoichiometry of labradorite dissolution. In: *Proc. of the 6<sup>th</sup> Int. symp. on water-rock interactions, Malvern 1989*, Rotterdam, Balkema. pp. 639-642.
- Thorseth, I. H., Torsvik, T. og Bjelland, T. (1997). Forvitring: Prosesser og resultat. I: *Løddøen, T. K., Mandt, G. og Riisøen, K. H.: Sikring av bergkunst – problemer-metoder-tiltak*. Rapport fra kurs i sikring av bergkunst. Arkeologisk institutt, Bergen Museum (Bergkunstrapporter fra Universitetet i Bergen 1). pp 27-54.
- Tørseth, K. og Manø, S. (1997) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1996. Kjeller (Statlig program for forurensnings-overvåking. Rapport 703/97) (NILU OR 33/97).
- White, A.F. and Brantley, S.L. (eds) (1995) Chemical weathering rates of silicate minerals. Washington DC, Mineralogical Society of America (Reviews in Mineralogy 31).
- Åberg, G. (1995) The use of natural strontium isotopes as tracers in environmental studies. *Water Air Soil Poll.*, 79, 309-322.
- Åberg, G., Dahlin, E. and Stray, M. (1999) Impact of pollution at a stone age rock art site in Oslo, Norway, studied using lead and strontium isotopes. *J. Archaeol. Sci.*, 26, 1483-1488.
- Åberg, G., Löfvendahl, R., Stijfhoorn, D. and Råheim, A. (1995) Provenance and weathering depth of carbonaceous Gotland sandstone by use of carbon and oxygen isotopes. *Atmos. Environ.*, 29, 781-789.



## **Vedlegg A**

### **Biologisk nedbrytning av steinmaterialer - En litteraturstudie**





# **Biologisk nedbrytning av steinmaterialer**

**- Litteraturstudie/"State of the art"  
til Interreg.prosjektet i Østfold/Bohuslän**

av  
Johan Mattsson

*Mycoteam as*



## Forord

Steinmaterialer finnes i alle typer av bygninger og kulturmonumenter som står utsatt for ulike typer av nedbrytende effekter. Det er velkjent at ulike bergarter har varierende bestandighet, og at det er mange faktorer som påvirker nedbrytningshastigheten. Sentrale faktorer ved nedbrytning er f.eks. makro- og mikroklimatiske forhold, sur nedbør og ulike forurensninger kan forårsake en erosjon av overflaten. Mindre kjent er det at også ulike typer av biologiske organismer har en tilsvarende evne til nedbrytning av slike uorganiske materialer. Biologiske påvirkning og nedbrytning av steinmaterialer er internasjonalt sett et relativt nytt, men raskt voksende fagområde. Her i landet er det lite oppmerksomhet om problemet og det har til nå vært lite forskning.

Bakgrunnen for denne litteraturstudien er å forsøke oppsummere hvilke erfaringer som finnes om biologisk nedbrytning av steinmaterialer. Det er selvsagt umulig å samle samtlige erfaringer som er gjort internasjonalt innen dette fagområdet. Denne rapport er derfor laget på bakgrunn av litteratursøk i sentrale biblioteksdata-baser, gjennomgang av en del nyere spesiallitteratur og personlig kontakt med forskere som arbeider med problemstillingene.

Målsetningen med denne rapporten er ikke å gi en komplett vitenskapelig dokumentasjon om alle mulige mekanismer og detaljer, men å dels gi en oversiktlig og lettfattat forklaring om ulike konsekvenser for biologiske aktivitet på/i steinmaterialer, dels en oppsummering av sentral faglitteratur.

For at det skal være mulig å forstå hovedtrekkene i det som skjer er det imidlertid nødvendig å forklare enkelte detaljert fakta. Vi håper likevel at innholdet er matnyttig og kan gi en plattform for å besvare de spørsmålene som kan dukke opp ved arbeid med vern av steinmaterialer.



## Innledning

Bygningsmaterialer utsettes stadig for ulike belastninger av vann, temperatursvingninger, forurensninger, mekanisk slitasje og biologiske organismer. De nedbrytende effektene som forekommer i forbindelse med treverk er etterhvert relativt velkjente, de mest sentrale faktorene er *råteskader* og *insektangrep*.

Andre bygningsmaterialer, særlig de uorganiske slik som stein, mur og puss, er regnet for å være mer motstandsdyktige mot biologisk nedbrytning. For disse materialene har de nedbrytende faktorene i første omgang vært regnet for å være fysiske faktorer som *vann*, *temperatursvingninger*, *lav pH* og *forurensninger*. Biologiske organismer har vært vurdert som fellesbegrep uten faglig inndeling eller forståelse for de individuelle livskravene de ulike artene har. Det har heller ikke vært vurdert hvilken påvirkning vekst har på underlaget, men kun sett på som en kosmetisk faktor, selv i nyere studier av steinkonservering (Storemyr 1993). Et eksempel på hvordan dette har vært sett på et vist i tabell 1. De seneste 10-15 årene har imidlertid en økende innsikt om ulike biologiske organismers individuelle påvirkning på uorganiske materialer medført at forklaringsmodellen for nedbrytning av disse materialene er vesentlig mer nyansert (tabell 3).

Tabell 1. Tradisjonell oppdeling av biologiske skadetyper på stein, mur og puss.

Organisme	Livskrav	Forekomst	Effekt
"Grønnske" (alger)	Sollys og fuktighet	Som en tynn hinne av "grønnske" på overflaten	Kosmetiske skader
"Planter", "høyere biologisk vekst" (trær, busker, mose eller lav)	Sollys og fuktighet	Overflater	Kosmetiske skader

Normalt sett er skadeutvikling en langsom prosess, med lite synlig forandring av materialet. Unntak er f.eks. avflassing av overflatebehandlinger, avflaking av puss og sprekkdannelse i murverk. Biologisk nedbrytning av stein, mur og puss er derimot sjeldent like dramatisk, og kan heller ikke sammenlignes med f.eks. med de tydelige og ofte raske forandringer ved råteskader i treverk. Ved å undersøke materialer inngående, kan man likevel ofte allerede på et tidlig tidspunkt oppdage begynnende etablering og nedbrytning forårsaket av biologiske organismer.

## Generell biologisk bakgrunn

### "Organismetyper"

Alle biologiske organismer må få tilført energi utenfra. For planter skjer dette ved fotosyntese, dvs. de er **autotrofe** ved at de bruker solstråling for å binde opp energi. Enkelte bakterier kan også defineres som autotrofe, mens andre bakterier og sopp er **heterotrofe**, dvs. at de må få tak i næring ved å utnytte den energien som andre organismer allerede har bundet opp.

Mikrofloran på steinmaterialer omfatter både auto- og heterotrofe organismer. Grunnen til at uorganiske materialer som mur og puss kan bli påvirket av biologiske aktivitet er ulike kjemiske påvirkninger som organismene styrer (figur 1). Ved denne kjemiske påvirkningen kan organismene enten få viktige stoffer som de trenger fra underlaget, eller en mulighet for å vokse nedover i underlaget slik at de får en beskyttet vokseplass. Ekte hussopp (*Serpula lacrymans*) er kjent for å kunne vokse flere meter på/i uorganiske materialer, f.eks. tvers igjennom mørtelfuger i teglvegger eller sprekker i støpte vegger. Mindre kjent er det at mange ulike mikroorganismer som bakterier, muggsopp og lav kan vokse innover i steinmaterialer og murverk. Normalt kan denne veksten skje ned til 2-8 mm dyp, i de mer ekstreme tilfellene ned til 100 mm ned i substratet (Krumbein 1988). Grunnen til at de vokser så dypt er en kombinasjon av at de finner gode nok forhold så langt inn og at substratet tillater organismen å spre seg innover. Krumbein (1973) viser til at organiske stoffer på overflaten av stein kan trenge flere cm inn.

På steinmaterialer er det en stor variasjon av mikroklima (temperatur, fuktighet, næring i substratet/tilført næring, beskyttelse). Dette resulterer i at man kan finne mange ulike nisjer, hvor helt bestemte arter forekommer.

### Innsmitting

Kommer fra det omkringliggende nærmiljøet, særlig fra jorden. Her vil den lokale floraen som forekommer i jorden til en viss grad også gjenspeiles på/i steinmaterialer, selv om det selvsagt aldri kan bli samme mengder eller artsvariasjon som i jorden. Den direkte innsmittingen kan dels skje ved at spredningsenheter er luftspredte eller vannspredte (sprut fra regn). Det sier seg selv at vannspredning er mest aktuell i forbindelse med områder ned mot bakken og eventuelt lokale områder med stor fuktbelastning, samtidig som luftspredning kan etableres over de hele steinflatene (men særlig de delene som er mest fuktbelastet).

### Etablering

Hvor raskt en etablering skjer er svært avhengig av temperatur, fuktighet og tilgang på næring. Vanligvis er dette en relativt langsom prosess, særlig under norske klimaforhold. I varmere klima kan man imidlertid registrere raskere vekst. Under gunstige vekstforhold kan veksten skje meget raskt; Myers & McCready (1966) viste at en type bakterie (*Serratia marcescens*) i løpet av 84 timer vokste 360 mm inn i sandstein og 80 mm inn i kalkstein.

### Forekomst

Organismene forekommer ulike steder, avhengig av hvilke livskrav de har. Både overflaten og innover i materialene er aktuelle voksesteder, tilsvarende som ulike eksponering og substrat gir grunnlag for ulike arter.

## Definisjon av nedbrytende effekter

Det er mulig å dele inn ulike nedbrytende effekter etter hvordan virkemåten er. En grundig inndeling er gjort av Krumbein (1988) som ikke finner det tilstrekkelig å benytte generelle termer som f.eks erosjon, korrosjon og værslitthet, men han opererer med bioerosjon, biokorrosjon osv. for å påpeke og definere den biologiske delen av disse problemene med biologisk nedbryting av stein, puss, malte flater o.l.. Han viser bl.a. til at materialene kan påvirkes både mekanisk og ulike former for kjemisk nedbrytning av biologiske organismer.

## Bakterier / Actinomyceter

Bakterier er en stor gruppe av organismer med mikroskopisk størrelse. Påvekst av disse er av den grunn som regel ikke mulig å se med det blotte øye. Bakterier har flere måter å skaffe seg næring på. Dels skjer dette ved aerobe forhold (i vanlig oksygenatmosfære), dels kan det skje under anaerobe forhold (typiske for dette er de s.k. svovelfikserende bakteriene). Utseende varierer, men en gruppe som er vanlig å finne på stein/murflater er s.k. actinomyceter. Disse har en diffus stilling mellom egentlige bakterier og sopp.

Smittekilden for etablering er fra det omkringliggende miljøet, særlig fra jorden. I jorden er det en rikelig flora med bakterier, stålesopp, muggsopp og alger. Næringsrik jord har mer og flere typer av organismer enn næringsfattig. Ifølge Burges & Raw (1967) er det opp til flere hundre millioner bakterier/gram jord, i ekstreme tilfeller flere milliarder bakterier/gram jord.

Bakteriene trenger tilførsel av næringsstoffer fra luften, særlig i forurensede omgivelser. De forekommer derfor i overflaten av substratet, ofte i surt miljø. En type bakterier er nitrogenfikserende, dvs. en gruppe kan få til en reaksjon mellom ammonium med vann til salpetersyre, mens en annen gruppe kan fikse  $\text{NO}_2$  sammen med vann til salpetersyre - som bryter ned sement. Tilsvarende har svovelfikserende bakterier mulighet for å produsere svovelsyre av  $\text{SO}_2$  og vann, hvilket i hvert fall kan løse opp kalkstein (Bock et al. 1988). Eksperiment med nitrogenfikserende bakterier (*Nitrosomonas sp.* og *Nitrobacter sp.*) på testblokk av sement (60 x 11 x 7 cm) viste at det ble produsert helt opp til 14 ml 65% salpetersyre/år (Bock et al. 1988).

Bakterier kan ikke utnytte sollys for å skaffe energi, de er så følsomme for UV-stråling at de raskest mulig etter etablering må klare å vokse innover i underlaget for å få beskyttelse. Det er i feltundersøkelser funnet nitrogenfikserende bakterier ned til 5 mm inn i stein, og i de mest ekstreme tilfellene helt ned til 50 mm inn i sandstein i Kølnerdomen (Bock et al. 1988). I det tilfellet var pH 5 på overflaten og 8,5 på et dyp av 50 mm inn i sandsteinen.

Bakterier er spesielt viktige i forbindelse med nedbrytning av malte murflater (både ved inn- og utvendig eksponering), særlig i antikvarisk sammenheng. Her blir ofte overflaten svakt gråhvitt misfarget og til dels saltutslag/avflassing kan forekomme. Eksempel på hvilke forhold som bakterier utvikles under er de skadene som

forekommer på fresco-malerier i Italia, hvor den relative luftfuktigheten er på 90-100% og temperatur svinger mellom 6-7 °C (vinterstid) og 16-18 °C (om sommeren) (Giacombini 1988). Skadene her opptrer som et rosa pulveraktig belegg, som forårsaker hvite, gule og fiolette misfarginger av veggene. Cepero et al. (1993) beskriver tilsvarende fargeforandringer på murmalerier i katedralen i Havanna. De dominerende organismene der var arter i slektene *Bacillus* (81% av prøvene) samt *Staphylococcus* og *Micrococcus* som begge forekom i ca. 6,5% av prøvene. Hovedårsaken til denne etableringen og aktiviteten var lange perioder med høy relativ luftfuktighet (75-97%) i kombinasjon med høy temperatur (25-27°C). Snittverdiene var i måleperioden 25,5°C og 75% RF.

Mikroorganismer kan ikke utelukkende leve av stein eller mur. Det må tilføres karbon og enkelte sporstoffer utenfra. Hvis dette skjer er imidlertid muligheten for biologisk aktivitet stor. Lewis et al. (1988) viste at bakteriekulturer i laboratorieforsøk kan forårsake nedbrytning av både sandstein og kalkstein, enten det var tilstedeværelse av organisk (peptone/glukose) og uorganisk (thiosulfat) næring. Enkelte isolater kunne forårsake vekttap i steinen ved begge typene av næringstilførsel. De fleste isolatene som ble testet ga ca. 5% vekttap i prøveperioden (som regel 20-60 døgn), samtidig som enkelte teststykker viste en signifikant **vektøkning** på mer enn 1% på grunn av dannelse av CaSO<sub>4</sub> på steinen. I de fleste tilfellene var det imidlertid slik at nedbrytningen kunne korreleres med oppløsningen av calcium fra steinen. Det ble dessuten vist at selv om metabolismen for bakteriene som forårsaket vekttapet var forskjellig, var selve mekanismen for nedbrytningen lik.

I tillegg til den direkte problemstillingen hvorvidt bakterier kan ha en nedbrytende effekt på murverk, har vi i forbindelse med nyere bygninger observert vekst av bakterier (hovedsakelig aktinomyceiter) på overflaten av støpt betong i utlekte kjellervegger under terreng i boliger. Konstruksjonen tåler begroingen og eventuell misfarging er uvesentlig da betongen er skjult bak bygningsplater. Isteden er den absolutt mest alvorlige problemstillingen faren for negative helsemessige effekt bakteriene kan ha for beboere (Mycoteam 1993).

## Muggsopp

Muggsopp forekommer både i forbindelse med ubehandlede steinmaterialer og overflatebehandlede flater. De får ikke tilstrekkelig næring fra ubehandlede steinflater, men næringen kommer fra ulike typer av forurensninger. I forbindelse med overflatebehandlinger på steinmaterialer øker imidlertid muligheten for tilgjengelig næring i underlaget.

Prøver fra ulike murflater, både bemalte og ubehandlede, har vist til dels rikelige mengder av muggvekst, hvor en vanlig svertesoppart som *Aureobasidium pullulans* dominerer. Undersøkelser fra andre deler av verden (f.eks. 2000 år gamle gravkammermalinger i India, veggene på det unike monumentet Taj Mahal og veggmalinger fra 1100-tallet i kloster i Østerrike) ser særlig på hva som forekommer i forbindelse med malte flater med stein som underlag (Dahwan 1992; Giacobine 1992; Petersen 1993; Saxena 1992). I Norge er det på malte flater ikke overraskende både de svært vanlig muggsopp-artene og de mer tørketålende artene som opptrer. De største problemene er uten tvil i forbindelse med bemalte flater, selv om det forekommer soppvekst direkte på stein og mur. Petersen (1988) viste at det var



mange ulike muggsopper som kunne leve på sandstein. Her var *Penicillium spp.* og *Phoma spp.* og særlig *Exophiala jeanselmei*. Mer tilfeldig var forekomsten av *Phaenotheca*-lignende arter, *Cladosporium spp.* og *Trichoderma spp.*. Den nedbrytende effekten disse soppene har skyldes organiske og uorganiske syrer som produseres i soppenes metabolisme. Ca. 50% av de isolatene som ble samlet inn fra monumenter av sandstein i Tyskland viste evne til å senke pH ved tilstedeværelse av en ekstern karbonkilde. Disse karbonkildene var i hovedsak enten fra mikrobielle metaboliske produkter, slim eller andre extracellulære polysakarider (glukose, galactose, fruktose, mannose, maltose og sakkarose), fra lagret næring (stivelse og glycogen) eller fra cellevegger i alger (cellulose). Resultatet av muggsoppens aktivitet er bl.a. skorpedannelse som kan medføre avflassing av overflateskikt av steinen.

## Råtesopp

Råtesopp er pr definisjon avhengig av tremateriale (cellulose) for å kunne leve. Likevel kan enkelte råtesopp og i særdeleshet ekte hussopp (*Serpula lacrymans*) forårsake større skader i pussede flater.

**Ekte hussopp** er regnet som en av våre mest alvorlige råtesopp. Ved nedbryting av tremateriale skiller soppen ut oksalsyre. I vekstmediet vil syren raskt forårsake at pH synker ned mot ca. 1,5 og veksten stopper opp hvis soppen ikke kan nøytralisere oksalysyren. Ekte hussopp trenger altså et basisk materiale for å kunne vokse. Kalk i mørtelfuger og i pussede flater fungerer som en glimrende pH-regulator for ekte hussopp. Soppen har stor evne til å trenge gjennom murverk (etser seg gjennom) og den kan frakte med seg vann og næringsstoffer gjennom spesielle ledningsstrenger. I en dansk undersøkelse (Bech-Andersen 1993) vises det til avstander varierende fra 0 - 6 m mellom soppens ytterpunkter og nærmeste fuktkilde. Ekte hussopp trives ved moderate fuktverdier (20-30 vektprosent trefuktighet) og kan under slike forhold vokse langt gjennom murverk og i pussede flater.

I eldre teglsteinsbygninger er det typisk at mørtelen benyttet til pussarbeidene svært ofte er tilsatt trefliser - trolig for å "armere" pussen og gjøre den mer "elastisk" og mer "fibrig" å arbeide med. Men denne tilsetningen av trefliser gir i tillegg til pussens porøse oppbygging og basiske reaksjon tilgang på trefiber (næring), noe som kan gi meget gode vekstforhold for ekte hussopp.

### Skader på puss/mur forårsaket av ekte hussopp:

Skadene som ekte hussopp forårsaker kan deles i to grupper:

- Biokorrosjonsskader forårsaket av oksalsyre (pH 1,5). Mur/puss brytes ned.
- Bioerosjonsskader forårsaket av fuktighet som transporteres ut i bl.a murpuss. Vinterstid vil dette medføre frostsprengning og avflaking av de ytre lag av puss.

Skader av ekte hussopp er meget vanlig i eldre teglsteinsbygninger og det er ikke uvanlig å finne de første tegn til en hussoppskade ved at pussede og malte flater viser svekkelser i form av løsbom, oppsmuldring av puss og avflaking av maling. Det er ikke registrert at ekte hussopp har angrepet trefliser i pussede flater alene, men angrepene har alltid sitt opphav i andre trekonstruksjoner i bygningen.

## Alger

Alger er grønne planter som trenger lys for fotosyntese. Samtidig har de som regel liten evne til å tåle uttørking. Det er derfor man finner mangfolden av alger i vann, og relativt få arter på land. Når de vokser over vannflaten er de derfor mest hyppig forekommende i miljøer hvor det er best mulig fukttilgang (enten i form av en høy relativ luftfuktighet eller direkte nedfukting av vann) og ikke for sterk eksponering i forhold til solstråling og vind. I de tilfellene alger kan leve sammen med andre organismer (sammen med sopp som gir samlebetegnelsen "lav") som gir lokal fuktbeskyttelse, kan vekst foregå under mer eksponerte forhold.

Cellene er runde eller lange, opptil 10-15 mm lange. De dannes ved deling, og opptrer derfor ofte i tetrader eller lange kjeder med celler.

Utseendemessig vil det makroskopiske utseendet til alger som regel gi et "grønt" belegg på overflaten av materialene. Dette er spesielt tydelig på nyetablerte flater eller i svært fuktutsatt miljø. Ved godt etablert vekst og særlig i litt tørrere omgivelser er det imidlertid ikke alltid like lett å se grønnfargen. Tilsvarende vanskelig er det når veksten foregår nede i sprekker eller i forbindelse med nedsmussede flater. Da kan det ofte at man først ved mikroskopiering oppdager at hovedorganismene er alger.

I den tempererte delen av verden, hvor bl.a. Norge er, dominerer ulike typer av grønnalger (*Chlorophyceae*). I tropene er det mer vanlig å finne trådformede lavtyper, som f.eks. *Trentepholia*, eller enkelte blå/grønne alger (Wright 1986).

## Lav

Lav er en organisering av to ulike organismer, alger og sopp, som har et nært og gjensidig samarbeid for å overleve på en mest mulig effektiv måte. Praktisk sett defineres de som en art sammen, og plasseres inn under soppsystematikken. I korthet går dette samarbeidet ut på at algene produserer energi i form av sukker ved fotosyntese, mens soppen beskytter fra uttørking og forsyner algen med næringsstoffer og vann. Av de fleste blir lav regnet for å være en langsomt overflatevoksende organisme som ikke kan forårsake skade i form av nedbrytning.

Det finnes mange lavararter med ulike vekstform og livskrav som ofte grupperes etter voksemåten; bladlav, busklav og skorpelav. Mange lavararter kan forekomme på stein, men det er særlig skorpelav, som med sin svært tiltrykte voksemåte har størst innvirkning på underlaget. De fleste artene vokser på overflaten (epilithisk), men enkelte av dem er mer eller mindre utviklet til å vokse ned i underlaget (endosubstratisk) for å få mest mulig beskyttelse (Middelborg & Mattsson 1987).

Beck-Andersen (1986) viser at lav som vokser på stein inneholder en vesentlig større mengde kalsium enn når den samme arten vokser på treverk. Lav kan både indirekte og direkte forårsake nedbrytning av stein. Indirekte skjer dette ved at lav holder litt på fuktighet, slik at muligheten for f.eks. frostsprengning øker. Direkte nedbrytning av underlaget forårsakes av lav både ved voksemåten som betyr at laven kan vokse inn i svakhetssoner i steinen, og derfra lett forverre tilstanden (Jones 1988) og ved at

de produserer ulike sekundære metabolitter, ofte kalt for lavsyrer (Krog et al. 1980, Middelborg & Mattsson 1987). Slike stoffer er vist til å kunne bryte ned stein og flere ulike forskere har vist til nedbrytning som er forårsaket av lav (Wright 1986, Jones 1988).

I forbindelse med utbedring av lavvekst er det typisk at de forsøk med kjemiske preparater for å løse påvekst med lav på stein enten omfatter vannavvisende stoffer (hvilket medfører at man kan risikere store problemer hvis det kommer vann inn bak denne overflatebehandlingen) eller biocider (som hverken kan garanteres eller gi langtidseffekt) har vært uten hell.

## **Mose**

Mose er et sekkebegrep for en mengde arter av grønne planter. Enkelte arter tåler uttørking men de fleste må ha jevn fuktbelastning. Både på eksponerte flater som tak og skyggefulle, fuktige områder er typiske voksesteder. Det er vist at mose på steinunderlag kan få unormalt høye verdier av calcium når den vokser på stein i stedet for treverk (Beck-Andersen 1986), selv om det er uklart hvorvidt mose aktivt bryter ned underlaget.

## **Høyere planter**

Også planter (både en- og tofrøbladete) som vokser på mur er vist å kunne inneholde store mengder av calcium (Beck-Andersen 1986), noe som indikerer at de kan medvirke til nedbrytning av steinmaterialer (direkte eller indirekte), selv om selve mekanismen ikke er kjent.

## **Dyr**

Enkelte insekter, særlig murerbier, kan utnytte murverk til reirplass. De benytter mørtelfugene, hvor de lager ganger med hulrom, hvor de har rom for yngelkammere. Andre smådyr, som skruketroll og insekter finner ofte gunstige livsbetingelser i forbindelse med fuktig murverk, hvor det i tillegg finnes sprekker og hulrom. Tilstedeværelse av disse dyrene er kun sekundært og har ingen negativ innvirkning på murverket.

## **Inspeksjonsrutiner**

Nedbrytning av stein, mur- og pussmaterialer forårsakes av mange ulike faktorer, og for å kunne vurdere det totale skadebildet, er det viktig å identifisere samtlige faktorer som inngår. Det er dessuten viktig å gjennomføre nøye inspeksjons- og prøvetakingsrutiner for å oppdage skadeårsakene.

Det er viktig å foreta mest mulig komplette registreringer i felt for å kunne vurdere hele skadebildet etter at evt. tilleggsanalyser er utført. Sentrale moment for gjennomføring av inspeksjonen er vist i tabell 2.

Tabell 2. Viktige moment som må tas med ved inspeksjon av stein, mur og puss-skader.

–	<u>Beskrivelse:</u>	<b>Bergflaten;</b> oppbygging, beliggenhet, eksponering, vedlikehold, historikk.
–	<u>Tilstand:</u>	Hvordan er den generelle tilstanden for de eksponerte materialene.
–	<u>Skade:</u>	Beliggenhet, omfang, utseende, form, farge.
–	<u>Prøvetaking:</u>	Hvordan er prøvene tatt, når, av hvem, er de representative?
–	<u>Analyse:</u>	Ny informasjon fra analysen?
–	<u>Vurdering:</u>	Hva er de mest kritiske forholdene, hvordan blir skaden tolket og vurdert, utbedringsalternativ?
–	<u>Konklusjon:</u>	Hvilken konklusjon kan trekkes, hvilke konsekvenser får dette for det videre samarbeid?
–	<u>Anbefaling</u>	Det må (om mulig) være en saklig og praktisk anbefaling, slik at det etterpå kan komme videre med problemet.

## Prøvetaking

For å kunne få et mest mulig komplett bilde av skaden er det ofte nødvendig å ta prøver for videre analyse. Et problem er å klare å ta ut prøver som i ettertid er mulig å arbeide med (steinflater/harde underlag), og at prøvene blir representative. Dette betyr at man må ta hensyn til ulike grader av eksponering.

Til prøvetakingen bør det sørge for at informasjon kompletteres med

- Bilder, tegninger
- Prøveposer (papir, ikke plast)
- Tape, glassklar type og dyrkningsskåler som benyttes til å lage avtrekk av overflater, begroing (sopp/mugg/alger..).

NB! Det er svært viktig å huske på at det hele tiden arbeidet mest mulig sterilt hvis noe av materialet må dyrkes opp for å klarlegge skadebildet slik at den endelige vurderingen kan bli tatt på et faglig forsvarlig grunnlag.

Man må huske på at en alvorlig feilkilde ligger i direkte berøringen av prøver. På huden er det naturlig en rikelig bakteriefloora, som kan forstyrre det opprinnelige skadebildet. Tilsvarende er det viktig at prøveposer er sterile (ikke brukes flere ganger. Dessuten kan andre ting skje, ikke minst når man slår ut prøver, og det er at man f.eks. mister prøven på bakken! Med hensyn til hvor mye bakterier det er nede i jorden, ville dette medføre en svært stor fare for at den opprinnelige floraen på prøven blir fullstendig overdekket av en sekundær innsmitting som ikke er mulig å skille ut ved analysen og som selvsagt ikke er relevant for skaden. Det ville dessuten være svært vanskelig å skille ut de "nye" fra de gamle, da det ofte er samme typer på steinoverflatene som i jorden (hvor de faktisk ofte er smittet inn fra i utgangspunktet).

- Prøvene må være rene, for å unngå forstyrrelse av skadebildet.
- Prøver må tas varierte steder, slik at hele skaden blir representert.

- Prøver må tas både fra overflaten og innover i materialet. Dette kan gjøres ved direkte avtrekksprøver og materialbiter. Disse kan både mikroskopieres direkte eller dyrkes opp.
- Prøver må følges opp med fuktmåling og registrering av andre relevante forhold (skadebilde, omfang, type, forløp).
- Dokumentasjon av skaden i form av referanseprøver, bilder og tegninger.

## Analysemetoder

Følgende moment må dekkes inn under analysearbeid med prøver:

- Beskriv metoder som blir benyttet (NB! Disse må selvsagt tilpasses den konkrete problemstillingen for å gi relevante resultater).
- Dokumenter resultatene.
- mikroskopering må foretas på både prøver fra det aktuelle skadestedet og på referanseprøver i antatt uskadet område.
- Dyrking av prøver fra skadet (og uskadet referanseområde) må skje under dokumenterte rutiner og betingelser.
- Identifikasjon og kvantifisering av organismer må dokumenteres, ved usikker bestemmelse må dette angis, slik at konklusjoner ikke baseres på feilaktig grunnlag.

## Vurdering

Den største vanskeligheten for å kunne foreta en fornuftig vurdering er å sikre seg at man har sett hele skadebildet, og f.eks. ikke bare symptomer eller de delene som er lett å registrere. En alvorlig feilkilde i den sammenhengen er overflateprøver hvor det ikke relateres til hvilken tilstand de innsamlede organismene befinner seg i. Hvis man tørker av en malt steinoverflate med en steril klut, og dyrker opp det som er samlet inn, vil man ikke vite hvorvidt organismene kun var tilstede i form av spredningsenheter eller virkelig vokste der. Denne feilen er det vanlig å legge merke til, særlig når prøvene tas sommerstid

- Hva er skadebildet?
- Årsaker?
- Konsekvenser?
- Videre skadeutvikling
- Alternativ for tiltak? (effektivitet, kostnad, inngrep, andre (bi)effekter)

## Saneringstiltak

Det omfattende problemet med rengjøring av steinflater med begroing er overraskende lite dokumentert i tidligere litteratur. Mange av de tidligere metodene i form av mekanisk rengjøring (stålborste, skraping, høytrykkspyling o.l.) og bruk av ulike kjemiske produkter (lut, syrer, formaldehyd, kvartære ammoniumforbindelse, klorin, alkohol, ulike kommersielle rengjøringsprodukter o.l.) ikke lengre er akseptable på grunn av den klare nedbrytningseffekten de har på steinmaterialet. Overdekkingsforsøk i forbindelse med inter-reg.-prosjektet viser meget positive effekter med minimal innsats og påvirkning på underlaget. Videre rapport om dette er beskrevet i separat prosjektrapport (*Mattsson 1999*).

### Overflatesopp

Overflatesopp forekommer på ubehandlede steinmaterialer. Vesentlig større problem forårsaker svertesopp på bemalte steinoverflater. Dette har malingsindustrien bestandig slitt med. Misfargede flater ble tidligere satt i forbindelse med bruk av pigmenter i maling: jordfarger får "jordslag", mens økt tilsetning av sinkhvitt minsker disse problemene (Thun 1961).

Overflatesopp eller svertesopp er en fellesbetegnelse på en rekke forskjellige muggsopp med pigmenterte hyfer (sopptråder) som angriper maling på tre og murflater. Soppene er ofte kraftig pigmentert (melanin) for å motstå solens skadelige UV-lys.

Det er en rekke forskjellige sopp som går inn i sekkebetegnelsen svertesopp. Fellesfaktoren er den mørke pigmenteringen. Til de vanligste regnes *Aureobasidium pullulans*, og *Cladosporium* sp. Felles for disse soppene er at de er meget nøysomme og malingsfilm og forurensede uorganiske flater kan være tilstrekkelig næringsgrunnlag. Svertesoppene overlever høye temperaturer og langvarig uttørring.

Problemet med vekst av overflatesopp varierer fra produkt til produkt. Dette henger sammen med produktenes basisegenskaper som grad av ruhet, innhold av "næringsstoffer", grad av krittning - "naturlig rengjøring" og diffusjonsåpenhet (vandring av evt. næringsstoffer i underlaget/opptak av næringsstoffer fra forurensning).

Innsmitting og vekst av overflatesopp skjer på tre forskjellige måter:

- Sporer fester seg til filmoverflaten, spirer og vokser på malingsfilmen og evt. inn i produktet og evt. ned i underlaget.
- Sporer fester seg i sprekker/triss i overflatebehandlingen og vokser i sjiktet mellom overflatebehandlingen og underlaget.
- Underlaget har hatt et angrep av overflatesopp før overflatebehandling. Soppen fortsetter å utvikle seg under overflatebehandlingen og bryter ut gjennom denne.

### Hvilke egenskaper er viktig ved produktene?

Når det gjelder malingsprodukter har en svensk undersøkelse (Bjurman et al 1991) konkludert med at akrylatfarger angripes raskere og får større omfang av overflatesopp enn andre overflatebehandlingssystemer. Akrylat-systemene er helt avhengig av virksomme og bestandige fungicider for å kunne gi en tilfredsstillende beskyttelse mot overflatesopp. Produkter som ikke inneholder stoff som kan fungere som næringsgrunnlag for svertesopp kan også, utsettes for begroing. Dette skyldes trolig at næringsstoffer kan deponeres på flaten og evt. diffundere inn i filmen.

### Analyse/utbedring

Før man setter inn tiltak for å utbedre angrep av overflatesopp er det meget viktig å fastslå om angrepene av overflatesopp kun er

1. **på** malingsfilmen,
2. **på** og i filmen,
3. **på, i og under** filmen.

Tilfelle 1 og milde former av 2 kan enkelt rengjøres og påføres soppvask før det legges på en ny overflatebehandling med tilfredsstillende egenskaper. Men hvilken

effekt har soppvaskemidlene på overflatesopp?. Mycoteam har testet enkelte av de vanligste vaskemidlene på markedet og sammenlignet med en klorinoppløsning 1:5 og en 2% oppløsning av natriumpentaklorfenol i vann (ikke tilgjengelig kommersielt, kun benyttet som sammenligningsgrunnlag). På ubehandlet overflatebehandling registrerte vi ca 4000 levende spredningsenheter av svertesopp på et areal på ca 3 cm<sup>2</sup>. Alle de benyttede soppvaskemidlene hadde en effekt, men den beste desinfiserende effekten ble oppnådd med klorinoppløsningen (figur xx). Klorinoppløsningen har forøvrig ingen langtidseffekt, noe flere av soppvaskemidlene vil ha.

### **Biocideffekter**

De middels effektive biocideffektene i en rekke moderne produkter påpekes i en oppsummering som er gjort om den internasjonale forskning som har vært gjennomført i løpet av de seneste 20 årene (Richardson 1988). Her er det vist til at det ikke forekommer mer effektive alternative biocider enn tradisjonelle stoffer som består av borater, kvartære ammoniumforbindelser og organotinn/kvartære ammoniumforbindelser.

### **Høytrykkspyling**

Eksperimenter med rengjøring av sandstein ved hjelp av høytrykkspyling (Warscheid et al. 1988) viste at kort tid etter behandlingen var det minst like mye mikroorganismer i overflaten av steinen, ofte mer, både av alger, bakterier og sopp. Dette skyldes at steinen etter høytrykkspylingen både var fuktig i lang tid hvilket var gunstig for ny vekst. Dessuten avdekket rengjøringen hulrom og sprekker (som tidligere var tettet av smuss og avleiringer fra tidligere mikrobiell aktivitet) hvor fornyet vekst kunne skje.

### **Oppsummering**

Ved vurdering av skader i forbindelse med stein, mur og puss er det mange viktige faktorer som det i første omgang er lett å overse. Hvis man skal kunne foreta en faglig forsvarlig vurdering av forholdene må man av den grunn både ha kjennskap om hva som kan forekomme og kunnskaper for hvordan man skal gå frem for å kartlegge problemet. I tabell 3 er det en oversikt over de biologiske hovedgruppene av organismer som er kjent for å kunne opptre, og hvordan det ser ut.

Tabell 3. Oppsummering av biologiske organismer på stein, mur og puss

Organisme	Livskrav	Forekomst	Effekt
Bakterier	Relativ høy pH, konstant fukttilgang, midlere temperatur	Steder med skygge og jevn fuktbelastning	Kan forårsake biokorrosjon
Mugg-/sverte-sopp	Tåler uttørking og perioder med høye temperaturer, varierende pH	Til dels direkte på stein, mer vanlig på malte flater, særlig hvor lett tilgjengelige næringsstoffer finnes	Misfarging, biokorrosjon,
Ekte hussopp	Må ha organisk materiale - trematerialer - i kontakt med basisk (kalkholdig) materiale. Kan frakte vann og næringsstoffer over lange avstander.	Vanlig forekommende i eldre teglsteinskonstruksjoner med etasjeskillere i tre.	Utskiller oksalsyre med pH 1,5 som ødelegger mur/puss. Tilfører fuktighet til murverk fra fjertliggende (6 m) fukt-kilder - evt. fare for frostsprengning.
Alger	Må ha sollys, er relativt lite tørketålende	Skyggefulle og fuktbelastede områder, både ubehandlede og malte flater	Kan ta opp calcium, og dermed bryte ned overflaten
Lav	Må ha sollys, og er ofte svært tørketålende	Ofte svært eksponerte steder f.eks. tak	Kjemisk nedbrytning av uorganiske materialer.
Mose	Trenger sollys, enkelte arter tåler uttørking men de fleste må ha jevn fuktbelastning	Både på eksponerte flater som tak og skyggefulle, fuktige områder	Kan akkumulere calcium, men uklart hvorvidt den aktivt bryter ned under-laget
Planter		Forekommer evt. i forbindelse med fuktbelastede områder	Enkelte arter kan akkumulere calcium, underlaget kan brytes noe ned, særlig ved fysisk skade ved rotveksten
Dyr (murerbie, skrukke troll, "diverse smådyr")	Enkelte insekter kan trenge reirplass, særlig murerbien	I forbindelse med mørtel og løse/myke materialer.	Huler ut rom for yngelkammere

## Litteratur

Arai, H. (1990).

*Biodeterioration of Cultural Properties and Its Control*. Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, Tokyo.

Bech-Anderson, J. (1986).

*Biodeterioration of Natural and Artificial Stone Caused by Algae, Lichens, Mosses and Higher Plants*. Biodeterioration 6, 126-131. CAB International, England.

Bech-Anderson, J. (1993).

*Ægte hussvamp og svamp i huse*. Hussvamlaboratoriet. København.

Bjurman, J. et al. (1990).

*Migration av lågmolekyära substanser och ytliga angrepp av missfärgande svampar på målat tre*. Rapport från förstudie. Stocholm 1990.

Bock, E., Sand, W., Meincke, M., Wolters, B., Ahlers, B., Meyer, C. & Sameluck, F. (1988).

*Biologically Induced Corrosion of Natural Stones - Strong Contamination of Monuments with Nitrifying Organisms*. Biodeterioration 7, 436-440. Elsevier, Essex.

Cepero, A., Martinez, P., Castro, J., Sánchez, A., Machado, J. (1993).

*The biodeterioration of cultural property in the Republic of Cuba. A review of some experiences*. Biodeterioration of Cultural Property 2. Proceedings of the 2nd International Conference October 5-8, 1992, Yokohama, Japan, 479-487. Tokyo.



- Dhawan, K.L., Garg, K.L. & Pathak, N. (1993).  
*Microbial Analysis of Ajanta Wall Paintings and Their Control in situ*.  
 Biodeterioration of Cultural Property 2. Proceedings of the 2nd International  
 Conference October 5-8, Yokohama, Japan, 245-262. Tokyo.
- Giacobini, C., De Cicci, M.A., Tiglie, I. & Accardo, G. (1988).  
*Actinomycetes and Biodeterioration in the Field of Fine art*. Biodeterioration 7,  
 418-423. Elsevier, Essex.
- Jones, D., Wilson, M.J., McHardy, W.J. (1988).  
*Effects of Lichens on Mineral Surfaces*. Biodeterioration 7, 129-134. Elsevier,  
 Essex.
- Koestler, R.J., Santoro, E.D., Druzik, J., Preusser, F., Koeppe, L. & Derrik, M. (1988).  
*Status Report: Ongoing Studies of the Susceptibility of Stone Consolidants to  
 Microbiologically Induced Deterioration*. Biodeterioration 7, 441-448. Elsevier,  
 Essex.
- Krumbein, Wolfgang (1988).  
*Concrete and stone, Microbial Interactions with Minearal Materials*. Biodeteri-  
 oration 7, 78-100. Elsevier, Essex.
- Lewis, F.J., May, E., Bravery, A.F. (1988).  
*Metabolic Activities of bacteria Isolated from Building Stone and their  
 Relationship to Stone Decay*. Biodeterioration 7, 107-112. Elsevier, Essex.
- Lyalikova, N.N. & Petushhkova, J.P. (1991)  
*Role of Microorganisms in the Weathering of Minerals in Building Stone of  
 Historical Buildings*. Geomicrobiology Journal, Vol. 9, 91-101.
- Mattsson, J. (1993)  
*Service Life of Buildings Components of Ancient, Historic and Newer Wooden  
 Buildings*. Biodeterioration of Cultural Property 2. Proceedings of the 2nd  
 International Conference October 5-8, 1992, Yokohama, Japan, 66-79. Tokyo.
- Mattsson, J. (1999).  
*Projektrapport, desember 1999 (in press)*.
- Middelborg, J. & Mattsson, J. (1987).  
*Crustaceous lichenized species of the Caliciales in Norway*. Sommerfeltia 5, Oslo.
- Mycoteam (1993)  
*Forskningsrapport om "Innredede kjellervegger under bakkenivå"*. Forskningsrap-  
 port, Oslo.
- Orial, G., Castanier, S., Le Metayer, G., Loubiere, J.F. (1993).  
*The Biomineralization: A new process to protect calcareous stone; applied to  
 historic Monuments*. Biodeterioration of Cultural Property 2. Proceedings of the  
 2nd International Conference October 5-8, 1992, Yokohama, Japan, 98-116.  
 Tokyo.
- Petersen, K. & Hammer, I (1993).  
*Biodeterioration of Romanesque Wall Paintings Under Salt Stress in the Nonnberg  
 Abbey, Salzburg, Austria*. Biodeterioration of Cultural Property 2. Proceedings of  
 the 2nd International Conference October 5-8, 1992, Yokohama, Japan, 263-277.  
 Tokyo.
- Petersen, K., Kuroczkin, J., Strzelczyk, A.B. & Krumbein, W.E. (1988).  
*Distribution and Effects on Fungi on and in Sandstone*. Biodeterioration 7, 123-  
 128. Elsevier, Essex.
- Richardson, B.A. (1987).  
*Control of Microbial Growths on Stone and Concrete*. Biodeterioration 7, 101-  
 106. Elsevier, Essex.
- Saxena, V.C., Singh, R. (1992).  
*Screening of Fungal Mycoflora Associated with Biodegradation of Pasting  
 Material in Taj Mahal*. Pre-print of the Biodeterioration of Cultural Property 2, 66-  
 79. Tokyo.

Storemyr, Per (1993).

*Grafisk dokumentasjon i steinkonservering*. Teknisk bygningsvern, rapport fra seminar 30/10-1/11 1991, Raulandsakademiet. NAVF, Oslo.

Strzelczyk, A.B. (1981).

*Stone*. Microbial Biodeterioration (ed. A.H. Rose), Academic press, London.

Twilley, J. (1993).

*The Lichen/Rock Interface: Structural and Compositional Studies*. Biodeterioration of Cultural Property 2. Proceedings of the 2nd International Conference October 5-8, 1992, Yokohama, Japan, 80-97. Tokyo.

Warscheid, T., Petersen, K. & Krumbein, W.A. (1988).

*Effect of Cleaning on the Distribution of Microorganisms on Rock Surfaces*. Biodeterioration 7, 455-460. Elsevier, Essex.

Wright, I.C. (1986)

*The Deterioration of Paint Films by Algae and Lichens*. Biodeterioration 6, 637-643. CAB International, England.

Zádor, M. (1992).

*Experience with cleaning and consolidating stone facades in Hungary*. Stone Cleaning and the nature, soiling and decay mechanisms of stone (edit. Robin G.M. Webster), 146-152. Donhead Publishing, London.

## **Vedlegg B**

### **Bakgrunnsdata for målinger med WETCORR**

- **Prinsipp for WETCORR-instrumentet**
- **Resultater fra målinger med WETCORR for for perioden juli 1998-november 1999**



## WETCORR-instrumentet

Hensikten med WETCORR-instrumentet (Henriksen og Haagenrud, 1994) er å måle innvirkning av fukt og fukttilstanden på eller i et materiale.

Instrumentet kan brukes til mikroklimatiske målinger som:

- ⇒ måle lokal påvirkning av vann på objektet
- ⇒ måle lokal overflatetemperatur på forskjellige deler av objektet
- ⇒ måle fuktinnholdet av porøse materialer over tid (INWOOD)
- ⇒ måle temperaturen inne i det porøse materialet (INWOOD)

WETCORR instrumentet er konstruert med to type sensorer:

- WETCORR-sensor, til måling av tid med nok vann på overflaten (TOW)
- INWOOD-sensor, til måling av tid med fuktinnhold over nivået for råterisiko inne i porøse materialer

Begge type sensor måler temperaturen.

Prinsippet for WETCORR-instrumentet er å måle strømmen mellom to elektroder ved en konstant spenning.

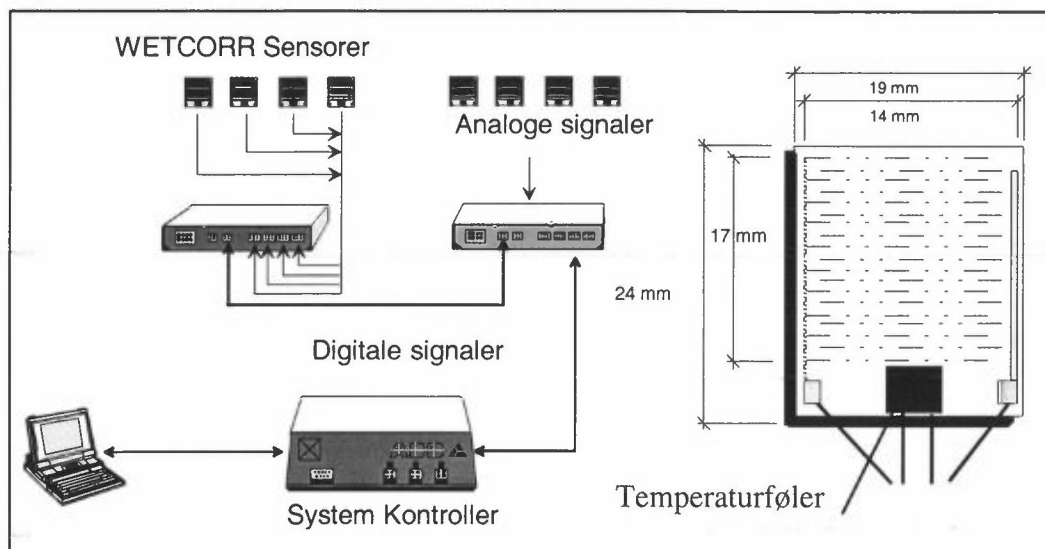
Måleprinsippet bruker den elektrokjemiske reaksjonsprosessen på en elektrokjemisk celle til å måle strømmen som en funksjon av tykkelsen av fuktighetsfilmen som dekker elektrodeoverflaten.

WETCORR instrumentet gir tidsserier av strøm og temperatur.

Et software-program vil konvertere resultatene til TOW, fuktinnhold over valgte prosenter og temperatur over begrensende verdier for mikrobiologisk vekst. Tidsseriene blir behandlet i et regneark og ønskede parametere beregnes.

WETCORR-sensoren består av to typer sensorer:

- våttidsensoren (TOW) formet av to gullelektroder med en isolasjonsavstand på 127  $\mu\text{m}$
- temperatursensoren Pt1000 klasse B (DIN 43760/IEC 751)



Figur A.1: Prinsippet for WETCORR-instrumentet.

Et komplett WETCORR-system kan bli satt opp med 64 målepunkter.

Tabell B1: Antall timer og andel av tiden per måned med fuktighet over 10 nA (fuktig overflate) for sensorene på sensoradapter 01

		Antall timer med fuktighet				Andel timer med fuktighet			
		Grense for fuktighet: 10 nA							
		nA01	nA02	nA03	nA04	nA01	nA02	nA03	nA04
Juli	1998	139	241		590	0.20	0.35		0.86
August	1998	146	235	145	634	0.20	0.32	0.19	0.85
September	1998	305	312	261	687	0.42	0.43	0.36	0.96
Oktober	1998	272	281	206	431	0.60	0.62	0.45	0.95
November	1998	524	574	479	720	0.73	0.80	0.67	1.00
Desember	1998	723	675	734	693	0.97	0.91	0.99	0.93
Januar	1999	645	714	500	744	0.87	0.96	0.67	1.00
Februar	1999	433	440	408	538	0.64	0.65	0.61	0.80
Mars	1999	618	546	594	717	0.83	0.73	0.80	0.96
April	1999	458	469	404	639	0.64	0.65	0.56	0.89
Mai	1999	199	284	198	541	0.27	0.38	0.27	0.73
Juni	1999	257	368	223	632	0.36	0.51	0.31	0.88
Juli	1999	138	173	111	532	0.19	0.23	0.15	0.72
August	1999	97	193	87	518	0.13	0.26	0.12	0.70
September	1999	369	390	229	653	0.51	0.54	0.32	0.91
Oktober	1999	352	354	220	695	0.47	0.48	0.30	0.93
November	1999	646	573	523	715	0.90	0.80	0.73	0.99

Tabell B2: Antall timer og andel av tiden per måned med temperatur under 0°C for sensorene på sensoradapter 01

		Antall timer				Andel tid			
		Temperatur under 0 grader							
		Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4
Juli	1998	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
August	1998	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
September	1998	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Oktober	1998	6	54	18	37	0.01	0.12	0.04	0.08
November	1998	440	486	396	366	0.61	0.68	0.55	0.51
Desember	1998	407	381	401	314	0.55	0.51	0.54	0.42
Januar	1999	419	393	405	349	0.56	0.53	0.54	0.47
Februar	1999	515	378	486	328	0.77	0.56	0.72	0.49
Mars	1999	440	250	298	233	0.59	0.34	0.40	0.31
April	1999	4	35	7	9	0.01	0.05	0.01	0.01
Mai	1999	0	15	0	3	0.00	0.02	0.00	0.00
Juni	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Juli	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
August	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
September	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Oktober	1999	0	30	0	14	0.00	0.04	0.00	0.02
November	1999	118	183	130	140	0.16	0.25	0.18	0.19

Tabell B3: Antall fryse/tine sykler per måned og månedsmiddeltemperatur for sensorene på sensoradapter 01

		Antall fryse/tinesykler				Månedsmiddeltemperaturer			
		Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	m-Temp1	m-Temp2	m-Temp3	m-Temp4
Juli	1998	0	0	0	0	19.9	18.0		16.3
August	1998	0	0	0	0	17.4	16.3	20.6	15.2
September	1998	0	0	0	0	14.6	13.6	16.5	13.1
Oktober	1998	2	10	4	5	5.6	5.0	6.0	5.6
November	1998	21	35	30	30	-1.1	-2.0	-1.1	-1.3
Desember	1998	8	14	13	15	-0.3	-0.8	-0.7	0.2
Januar	1999	11	12	14	8	-1.8	-2.4	-1.8	-1.8
Februar	1999	15	31	22	22	-2.6	-2.1	-2.1	-1.6
Mars	1999	12	31	17	17	0.8	1.1	1.3	1.0
April	1999	2	14	2	1	7.8	7.8	10.1	6.9
Mai	1999	0	4	0	2	12.6	12.3	16.6	9.9
Juni	1999	0	0	0	0	17.4	16.4	20.3	14.6
Juli	1999	0	0	0	0	21.3	20.8	25.8	18.2
August	1999	0	0	0	0	19.1	18.2	23.1	16.5
September	1999	0	0	0	0	15.8	15.3	17.6	14.8
Oktober	1999	0	7	0	3	7.8	6.9	8.3	7.5
November	1999	11	12	12	12	4.2	3.8	3.9	4.7

Tabell B4: Antall døgn per måned med temperaturdifferanser over 10 og 15°C for sensorene på sensoradapter 01

		Døgnlig temperaturdifferanse							
		Antall døgn > 10 grader				Antall døgn > 15 grader			
		Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4
Juli	1998	16	22		9	4	18		2
August	1998	15	27	26	12	0	22	21	0
September	1998	6	16	16	8	0	10	14	3
Oktober	1998	0	5	7	3	0	0	2	0
November	1998	0	2	3	0	0	1	0	0
Desember	1998	0	5	0	3	0	1	0	1
Januar	1999	0	3	1	3	0	0	0	0
Februar	1999	0	16	11	3	0	5	3	1
Mars	1999	0	11	7	5	0	7	4	0
April	1999	15	21	22	13	4	15	17	2
Mai	1999	22	24	25	19	8	21	24	8
Juni	1999	15	24	24	11	6	19	19	2
Juli	1999	24	29	30	17	14	23	25	3
August	1999	16	28	26	24	4	24	24	8
September	1999	6	17	17	10	0	12	13	2
Oktober	1999	0	11	12	9	0	1	7	0
November	1999	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabell B5: Antall timer og andel av tid med fuktighet over 10 nA (fuktig overflate) for sensorene i sensoradapter 02.

		Antall timer med fuktighet				Andel timer med fuktighet			
		Grense for fuktighet: 10 nA							
		nA01	nA02	nA03	nA04	nA01	nA02	nA03	nA04
Juli	1998	683	143	136	165	1.00	0.21	0.20	0.24
August	1998	744	187	139	196	1.00	0.25	0.19	0.26
September	1998	718	240	201	246	1.00	0.33	0.28	0.34
Oktober	1998	454	196	206	244	1.00	0.43	0.45	0.54
November	1998	720	469	558	576	1.00	0.65	0.78	0.80
Desember	1998	744	743	744	743	1.00	1.00	1.00	1.00
Januar	1999	744	635	663	744	1.00	0.85	0.89	1.00
Februar	1999	672	440	509	578	1.00	0.65	0.76	0.86
Mars	1999	744	608	660	698	1.00	0.82	0.89	0.94
April	1999	720	379	405	508	1.00	0.53	0.56	0.71
Mai	1999	744	191	198	215	1.00	0.26	0.27	0.29
Juni	1999	720	272	278	326	1.00	0.38	0.39	0.45
Juli	1999	744	123	134	172	1.00	0.17	0.18	0.23
August	1999	744	109	105	147	1.00	0.15	0.14	0.20
September	1999	720	264	257	315	1.00	0.37	0.36	0.44
Oktober	1999	744	261	249	295	1.00	0.35	0.33	0.40
November	1999	720	516	559	603	1.00	0.72	0.78	0.84

Tabell B6: Antall timer og andel av tiden per måned med temperatur under 0°C for sensorene i sensoradapter 02

		Antall timer				Andel tid			
		Temperatur under 0 grader							
		Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4
Juli	1998	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
August	1998	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
September	1998	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Oktober	1998	0	14	18	12	0.00	0.03	0.04	0.03
November	1998	284	409	518	453	0.39	0.57	0.72	0.63
Desember	1998	435	383	444	404	0.58	0.51	0.60	0.54
Januar	1999	423	404	458	492	0.57	0.54	0.62	0.66
Februar	1999	672	479	535	545	1.00	0.71	0.80	0.81
Mars	1999	447	171	460	396	0.60	0.23	0.62	0.53
April	1999	0	7	8	4	0.00	0.01	0.01	0.01
Mai	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Juni	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Juli	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
August	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
September	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Oktober	1999	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
November	1999	0	129	151	150	0.00	0.18	0.21	0.21

Tabell B7: Antall tine/fryse sykler per måned og månedsmiddeltemperatur for sensorene i sensoradapter 02

		Antall fryse/tine sykler				Middel-temperatur			
		Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4
Juli	1998	0	0	0	0	21.2	23.1		22.8
August	1998	0	0	0	0	19.2	20.5	20.5	20.1
September	1998	0	0	0	0	16.1	16.5	16.4	16.1
Oktober	1998	0	3	6	4	6.8	6.2	6.0	5.9
November	1998	6	28	20	19	0.1	-1.2	-1.3	-1.1
Desember	1998	4	14	9	6	-0.1	-0.2	-0.4	-0.3
Januar	1999	2	14	11	10	-1.1	-1.7	-1.7	-1.7
Februar	1999	0	22	16	13	-2.7	-2.4	-2.8	-2.7
Mars	1999	4	45	8	10	0.6	1.6	1.2	1.1
April	1999	0	2	2	1	8.1	10.3	9.9	9.5
Mai	1999	0	0	0	0	14.2	17.0	16.8	16.3
Juni	1999	0	0	0	0	18.5	20.8	20.5	19.9
Juli	1999	0	0	0	0	22.7	26.3	26.0	25.4
August	1999	0	0	0	0	21.2	23.2	22.9	22.4
September	1999	0	0	0	0	16.7	17.7	17.4	17.2
Oktober	1999	0	0	0	0	8.4	8.5	8.2	8.1
November	1999	0	10	9	14	4.3	3.8	3.8	3.8

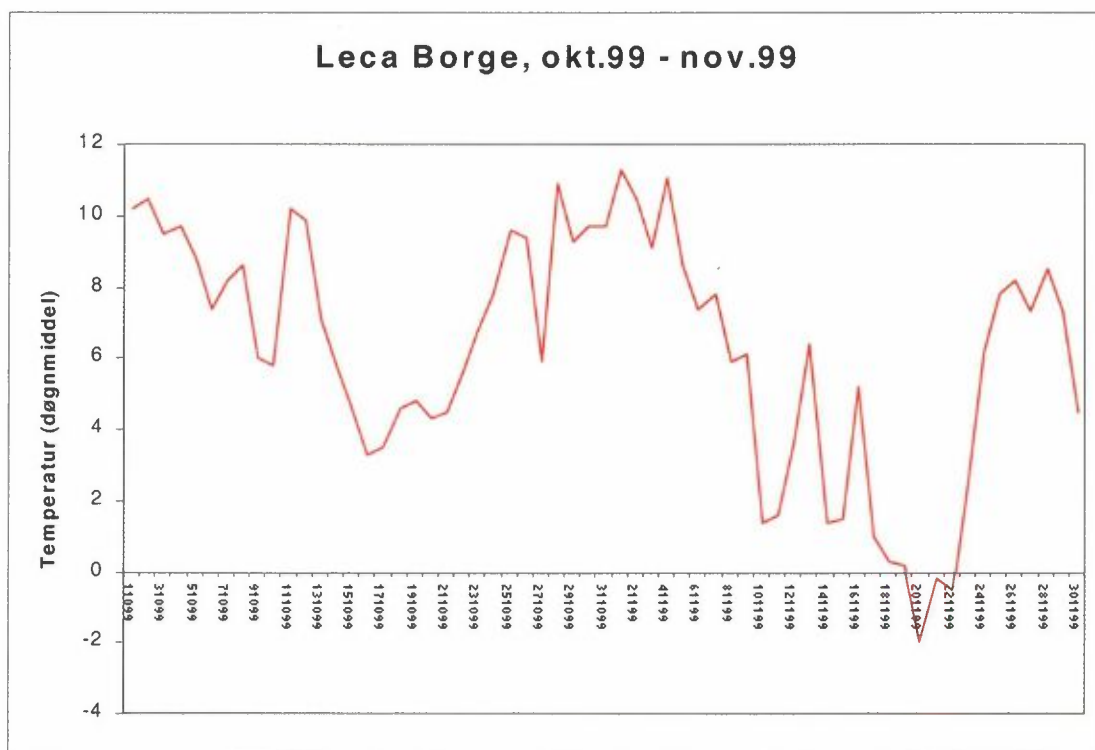
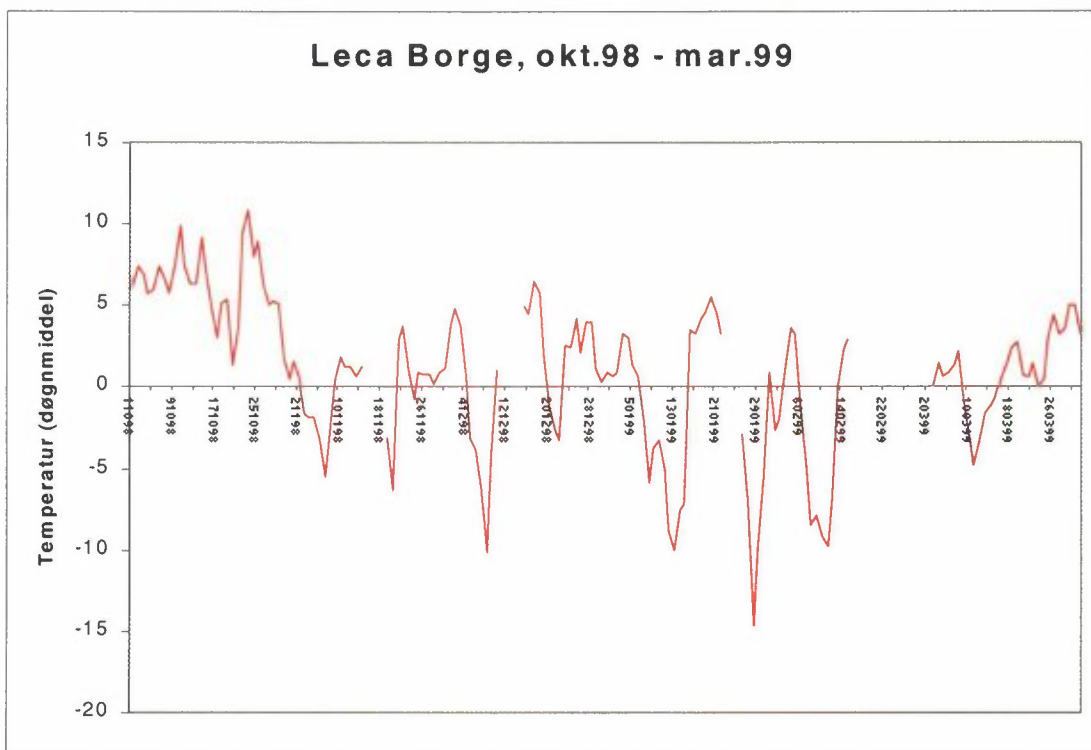
Tabell B8: Antall døgn per måned med temperaturdifferanser over 10 og 15°C for sensorene på sensoradapter 02

		Døgnlig temperaturdifferanse							
		Antall døgn > 10 grader				Antall døgn > 15 grader			
		Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4
Juli	1998	23	23	23	23	19	19	19	18
August	1998	26	26	26	26	21	21	21	21
September	1998	16	16	16	16	10	10	10	9
Oktober	1998	7	7	4	3	1	1	1	1
November	1998	0	0	0	0	0	0	0	0
Desember	1998	0	0	0	0	0	0	0	0
Januar	1999	0	0	0	0	0	0	0	0
Februar	1999	6	6	4	4	0	0	0	0
Mars	1999	8	8	6	5	5	5	3	1
April	1999	22	22	21	19	17	17	15	12
Mai	1999	25	25	25	25	24	24	24	23
Juni	1999	24	24	23	22	19	19	17	16
Juli	1999	30	30	30	30	28	28	25	24
August	1999	27	27	26	25	24	24	23	23
September	1999	17	17	17	16	14	14	12	12
Oktober	1999	0	15	11	9	0	7	3	2
November	1999	0	0	0	0	0	0	0	0

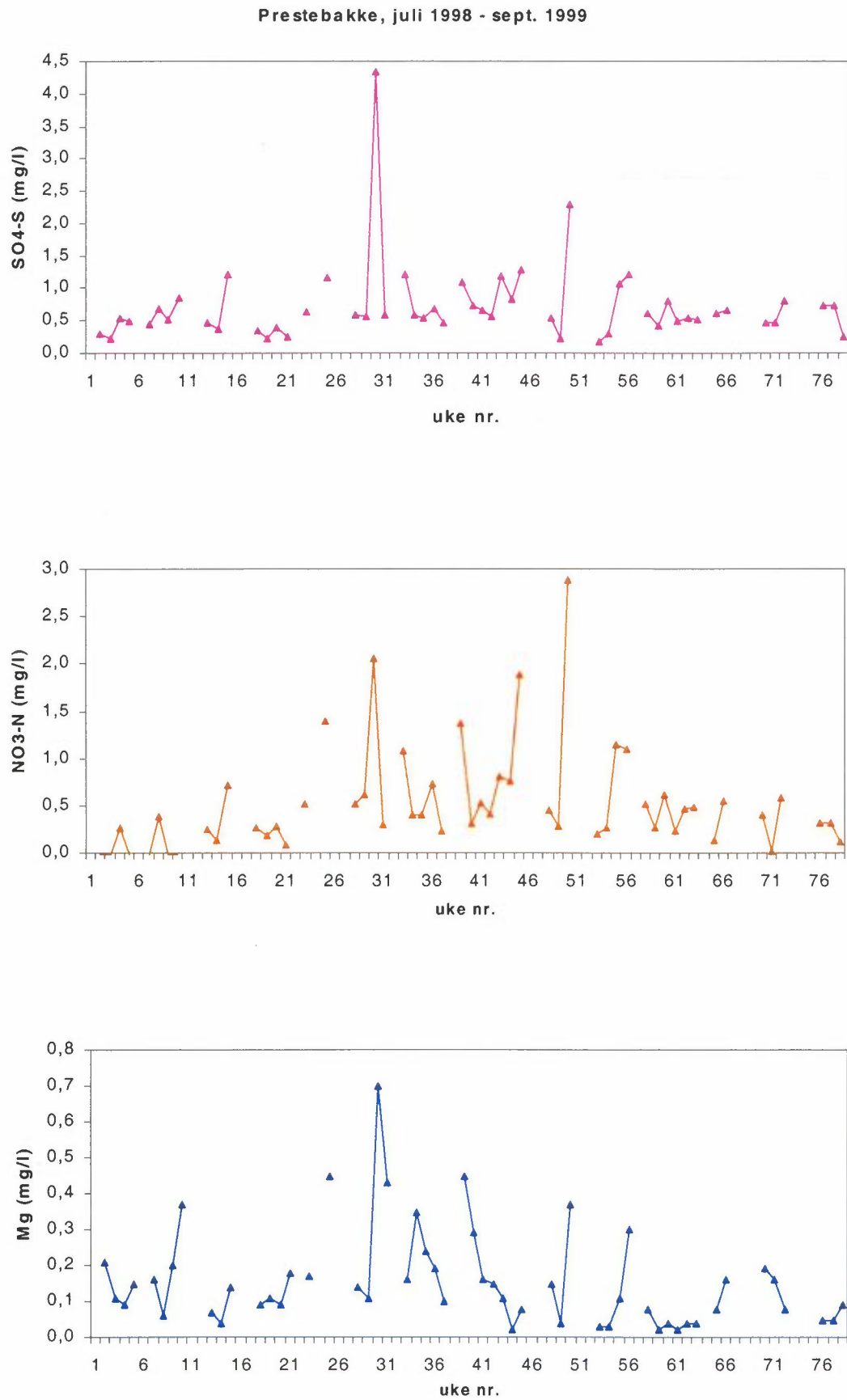
## **Vedlegg C**

### **Bakgrunnsdata for NILUs miljømålinger**





Figur C1. Temperaturer fra Borge basert på ukesmidler for vinteren 98/99, og for månedene oktober og november 99.



Figur C2: Konsentrasjoner av ioner i nedbør fra Prestebakke.

Tabell C1: Begby-feltet - ioner i nedbør fra nedbørsamler (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).

Periode	mm (N)	mm (K)	mm (L)	pH (N)	pH (K)	pH (L)	$\mu\text{S}$ (N)	$\mu\text{S}$ (K)	$\mu\text{S}$ (L)	Merknader
3-14.7	34,9	31,4		5,04	4,6		10	53		
14-23.7	16,1	17,2		9,2	6,88		49	63		
23.7-27.7	3,3	2,4		4,74	5,43		13	210		
27.7-4.8	18,9	17,1		4,7	4,62		15	118		
4-11.8	9	7,9		5,4	4,72		8	139		
11-17.8	45,9	36,5		4,39	4,59		20	48		
17-25.8	14,7	12,6		4,65	4,83		29	194		
25.8-2.9	7	3,2		5,47	5,04		6	98		
2-15.9	76	59,2		4,61	5,24		17	57		
15-22.9	13,4	10	5,3	5,02	5,23	4,31	7	24	43	
22-29.9	5,3	3,9		4,04	5,27		58	70		
29.9-5.10	0,4	0,4	0	6,66	6,33		41			
5-13.10	16	13,5		4,5	4,52		25	111		
13-22.10	34,4	29,9	23,8	4,45	4,55	4,45	22	60	20	
22.10-2.11	71,7	74,8	60,2	4,86	4,64	4,65	13	70	15	
02.11-11.11	29,9	30,3	24,5	4,64	4,9	4,5	15	32	17	
11-17.11	3,2	6,2		6,66	6,16		44	52		L har gått til 27.11
17-27.11	4,4	2,9	15,3	3,75	3,6	4,2	235	2000	76	Sterk vind fra SSV
27.11-20.12	4,3	10,3	0	4,29	4,02		104	555		Vind fra SV
20.12-5.1	65,2	61,9		4,38	4,12		44	345		Tilnærmet vindstille
5-12.1 (1999)	6,4	8,8		6,14	5,21		20	168		Vind fra S
12-21.1	59,1	58,5		4,44	4,3		36	146		
21.1-1.2	15,9	19,9		4,48	3,94		33	295		
1-15.2	2,3	3,1		4,1	4,11		117	340		Vind fra NV
15-25.2	8,9	8,5		4,77	4,04		27	517		Vind fra S
25.2-3.3	23,8	23,1		4,48	4,21		41	128		

Tabell C1 forts.

Periode	mm (N)	mm (K)	mm (L)	pH (N)	pH (K)	pH (L)	$\mu$ S (N)	$\mu$ S (K)	$\mu$ S (L)	Merknader
3-10.3	56,8	71,5		4,39	4,38		26	36		
10-18.3	32,4	30,3		4,53	4,79		34	56		Lite vind fra S
18-24.3	19,7	18,9		4,47	4,44		27	45		Vind fra S
24.3-8.4	28,7	29,6		4,21	3,71		58	221		L eksp. fra 11.4. *)
8-19.4	51	56,1	10,4	4,89	4,79	4,59	15	35	20	
19-29.4	25	24,5	13,7	5,01	5,37	4,78	20	24	17	
29.4-6.5	0	0	0							
6-14.5	65,4	71,7	46,4	4,75	4,6	4,68	12	29	13	
14-22.5	11	5,2	11,4	5,09	4,85	4,71	18	60	17	
22.5-2.6	5,3	1,6	5	4,42	4,28	4,18	64	886	51	Mye vind fra SV
2-16.6	72,6	70,7	74,4	4,47	5,5	4,54	21	48	17	
16.6-2.7	79,6	55,4	63,8	4,34	5,4	4,38	30	40	25	
2-27.7	29,8	38,4	20,9	4,31	5,29	4,49	29	47	16	
27.7-30.8	48,1	56,8		4,65	5,17		18	31		Lite vind, mest fra NØ
30.8-16.9	22,1	14,2		4,27	6,54		38	76		
16.9-11.10	95,5	95,5	150,3	4,6	5,04	4,51	23	27	22	
11.10-1.11	32	34,7	33,0	4,47	4,39	4,33	34	219	33	
1-17.11	27,4	22,9	25,1	4,39	4,33	4,34	38	184	35	
17-30.11	18,8	14,3	25,8	4,19	4,04	4,28	149	353	86	Alle samlere var fulle.**)

\*)Vind fra SV, og 18 og 19/4 også fra NNV

\*\*) Sterkere vedvarende vinder mest fra SV



Tabell C2: Begby - kationer i nedbør, kronedrypp og lokksamler

Periode	Na (N)	Na (K)	Na (L)	K (N)	K (K)	K (L)	Ca (N)	Ca (K)	Ca (L)	Mg (N)	Mg (K)	Mg (L)	NH4-N (N)	NH4-N (K)	NH4-N (L)	Merknader
3-14.7	0,52	5,3		0,09	3,95		0,07	0,7		0,08	0,83		0,02	0		
14-23.7	0,21	2,06		0,22	2,01		8,11	10,25		0,14	0,41		0,17	0		
23.7-27.7	0,51	24,38		0,27	11,67		0,39	3,4		0,1	4,37		0,05	0		
27.7-4.8	0,72	14,35		0,15	5,33		0,1	1,39		0,1	1,9		0,11	0		
4-11.8	0,76	19,15		0,23	5,38		0,08	1,45		0,1	2,14		0,03	0,17		
11-17.8	0,29	5,1		0,12	1,8		0,14	0,62		0,08	0,81		0,44	0,22		
17-25.8	2,65	28,46		0,15	3,06		0,16	2,28		0,34	3,39		0,02	0,42		
25.8-2.9	0,25	11,93		0,13	6,44		0,08	0,88		0,05	1,19		0,19	0,83		
2-15.9	0,41	6,67		0,08	4,21		0,12	0,49		0,06	0,67		0,24	0,06		
15-22.9	0,09	2,28	0,51	0,08	1,21	0,31	0,2	0,24	0,52	0,03	0,27	0,08	0,02	0,45	0,9	L:17-29.9
22-29.9	0,76	7,02		0,16	5,18		0,32	1		0,13	1,11		0,81	0,39		
29.9-5.10																
5-13.10	1,04	11,2		0,12	5,93		0,13	1,53		0,13	1,77		0,13	0,31		
13-22.10	0,79	5,49	0,6	0,08	2,03	0,17	0,06	0,62	0,07	0,1	0,73	0,08	0,09	0,35	0,01	
22.10-2.11	0,83	7,79	0,74	0,07	1,23	0,04	0,05	0,69	0,05	0,1	0,97	0,09	0,13	0,17	0,005	
02.11-11.11	0,28	2,22	0,26	0,06	0,73	0,03	0,04	0,19	0,03	0,04	0,25	0,05	0,19	0,64	0,07	
11-17.11	2,88	1,77	5,77	2,24	1,86	0,23	0,2	0,07	0,29	0,04	0,08	0,68	2,43	4,06	0,58	L:11-27.11
17-27.11	18,77	212,46		0,89	13,4		1,07	25,16		2,21	36,44		2,14	9,98		
27.11-20.12	6,7	58,02		1,54	5,02		0,98	6,22		0,83	8,6		1,98	5,21		
20.12-5.1	2,98	42,69		0,22	2,72		0,15	2,78		0,37	5,18		0,49	1,46		
5-12.1 (1999)	1,51	20,42		0,63	1,85		0,14	1,38		0,3	2,42		0,57	2,04		
12-21.1	2,45	15,96		0,15	1,02		0	1,07		0	2		0,32	0,81		
21.1-1.2	2,12	33,32		0,23	1,98		0,33	2,52		0,19	4,6		0,3	1,06		
1-15.2	7,65	31,63		0,78	4,36		1,35	5,16		1,03	5,62		1,67	5,78		
15-25.2	1,82	69,6		0,19	4,28		0,46	7,43		0,23	9,39		0,23	3,3		
25.2-3.3	3,21	12,72		0,25	1,09		0,22	1,24		0,38	1,49		0,39	0,78		

Tabell C2 forts.

Periode	Na (N)	Na (K)	Na (L)	K (N)	K (K)	K (L)	Ca (N)	Ca (K)	Ca (L)	Mg (N)	Mg (K)	Mg (L)	NH4-N (N)	NH4-N (K)	NH4-N (L)	Merknader
3-10.3	0,44	1,71		0,11	0,35		0,19	0,29		0,06	0,22		0,44	0,42		
10-18.3	0,89	2,94		0,34	1,21		0,24	0,75		0,1	0,68		1,16	1,95		
18-24.3	0,51	1,98		0,19	0,96		0,11	0,62		0,05	0,39		0,77	0,86		
24.3-8.4	1,21	13,62		0,2	1,83		0,32	2,98		0,15	2,4		2,16	2,43		
8-19.4	0,44	2,87	0,58	0,08	0,53	0,08	0,07	0,36	0,07	0,06	0,36	0,08	0,27	0,66	0,28	
19-29.4	0,2	0,71	0,11	0,14	0,58	0,09	0,31	0,38	0,07	0,07	0,19	0,04	0,99	1,23	0,52	
29.4-6.5																
6-14.5	0,06	0,89	0,04	0,03	1,38	0,03	0,13	0,3	0,06	0,03	0,19	0,02	0,2	0,38	0,13	
14-22.5	0,64	1,92	0,34	0,26	3,91	0,04	0,24	1,45	0,08	0,08	0,78	0,05	0,72	2,12	0,28	
22.5-2.6	4,05	115,4	1,23	0,52	17,16	0,08	0,64	15,75	0,25	0,55	17,67	0,17	1,4	5,84	0,71	
2-16.6	0,36	4,49	0,19	0,12	4,01	0,03	0,09	0,6	0,04	0,05	0,59	0,03	0,2	0	0,19	
16.6-2.7	0,64	3,11	0,47	0,05	3,42	0,28	0,09	0,52	0,09	0,08	0,5	0,04	0,31	0,14	0,19	
2-27.7	0,61	3,97	0,29	0,09	3,66	0,01	0,16	0,95	0,08	0,09	0,78	0,04	0,2	0	0	
27.7-30.8	0,22	2,4		0,08	2,81		0,2	0,47		0,05	0,36		0,31	0	0	
30.8-16.9	0,81	7,16		0,08	6,73		0,23	1,19		0,12	1,16		0,1	0	0	
16.9-11.10	1,98	2,03	0,78	1,09	1,11	0,02	0,38	0,38	0,08	0,33	0,33	0,09	0	0	0	
11.10-1.11	1,17	22,55	0,81	0,12	3,72	0,03	0,25	2,77	0,15	0,18	3,42	0,1	0,46	0,27	0,13	
1-17.11	1,62	18,26	1,39	0,09	2,28	0,04	0,1	1,6	0,08	0,2	2,29	0,16	0,22	0	0	
17-30.11	12,67	54,43	6,84	0,54	4,11	0,3	1,08	2,99	0,33	1,5	5,05	0,76	0,95	1,1	0,45	

Tabell C3: Begby - anioner i nedbør (N), kronedrypp (K) og lokksamler (L).

Periode	Cl (N)	Cl (K)	Cl (L)	NO3-N (N)	NO3-N (K)	NO3-N (L)	SO4-S (N)	SO4-S (K)	SO4-S (L)	Merknader
3-14.7	1	11,16		0,13	0		0,28	0,73		
14-23.7	0,36	3,4		0,45	0		0,41	0,54		
23.7-27.7	0,75	48,94		0,25	0		0,47	3,55		
27.7-4.8	1,18	25,58		0,23	0		0,47	1,96		
4-11.8	1,35	35,87		0	0		0,22	2,08		
11-17.8	0,53	9,47		0,45	0		0,73	1,28		
17-25.8	4,78	53,54		0,15	0		0,7	3,44		
25.8-2.9	0,38	18,75		0	0		0,17	3,43		
2-15.9	0,7	10,82		0,32	0		0,46	0,93		
15-22.9	0,16	2,36	0,79	0,06	0	0,93	0,26	0,46	1,51	L:17-22.9
22-29.9	1,01	10,67		1,1	0,01		1,65	1,93		
29.9-5.10										For lite vann
5-13.10	1,8	18,48		0,34	0,43		0,59	3,16		
13-22.10	1,43	9,85	1,16	0,35	0,45	0,28	0,37	1,45	0,33	
22.10-2.11	1,54	14,11	1,44	0,17	0,46	0,14	0,24	1,13	0,22	
02.11-11.11	0,59	3,46	0,56	0,27	0,31	0,28	0,41	1,48	0,39	
11-17.11	3,68	2,28	10,29	0,15	0,01	1,32	0,35	0,9	1,1	L:11-27.11
17-27.11	33,66	447,21		4,29	19,53		3,78	32,16		
27.11-20.12	11,13	115,3		2,45	7,18		3,1	12,8		
20.12-5.1	5,41	77,21		0,6	2,2		0,81	5,82		
5-12.1 (1999)	2,32	40,63		0,2	0,48		0,5	3,96		
12-21.1	4,33	29,51		0,52	1,4		0,66	2,69		
21.1-1.2	2,99	59,65		0,58	3,63		0,95	6,16		
1-15.2	13,33	47,51		2,38	3,54		3,07	15,51		
15-25.2	3,39	113,01		0,36	5,45		0,73	12,49		
25.2-3.3	5,74	21,93		0,54	1,32		0,88	2,71		

Tabell C3 forts.

Periode	CI (N)	CI (K)	CI (L)	NO3-N (N)	NO3-N (K)	NO3-N (L)	SO4-S (N)	SO4-S (K)	SO4-S (L)	Merknader
3-10.3	0,72	2,57		0,52	0,6		0,73	1,03		
10-18.3	1,44	4,59		0,8	1,3		1,3	2,39		
18-24.3	0,76	2,68		0,8	1,29		0,68	1,27		
24.3-8.4	2,13	21,86		1,76	4,32		1,65	5,53		
8-19.4	0,68	4,94	0,99	0,38	0,41	0,46	0,23	0,72	0,33	
19-29.4	0,26	0,75	0,16	0,71	0,64	0,46	0,74	0,96	0,48	
29.4-6.5										
6-14.5	0,11	1,49	0,13	0,21	0,47	0,21	0,35	0,95	0,34	
14-22.5	0,93	3,94	0,64	0,48	1,93	0,31	0,62	2,19	0,43	
22.5-2.6	6,01	203,44	1,77	1,6	9,64	1,1	1,88	18,43	1,3	
2-16.6	0,57	8,59	0,36	0,36	0	0,32	0,51	1,27	0,43	
16.6-2.7	1,05	5,91	1,04	0,59	0,01	0,44	0,71	1,21	0,55	
2-27.7	1	6,88	0,52	0,51	0	0,1	0,67	1,31	0,46	
27.7-30.8	0,27	3,88		0,33	0		0,63	1,05		
30.8-16.9	1,11	11,7		0,65	0		0,87	2		
16.9-11.10	3,53	3,53	1,51	0	0	0,15	0,79	0,78	0,46	
11.10-1.11	2,08	44,32	1,53	0,71	1,18	0,52	0,82	3,93	0,67	
1-17.11	2,75	33,45	2,64	0,56	1,32	0,39	0,59	2,92	0,47	
17-30.11	23,23	65,83	12,13	1,61	3,21	0,92	2,35	5,44	1,25	

Tabell C4: Begby - gasser (passive prøvetakere)

Periode	SO2 (µg/m3)		Middel	NH3		Middel	NO2		Middel	Merknader
	1	2	SO2	1	2	NH3	1	2	NO2	
3-23.7	0,48	1,85	1,2	0,2	0,2	0,2	4,22	3,34	3,8	
23.7-4.8	2,62	2,14	2,4	0,88	0,35	0,6	4,34	4,17	4,3	
4-17.8	2,1	3,3	2,7	0,8	0,3	0,6	6,32	6,96	6,6	
17.8-2.9	1,67	1,71	1,7	0,62	0,25	0,4	7,22	6,48	6,9	
2-22.9	2,41	2,1	2,3	1,5	1,25	1,4	6,58		6,6	
22.9-5.10	3,21	2,51	2,9	1,32	1,19	1,3	15,47	6,49	11,0	Dårlige par.(NO2)
5-22.10	4,51	4,5	4,5	0,63	2,72	1,7	9,18	10,14	9,7	-.- -.- (NH3)
22.10-11.11	4,87	5,19	5,0	5,7	1,46	3,6		10,71	10,7	-.- -.- (NH3)
11-27.11	6,5	4,52	5,5	0	0	0,0	13,92	12,96	13,4	
27.11-20.12	4,73		4,7	0	0	0,0	13,42	13,46	13,4	
20.12-5.1	6,35	12,8	9,6	0	0	0,0	13,57	13,01	13,3	Dårlige par.(SO2)
5-21.1	3,25	4,68	4,0	0	0	0,0	17,84	17,8	17,8	
21.1-1.2	7,51	8,09	7,8	0	0	0,0	18,2	18,26	18,2	
1-25.2	4,85	4,32	4,6	0	0	0,0	17,17	17,28	17,2	
25.2-10.3	4,81	3,81	4,3	0	0	0,0	8,51	8,5	8,5	NO2 fra 25.2 til 12.3
10-24.3	3,3	3,3	3,3	1,49	1,4	1,4	13,19	13,14	13,2	
24.3-8.4	4,81	4,22	4,5	0	0	0,0	16,89	16,94	16,9	
8-29.4	1,86	2,09	2,0	0	0	0,0	7,29	7,58	7,4	
29.4-14.5	3,71	4,07	3,9	0	0	0,0	4,69	3,5	4,1	
14.5-2.6	2,75	2,27	2,5	0	0	0,0	6,44	6,78	6,6	
2.6-2.7	2,22	1,42	1,8	0,84	0,85	0,8	6,29	6,29	6,3	

Tabell 4b: Begby - ozon

Periode	1	2	Middel
3-23.7.98	57,5	54,5	56,0
23.7-4.8	51,3	51,3	51,3
4-17.8	45,9	61,3	53,6
17.8-2.9	43,1	44,5	43,8
2-22.9	43,1	40,7	41,9
22.9-5.10	43,7	41,9	42,8
5-22.10	38,4	58,7	48,6
22.10-11.11	32	53	42,5
27.11-20.12	32,4	34	33,2
20.12-5.1.99	29,5	36,9	33,2
5-21.1	35	45	40
21.1-1.2	51	51	51
1-25.2	47,7	45,9	46,8
25.2-10.3	63,4	62,1	62,8
10-24.3	60,7	65,4	63,1
24.3-8.4	68	100	84
8-29.4	59	70	64,5
29.4-14.5	77	63	66,5
14.5-2.6	77	100	88,5
2.6-2.7	80		80

Tabell C5a: Begby - aerosolfeller (mg/m<sup>2</sup>d)

Periode	Mnd.	SO4-S	NO3-N	CI
3.7-1.8	juli	0,07	0,02	0,85
1.8-1.9	aug.	0,09	0,11	0,95
1.9-5.10	sept.	0,11	0,09	0,35
5.10-11.11	okt.	0,17	0	0,43
11.11-5.1	nov.+des.	0,1	0,08	1,46
5.1-1.2	jan.99	0,36	0,18	3
1.2-3.3	feb.	0,06	0	0,38
3-24.3	mars	0,24	0,16	0,76
24.3-8.4	mars/apr.	0,06	0,02	0,44
8-29.4	april	0,05	0,16	0,08
29.4-1.6	mai	0,3	0,25	1,56
1.6-2.7	juni	0,18	0,09	0,73

## **Vedlegg D**

### **Bakgrunnsdata for petrografiske og geokjemiske undersøkelser av bergarten på Begby**





Tabell D1: Mineralsammensetning (vol.%) av bergarten ved nord- (III/1 og 2) og sør- (II/3) side av innsamlingsfeltet for avrenningsvann og ved vannsig (1) (I/A) og vannsig (2) (IV/2)

	Kvarts	Plag. omd)	(mye K-spat	Biotitt	(del. Kloritt	Musk.	Epid.	Opake	Andre	tot. pkt <sup>a</sup>	
III/1-1h <sup>b</sup>	28,0	42,1	(12,6)	38,6	5,8 (1,1)	0,4	0,0	0,1	0,6	0,1	2000
III/1-2h	28,8	30,9	(12,2)	33,6	4,0 (0,7)	0,7	0,5	0,2	1,2	0,4	2000
III/1-3h	30,6	39,8	(17,1)	22,9	2,3 (0,2)	1,9	0,7	0,7	0,4	0,8	2000
III/1-4h	26,7	26,4	(16,3)	41,8	2,9 (0,6)	0,9	0,3	0,2	0,8	0,3	2000
III/1-5h	32,0	38,5	(19,0)	22,8	5,0 (0,2)	0,6	0,3	0,2	0,5	0,4	2000
III/1-6h	29,7	29,8	(15,8)	35,4	2,4 (0,6)	1,0	0,3	0,4	1,1	0,1	2000
III/1-7h	26,0	27,3	(17,0)	41,0	2,4 (0,3)	1,4	0,4	0,4	0,8	0,5	2000
III/1-8h	29,3	31,9	(14,3)	32,9	3,9 (1,0)	0,5	0,5	0,3	0,6	0,3	2000
III/1-9h	25,0	30,9	(21,6)	40,3	1,7 (0,2)	0,9	10,0	0,5	0,6	0,2	2000
III/1-10h	27,8	26,6	(15,2)	38,9	3,3 (0,4)	1,8	0,3	0,5	0,8	0,3	2000
III/1-11h	19,3	30,8	(14,7)	44,2	3,4 (0,4)	0,8	0,1	0,2	0,8	0,7	2000
middel	27,5	32,3	(16,0)	35,6	3,4 (0,5)	1,0	1,2	0,3	0,7	0,3	
III/2-1v <sup>c</sup>	24,4	27,5	(15,4)	41,9	2,9 (0,6)	1,5	0,5	0,5	0,7	0,3	2000
III/2-2v	29,9	21,1	(12,8)	41,8	5,5 (0,2)	0,2	0,2	0,4	0,8	0,2	2000
III/2-3v	29,2	21,8	(9,3)	43,1	3,7 (0,1)	0,2	0,3	0,4	1,5	0,2	2000
middel	27,8	23,47	(12,50)	42,3	4,0 (0,3)	0,6	0,3	0,4	1,0	0,2	
II/3-1v	23,0	32,4	(29,0)	40,1	0,3 (0,0)	2,5	0,2	0,4	0,5	0,5	2000
II/3-2v	24,7	18,2	(15,3)	49,8	0,8 (0,1)	4,8	0,3	0,2	1,2	0,2	2000
II/3-3v	16,0	37,4	(14,1)	36,9	0,6 (0,0)	0,9	0,0	0,3	7,7	0,4	2000
middel	21,2	29,3	(19,5)	42,3	0,6 (0,0)	2,7	0,2	0,3	3,1	0,4	
I/A-1v	24,7	24,1	(10,5)	47,4	1,50 (0,2)	1,5	0,1	0,4	0,1	0,2	1500
I/A-2v	22,3	40,0	(11,5)	34,6	1,70 (0,6)	0,7	0,2	0,1	0,8	0,0	2000
I/A-3v	36,2	43,6	(11,6)	11,6	5,9 (0,8)	1,1	0,4	0,3	1,1	0,2	2000
I/A-4v	29,9	27,0	(11,9)	39,5	1,9 (0,3)	0,7	0,2	0,5	0,5	0,0	2000
I/A-5v	20,1	34,7	(19,6)	41,1	1,6 (0,8)	1,2	0,4	0,1	0,2	0,2	2000
I/A-6v	28,5	30,8	(13,4)	34,0	4,4 (0,6)	1,3	0,3	0,2	0,5	0,3	2000
I/A-7v	34,4	39,9	(4,0)	11,1	12,9 (1,5)	0,6	0,1	0,0	0,6	0,6	2000
middel	28,0	34,3	(11,8)	31,3	4,3 (0,7)	1,0	0,2	0,2	0,5	0,2	
IV/2-1v	30,5	30,4	(15,8)	34,0	3,3 (0,1)	0,5	0,2	0,4	0,8	0,4	2000
IV/2-2v	29,1	25,6	(11,8)	40,0	3,0 (0,0)	0,6	0,0	0,2	1,5	0,3	2000
IV/2-3v	35,0	26,5	(10,5)	34,5	2,8 (0,0)	0,6	0,0	0,1	1,5	0,0	2000
IV/2-4v	30,3	20,7	(16,7)	35,1	2,2 (0,0)	0,5	0,2	0,3	0,7	0,1	2000
middel	31,2	25,8	(13,7)	35,9	2,8 (0,0)	0,6	0,1	0,2	1,1	0,2	

<sup>a</sup> tot.pkt: Totalt antall punkt i hvert tynnslip

<sup>b</sup> 1h-11h: Nummer for tynnslip, lagt som horisontale snitt parallelt overflaten, ett per ca. 5 mm dybde gjennom kjernen. 1h er fra øverste del.

<sup>c</sup> 1v-7v: Nummer for tynnslip, lagt som vertikale profil gjennom kjernene, hvor 1v er fra øverste del.

Tabell D2: . Kjemisk sammensetning i vekt% oksid av plagioklaskorn  
(mikrosondeanalyser markert i

**PLAGIOKLAS (III/2-1v), sauserittisert (Fig.11A)**

	1	2	3	4	5	6	7	middel
<b>SiO<sub>2</sub></b>	66,48	62,24	65,25	61,68	61,70	63,30	66,26	63,84
<b>TiO</b>	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19,94	24,48	20,75	23,37	23,27	23,39	20,23	22,20
<b>FeOt*</b>	0,00	0,32	0,11	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07
<b>MnO</b>	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01
<b>MgO</b>	0,02	0,09	0,08	0,04	0,00	0,02	0,00	0,04
<b>CaO</b>	0,84	0,49	1,40	4,80	4,72	4,88	1,47	2,66
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	10,30	7,52	9,95	8,52	8,40	8,60	10,59	9,13
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,13	3,40	0,50	0,16	0,16	0,18	0,20	0,68
<b>Total</b>	97,73	98,55	98,04	98,61	98,29	100,37	98,82	98,63

**PLAGIOKLAS (III/2-1v) med leirmineralisering (Fig.11B)**

	1	2	3	4	5	6	middel
<b>SiO<sub>2</sub></b>	62,31	62,03	62,71	63,39	61,16	61,25	62,14
<b>TiO</b>	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	23,22	23,25	23,39	22,21	23,96	24,14	23,36
<b>FeOt*</b>	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
<b>MnO</b>	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,08	0,02
<b>MgO</b>	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>CaO</b>	4,97	5,04	5,06	3,92	5,79	6,00	5,13
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	8,62	8,52	8,53	8,78	7,98	7,83	8,38
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,18	0,13	0,19	0,30	0,21	0,21	0,20
<b>Total</b>	99,34	99,00	99,90	98,61	99,12	99,54	99,25

Tabell D3. Kjemisk sammensetning i vekt% oksid (mikrosondeanalyser) av kalifeltspat og bioittitt (uomdannet og totalt klorittisert).

KALIFELTSPAT	III/2-1v					III/2-2v					III/3-1v					III/3-2v					middel
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
SiO <sub>2</sub>	62,55	63,70	62,87	63,15	63,62	64,59	63,51	63,41	64,36	63,53	63,89	63,38	63,62	63,86	64,47	62,72	64,25	63,55	63,86	63,63	
TiO	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,05	0,01	0,06	0,00	0,01	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,60	18,51	17,48	17,92	17,74	18,66	19,00	18,56	18,48	18,50	18,65	18,57	18,45	18,75	18,58	18,95	18,98	18,62	18,65	18,51	
FeO'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
MgO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	
CaO	0,03	0,05	0,02	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	
Na <sub>2</sub> O	0,70	0,81	0,52	0,57	0,57	0,65	0,65	0,50	0,68	0,50	0,54	0,70	0,50	0,52	0,61	0,48	0,70	0,41	0,68	0,59	
K <sub>2</sub> O	15,91	15,99	16,34	16,37	16,15	16,17	16,01	16,48	16,12	15,84	16,49	16,63	15,81	16,24	16,20	16,14	15,97	16,38	15,73	16,16	
Total	97,86	99,06	97,26	98,06	98,09	100,19	99,23	98,94	99,69	98,39	99,59	99,35	98,42	99,39	99,87	98,35	99,97	99,04	98,94	98,93	

BIOTITT: ingen/liten klorittisering	III/2-1v					III/2-2v					III/3-1v					III/3-2v					middel
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
SiO <sub>2</sub>	35,03	35,17	34,26	35,83	34,55	35,46	34,52	35,38	35,03	34,14	34,25	23,49	25,33	23,31	24,64	25,43	23,89	23,71	23,53	24,17	
TiO	2,93	2,90	2,64	2,52	2,52	2,58	2,57	2,42	2,63	0,10	0,06	0,12	0,17	0,06	0,06	0,02	0,00	0,08	0,94	0,16	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,75	15,97	15,92	15,36	15,47	15,69	15,21	15,54	15,61	19,96	20,35	20,05	17,72	20,36	18,23	18,01	19,39	20,23	19,79	19,41	
FeO*	22,90	22,59	22,65	22,99	23,03	23,23	22,91	23,20	22,94	30,91	30,82	31,94	30,56	31,51	30,53	29,12	31,48	31,62	30,84	30,93	
MnO	0,49	0,54	0,56	0,47	0,43	0,47	0,48	0,48	0,49	0,93	0,90	1,00	0,76	0,94	0,86	0,84	0,98	0,95	0,82	0,90	
MgO	8,07	7,75	7,74	8,08	8,42	8,17	7,95	8,25	8,05	10,06	10,24	9,65	9,48	9,57	11,37	11,72	10,04	10,03	10,08	10,22	
CaO	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,16	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,03	
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,11	0,11	0,08	0,11	0,01	0,00	0,05	0,07	0,00	0,00	0,16	0,00	0,02	0,00	0,02	0,04	0,01	0,03	
K <sub>2</sub> O	9,78	9,73	9,65	9,71	9,85	9,68	10,06	9,51	9,75	0,05	0,12	0,05	0,23	0,03	0,08	0,00	0,04	0,01	0,05	0,07	
Total	95,00	94,68	93,53	95,06	94,36	95,39	93,70	94,78	94,56	86,23	86,77	86,32	84,56	85,78	85,78	85,16	85,83	86,66	86,06	85,92	

Tabell D4. Kjemisk sammensetning (XRF-analyser av hovedelement) av bergart fra nord- (III/3-1h-12h) og sørside (II/1-1h-14h) av innsamlingsfelt for avrenningsvann og fra vannsig (2). Kjemene er delt opp i ca 0.5 cm tykke subprøver parallelt med overflate, hvor 1h representerer øverste del av kjerne). Hoved- og sporelementer er analysert med XRF og Sr-isotoper med massespektrometer.

NORD	wt. %													
	<u>SiO<sub>2</sub></u>	<u>TiO</u>	<u>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>FeO</u>	<u>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>MnO</u>	<u>MgO</u>	<u>CaO</u>	<u>Na<sub>2</sub>O</u>	<u>K<sub>2</sub>O</u>	<u>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></u>	<u>LOI</u>	<u>SUM</u>	
II/3-1h	71,73	0,28	14,12	0,86	1,30	0,05	0,39	1,17	2,30	5,58	0,06	0,72	98,56	
II/3-2h	72,09	0,26	14,49	1,01	1,24	0,04	0,45	1,07	2,14	6,11	0,07	0,63	99,60	
II/3-3h	72,47	0,24	14,08	1,01	1,06	0,04	0,42	1,09	2,17	5,86	0,06	0,60	99,10	
II/3-4h	71,50	0,26	14,12	1,04	1,00	0,04	0,44	1,10	2,18	5,89	0,05	0,69	98,31	
II/3-5h	72,46	0,26	13,94	1,08	0,87	0,04	0,39	1,10	2,18	5,69	0,07	0,55	98,63	
II/3-6h	72,14	0,25	14,11	1,01	0,84	0,04	0,38	1,22	2,34	5,38	0,07	0,54	98,32	
II/3-7h	72,34	0,25	14,00	1,12	0,92	0,04	0,38	1,10	2,09	5,82	0,06	0,49	98,61	
II/3-8h	72,40	0,26	14,32	1,12	1,01	0,04	0,39	1,20	2,23	5,60	0,06	0,60	99,23	
II/3-9h	72,60	0,24	14,36	1,08	0,86	0,04	0,35	1,21	2,34	5,57	0,05	0,49	99,19	
II/3-10h	72,41	0,25	14,11	1,20	0,90	0,04	0,40	1,18	2,32	5,55	0,07	0,54	98,97	
II/3-11h	73,82	0,25	13,87	1,20	0,98	0,04	0,42	1,31	2,51	4,82	0,04	0,54	99,80	
II/3-12h	72,23	0,24	14,36	1,15	0,92	0,04	0,41	1,19	2,30	5,75	0,04	0,45	99,08	
SØR	<u>SiO<sub>2</sub></u>	<u>TiO</u>	<u>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>FeO</u>	<u>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>MnO</u>	<u>MgO</u>	<u>CaO</u>	<u>Na<sub>2</sub>O</u>	<u>K<sub>2</sub>O</u>	<u>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></u>	<u>LOI</u>	<u>SUM</u>	
II/1-1h	74,73	0,10	13,86	0,54	1,73	0,03	0,02	1,87	3,28	3,04	0,04	0,35	99,59	
II/1-2h	75,36	0,08	13,81	0,51	1,30	0,02	0,03	1,79	3,27	3,10	0,02	0,35	99,64	
II/1-3h	73,74	0,10	14,40	0,58	1,38	0,03	0,04	1,75	3,14	3,78	0,03	0,39	99,36	
II/1-4h	74,00	0,12	14,16	0,68	1,55	0,03	0,05	1,78	3,22	3,46	0,02	0,39	99,46	
II/1-5h	74,57	0,14	13,81	0,72	1,48	0,03	0,07	1,75	3,12	3,26	0,03	0,34	99,32	
II/1-6h	73,64	0,11	13,99	0,68	1,16	0,02	0,07	1,81	3,22	3,23	0,02	0,44	98,39	
II/1-7h	74,57	0,10	13,89	0,58	1,10	0,02	0,07	1,91	3,38	2,72	0,01	0,34	98,69	
II/1-8h	74,67	0,12	13,95	0,68	1,24	0,02	0,05	1,99	3,51	2,49	0,03	0,35	99,10	
II/1-9h	74,77	0,11	13,97	0,61	1,11	0,02	0,05	1,84	3,31	3,03	0,02	0,30	99,14	
II/1-10h	75,41	0,13	13,21	0,72	1,41	0,02	0,02	1,76	3,19	2,83	0,03	0,34	99,07	
II/1-11h	75,42	0,12	13,19	0,65	1,35	0,02	0,00	1,95	3,46	2,21	0,02	0,35	98,74	
II/1-12h	75,67	0,16	13,24	0,83	1,77	0,02	0,00	2,03	3,64	1,85	0,03	0,53	99,77	
II/1-13h	72,20	0,28	13,36	1,80	4,37	0,05	0,02	2,19	3,63	1,39	0,06	0,19	99,54	
II/1-14h	66,79	0,37	13,78	3,24	7,84	0,06	0,02	2,21	3,27	1,61	0,13	0,10	99,42	

Tabell D4 forts.

Vannsig 2	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	SUM
IV/2-1h	70,58	0,24	14,14	1,01	1,20	0,04	0,36	1,20	2,19	5,85	0,07	0,77	97,65
IV/2-2h	74,05	0,21	13,67	1,08	0,95	0,04	0,42	1,26	2,28	5,28	0,06	0,61	99,91
IV/2-3h	72,19	0,23	14,46	0,97	1,11	0,04	0,41	1,30	2,32	5,71	0,06	0,68	99,48
IV/2-4h	71,63	0,22	14,17	1,08	0,99	0,04	0,42	1,22	2,18	6,00	0,06	0,59	98,60
IV/2-5h	71,33	0,26	13,94	1,19	1,13	0,05	0,47	1,36	2,20	5,56	0,06	0,68	98,23
IV/2-6h	71,21	0,24	14,07	1,12	1,19	0,04	0,42	1,41	2,25	5,57	0,07	0,52	98,11
IV/2-7h	70,00	0,23	13,98	1,12	1,03	0,04	0,41	1,29	2,06	6,01	0,06	0,67	96,90
IV/2-8h	69,71	0,21	13,71	1,15	0,92	0,04	0,38	1,18	1,92	6,45	0,04	0,61	96,32
IV/2-9h	70,08	0,24	13,66	1,15	1,19	0,05	0,45	1,40	2,23	5,47	0,06	0,55	96,53
IV/2-10h	71,92	0,23	13,69	1,01	1,30	0,05	0,43	1,38	2,21	5,50	0,04	0,37	98,13
IV/2-11h	71,95	0,24	14,66	1,12	0,93	0,04	0,39	1,36	2,25	6,03	0,04	0,60	99,61
IV/2-12h	73,52	0,24	13,96	1,08	0,95	0,04	0,40	1,51	2,48	4,95	0,07	0,56	99,76
IV/2-13h	72,85	0,25	14,05	1,15	0,97	0,04	0,45	1,45	2,38	5,31	0,06	0,68	99,64
IV/2-14h	72,22	0,26	14,12	1,19	0,98	0,04	0,44	1,47	2,41	5,34	0,06	0,70	99,23
IV/2-15h	73,65	0,23	13,41	1,04	0,98	0,04	0,39	1,24	2,08	5,64	0,06	0,74	99,50
IV/2-16h	72,71	0,24	13,99	1,15	1,02	0,04	0,45	1,36	2,21	5,61	0,06	0,68	99,52
IV/2-17h	72,82	0,24	13,98	1,12	0,96	0,04	0,40	1,43	2,42	5,32	0,06	0,79	99,58
IV/2-18h	72,63	0,23	14,10	1,08	0,97	0,04	0,44	1,35	2,25	5,68	0,05	0,83	99,65
IV/2-19h	72,62	0,25	14,28	1,12	0,93	0,04	0,40	1,42	2,38	5,56	0,07	0,70	98,77
IV/2-20h	72,27	0,25	14,13	1,15	1,00	0,04	0,42	1,50	2,45	5,15	0,06	0,79	98,21
IV/2-21h	71,37	0,24	14,50	1,08	1,19	0,04	0,40	1,41	2,28	5,81	0,07	0,75	99,14

Tabell D4 forts.

nord	wt.% ppm		<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Rb</u>	<u>Sr</u>	<u>Y</u>	<u>Zr</u>	<u>Nb</u>	<u>Ba</u>	<u>La</u>	<u>Ce</u>	<u>Nd</u>	<sup>r</sup> Sr/ <sup>r</sup> Sr	<u>Sr</u>
	<u>S</u>	<u>V</u>																	
III/3-1h	0,03	27	18	2	17	7	56	336	168	47	160	15	578	77	177	63	0,78284	153,19	
III/3-2h	0,02	27	21	1	9	7	58	361	168	53	166	18	608	99	195	80	0,78912	154,85	
III/3-3h	0,02	25	15	1	7	3	54	339	167	48	157	16	568	99	178	76	0,78651	151,63	
III/3-4h	0,03	25	22	2	7	11	52	346	167	52	158	19	600	98	193	76	0,78661	154,30	
III/3-5h	0,03	25	15	1	8	12	54	330	165	56	166	18	563	107	211	79	0,78678	147,03	
III/3-6h	0,03	25	16	2	7	6	50	318	167	54	157	19	592	88	188	61	0,78258	151,88	
III/3-7h	0,02	24	9	1	6	5	53	329	161	48	153	16	545	103	185	75	0,78749		
III/3-8h	0,02	23	13	1	6	4	53	332	168	56	157	16	605	104	200	73	0,78259		
III/3-9h	0,02	24	9	1	6	4	61	321	167	51	157	18	584	121	209	81	0,78148		
III/3-10h	0,02	23	10	1	6	3	56	331	166	53	163	19	620	110	205	79	0,78422		
III/3-11h	0,02	24	6	2	7	4	59	290	161	49	176	18	543	99	173	69	0,77782	147,96	
III/3-12h	0,02	23	9	1	5	5	53	338	167	44	152	14	509	74	130	54	0,78452	156,57	

III/2-  
øverste  
1-2 mm

0,79065																			
<sup>r</sup> Sr/ <sup>r</sup> Sr	0,79065																		
<u>S</u>	0,02	21	10	2	6	10	52	164	141	38	156	34	326	26	44	18			
II/1-1h	0,02	18	8	2	8	9	57	163	139	39	127	30	320	30	35	18			
II/1-2h	0,02	17	5	2	6	5	48	199	144	40	131	25	365	16	34	15			
II/1-3h	0,02	20	4	2	6	5	49	187	139	37	143	20	345	22	30	12			
II/1-4h	0,02	21	8	2	6	5	44	176	133	51	149	31	314	20	49	14			
II/1-5h	0,02	19	8	2	6	5	40	178	136	50	140	44	339	19	40	9			
II/1-6h	0,03	19	9	2	5	8	40	161	138	52	131	39	315	19	44	12			
II/1-7h	0,02	21	7	2	5	6	42	135	136	45	121	68	268	18	39	11			
II/1-8h	0,02	17	8	2	7	7	46	164	136	44	114	97	294	14	43	11			
II/1-9h	0,02	19	8	2	6	6	52	146	126	46	134	149	314	17	26	6			
II/1-10h																			

Tabell D4 forts.

vannsig2	S	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
II/1-11h	0,02	19	6	2	6	7	63	116	128	55	142	182	283	17	40	10	
II/1-12h	0,02	23	4	4	6	11	79	97	129	52	167	155	230	15	30	4	
II/1-13h	0,02	51	11	10	7	9	106	86	130	60	268	133	147	23	43	9	
II/1-14h	0,02	89	18	19	7	6	123	134	130	73	436	195	174	40	77	14	
vannsig2	S	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
IV/2-1h	0,03	23	8	1	5	5	59	349	182	39	167	12	566	76	132	64	0,78178
IV/2-2h	0,02	21	5	1	7	3	60	309	172	40	162	11	450	59	104	50	0,77858
IV/2-3h	0,02	22	6	1	6	4	55	336	183	39	153	13	525	51	98	46	0,78010
IV/2-4h	0,02	22	4	1	6	6	57	353	181	39	162	13	561	76	125	64	0,78392
IV/2-5h	0,02	24	7	1	6	3	62	331	175	38	163	13	462	69	124	53	0,78116
IV/2-6h	0,02	23	3	1	5	5	59	330	177	42	177	13	502	82	144	66	0,77982
IV/2-7h	0,02	23	5	1	5	4	59	349	179	41	172	14	566	78	134	61	
IV/2-8h	0,02	22	4	1	5	5	50	362	179	38	145	11	596	56	104	45	
IV/2-9h	0,02	24	4	1	6	5	57	325	176	38	164	12	462	67	129	57	
IV/2-10h	0,02	22	7	1	5	3	56	316	175	45	159	11	457	81	146	62	
IV/2-11h	0,02	20	4	0	6	4	56	338	177	37	152	8	418	66	103	53	
IV/2-12h	0,02	22	4	1	6	4	58	287	172	44	156	11	404	86	147	63	
IV/2-13h	0,03	23	7	1	6	10	59	320	177	44	163	14	455	84	150	65	
IV/2-14h	0,02	23	4	1	6	4	61	314	177	40	178	16	402	74	121	58	
IV/2-15h	0,02	21	6	1	6	4	53	316	168	43	149	11	454	78	138	58	
IV/2-16h	0,02	22	7	1	5	3	59	323	170	38	156	10	372	87	149	64	0,78144
IV/2-17h	0,02	24	3	1	5	2	58	315	176	43	156	14	462	78	147	55	0,77860
IV/2-18h	0,02	23	4	1	6	3	55	331	177	39	155	12	518	64	125	54	0,78140
IV/2-19h	0,02	23	14	1	7	5	55	319	174	36	149	13	404	87	139	65	0,77915
IV/2-20h	0,02	24	6	1	6	4	57	308	177	40	162	12	379	81	130	54	0,77529
IV/2-21h	0,02	23	5	1	6	4	58	337	181	41	174	10	469	92	154	75	0,78076

Tabell D5: Sr-isotop forhold, Sr- og Rb-konsentrasjon i plagioklas, kalifeltspat og biotitt (MS-analyser)

Uvitret plagioklas ved vannsig (2)	IV/2-2v-pl1	materiale	omdannning	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	STDV	Sr	Rb
ved vannsig (2)	IV/2-2v-pl2	pulver (1 korn)		0,71469	0,00004		
ved vannsig (2)	IV/2-2v-pl3	1 pulver (1 korn)		0,71610	0,00007		
ved vannsig (2)	IV/2-2v-pl3b	1 plugg (1 korn)		0,72384	0,00006		
ved vannsig (2)	IV/2-2v-pl4	6 plugg (6 korn)		0,72578	0,00007		123,07
<b>gjennomsnitt 10 korn</b>				<b>0,72568</b>		318,47	
nordside vannfelt	III/3-2v-pl1	1 plugg + pulver (1 korn)		0,75639	0,00002	299,01	276,24
nordside vannfelt	III/2-3v-pl1	1 plugg + pulver (1 korn)	lite omdannet	0,71126	0,00002		
nordside vannfelt	III/2-3v-pl3	1 plugg + pulver (1 korn)	lite omdannet	0,71358	0,00001		
<b>gjennomsnitt 2 korn</b>				<b>0,71242</b>			
nordside vannfelt	III/2-3v-pl4	pulver (1 korn)	medium omdannet	0,73067	0,00002		
nordside vannfelt	III/3-2v-pl5	1 plugg + pulver (1 korn)	mye omdannet	0,74979	0,00002		
nordside vannfelt	III/3-2v-pl6	1 plugg + pulver (1 korn)	mye omdannet	0,76578	0,00004		
nordside vannfelt	III/2-3v-pl5	1 plugg + pulver (1 korn)	mye omdannet	0,76216	0,00003		
<b>gjennomsnitt 3 korn</b>				<b>0,75924</b>			
<b>Gjennomsnitt plag. sam.setn. ved vannfelt ved antatt omd.grad:</b>		43% lite omdannet 43% medium omdannet 14% mye omdannet		<b>0,72682</b>			
<b>Gjennomsnitt plag. sam.setn. ved vannfelt ved antatt omd.grad:</b>		86% medium omdannet 14% mye omdannet		<b>0,73467</b>			



Tabell D5 forts.

Vitret plagioklas									
nordside vannfelt	III/3-1v-a-pl2	1 plugg (1 korn)	omdannet	0,75742	0,00007				
nordside vannfelt	III/2-1v-a-pl1	1 plugg (1 korn)	matt brunhvit, omdannet	0,75969	0,00003				
nordside vannfelt	III/2-1v-a-pl2	1 plugg (1 korn)	matt brunhvit, omdannet	0,73028	0,00003				
nordside vannfelt	III/2-1v-a-pl3	1 plugg (1 korn)	matt brunhvit, omdannet	0,73972	0,00002				
nordside vannfelt	III/2-1v-b-pl1	1 plugg + pulver (1 korn)	matt brunhvit, omdannet	0,76021	0,00002				
nordside vannfelt	III/2-1v-b-pl2	1 plugg + pulver (1 korn)	matt gråhvit, omdannet	0,75690	0,00002	317,7	298,43		
nordside vannfelt	III/2-1v-c-pl1	1 plugg (1 korn)	omdannet	0,74615	0,00002				
<b>gjennomsnitt 7 korn</b>				<b>0,75005</b>					
<b>Uvitret kalifelspat</b>									
ved vannsig (2)	IV/2-2v-kfp1	1 plugg + pulver (1 korn)		0,80476	0,00001				
ved vannsig (2)	IV/2-2v-kfp2	2 pulver (1 korn)		0,81047	0,00001				
ved vannsig (2)	IV/2-2v-kfp2b	2 plugg (samme korn)		0,80261	0,00002				
ved vannsig (2)	IV/2-2v-kfp3	1 plugg (1 korn)		0,80763	0,00002				
ved vannsig (2)	IV/2-2v-kfp4	8 plugg (8 korn)		0,80045	0,00002	243,95	593,27		
<b>gj.snitt</b>				<b>0,80402</b>					
nordside vannfelt	III/3-2v-kfp1	6 plugg (6 korn)		0,80356	0,00003	248,39	607,67		
nordside vannfelt	III/3-2v-kfp2	1 plugg + pulver (1 korn)		0,80272	0,00001				
nordside vannfelt	III/3-2v-kfp3	1 plugg + pulver (1 korn)		0,81059	0,00002				
nordside vannfelt	III/3-2v-kfp4	1 plugg + pulver (1 korn)		0,82079	0,00002				
nordside vannfelt	III/3-2v-kfp6	1 plugg + pulver (1 korn)		0,80663	0,00001				
nordside vannfelt	III/3-2v-kfp7	1 plugg + pulver (1 korn)		0,82882	0,00003				
nordside vannfelt	III/2-3v-kfp1	1 plugg + pulver (1 korn)		0,82650	0,00002				
nordside vannfelt	III/2-3v-kfp2	1 plugg + pulver (1 korn)		0,81115	0,00001				
nordside vannfelt	III/2-3v-kfp3	1 plugg + pulver (1 korn)		0,83015	0,00001				

*Tabell D5 forts.*

nordside vannfelt	III/2-3v-kfp4	1 plugg + pulver (1 korn)	0,82179	0,00012	
nordside vannfelt	III/2-3v-kfp5	1 plugg + pulver (1 korn)	0,81467	0,00001	
nordside vannfelt	III/2-3v-kfp6	1 plugg + pulver (1 korn)	0,81036	0,00001	
<b>gj.snitt</b>			<b>0,81372</b>		
<b>Uvitret biotitt</b>					
ved vannsig	IV/2-2v-bio1	7 plugg (7 korn)	2,68402	0,00007	22,31 1058,73
nordside vannfelt	III/3-2v-bio1	6 plugg (6 korn)	6,83443	0,00034	7,93 1170,69
nordside vannfelt	III/2-3v-bio1	7 plugg (7 korn)	9,67281		
nordside vannfelt	III/3-2v-bio2	8 plugg (8 korn)	7,36065	0,00039	
gjennomsnitt 21 korn			7,98011		
<b>Vitret biotitt</b>					
nordside vannfelt	III/2-1v-a-bio1	1 korn	3,27395	0,00008	

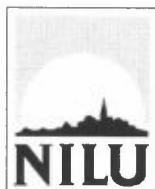
## **Vedlegg E**

### **Kemiska analysdata för avrinning, nederbörd och krondropp från Begby**









# Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORT NR. OR 76/99	ISBN 82-425-1144-6 ISSN 0807-7207	
DATO 6.7.2000	ANSV. SIGN. <i>Øystein Hov</i>	ANT. SIDER 200	PRIS NOK 375,-
TITTEL Helleristninger i grensebygd, INTERREG II A, delprosjekt 3A: Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst		PROSJEKTLEDER Elin Dahlin	
		NILU PROSJEKT NR. U-97095	
FORFATTER(E) Elin Dahlin, Jan F. Henriksen, Odd Anda, Johan Mattsson, Kjersti Iden, Göran Åberg, Torbjørg Bjelland, Ingunn Thorseth, Geir Magne Hamnes og Peter Torssander		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. Harald Ibenholt, Riksantikvaren	
OPPDRAGSGIVER Riksantikvaren Pb 8196 Dep 0034 Oslo			
STIKKORD Bergkunst	Nedbrytning	Miljømålinger	
REFERAT I områdene Østfold i Norge og Bohuslän i Sverige er det bevart en rekke helleristningsfelt fra bronsealderen. Naturlige og antropogene kilder har forårsaket en akselererende nedbrytning av regionens bergkunst, og flere av feltene er i dag i ferd med å forsvinne. Interreg-prosjektet "Helleristninger i grensebygd" har utviklet et tverrfaglig samarbeid hvor forskere fra begge land har analysert og vurdert belastning fra kjemiske, fysiske og biologiske nedbrytningsfaktorer. Ulike former for tiltak for å beskytte bergkunsten er også vurdert.			
TITLE Rock Carvings in the Borderlands. Interreg IIA, sub-project 3 A: Development of knowledge on weathering processes and preservation techniques.			
ABSTRACT Observations during the last decades have shown severe deterioration on rock carving sites (dated 1800-500 BC) in Østfold, Norway and Bohuslän, Sweden, due to a combination of natural and anthropogenic influences. In order to study the rate of weathering of the rock carvings, environmental monitoring on one site in each country has been carried out. The results from this investigation have elucidated the problems concerning weathering of silicate rock surfaces and the different parameters causing the deterioration. Based on the obtained results some counter measures in order to preserve the rock carvings have been tested.			

\* Kategorier:   A   Åpen - kan bestilles fra NILU  
                  B   Begrenset distribusjon  
                  C   Kan ikke utleveres

