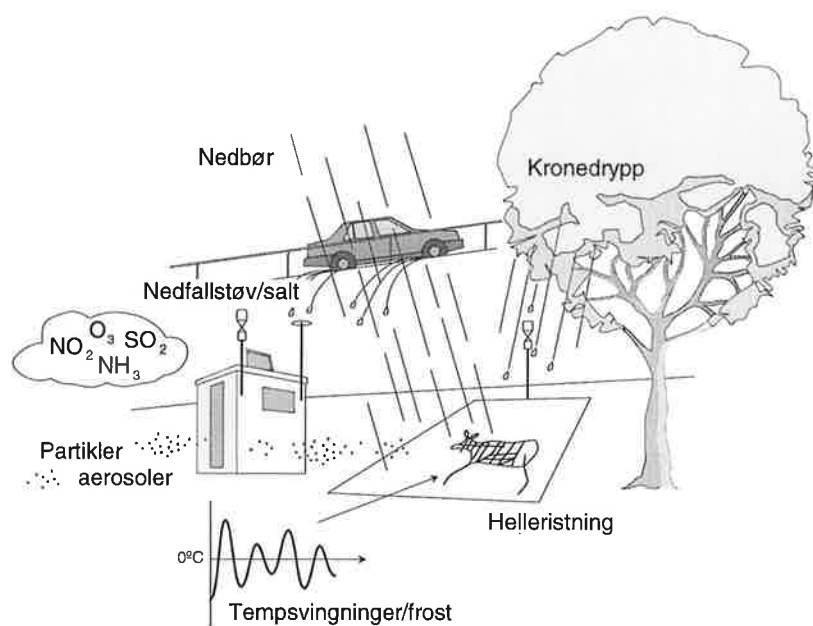


NILU : OR 22/98
REFERANSE : O-97001
DATO : JUNI 1998
ISBN : 82-425-0973-5

Miljøovervåking av bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo

Elin M. Dahlin, Unni Elvedal, Jan F. Henriksen,
Odd Anda, Johan Mattsson, Kjersti Iden og
Göran Åberg



NILU : OR 22/98
REFERANSE : O-97001
DATO : APRIL 1998
ISBN : 82-425-0973-5

Miljøovervåking av bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo

**Elin M. Dahlin¹, Unni Elvedal¹, Jan F. Henriksen¹, Odd Anda¹,
Johan Mattsson², Kjersti Iden³ og Göran Åberg³**

- 1) Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100, 2007 Kjeller
- 2) Mycoteam as
Postboks 5 Blindern, 0313 Oslo
- 3) Institutt for energiteknikk
Postboks 40, 2007 Kjeller

Forord

I februar 1997 startet Norsk institutt for luftforskning (NILU), etter et oppdrag fra Riksantikvaren et miljøovervåkingsprosjekt ved bergkunstfeltet på Ekeberg i Oslo. I tillegg ble også Mycoteam as og Institutt for energiteknikk (IFE) engasjert til å foreta henholdsvis en botanisk og geologisk undersøkelse av feltet.

Prosjektet, som er en del av Riksantikvarens prosjekt "Sikring av Bergkunst, 1996-2000", har hatt følgende hovedproblemstilling: Kartlegge og vurdere belastningen fra ulike miljøparametere på et bergkunstfelt i løpet av de fire årstider, samt dokumentere bruk av egnede metoder for en slik kartlegging. I rapporten foreligger det resultater og tolkninger fra miljøovervåkingen av Ekebergfeltet, samt vurdering av de anvendte metoder og anbefalinger for videre skjøtsel.

Elin M. Dahlin

Forsker

Norsk institutt for luftforskning

Innhold

	Side
Forord	3
Sammendrag.....	7
1. Innledning.....	9
1.1 Bakgrunn for prosjektet.....	9
1.2 Deltakere i prosjektet	9
2. Målsetting	10
3. Metoder for dokumentasjon av nedbrytningsfaktorer.....	12
3.1 Nedbrytningsfaktorer for bergarter	12
3.2 Geologisk dokumentasjon.....	13
3.3 Kartlegging av kjemiske og fysiske nedbrytningsfaktorer.....	13
3.4 Biologisk dokumentasjon.....	15
4. Beskrivelse av bergkunstfeltet på Ekeberg.....	16
4.1 Beliggenhet	16
4.2 Geologisk beliggenhet.....	18
4.3 Beskrivelse av helleristingene på bergkunstfeltet	18
4.4 Tidligere skjøtsel av bergkunstfeltet	18
5. Presentasjon av ulike analysemetoder brukt på Ekeberg	21
5.1 Oppsett av måle- og analyseutstyr på og ved bergkunstfeltet	21
5.2 Kartlegging av våt- og tørravsetning.....	24
5.2.1 Nedbør, kronedrypp og avrenning	24
5.2.2 Forurensende gasser.....	24
5.2.3 Aerosoler.....	24
5.3 Kartlegging av temperatur og fukt	24
5.3.1 Fuktregistreringer	25
5.3.2 Temperaturregistreringer	25
5.4 Analysemetoder for bergartsbestemmelse	26
5.5 Bruk av naturlige isotopsystem for analyse av miljøkilder.....	27
5.5.1 Analyse av strontium- og blyisotoper.....	27
5.6 Biologiske nedbrytningsfaktorer og analyse av biologisk aktivitet	28
5.6.1 Utprøving av dokumentasjonsstandard for biologiske organismer	28
5.6.2 Enkel tilstandsregistrering/visuell undersøkelse.....	29
5.6.3 Inngående tilstandsregistrering/laboratorieundersøkelse.....	39
5.7 Vurdering av de benyttede metodene.....	41
6. Resultater og diskusjon av miljømålingene.....	42
6.1 Analyse av nedbør, kronedrypp og avrenning	42
6.1.1 Nedbør	42
6.1.2 pH	43
6.1.3 Klorid.....	45
6.1.4 Nitrat og sulfat	46
6.1.5 Kationer	46

6.1.6 Avrenning	49
6.1.7 Mikroskopering av løsmateriale i avrenning	50
6.2 Analyser av forurensende gasser.....	50
6.2.1 Svoveldioksid (SO ₂)	50
6.2.2 Nitrogendioksid (NO ₂)	51
6.2.3 Ammoniakk (NH ₃)	51
6.2.4 Ozon	51
6.3 Måling av vannløselig støvavsetning	52
6.4 Diskusjon av miljømålingene	53
6.5 Måling av fukt og temperatur ved bruk av WETCORR-sensoren.....	55
6.5.1 Eksempel på tolkning av data fra måling med WETCORR- instrumentet.....	55
6.5.2 Periode med svingninger rundt 0°C	57
6.5.3 Perioder med store temperatursvingninger, differanse på 15°C og 20°C	58
6.5.4 Periode med kalde netter og varme dager.....	59
6.5.5 Periode med kulde (gjennomsnittlig temperatur på -5°C eller kaldere).....	60
6.5.6 Diskusjon.....	60
6.6 Geologisk dokumentasjon og analyse av bergarten.....	61
6.7 Registrering av forvitring av bergoverflaten.....	63
6.7.1 Makroskopisk	63
6.7.2 Mikroskopisk.....	64
6.7.3 Diskusjon geologiske analyser	67
6.8 Isotopforhold og konsentrasjon av strontium (Sr) og bly (Pb) i nedbør og lakning av jordprøver	67
6.8.1 Nedbørsprøver	67
6.8.2 Lakning av jordprøver	68
6.8.3 Diskusjon av strontium- og blyanalyser	69
6.9 Registrering av biologisk vekst.....	70
6.9.1 Undersøkelse og utprøving av aktuelle metoder på Ekebergfeltet	70
6.9.2 Diskusjon av resultater	71
7. Konklusjoner	74
8. Anbefalinger for skjøtsel	75
9. Referanser	76
Vedlegg A WETCORR-instrumentet	79
Vedlegg B Strøm- og temperaturplott fra måling med WETCORR- instrumentet og værobservasjoner for perioden februar 1997–desember 1997	83
Vedlegg C Tabeller over kjemiske analyser	113

Sammendrag

Dette prosjektet er en del av Riksantikvarens prosjekt "Sikring av Bergkunst, 1996-2000". Prosjektet "Miljøovervåking av bergkunst", som startet i februar 1997 og ble avsluttet i januar 1998, har hatt følgende hovedmålsettinger: Kartlegge og vurdere belastningen fra ulike miljøparametere på et bergkunstfelt i løpet av de fire årstider, samt dokumentere bruk av egnede metoder for en slik kartlegging.

Bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo, ble valgt ut som testfelt, med bakgrunn i dets beliggenhet i et bymiljø med relativt stor nærtrafikk, og med muligheter for påvirkning av lokal- og langtransportert forurensning.

Før man kan iverksette ulike bevaringstiltak på et bergkunstfelt er det nødvendig å bestemme bergartens sammensetning og motstandskraft mot forvitring, samt å dokumentere de ulike miljøparametere som kan inngå forvitningsprosesser som bryter ned bergarten. Forvitring av bergkunst omfatter kompliserte prosesser hvor det er behov for tverrfaglig kompetanse for å forstå de ulike mekanismene.

Nedbrytning av stein kan grovt deles inn i kjemiske, fysiske og biologiske prosesser, som samvirker ved den naturlige nedbrytningen av en bergart. I tillegg har man i løpet av det siste århundret kunnet konstatere en akselererende nedbrytning av ulike bergarter som kan skyldes menneskelig påvirkning gjennom forurensning av miljøet.

I prosjektet er det lagt vekt på å gi en generell dokumentasjon av metoder for vurdering av ulike kjemiske, fysiske og biologiske nedbrytningsfaktorer som påvirker bergkunsten. Ansvarlig for undersøkelsene som er presentert i rapporten er: for klima og forurensning; Norsk institutt for luftforskning (NILU), for geologisk dokumentasjon og isotopanalyser; Institutt for energiteknikk (IFE) og for biologisk dokumentasjon; Mycoteam as.

Resultater av miljømålingene på bergkunstfeltet på Ekeberg har vist at helleristningen i tillegg til naturlige kilder også blir utsatt for antropogene kilder, og belastningen på feltet varierer i løpet av årstidene.

Bergkunstfeltet på Ekeberg består av to bergartstyper. Hoveddelen av feltet består av en finkornet amfibolitt, med mindre partier med en mer grovkornet gneis. Studier av bergoverflaten viser en oppsprekking av mineralene i de øverste millimeterne, hvor omdannelsen av mineralene skjer.

Det gjennomgående sprekksystemet på helleristningsfeltet representerer den største umiddelbare risiko for ristningene, idet tilgjengeligheten for vann gir økt mulighet for frostsprengning og eventuelt saltsprengning. Dette gjelder spesielt den sørlige delen av feltet, hvor deler av flaten står i fare for å løsne. Det har i løpet av måleperioden vært en mild vinter med få døgn med frost, og det kan tenkes at salt i tillegg kan påvirke frysepunktet.

Målinger av forurensende gasser viste at bergkunstfeltet utsettes for nitrogenoksid fra biltrafikk gjennom hele året. Bergkunstfeltet blir også i enkelte perioder vinterstid utsatt for relativt høye verdier av svoveldioksid som skyldes forurensning fra fyring med olje. Foruten innflytelse fra lokale kilder bekreftet analyser også innflytelse fra langtransportert luftforurensning. Dessuten gir Oslos topografiske beliggenhet økte muligheter til perioder med dårlig luftutskiftning (inversjon) i vinterhalvåret, hvilket øker konsentrasjonen av forurensninger.

Målinger av pH i nedbøren har vist at feltet i enkelte perioder kan bli utsatt for sur nedbør. I en periode på høsten 1997 ble det målt verdier ned til pH 4.58. I tillegg blir helleristningsfeltet utsatt for overrisling av vann med et unaturlig stort saltinnhold. Dette skyldes veisalt fra Kongsveien som vinterstid samles opp av de nærliggende trærne og i jordsmonnet rett ovenfor ristningen. Isotopanalyser viser at saltet akkumuleres i jorden mellom ristningen og muren. Ved hvert regnskyll løses noe salt ut, og dette gir en kontinuerlig salttilførsel til bergflaten over lengre tid. Veisalt blir dessuten slynget ut fra veien mot ristningen vinterstid. Høyt saltinnhold kan være særlig uheldig på grunn av muligheten for saltsprengning.

Virkingen av den biologiske begroingen på overflaten tyder på at den bidrar til at mineralkornene desintegreres. Vegetasjonen rundt og på bergoverflaten fører også til forsinket uttørking etter nedbør på grunn av drypp fra trærne som også skygger for solen. Nedfall av næringsrike stoffer fra trær fører til økt biologisk aktivitet på den underliggende bergoverflaten. Planter som vokser i nær tilknytning til eller direkte på bergoverflaten kan føre til mer direkte skade av bergoverflaten. Et interessant aspekt har vært å registrere variasjon i vegetasjonen i løpet av de ulike årstider.

En viktig del av målsettingen i dette prosjektet har vært å utprøve ulike metoder for å kartlegge miljøbelastningen på et bergkunstfelt. Generelt kan man si at de metoder som ble benyttet av partene i prosjektet på Ekeberg, viste seg å fungere bra for dette formål. Metodene vil derfor kunne benyttes ved miljøovervåking av andre bergkunstfelt rundt om i landet. Hvis man ønsker å få mer inngående opplysninger om selve nedbrytningsprosessene på bergoverflaten, er det nødvendig med et prosjekt som går over flere år og som i tillegg tar i bruk mer spesialiserte analysemetoder for å måle nedbrytningen.

Miljømålingene har vist at bergkunstfeltet på Ekeberg utsettes for eksponeringer som går ut over normal eksponering fra vær og årstidsvariasjoner. Det er i den forbindelse gitt forslag til ulike tiltak for skjøtsel som kan iverksettes for å redusere miljøbelastningen på feltet. Prosjektgruppen foreslår at tiltakene settes i verk umiddelbart og at man etter at disse er gjennomført, følger opp bergkunstfeltet på Ekeberg med en ny periode med miljømålinger for å vurdere effekten av tiltakene. En slik oppfølging vil være i tråd med Riksantikvarens forslag til utkast til Prosjektplan for 1998 for prosjektet "Sikring av bergkunst", hvor det i pkt 3.1 i tilknytning til beskrivelse av fremtidige årsplaner nevnes at årsaksammenhengen bør studeres ved 5 felt i årene fremover. Etter at de anbefalte tiltak er gjennomført vil bergkunstfeltet på Ekeberg egne seg godt til en slik studie.

Miljøovervåking av bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Dette prosjektet er en del av Riksantikvarens prosjekt "Sikring av Bergkunst, 1996-2000". Prosjektet "Miljøovervåking av bergkunst" ble bevilget som et delprosjekt, på bakgrunn av en søknad utarbeidet av NIKU i samarbeid med NILU, NORGIT, IFE og Mycoteam, datert den 31. august 1996.

Det har tidligere vært utført landsomfattende registreringer for å kartlegge tilstanden til bergkunsten i Norge og det ble konstatert at bevaringstilstanden til en rekke bergkunstfelt er meget dårlig (Mandt, 1992).

I søknaden til Riksantikvaren ble det derfor lagt vekt på at det er vesentlig å foreta en miljøovervåking av bergkunstfeltene for å få en økt forståelse av nedbrytningsprosessene. I denne sammenheng ble bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo, valgt ut med bakgrunn i dets beliggenhet i et bymiljø med relativt stor nærtrafikk og med muligheter for påvirkning av lokale forurensningskilder. Feltet ligger også i nærheten av Oslofjorden med muligheter for påvirkning fra et marint miljø.

I sitt svar på søknaden datert 25. oktober 1996 skriver Riksantikvaren at de er spesielt interessert i å få klarlagt om eller i hvilken grad avgasser fra biltrafikk påvirker tilstanden på helleristningen på Ekeberg i Oslo, og de ville med utgangspunkt i dette kun finansiere den del av prosjektet som NILU hadde foreslått. På grunn av at bevilgningen først ble overført i desember 1996, var det ikke mulig å sette i gang prosjektet i 1996. Bevilgningen ble søkt overført til 1997 og NILU startet målingene i februar 1997. Prosjektet var beregnet å vare ett år og målingene ble avsluttet i januar 1998.

Riksantikvaren skrev videre i sitt svar at de ønsket nærmere opplysninger om den botaniske og geologiske delen av prosjektet. NIKU i samarbeid med IFE og Mycoteam sendte derfor inn en utvidet søknad til Riksantikvaren datert 11. november 1996. Riksantikvaren ga i sitt svarbrev datert 25. mars 1997 en noe redusert bevilgning i forhold til den opprinnelige søknaden. De geologiske og biologiske undersøkelsene ble derfor noe redusert i forhold til den opprinnelige planen.

1.2 Deltakere i prosjektet

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

Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU)

NIKU var ansvarlig for koordinering av søknaden. I og med at NIKU ikke direkte har vært involvert i miljøovervåkingsdelen, så overlot de prosjektledelsen til NILU. NIKU har blitt orientert om prosjektets fremdrift og erfaringer fra

prosjektet har inngått i arbeidet med utvikling av en dokumentasjonsstandard for bergkunst som utgjør et annet delprosjekt innunder "Sikring av bergkunst 1996-2000". Deltakere i prosjektet: Birgitte Skar, fra august 1997; Ole Grøn, (Inger Marie Holm Olsen og Olaug Nesheim ble orientert i tilknytning til deres arbeid med dokumentasjonsstandardden).

NIKU har administrert den økonomiske bevilgningen til IFE og Mycoteam.

Norsk institutt for luftforskning (NILU)

NILU har hatt prosjektledelsen med det faglige ansvar for koordinering av prosjektet, samt vært ansvarlig for utgivelsen av en felles rapport. NILU har vurdert ulike metoder for miljømålinger samt gjennomført målinger av en rekke klima- og forurensningsparametere. Deltakere i prosjektet: Odd Anda, Elin M. Dahlin (prosjektleder), Unni Elvedal, Jan F. Henriksen og Svein Haagenrud.

Institutt for energiteknikk (IFE)

IFE har vært ansvarlig for geologisk dokumentasjon av feltet, samt for bestemmelse av forvitringen av bergarten. IFE har også testet en prøvetakingsmetode for isotopanalyser i forbindelse med identifisering av forurensningskilder. Deltakere i prosjektet: Kjersti Iden og Göran Åberg.

Mycoteam as

Mycoteam as har vært ansvarlig for biologisk dokumentasjon, samt for vurdering og uttesting av ulike analysemetoder for biologiske organismer på stein. Deltaker i prosjektet: Johan Mattsson.

Dessuten har følgende institusjoner vært involvert:

Universitetets Oldsaksamling, ved Torunn Klockernes og Caroline Murstad.
Byantikvaren i Oslo, ved Leidulf Mydland.

2. Målsetting

Bergkunstfeltet på Ekeberg blir belastet både fra naturlige og antropogene kilder og følgende hovedmål og delmål er satt for prosjektet:

Hovedmål:

Kartlegge og vurdere belastningen fra ulike miljøparametere på et bergkunstfelt i løpet av de fire årstider, samt dokumentere bruk av egnede metoder for en slik kartlegging.

Delmål:

1. Utprøve målemetoder for antatt viktige miljøparametere. Kartlegge nedbør, forurensning, fukt og temperatur på og omkring bergkunstfeltet. Om mulig lokalisere kilder for belastning (NILU).

2. Vurdere skadegraden på bergarten, samt utprøve en isotopmetodikk for å kartlegge miljøkilder (IFE).
3. Registrere biologiske organismer på og omkring bergkunstfeltet, samt vurdere og utteste ulike analysemetoder for slike biologiske organismer på stein (Mycoteam).

Som det fremgår av hovedproblemstillingen er dette et pilotprosjekt hvor man ønsker å kartlegge miljøbelastningen, samt teste ut og vurdere ulike metoder for kartlegging av nedbrytningsfaktorer på og omkring et bergkunstfelt i løpet av en årssyklus. Prosjektet har ikke tatt mål av seg til å kunne si noe om selve nedbrytningsprosessene på bergoverflaten, slik man har arbeidet med i Sverige gjennom flere års studier (Löfvendahl og Bertilsson, 1996).

Delmålene som er satt opp i prosjektet kan forklares ut fra følgende problemstillinger:

- I Oslo-området kan lokale forurensningskilder som trafikk avgi tilskudd til den kjemiske belastningen på bergkunstfeltet, og man ønsket i dette prosjektet å se i hvor stor grad trafikken kan være en slik belastning. Det var også aktuelt å vurdere belastningen fra andre eventuelle forurensningskilder i området.
- Fukt er en viktig årsak til nedbrytning av en bergart. Fukt er av betydning ved oppløsning av tørrdeposisjoner (som danner etsende syrer), ved frostsprenging og for biologisk vekst. For å kunne gjøre eventuelle tiltak, er det derfor viktig å kunne registrere når og over hvor lang tid bergoverflaten er fuktig.
- En annen viktig faktor når det gjelder belastning på bergkunst, er mekaniske spenninger, som på grunn av termiske forandringer og frost/tine sykluser vil påvirke all berggrunn. Det var derfor ønskelig å få en oversikt over variasjon i temperaturen på bergoverflaten gjennom året.
- For å kunne vurdere graden av nedbrytning av bergarten er det nødvendig å foreta en bergartsbestemmelse samt en analyse av den mineralogiske sammensetningen.
- Ved siden av mulig påvirkning fra biltrafikk er det kjent at veien ovenfor ristningene saltes om vinteren, det er også en mulighet for at feltet er påvirket av salt fra Oslofjorden. Salt kan medvirke til nedbrytning av bergarten og det var derfor interessant å undersøke en eventuell påvirkning på bergkunstfeltet fra de to kildene.
- Bruk av isotopanalyser for å kartlegge miljøkilder har ikke tidligere vært brukt i tilknytning til kulturminner i Norge og man ville derfor utprøve denne metoden i tilknytning til bergkunstfeltet for å spore eventuelle antropogene kilder.
- Det er en stor variasjon av biologiske organismer som kan ha innvirkning på et bergkunstfelt, alt fra bakterier til trær. En kartlegging av de biologiske organismer som kan påvirke bergoverflaten er derfor viktig, i tillegg til en vurdering av ulike analysemetoder for biologiske organismer på stein.

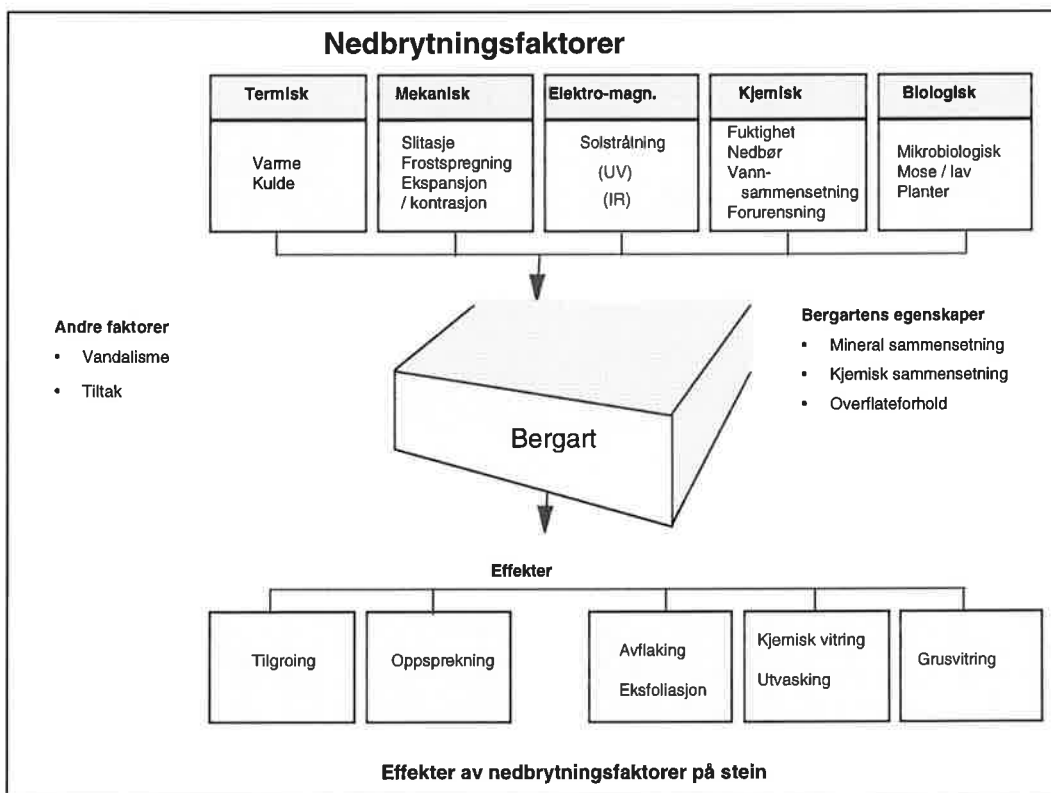
Med bakgrunn i de resultater som fremkommer i prosjektet vil prosjektgruppen anbefale tiltak for den videre skjøtsel av bergkunstfeltet på Ekeberg.

3. Metoder for dokumentasjon av nedbrytningsfaktorer

I dette kapitlet følger en generell beskrivelse av de ulike nedbrytningsfaktorer samt en omtale av de metodene som vil kunne benyttes i vurderingen av miljøbelastningen for bergkunstfelt generelt. For en mer utførlig beskrivelse av de enkelte metodene som er benyttet for å kartlegge miljøbelastningen på Ekebergfeltet, se kapittel 5.

3.1 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 akselererende 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: Nedbrytning av bergarter – modell for nedbrytningsfaktorer og deres observerte effekter.

Den viktigste faktoren i den kjemiske forvitringen er vann eller fukt og i et relativt fuktig klima som i Norge pågår det kontinuerlig en kjemisk oppløsning av ulike mineraler i alle bergarter (dette er ett 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 sprengning 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 som skyldes mikroorganismer, lavvegetasjon samt røtter fra planter og trær.

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 motstandsdyktighet overfor de ytre nedbrytningsfaktorer. Før man kan iverksette eventuelle bevarings-tiltak på et bergkunstfelt er det nødvendig å bestemme bergartens sammensetning og motstandskraft mot forvitring, samt å dokumentere de ulike miljøparametere som kan forårsake forvitningsprosesser som bryter ned bergarten.

3.2 Geologisk dokumentasjon

I utkastet til dokumentasjonsstandarden som er under utarbeidelse i et annet delprosjekt under prosjektet "Sikring av Bergkunst 1996-2000", er det tatt med en rekke parametere som er viktige for å beskrive bergflaten med ristninger i felt. Bergflatens form, størrelse, hellingsvinkel og retning, samt i hvilken grad flaten er eksponert overfor sol og fuktpåvirkning registreres. Videre gjøres en vurdering av hvilken type bergart det er, identifikasjon av mineralselskap, relativ mengde, kornstørrelser og homogenitet. Ristningsflatens tilstand beskrives ved å registrere sprekker, avflakete partier (eksfoliasjon), løse korn og overflatens ruhet. Det er også viktig å registrere utfellinger på overflaten ved å angi fargen på denne. Det kan være aktuelt å beskrive en helleristningsflate i flere delområder hvis variasjonen i en eller flere av disse parametrene er stor. For en nærmere beskrivelse av metoder brukt for å bestemme bergartens sammensetning, se kapittel 5.

3.3 Kartlegging av kjemiske og fysiske nedbrytningsfaktorer

Hvilke målemetoder som skal benyttes må vurderes ut fra bergkunstfeltets beliggenhet og en vurdering av hvilke nedbrytningsfaktorer som kan være aktuelle. Det er viktig å ikke bare vurdere den lokale belastningen på stedet, men også vurdere muligheten for langtransportert forurensning. Når det gjelder de kjemiske nedbrytningsfaktorer så er det viktig å kunne skille mellom våt- og tørravsetning.

På alle bergkunstfelt som ligger åpent eksponert vil det være aktuelt å måle følgende:

1. Nedbørens totale sammensetning, det vil si våtavsetning pluss tørravsetning, som måles med en åpen nedbørsamler.
2. Våtdeposisjon som måles med en såkalt lokksamler (åpnes bare ved regn).
3. Forskjellen mellom 1 og 2 blir tørrdeposisjonen (gasser, aerosoler og partikler).
4. Måling av gasser (med passive prøvetakere).
5. Måling av aerosoler (med aerosolfelle).
6. Nedbørsmengde (måles med pluviograf).

Det er også viktig å undersøke når og hvor lenge bergoverflaten er fuktig, samt å skaffe en oversikt over temperaturen på bergoverflaten for å kunne registrere mulige mekaniske spenninger fra soloppvarming eller frost/tine sykluser. Til denne type målinger kan instrumentet WETCORR, som kontinuerlig overvåker både fukt og temperatur på bergoverflaten, brukes. For utdypende forklaring på WETCORR-instrumentet, se vedlegg A.

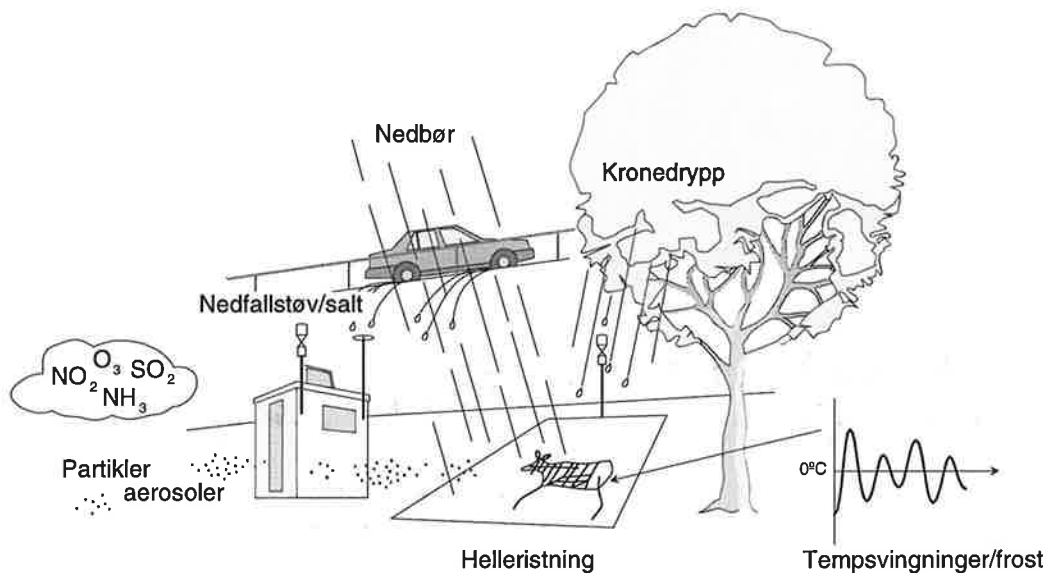
Hvis det står trær og annen vegetasjon i nærheten av feltet, virker disse som støvsamlere. Ved regn skylles støvet av og man får såkalt kronedrypp ("throughfall"), hvor avsatte aerosoler (salter og andre partikler) dels løst, dels uløst i vann skylles ned på bakken og senere over bergoverflaten. Ved å plassere en nedbørsamler under trærne vil man få kunnskap om de ulike elementer i kronedryppet som eventuelt kan påvirke bergoverflaten.

For å kunne spore kildene til de ulike forurensningsparametrene så kan isotop-analyser benyttes.

Det finnes i tillegg en rekke andre avanserte analysemetoder som kan være aktuelle for å studere selve forvittringsprosessen og for å spore hvilke kjemiske forandringer som skjer. Bruk av slike metoder lå utenfor dette prosjektets målsetting, men det kan nevnes at slike metoder har vært og blir benyttet ved studier av nedbrytning av helleristninger i Bohuslän (Löfvendahl og Bertilsson, 1996). Det vil føre for langt å gå inn på beskrivelsen av disse metodene her, men det er viktig å understreke at disse metoder er av stor betydning for å kunne avgjøre hvilke ytre faktorer som er viktigst for nedbrytningen av en bergflate og slike metoder bør derfor vurderes å bli tatt i bruk ved studier av nedbrytningen av den norske bergkunsten.

Videre finnes det en målemetode hvor man ved hjelp av et laserinstrument kan måle den faktiske forvitringen som har skjedd på en bergoverflate fra et tidsrom til et annet. Dette instrumentet har vært utprøvet i Sverige og inngår blant de analysemetodene som utføres ved bergkunstfeltene i Bohuslän (Löfvendahl, 1996).

Et skjematisk bilde av belastninger som kan være av betydning for bergkunstfelt er vist i Figur 2.



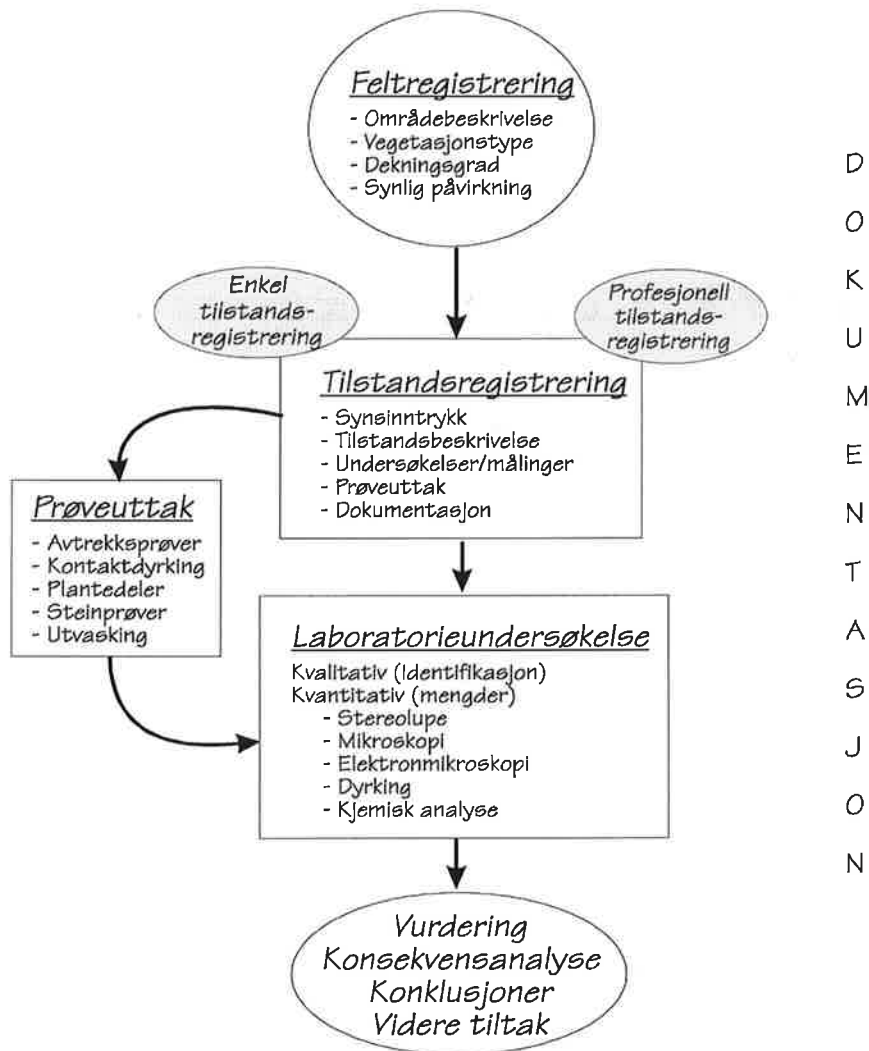
Figur 2: Skjematisk bilde av de belastninger som ble definert som betydningsfulle for Ekebergfeltet.

3.4 Biologisk dokumentasjon

Det er en stor variasjon i de biologiske nedbrytningsfaktorer som kan påvirke bergarter, alt fra bakterier til trær. Av den grunn må man benytte ulike metoder for kartlegging. En stor del av registreringsarbeidet kan gjøres direkte i felt, mens mer inngående undersøkelser er knyttet til ulike former for laboratoriearbeid. En skjematisk oversikt over hvordan registreringsarbeidet bør gjennomføres er vist i Figur 3.

Vegetasjon som har innvirkning på helleristninger kan deles inn i tre typer: Omkringliggende vegetasjon, vegetasjon på bergflaten og vekst på/i selve ristningen. Ved beskrivelse og undersøkelse av begroing er det derfor behov for ulike presisjonsnivå, hvor metodikken varierer.

Biologisk dokumentasjon



D
O
K
U
M
E
N
T
A
S
J
O
N

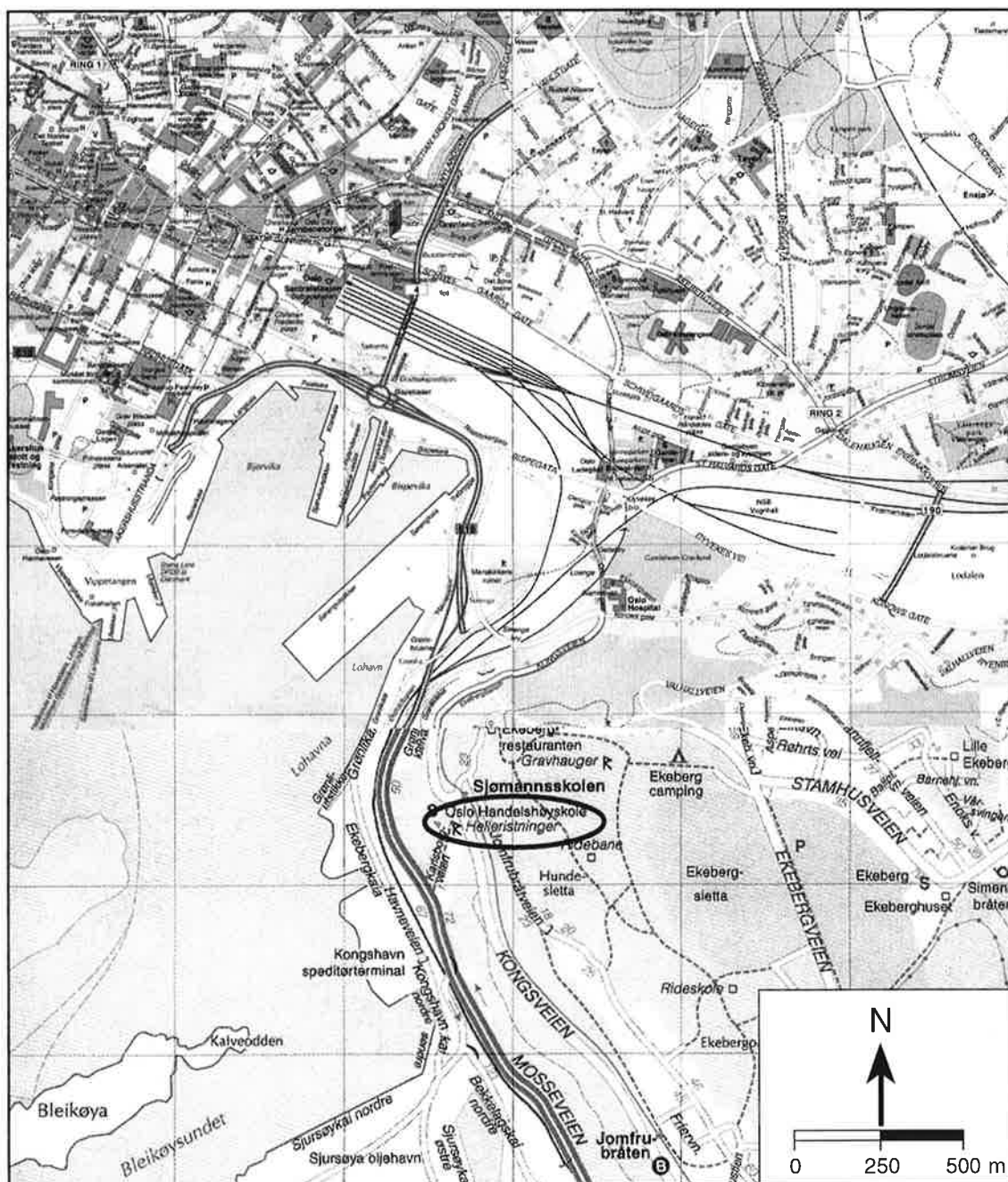
16.02.98 - Mycoteam as

Figur 3: Gjennomføring av tilstandsanalyse – Biologisk begroing. Beskrivelse av bergkunstfeltet på Ekeberg.

4. Beskrivelse av bergkunstfeltet på Ekeberg

4.1 Beliggenhet

Helleristningene er risset inn i en bergflate som skråner ca. 30° mot VNV. Selve flatens størrelse er ca. 11 m i lengderetning og 6 m i bredden, og den er omgitt av blandingsskog med en svakt hellende gressplen i forkant. Bergflaten ligger i et dalsøkk i nord-sørvestlig retning, 52,5 m.o.h. ovenfor den indre del av Oslofjorden. Feltet ligger i dag 4–5 m under Kongsveien og på oversiden av Karlsborgveien som går ned bak den tidligere Sjømannsskolen på Ekeberg (Figur 4). På Kongsveien som ligger 4-5 m over ristningen er det beregnet en gjennomsnittlig trafikkbelastning på ca. 7 200 biler pr. dag, med et maksimum og minimum på henholdsvis 11 000 og 5 000 biler pr. dag (Gram, 1994).



Figur 4: Bergkunstfeltets beliggenhet på Ekeberg sett i forhold til omkringliggende veier og Indre Oslofjord. Helleristningsfeltet er avmerket med sirkel (etter Oslo Kartboka, 1996).

Sett i en større topografisk sammenheng ligger feltet midt i Ekebergåsen som danner den sydøstligste delen av bergåsene som ligger som en halvsirkel rundt Oslo by med åpning mot Oslofjorden. Det vil si at de meteorologiske forholdene, spesielt vinterstid, kan føre til atmosfærisk inversjon med muligheter for høyere konsentrasjoner av forurensninger.

Feltet er merket som Fornminne og er tilrettelagt for publikum med skilting.

4.2 Geologisk beliggenhet

Bergkunstfeltet på Ekeberg ligger helt i den nordlige ytterkant av den østlige subprovins av det såkalte Sveconorwegian belte av prekambriske gneiser, i den sørvestre del av det Baltiske skjold. Området består av inhomogene gneiser, generelt betegnet som Østfoldgneiser (Graversen, 1984). I det aktuelle området er gneisen beskrevet som tilhørende et kompleks av tonalittiske/granittiske gneiser, og en datering av prøver fra området Kolbotn og Nordstrand ga aldre på ca. 1500 millioner år. Denne alderen er antatt å avspeile tidspunktet for metamorfosen (omdannelsen) av de opprinnelige bergartene. Videre er beskrevet mindre forekomster av amfibolitter og metadoleritter som er opprinnelige intrusjoner av en spesifikk sammensetning. Figur 5 viser den geologiske beliggenheten.

4.3 Beskrivelse av helleristningene på bergkunstfeltet

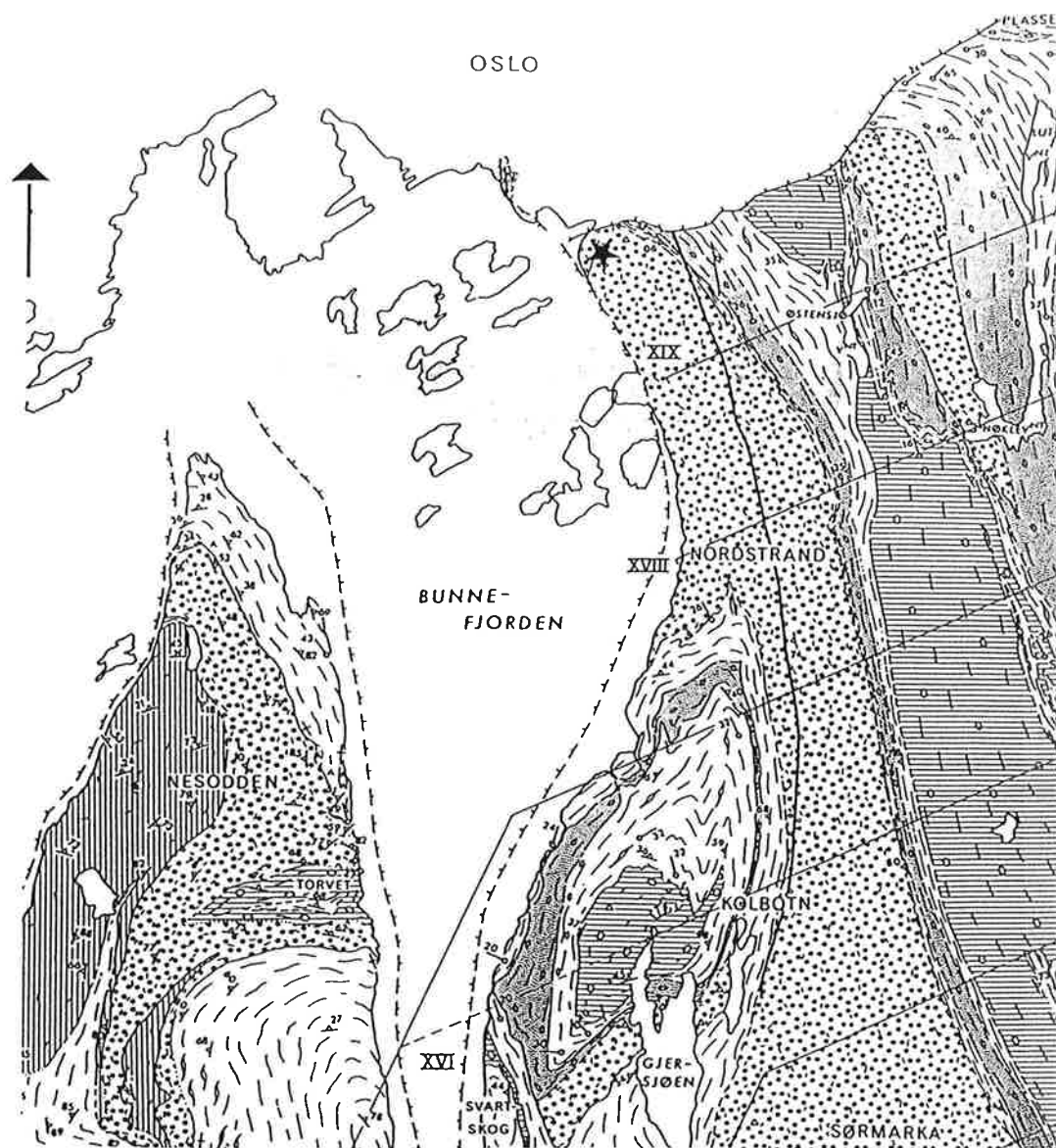
Feltet ble først funnet og undersøkt i 1915, og i 1932 ble hele feltet undersøkt av E. Engelstad (Mikkelsen, 1977). E. Mikkelsen undersøkte feltet på nytt i 1975, med bruk av kunstlys og de to sistnevnte undersøkelsene avvek noe i forhold til hverandre. I følge Mikkelsens registreringer i 1975, se Figur 6, så er det totalt 10 hjortedyr, hvorav 2 med sikkerhet kan bestemmes til elg, 4-5 av de øvrige mangler hode og er derfor vanskeligere å artsbestemme. Mest sannsynlig er de fleste av de ti helleristningsfigurene elger. En figur (Figur 6, nr. 11) er tolket som en svømmefugl og i tillegg er det ristet inn en menneskefigur (Figur 6, nr. 4). En mulig fangstfelle er usikker og to figurer er ubestembare. Når det gjelder datering av ristningen så har man tidligere antatt at den var 5000 år gammel, men i følge senere forskningsresultater så er dateringen nå endret til 4500 år før vår tid (Mikkelsen, 1998).

4.4 Tidligere skjøtsel av bergkunstfeltet

Det foreligger ingen fullstendig dokumentasjon på hvilke tiltak som tidligere har vært utført på feltet (Klockernes, 1997).

Det er på et tidspunkt, uvisst når, lagt inn sement i de største sprekkene på bergoverflaten (se Figur 40). Bergkunstfeltet har også tidligere vært inngjerdet, men dette gjerdet er nå fjernet.

Ristningene har i en lengre periode vært malt opp med rød maling.

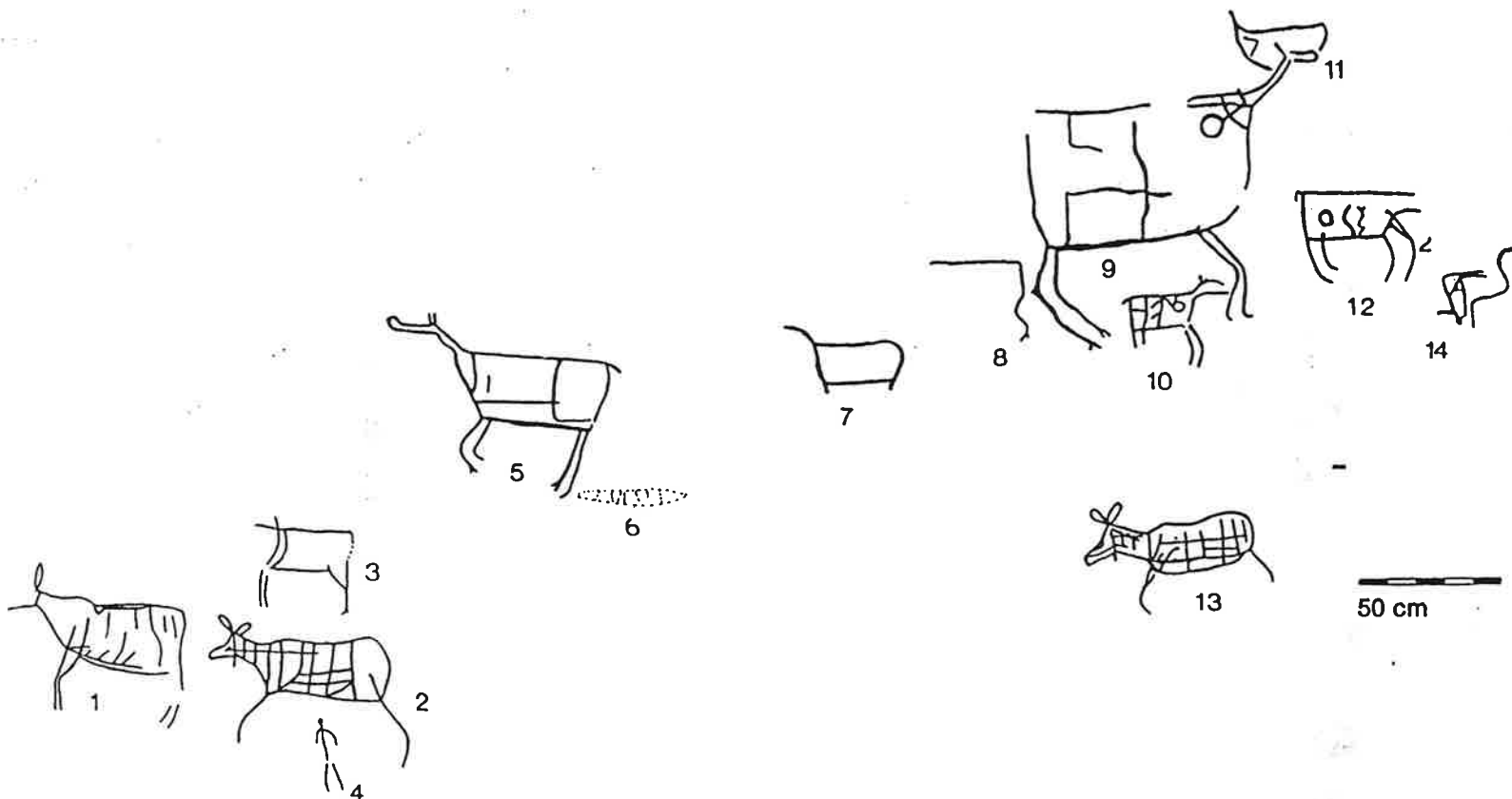


TEGNFORKLARING

PREKAMBRISKE BERGARTER

	GRANITISK GNEIS		BIOTITGNEIS
	METATONALITT / GRANITT KOMPLEKS		SUPRAKRUSTAL GNEIS
	ØYEGNEIS		FOLIASJONSRETNING (gneisbånding)

Figur 5: Geologisk kart over Nordstrand-Ekeberg og tilgrensende områder. Helleristningslokaliteten er avmerket med stjerne, og sees å ligge i et Prekambrisk metatonalitt/granittkompleks i den nordlige ytterkant av det sørøst-norske grunnfjellsområdet, grensende til Oslofeltet (etter O. Graversen, 1984).



Figur 6: Oversikt over helleristningsfigurene på bergkunstfeltet på Ekeberg (etter E. Mikkelsen, 1977).

5. Presentasjon av ulike analysemetoder brukt på Ekeberg

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

5.1 Oppsett av måle- og analyseutstyr på og ved bergkunstfeltet

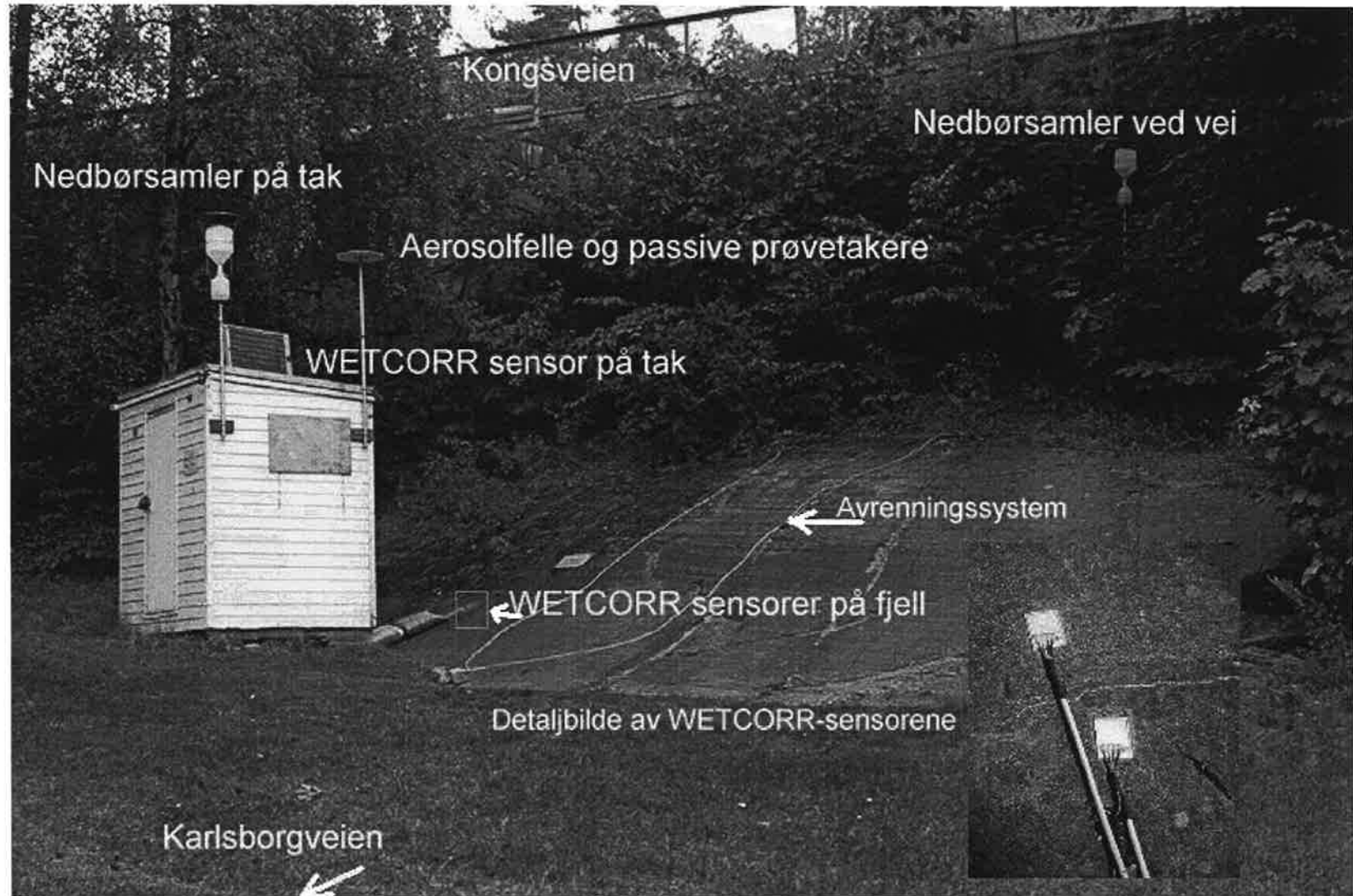
Før målingene kunne igangsettes ble det tatt kontakt med Universitetets Oldsaksamling og med fylkesarkeologen i Oslo, og det ble gitt tillatelse fra grunneier som er Oslo Park og Idrettsvesen til å sette opp en målebu rett ved bergkunstfeltet. I februar 1997 ble det plassert ut en ca. 4 m² stor målebu, som tilhører NILU, rett nedenfor bergkunstfeltet (Figur 7). Konservatorer ved Universitetets Oldsaksamling har vært til stede hver gang det har vært montert måleutstyr for å påse at det ikke har blitt påført skader på bergkunstfeltet.

Miljømålingene startet den 11. februar 1997 og ble avsluttet den 6. januar 1998.

Miljømålingene ble satt opp med følgende måleutstyr (Figur 7):

- NILUs nedbørsamler, 2,5 m ovenfor bergkunstfeltet og 2,5 m nedenfor muren mot Kongsveien, for å samle opp saltsprut om vinteren/våren og kronedrypp i løpet av hele året.
- NILUs nedbørsamler, på taket av en målebu nedenfor helleristningene, for innsamling av nedbør.
- Avrenningssystem i form av en "trakt", montert på bergoverflaten for måling av avrenning.
- NILUs aerosolfelle, på taket av målebua, for å samle inn vannløselig svevestøv.
- Passive prøvetakere, festet på undersiden av aerosolfellen, for å bestemme følgende gasser:
 - NO₂ (nitrogen-dioksid) for avgasser fra bilene i området
 - SO₂ (svoveldioksid) primært for å bestemme belastning fra fyring i inversjonsperioder.
 - O₃ (ozon) i sommerhalvåret for å registrere oksidantnivået fra regionale og langtransporterte kilder.
 - NH₃ (ammoniakk) i sommerhalvåret for å se om lokale kilder ga verdier som var av betydning for vegetasjonen.
- 1 WETCORR-instrument for å registrere fukt og temperatur med:
 - 2 sensorer, montert utenfor selve helleristningen, for å bestemme prosentvis våt overflate, antall frostperioder og perioder med sterke temperatursvingninger på overflaten:
 - 1 sensor som referanse for fuktmålingene, montert på taket av målebua
 - 1 sensor som temperaturmåler montert skjermet for solen, på taket av målebua.

Inne i målebua sto en datalogger for WETCORR-instrumentet, samt et batteri som ga strøm til instrumentet. Batteriet fikk strøm fra et solcellepanel som var montert på taket av målebua.



Figur 7: Oversikt over plassering av målebu og måleutstyr på Ekeberg. Foto: V. Dahl, NILU.

Rett bak målebua, ca. 1 m opp på svaberget og vel en meter nord for selve ristningene, ble det montert opp 2 WETCORR-sensorer (Figur 7). 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 ble gjort i samarbeid med Caroline Murstad fra Teknisk avdeling, Universitetets Oldsaksamling. For nærmere plassering av sensorene, se Tabell 1.

Tabell 1: Lokalisering av WETCORR-sensorene.

Målepunkt	Betegnelse på WETCORR-sensorene		Avstand fra ristningene cm	Himmelretning	Hellevinkel °	Avstand fra bakken m
	Strøm	Temperatur				
Fjell	fjell1	Tfjell1	170	Vest	45	
	fjell2	Tfjell2	170	Vest	45	
Tak	Tak		300	Sør	45	2,5
		Temperaturføler	300			2,5

Målingene med WETCORR-instrumentet startet 15. februar 1997 og ble avsluttet 31. desember 1997 (Vedlegg B). I måleperioden har det vært registrert enkelte avbrudd i måleserien (Tabell 2).

Tabell 2: Måleperioder WETCORR som mangler.

Måleperioder som mangler	Målepunkt	Grunn
14. mars - 11. april 1997	fjell1 og fjell2 (strøm)	Kortslutning
29. april - 6. mai 1997	alle	Program feil
6. mai - 9. mai 1997	Tfjell1	Kortslutning
30. - 31. desember 1997	alle	Strømtilførsel nede pga. mye tåke
1. - 6. januar 1998	alle	Strømtilførsel nede pga. mye tåke

I slutten av mai måned ble det montert et avrenningssystem som dekte ca. 9 m² av berget (Figur 7). Avrenningssystemet bestod av en silikonlange som ble lagt ut som en stor "trakt" og festet til fjellet med silikonlim. I nedre delen av "trakten" ble slangen ført ned i en plastflaske som samlet opp nedbør som rant ned i "trakten". Avrenningssystemet ble plassert ut i samarbeid med Torunn Klockernes fra Teknisk avdeling på Universitetets Oldsaksamling. Måling av avrenning var et forsøk som ble utført i sommerhalvåret og målingene ble avsluttet den 7. oktober.

De ulike prøvene og måldataene ble samlet inn hver 14. dag av personale fra NILU. Det ble også foretatt en registrering av værforholdene fra dag til dag, i tillegg til at det ble innhentet meteorologiske data fra Det norske meteorologiske institutt.

5.2 Kartlegging av våt- og tørravsetning

5.2.1 Nedbør, kronedrypp og avrenning

NILU har utført analyse av nedbør, kronedrypp og avrenning på følgende ni kjemiske komponenter: Cl, NO₃, SO₄, Na, K, Ca, Mg, NH₄ og pH.

5.2.2 Forurensende gasser

For å bestemme forurensende gasser ble det benyttet passive prøvetakere for NO₂, SO₂, NH₃ og O₃ utviklet ved IVL (Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Göteborg) (Ferm, 1991). Prøvetakerne produseres og analyseres ved NILU med unntak av O₃-prøvetakeren som produseres og analyseres av IVL.

Prøvetakerne er utviklet for å fange opp gassene NO₂, SO₂ og NH₃, 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, 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 fordel 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 si fra 20 til 50 liter pr. døgn. Ved prøvetaking i lavt forurensede områder (milde miljøer) og med gasskonsentrasjoner under 10 µg/m³, 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 deteksjonsgrenser for SO₂ = 1 µg/m³, NO₂ = 1 µg/m³, O₃ = 1 µg/m³, NH₃ = 5 µg/m³. De passive prøvetakerne (to paralleller) har vært festet opp under aerosolfellen som står ca. 3,5 meter over bakken. Måling av O₃ og NH₃ har kun vært utført i sommerhalvåret.

5.2.3 Aerosoler

Til å måle aerosoler ble det brukt et egenutviklet måleinstrument spesielt beregnet for å måle vannløselige aerosoler. Prøvetakestyret 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.

5.3 Kartlegging av temperatur og fukt

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 regnskylt 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 Fuktregistreringer

WETCORR-instrumentet (som er utviklet ved NILU, Henriksen og Haagenrud, 1994) benyttes for å kunne måle fukt- og temperaturlstanden 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).

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

For Oslo er i_{krit} definert til 10 nA.

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

5.3.2 Temperaturregistreringer

For å prøve og 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 A).

For å kunne vurdere i hvilken grad frostsprengning kan bidra til nedbrytning av bergflaten på Ekeberg 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 i bergarten vil senke frysetemperaturen.

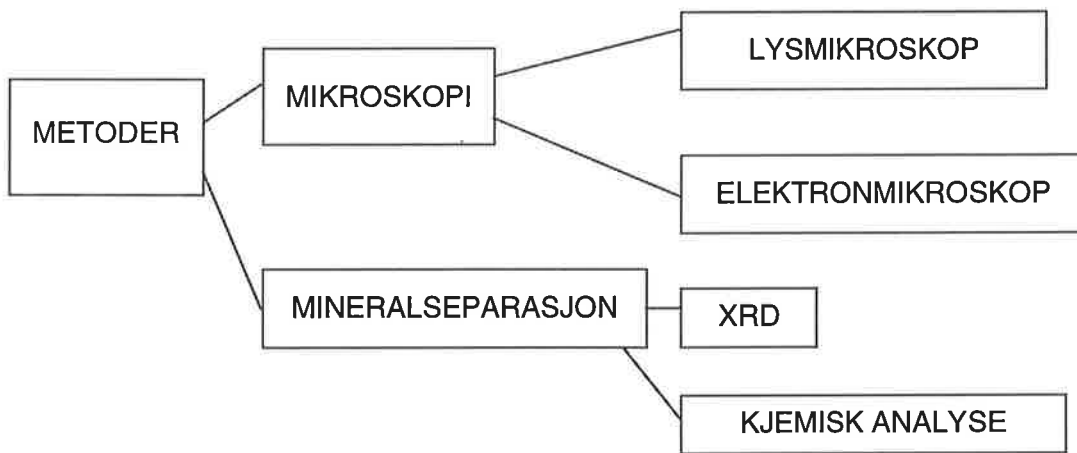
På sommeren kan temperaturen svinge over store intervaller i løpet av et døgn. En kartlegging av store temperaturdifferanser kan gi indikasjoner på om steinen tåler slike påkjenninger. I denne rapporten er antall svingninger i døgnet og pr. måned registrert for temperaturdifferanser på 15°C og 20°C.

5.4 Analysemetoder for bergartsbestemmelse

En bergart består av en eller flere mineraler, som igjen varierer i kjemisk sammensetning og fysiske egenskaper som hardhet og tendens til oppsprekking. De parametere som avgjør forvitningsforløpet vil derfor være avhengig av hvilke mineraler som er tilstede.

For å bestemme nøyaktig bergartstype og mineralsammensetning tas prøve i utkanten av området, eller i nærmeste omgivelser, for ikke å ødelegge selve feltet. Det er ønskelig med både vitret og frisk prøve for å kunne vurdere omfanget av omdannelsen. Borkjerner er ideelt fordi en da kan følge forvitringen fra overflaten og ned i upåvirket bergart i en og samme prøve.

Standard metoder for mineralbestemmelse er vist i skjemaet nedenfor.



Ved å lage et tynnslip-preparat, dvs. en meget tynn skive saget av bergarten, kan en studere mineralene og deres opptreden i forhold til hverandre (tekstur) i et optisk lysmikroskop (gjennomfallende lys, polarisert lys, ultrafiolett lys). Videre kan en undersøke omdannelsesforløpet og hvor dypt i forhold til overflaten omdannelsen har skjedd.

Et elektronmikroskop (SEM) bruker elektroner som kilde og oppløsningen er mye større enn i et lysmikroskop. To typer preparat brukes: et lite bruddstykke av prøven gir anledning til å studere mineralenes morfologiske egenskaper med god dybdeskarphet. Et tynnslip gir anledning til mer detaljert undersøkelse i et SEM (vanlig forstørrelse opptil 7000-8000x) enn i et lysmikroskop, samtidig som bestemte signaler (backscatter) gir opplysning om kjemisk sammensetning og kjemiske variasjoner i mikroskala.

Mineralseparasjon innebærer destruksjon (knusing) av prøven, og er særlig aktuelt ved undersøkelse av leirmineraler som kan være dannet under forvitringen. Røntgendiffraksjon (XRD) er da nødvendig for å bestemme hvilket leirmineral det er.

Den økonomiske ramme har bare tillatt bruk av lysmikroskop på tynnslip av prøvene fra Ekeberg.

5.5 Bruk av naturlige isotopsystem for analyse av miljøkilder

Det er første gang i Norge at denne metoden blir brukt til å spore forurensningskilder i forbindelse med nedbrytning av kulturminner og metoden behøver derfor en nærmere forklaring.

5.5.1 Analyse av strontium- og blyisotoper

Allt som forekommer rundt oss i naturen er oppbyggt av kemiske komponenter, eller element, i ulike kombinasjoner. Bland de vanligste 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 byggnadsstenar eller så kallade isotoper av kalsium. Då det i visse fall medfører tekniske problem ved isotopanalyse av et element kan man ibland istället välja ett besläktat element med en isotopfördelning som är bättre lämpad för analys. Ett element som liknar kalsium och följer det i olika processer i naturen är strontium (Sr). Här må poängteras att detta naturligt förekommande strontium **inte** skall blandas ihop med det förekommande radioaktiva strontium 90 som bildas vid olika kärnprocesser.

Elementet strontium (Sr) är naturligt förekommande med fyra isotoper; ^{84}Sr 0.6%, ^{86}Sr 9.9%, ^{87}Sr 7%, ^{88}Sr 82.6%. Alla dessa isotoper av Sr är stabila och oföränderliga med undantag för ^{87}Sr som är en dotterisotop av ^{87}Rb och får ett kontinuerligt tillskott därifrån. Elementet bly (Pb) är naturligt förekommande med fyra isotoper; ^{204}Pb 1.4%, ^{206}Pb 24.1%, ^{207}Pb 22.1%, ^{208}Pb 52.4%. Förhållandet mellan de olika blyisotoperna varierar i olika geologiska miljöer då ^{206}Pb och ^{207}Pb bildas genom sönderfall av ^{238}U och ^{235}U , medan ^{208}Pb är en produkt av det radioaktiva sönderfallet av ^{232}Th . ^{204}Pb är den enda blyisotopen som inte bildas genom radioaktivt sönderfall utan kan ses som stabil och oföränderlig. Pb och Sr uppför sig geokemiskt väldigt lika vilket gör att de kompletterar varandra och möjliggör en utvidgad tolkning av händelser typ antropogen påverkan av miljön.

Denna möjlighet att med hjälp av naturliga isotopsystem karaktärisera olika källor gör det möjligt att följa transporter och processer i miljön som utsläpp av föroreningar och den effekt de har på omgivningen. Analys av den naturliga isotopsammansättningen hos ett material har också den fördelen att den inte är beroende av materialets koncentration. En liter vatten t.ex. har samma isotopförhållande även om den indunstas till en milliliters volym. En huvudpunkt är således inte alltid att bestämma absolut belopp men att finna trender, positiva eller negativa, med hjälp av naturliga isotopsystem för att kunna belysa en utveckling och vilken påverkan den haft.

Vid budgetering av näringsförluster ur marken på grund av sur nederbörd visade det sig t.ex. att användningen av strontiums naturliga isotopsystem var ett synnerligen kraftfullt redskap för att följa dessa processer. Tekniken har sedan vunnit internationellt erkännande och används idag som en rutinmetod vid olika typer av markundersökningar (Graustein & Armstrong, 1983; Miller et al., 1993; Åberg,

1995). Användningen av naturliga isotopsystem innebär också en möjlighet att kunna följa och uppskatta de vittrings- och nedbrytningsprocesser som i en allt snabbare takt håller på att förinta vårt kulturarv inför våra ögon (Åberg et al., 1995).

5.6 Biologiske nedbrytningsfaktorer og analyse av biologisk aktivitet

Når det gjelder kartlegging av de biologiske nedbrytningsfaktorer på og omkring bergkunstfeltet, samt en analyse av den biologiske aktivitet på feltet så er følgende delmål satt opp:

- Delmål 1: Utprøving av dokumentasjonsstandard for registreringsarbeid av biologiske organismer.
- Delmål 2: Vurdering av ulike analysemetoder av biologiske organismer på stein.
- Delmål 3: Undersøkelse og utprøving av aktuelle metoder på prøvefelt.
- Delmål 4: Vurdering av de konkrete problemstillingene ved helleristningene i Oslo.

5.6.1 Utprøving av dokumentasjonsstandard for biologiske organismer

Dokumentasjonsstandard for registrering av bergkunst er blitt utviklet i forbindelse med et annet delprosjekt under prosjektet "Sikring av Bergkunst 1996-2000". En hovedmålsetning i utarbeidelse av denne standarden, var å tilpasse tverrfaglig feltregistrering.

Ved å benytte arbeidsutgaver av dokumentasjonsstandard, har det vært mulig å teste hvordan ulike former for spørsmålsstillinger og utforming av skjemaet fungerer i praksis. De foreløpige arbeidskopiene som etterhvert er laget, er benyttet ved tre ulike feltregistreringer av bergkunstfeltet på Ekeberg med etterfølgende vurdering og korrigering.

Dette har gitt gode erfaringer om hvilke problemer man må dekke inn og som har påvirket utformingen av skjemaet. Eksempler på sentrale problemstillinger er bl.a. hvordan den omkringliggende vegetasjon skal beskrives, siden det finnes busker og trær som stikker inn over bergflaten og vegetasjon på oversiden av bergflaten som innvirker på innsmitting og tilsig. I tillegg har årstidsvariasjoner i omfang av vegetasjon (løvtrær), miljøbelastning og påvirkning av besøkende på Ekeberg belyst ulike sentrale problemstillinger.

Erfaringer og endringer som er opparbeidet ved Ekebergfeltet er kanalisert videre til arbeidet med selve dokumentasjonsstandard.

Dette prosjektet har tatt mål av seg å ta en inngående registrering av begroing på/ved siden av helleristningsflaten. Dette dekkes ikke inn i dokumentasjonsstandard. Ved en inngående faglig undersøkelse er det derfor nødvendig å vurdere ulike spesialmetoder, som ikke fanges opp av den generelle standard. Hvilke metoder som er aktuelle å benytte for biologiske organismer er vist i delmål 2 og 3.

5.6.2 Enkel tilstandsregistrering/visuell undersøkelse

En generell vurdering av bergoverflaten på avstand, kan gi en pekepinn på om det er direkte påvirkning på bergflaten. Dette gjelder både den omkringliggende vegetasjonen og begroing på bergoverflaten. En enkel registrering i form av bilder og tegninger kan ofte fange opp tilstrekkelig informasjon for videre vurderinger. Det bør samtidig være en tolkning av forholdene, slik at f.eks. påvirkning ved ulike værtyper og årstidsvariasjoner i vegetasjonen kommer med.

En generell undersøkelse, evt. med detaljundersøkelse med lupe eller forstørrelsesglass gir et viktig "førsteintrykk" av hvilke planter som forekommer, hvor hardt de er festet, dekningsgrad og eventuelle synlige skader som kan knyttes til disse plantene.

Ved å tegne inn omfang av de enkelte plantene samt beliggenheten i forhold til helleristningene kan man få et meget illustrativt bilde av tilstanden ved inspeksjonstidspunktet (Figur 8). I tillegg er det viktig å registrere de viktigste forekomstene av begroing, f.eks. de som er i direkte forbindelse med helleristningene (Figur 9).

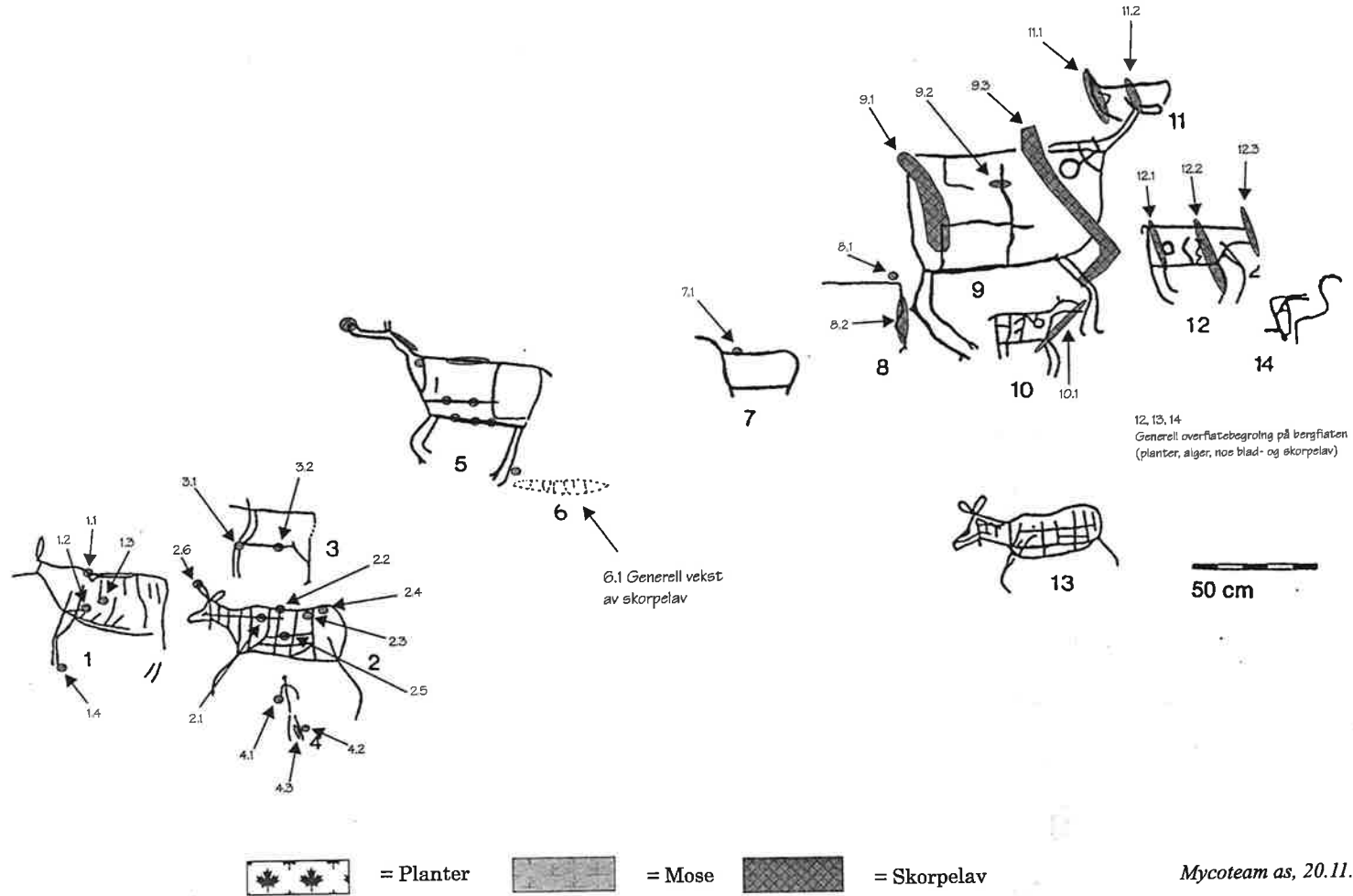
Fotografering har en stor fordel for registrering av de ulike forholdene fordi de på en objektiv måte illustrerer begroingen, enten det er oversiktsbilder (Figurene 10-13) eller detaljbilder (Figurene 14-21).

En godt beskrevet oversikt kan gi et meget viktig inntrykk av hvordan forholdene er på den aktuelle plassen, selv om det mangler inngående informasjon om de enkelte flekkene som er bevokst. I de aller fleste tilfellene er denne beskrivelsen tilstrekkelig som dokumentasjon og en foreløpig vurdering av videre tiltak. Dette kan siden danne grunnlag for andre til å lage retningslinjer for tiltak, rengjøring og videre oppfølging.



Figur 8: Biologisk dokumentasjon av helleristningsflaten og området nær helleristningsflaten, Ekeberg. Foto: J. Mattsson, Mycoteam as.

Helleristingene på Ekeberg



Figur 9: Biologisk dokumentasjon av helleristningsflaten, Ekeberg (etter E. Mikkelsen, 1997).

5.6.3 Inngående tilstandsregistrering/laboratorieundersøkelse

Ved en grundig registrering av forholdene, kan det være interessant å se på hvilket omfang det er av ulike grupper av planter samt analysere hvilken grad av påvirkning begroingen har på helleristingene/tilstøtende del av bergoverflaten. Dels kan man registrere generelle plantegrupper og enkeltarter i felt (gjerne fotografert), dels må man ta med prøver for videre analyse og identifikasjon.

Prøvetaking varierer med plantestørrelse og hvor godt festet de er til underlaget. I tillegg er det klare begrensninger når det gjelder prøvetaking av vegetasjon som sitter godt festet til/i bergflaten i helleristningsfelt. Dette gjelder særlig ned i sprekker og direkte i helleristingene. Av den grunn må prøvetakingen i sterk grad tilpasses den enkelte bergflate.

Generelt sett er det fem aktuelle metoder for innsamling av vegetasjon, slik som vist i Tabell 3. I praksis kan det være begrensninger i muligheten til å benytte enkelte metoder fordi helleristninger er fredede og tåler lite mekanisk påvirkning. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Prøveanalyse kan evt. skje i felt (håndlupe), men metodene krever som regel bruk av laboratorium (dyrking, mikroskopi, elektronmikroskopi og tynnsjikt-kromatografi) samt spesiallitteratur.

Ved analyse av prøvene er målet dels identifikasjon av organismene, dels skaffe frem tilstrekkelig informasjon til at videre tilstandsanalyse (basert på tilstandsregistrering og tilstandsbeskrivelse) samt konsekvensvurdering kan gjennomføres (Bøhlerengen og Mattsson, 1996).

Gjennomgang av tilgjengelig utenlandsk litteratur viser at prøvetaking hovedsakelig skjer ved innsamling av løst sittende plantedeler eller ved å ta ut steinprøver. Disse prøveobjektene er imidlertid i stor grad bygningsmaterialer, hvor prøvetaking er enklere enn på helleristningsflater.

Tabell 3: Metoder for innsamling av vegetasjon.

Metode	Fremgangsmåte	Merknad
Avtrekksprøve	En glassklar tape presses direkte på underlaget og deretter festes på et rent objektglass. Planter som er godt festet på underlaget, kan ved en forsiktig oppfukning av overflaten fuktes opp med vann. Prøven kan deretter analyseres direkte ved lysmikroskopi. Ved ufargede eller hyaline strukturer kan preparatet farges opp med f.eks. anilinblå (Cotton Blue) eller Acid Fuchsin. Normal forstørrelse ved analyse er 10-16X og 40-60X objektiver. For detaljstudier av sporer og strukturer i lignende størrelse kan bruk av 100X objektiv være nødvendig (Holøs & Mattsson, 1994).	Enkel prøvetaking som i meget liten grad påvirker underlaget. Gir mulighet til rask analyse. I tillegg viser prøvene innbyrdes plassering mellom ulike kolonier. Metoden er bra for innsamling av organismer som sitter løst festet, slik som alger, gjærsopp, muggsopp og enkelte lav-arter.
Kontaktagar	En petriskål med egnet sterilt næringsmedium trykkes mot bergflaten, og inkuberes deretter ved ønsket temperatur, normalt sett ved 20°C i 5-7 dager. For å påvise både bakterier/gjærsopp og muggsopp/svertesopp bør både et generelt og et selektivt medium benyttes. Normalt dekker MEA (Malt Ekstrakt Agar) og DG 18 (Dichloran Glycerol 18% agar) dette behovet. Analyse/identifikasjon skjer i lupe eller ved mikroskopiering (Holøs og Mattsson, 1994).	God for innsamling av mikroorganismer eller spredningsenheter (diasporer) som er løst festet. Organismer som er basert på fotosyntese (alger, lav, mose og høyere planter) kan ikke påvises ved denne metoden.
Plantedeler	Innsamling av plantedeler som trengs for identifikasjon. Planter som sitter godt til underlaget kan forsiktig dras/skrapes løs, evt. etter oppfukning. Høyere planter og mose bestemmes ved makroskopiske kjennetegn og lupekarakterer. Til identifikasjon av lav benyttes lupe, og enkelte kjemiske reagenser som K (10% KOH), C (natriumhypokloritt) samt PD (mettet oppløsning av para-fenylendiamin i 96% alkohol). I tillegg kan lysmikroskopiering være nødvendig (Krog et al, 1980; Moberg & Holmåsen, 1982).	Dette gir mulighet for en nøyaktig bestemmelse, og graden av mulighet for innsamling av større planter, mose og de fleste lavararter.
Steinprøver	Steinfragment eller biter hogges løs fra underlaget, slik at identifikasjon av organismene og analyse av steinflaten kan gjennomføres i laboratoriet. Innsamling av tilførte materialer som sementfyllinger i sprekker gir til dels samme informasjon.	Viktig prøvemethode for å påvise organismer i sprekker og porer i steinmaterialene. I tillegg kan man undersøke relasjonen mellom biologi og nedbrytning av steinoverflaten. Metoden har meget store begrensninger for benyttelse i direkte tilknytning til bergflater ved helleristninger på grunn av fredning av bergflatene.
Utvasking	Løse plantedeler/spredningsenheter på en bestemt bergflate kan samles inn ved utvasking med vann. Vannet samles opp og filtreres. Analyse av filteroverflaten skjer med lupe eller mikroskop.	Gir inntrykk av innsmitting av spredningsenheter og belastning av organisk avfall (barnåler, blader, jord) for et gitt tidsrom. Begrensninger i praktisk verdi i forhold til etablerte organismer.

5.7 Vurdering av de benyttede metodene

En viktig del av målsettingen i dette prosjektet var å teste og vurdere ulike analysemetoder for å kartlegge miljøbelastningen på et bergkunstfelt. De metodene som er beskrevet i kapitlene 5.2–5.6 og som er utprøvet på Ekebergfeltet har gitt følgende resultater:

- For måling av nedbør, så burde man i tillegg til de åpne NILU-nedbørsamlerne hatt en nedbørsamler med lokk (lokksamler) for å kunne skille total tørrdeposisjon (partikler, salter og gasser) fra den totale deposisjonen. Det burde også ha vært målt mengde nedbør, med en pluviograf; for å få opplysning om mengde nedbør samt tidspunkt for når det hadde regnet.
- Måling av avrenning over bergflaten var et forsøk som ble utprøvd for første gang i dette prosjektet. Tidspunktet for første avvaskingsforsøk var dessverre litt uheldig, da det ble utført etter en lang tørkeperiode med et påfølgende kraftig regnskyll, hvilket vil si at en stor del av tørrdeposisjonene allerede var vasket bort av regnet. Men de senere oppsamlinger av regnvann som rant ned i trakten viste seg å gi verdifull informasjon om tørravsetninger på bergets overflate. Man bør også vurdere konstruksjonen av avrenningssystemet ved eventuelle senere forsøk. Systemet avdekket en del svakheter etter en viss tid, i det silikonslangen mistet feste med berget og trakten ble gjenstoppet av partikler.
- For måling av forurensende gasser så viste analysene av de passive prøvetakerne at 14 dagers måleperioder var fullt tilfredsstillende.
- For måling av vannløselig svevestøv (salter/støv) fungerte aerosolfellen bra.
- For måling av fukt og temperatur så fungerte WETCORR-instrumentet tilfredsstillende, men instrumentet krever tilsyn og skjøtsel. Blant annet bør sensorene skylles rene fra tørrdeposisjon/salter ved jevne mellomrom, for ikke å binde opp fuktighet. Sensorene bør også holdes rene for blader, barnåler og annet nedfall. Dette var første gang WETCORR-instrumentet ble drevet med solcellepanel og det viste seg å fungere bra, med unntak av en periode med mye overskyet vær og tåke, noe som resulterte i for lite strøm til batteriet og dermed ingen målinger.

For å kunne få frem en mer nøyaktig temperatur for frostsprengning av bergarten på Ekeberg, så burde det vært utført tester i klimaskap med påfølgende tynnslipanalyser.

I hvilken grad temperatursvingningene på mellom 15 °C og 20 °C har noen innflytelse på bergarten på Ekeberg er uvisst og vil eventuelt kunne bli bekreftet ved forsøk i klimaskap med påfølgende tynnslipanalyser.

- For analyse av bergartens type, samt mineralsammensetning ble det benyttet mikroskopering av tynnslip, men det hadde vært ønskelig med analyser ved hjelp av elektronmikroskop (SEM) for å kunne studere detaljer i nedbrytning og omvandling av bergarten. For en mer korrekt vurdering av bergarten vil det være ønskelig å kunne ta bergartsprøver så nær helleristningen som mulig.

- Geologisk feltstudie og tilstandsvurdering er nødvendig. Blant annet for å kunne utføre riktig prøvetaking i forbindelse med studier av nedbrytningen av bergarten.
- Bruk av isotopanalyser for å lokalisere ulike forurensningskilder samt for vurdering av hvor og hvordan forurensningen var deponert ved bergkunstfeltet viste seg å være vellykket.
- Biologisk feltstudie og dokumentasjon av biologisk vegetasjon er nødvendig blant annet for å kunne utføre riktig prøvetaking og studier av de biologiske organismer.
- Avtrekk- og avskrap-prøver ga gode resultater og rask analyse av ulike organismer som satt løst festet.
- Bruk av kontaktskåler med egnet næringsmedium ga et generelt bilde av forekomst av ulike bakterier og sopp.
- Prøvetaking ved å hugge ut steinprøver er en viktig prøvemethode for studiet av biologiske organismer, men har en begrenset verdi ved fredede bergarter som en helleristningsflate. Metoden kan vise mikroorganismer i sprekker og porer innover i steinmaterialet, men denne metoden kunne ikke brukes på Ekeberg.
- Utvasking av plantedeler ga lite resultat, men mønsteret på spredning av mose på Ekeberg viser imidlertid at lokal spredning er en klar kilde til innsmitting.

Generelt kan man si at de metoder som ble benyttet av partene i prosjektet på Ekeberg, viste seg å fungere bra for å kartlegge miljøbelastningen. Metodene vil derfor kunne benyttes ved miljøovervåking av andre bergkunstfelt rundt om i landet. Hvis man i tillegg ønsker å få mer inngående opplysninger om selve nedbrytningsprosessene på bergoverflaten, så er det nødvendig med et prosjekt som går over flere år og som tar i bruk mer spesialiserte analysemetoder i tillegg.

6. Resultater og diskusjon av miljømålingene

I den følgende tekst og i figurtekstene er betegnelsene tak og vei benyttet (se Figur 7). Tak står for målinger som er gjort på taket av målebua som er plassert nedenfor bergkunstfeltet. Vei angir målestedet som ligger ovenfor bergkunstfeltet; men nedenfor muren som er bygd opp langs med Kongsveien. Betegnelsen *veid middel* som er brukt nedenfor, henviser til middelverdier beregnet med hensyn til mengde nedbør i perioden.

6.1 Analyse av nedbør, kronedrypp og avrenning

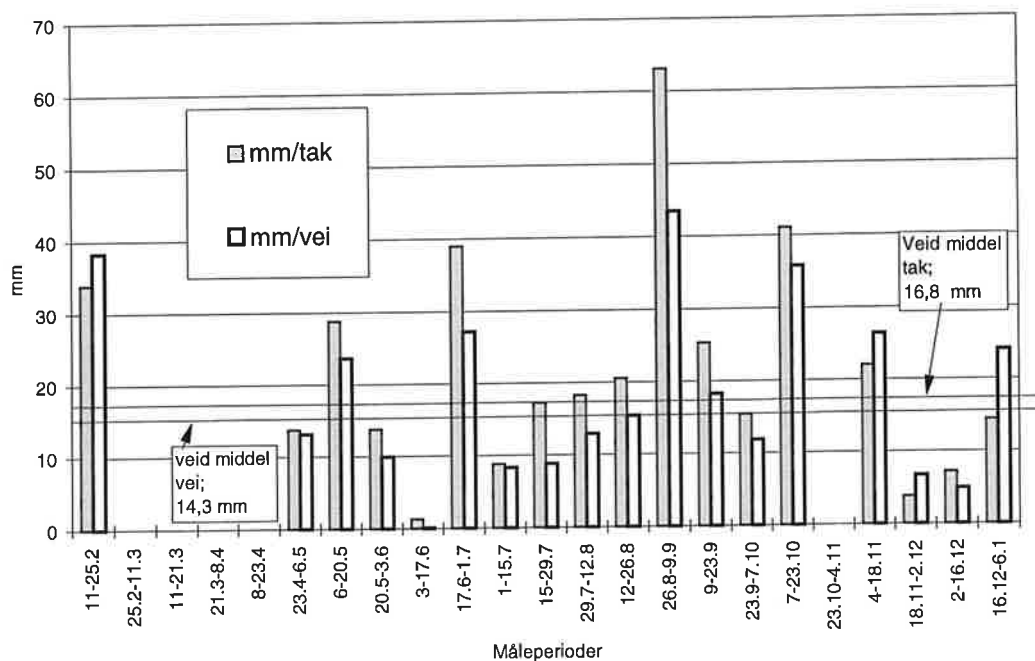
6.1.1 Nedbør

Med bare noen få unntak vinterstid var nedbørmengden normalt betydelig større fra målestedet på taket (middel mengde på tak = 16,8 mm) enn ved veien (middel mengde på vei = 14,3 mm), se Figur 22. Den omkringliggende vegetasjonen og skjerming fra steinmuren mot veien var trolig årsaken til dette. Bortsett fra to tidsrom, mellom 25. februar og 23. april samt mellom 23. oktober og 4. november, har det vært nedbør i alle måleperiodene.

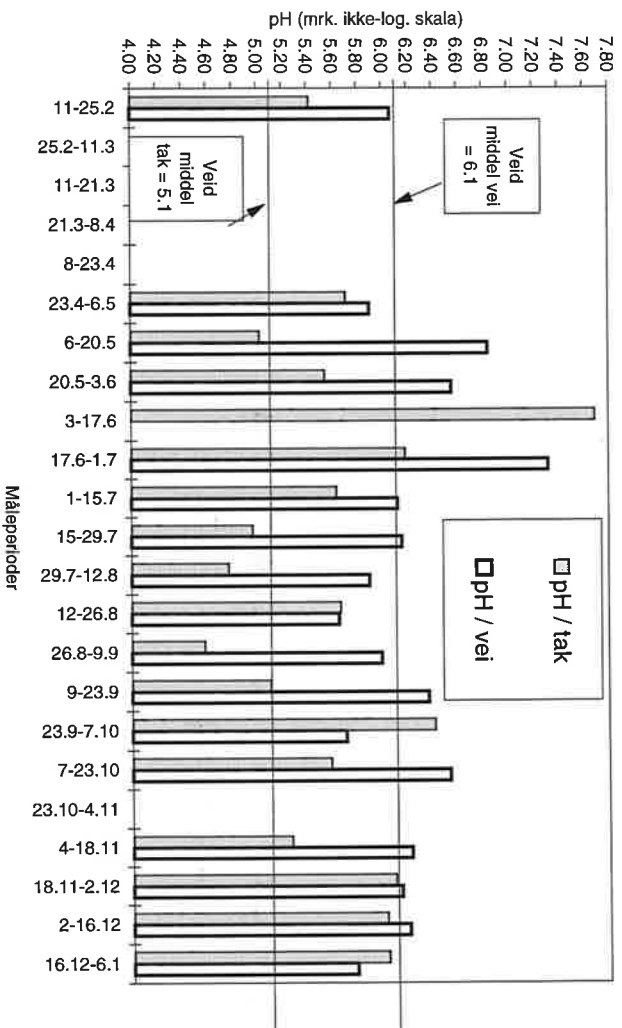
6.1.2 pH

Figur 23 viser at pH i nedbøren var en pH-enhet lavere (surere) på taket (vanligvis mellom 4.8 og 5.8) enn ved veien. Dette kan skyldes den noe større bufferkapasitet i nedbøren nær vei pga. større saltinnhold. Dette bekreftes av:

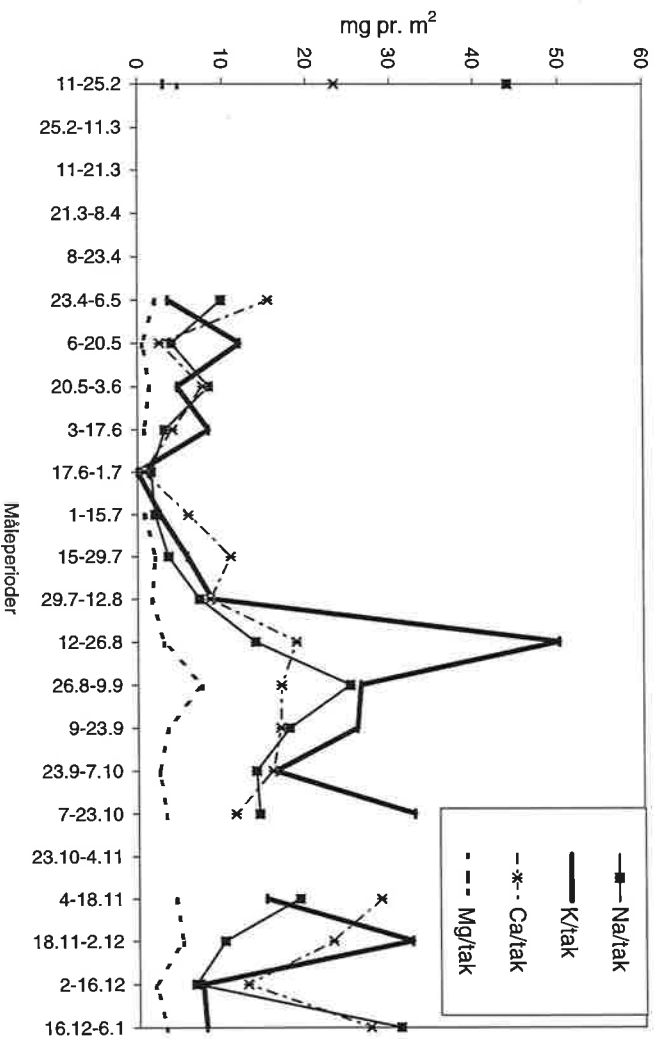
- at det var relativt høye konsentrasjoner av salter også på taket i store deler av november og desember, som ga seg utslag i høyere pH-verdier, se Figur 23 og Figur 24.
- at den elektriske ledningsevne i nedbøren ved veien var betydelig større enn på taket pga mer løste ioner (skvetting fra veien og drypping fra trær), se Figur 24 og Figur 25.
- at de målte ioner (bortsett fra $\text{NO}_3\text{-N}$) alltid forekom i større konsentrasjoner i nedbøren nær vei (se Tabell C.2 og Tabell C.3).



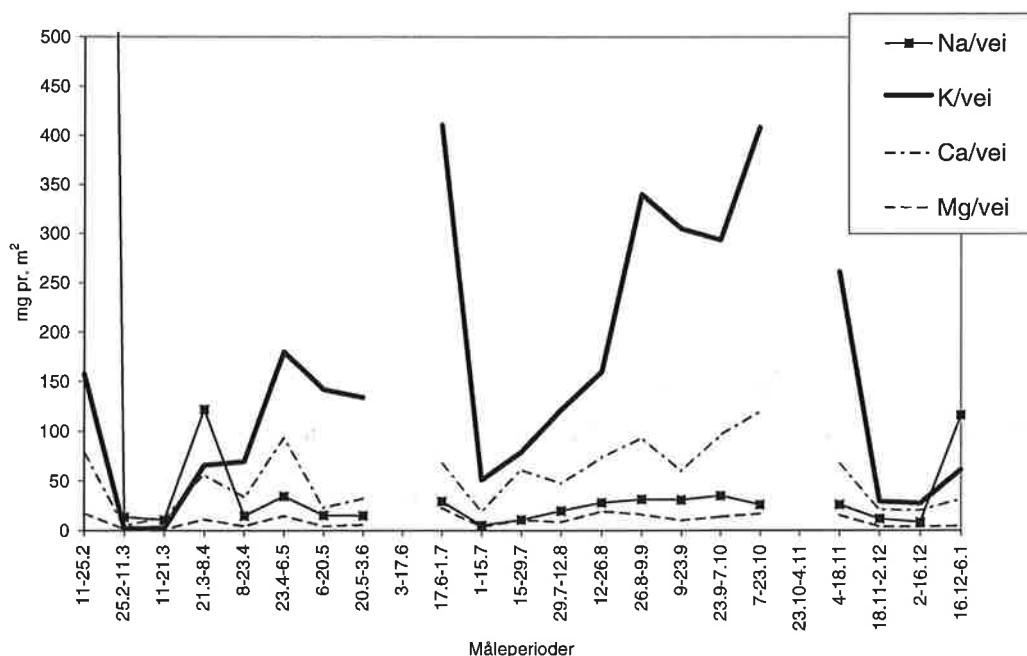
Figur 22: Mengde nedbør, målt i mm fra nedbørsamlere ved henholdsvis tak og vei (kronedrypp).



Figur 23: Analyser av pH i nedbør fra tak og vei (kronedrypp).



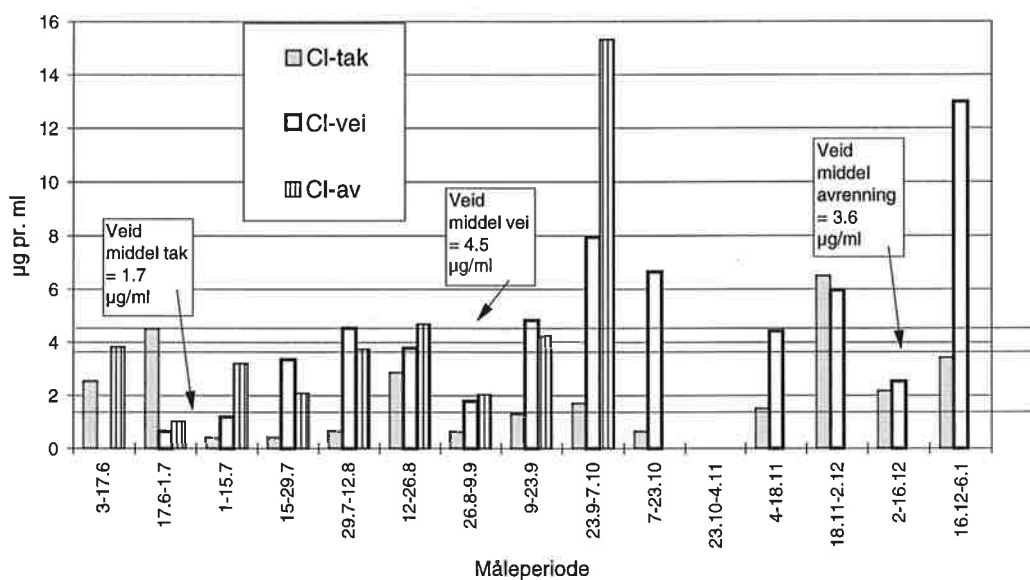
Figur 24: Totalavsetning (våt og tørr), av kationer i nedbør på tak, målt i mg pr. m² pr. 14-døgnperioder i perioden 11. februar 1998 til 6. januar 1998.



Figur 25: Totalavsetning (våt og tørr), av kationer i nedbør på vei, målt i mg pr. m² pr. 14-døgnperioder i perioden 11. februar 1997 til 6. januar 1998. Perioden 25.2.-23.4. omfatter bare tørravsetning (ingen nedbør i perioden).

6.1.3 Klorid

Kloridmengden i nedbøren ved veien og i avrenningsvannet var av samme størrelsesorden og betydelig høyere enn på tak.



Figur 26: Konsentrasjon av klor (Cl) fra nedbør fra tak (Cl-tak) og vei (Cl-vei) (kronedrypp) og fra avrenningsvann (Cl-av) over bergflaten for perioden 3. juni 1997 til 6. januar 1998.

Forholdet Na/Cl (0,5) i nedbøren på tak hadde tilnærmet NaCl-sammensetning (0,65). Ved vei var Cl i nedbøren normalt i overskudd i forhold til sammensetningen NaCl. Det er mulig at dette skyldtes at Cl også her er bundet til Ca. Den høye Cl-verdien i perioden 7.-23. oktober er imidlertid vanskelig å forklare ut fra de beregninger på ionebalanse som er utført.

6.1.4 Nitrat og sulfat

Figur 27 og Figur 28 viser at NO₃-N-konsentrasjonen må betegnes som lav i alle tre kategorier (tak, vei og avrenning). Veide middelverdier: tak = 0,38 µg/ml, vei = 0,27 µg/ml og avrenning = 0,02 µg/ml. Jevnt over var konsentrasjonen høyest på tak og lavest i avrenningsvannet, altså motsatt av de øvrige. Nitrat er et næringsstoff for alger og annen biologisk vekst.

Figur 27 og Figur 28 viser at SO₄-S-verdiene for nedbør korrelerte bra med Cl-verdiene, men verdiene var noen ganger betydelig lavere, særlig ved vei.

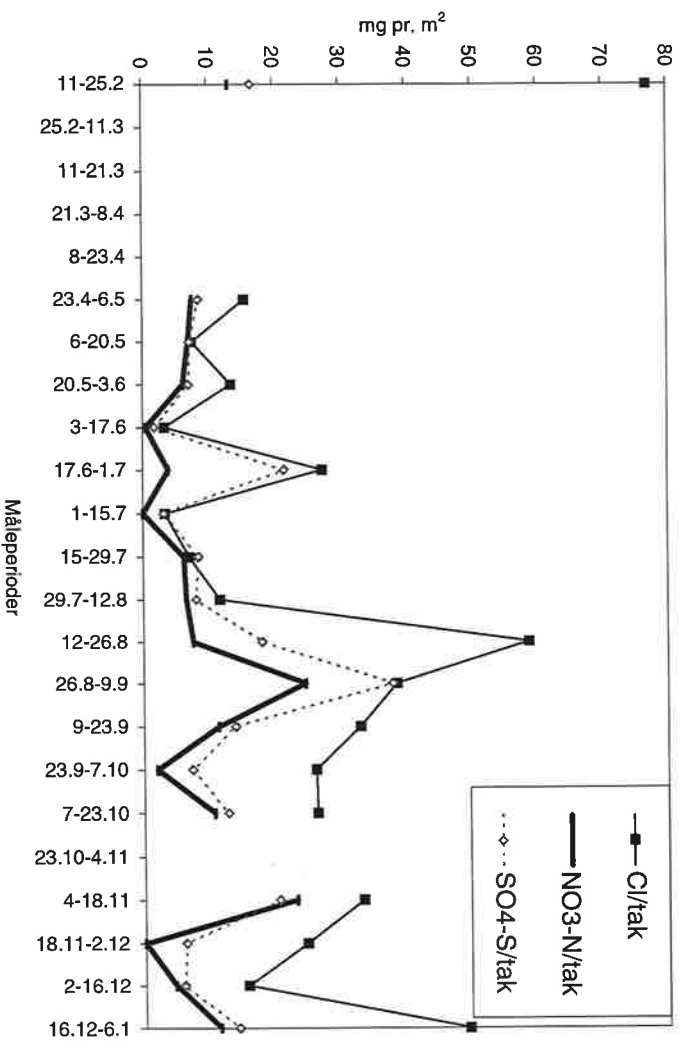
6.1.5 Kationer

Kaliumverdiene var mye høyere i nedbøren ved vei og i avrenningsvannet enn i nedbøren på tak (Figur 29).

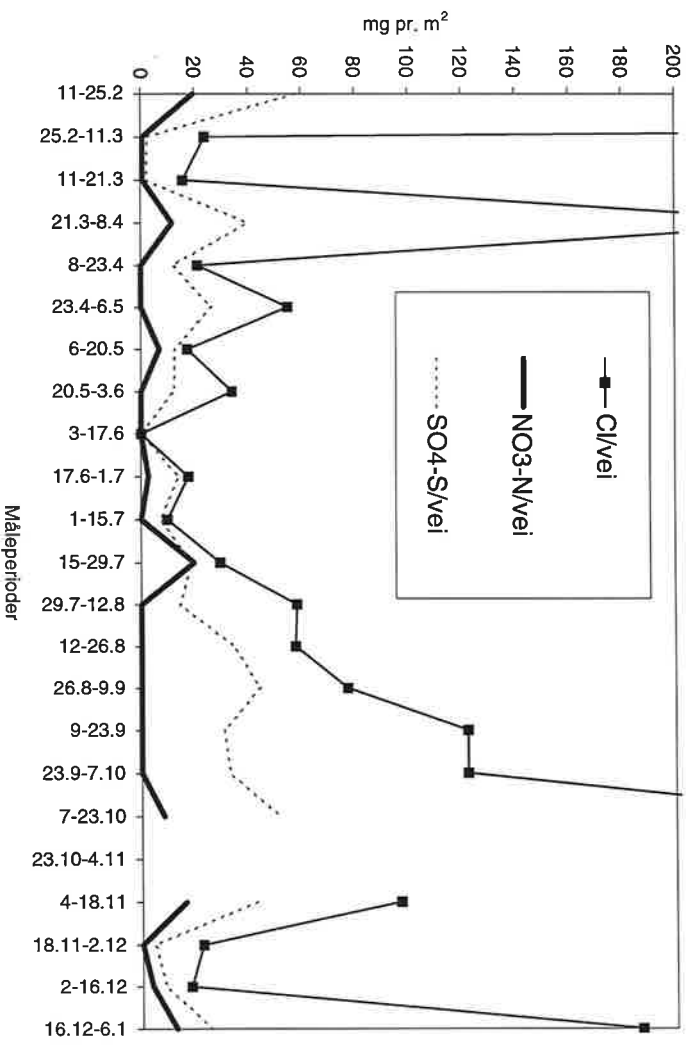
Figur 24, Figur 25 og Figur 30 viser at mengdeforholdene mellom avsetning av kalsium, magnesium og natrium i nedbøren og i avrenningen samsvarer.

Figur 31 viser at det var mye mer NH₄-N i nedbør ved vei enn på tak. Tendens til samvariasjon forekom stort sett over hele måleperioden, selv om konsentrasjonsnivået oftest var atskillig høyere i nedbøren ved veien.

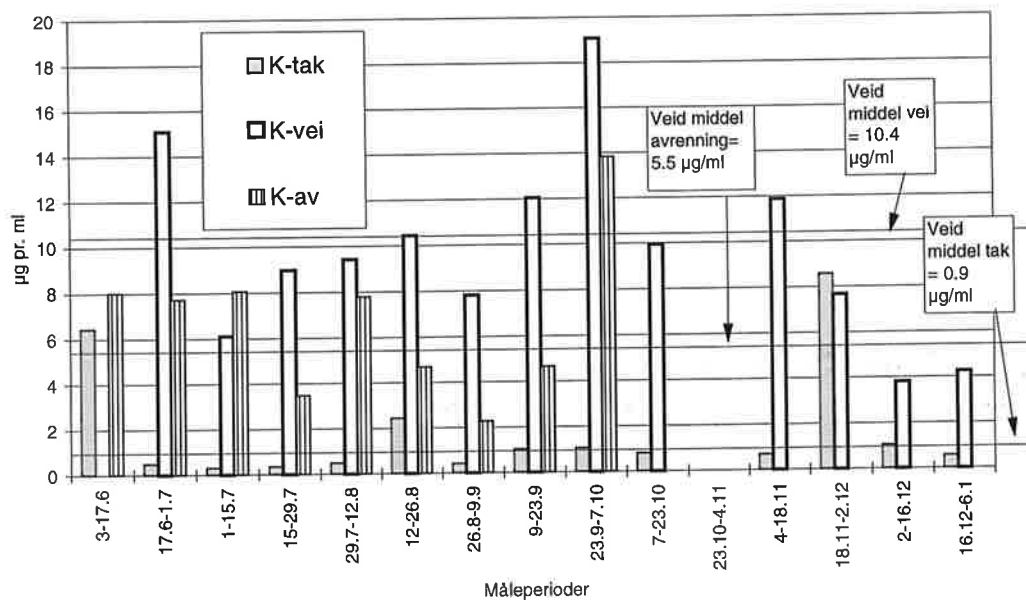
I avrenningsvannet varierte NH₄-N-verdiene svært mye, og i måleperioden for avrenning har konsentrasjonene i nedbøren ved vei og i avrenningsvannet vært tilnærmet omvendt korrelert. I september måned var verdiene svært lave både i nedbøren og i avrenningsvannet. Veid middelverdier av NH₄-N i avrenningen er 0,68 µg/ml.



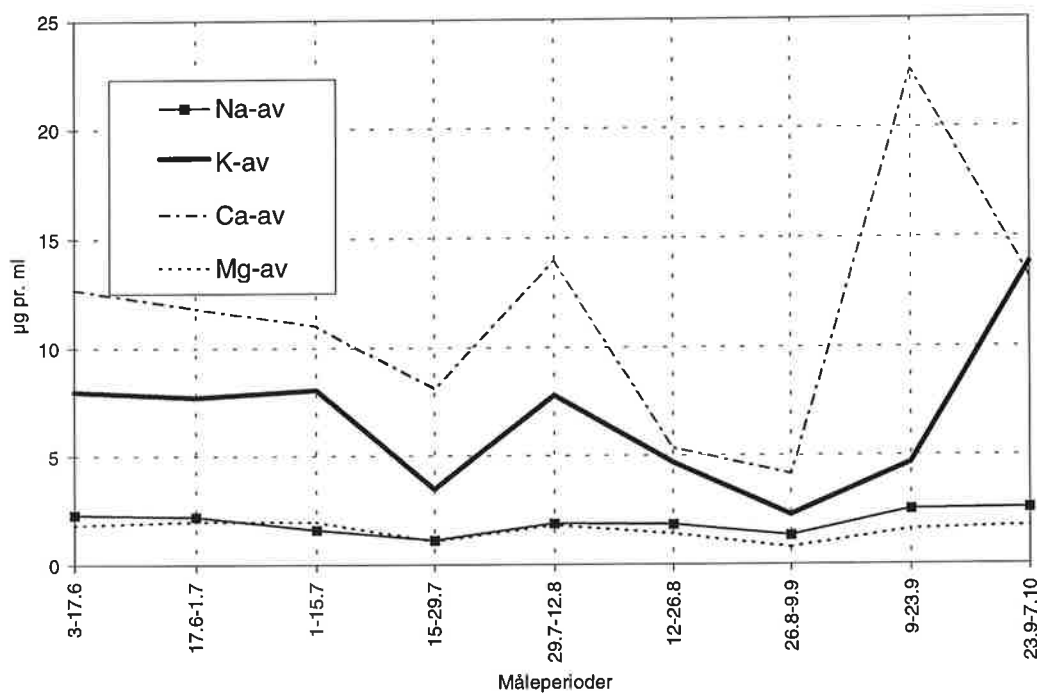
Figur 27: Totalavsetning, dvs. både våt og tørr, av anioner målt i mg pr. m² pr. 14-døgnperioder, fra tak.



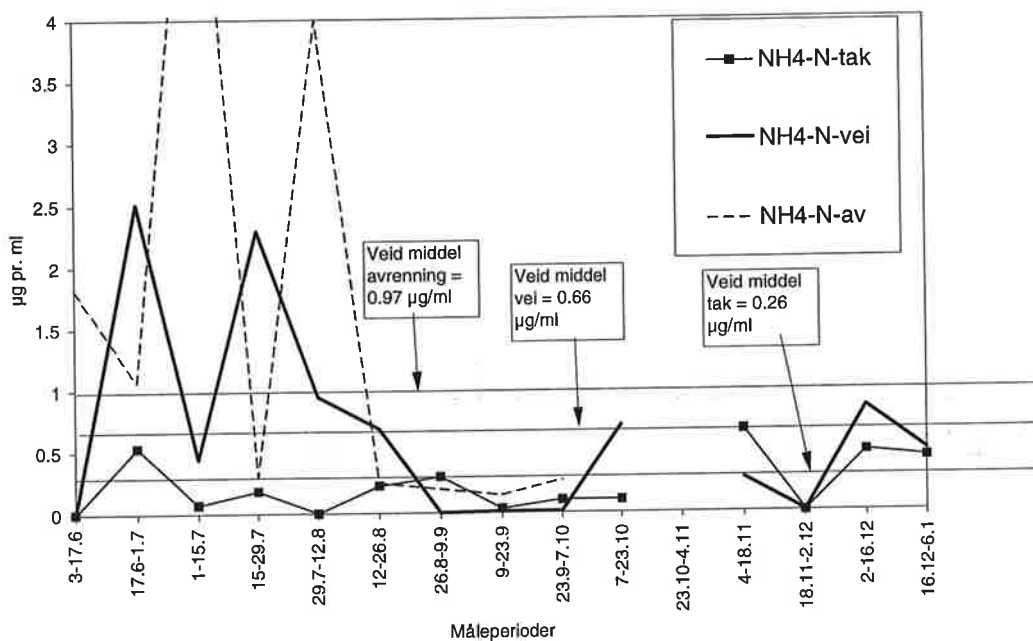
Figur 28: Totalavsetning, dvs. både våt og tørr, av anioner målt i mg pr. m² pr. 14-døgnperioder, fra vei (kronedrypp). Perioden 25.2.-23.4. omfatter bare tørravsetning (ingen nedbør i perioden).



Figur 29: Konsentrasjon av kalium (K) i nedbør fra tak, vei (kronedrypp) og fra avrenningsvann over bergflaten for perioden 3. juni 1997 til 6. januar 1998.



Figur 30: Konsentrasjon av kationer i µg pr. ml pr. 14-dagersperiode i avrenningsvann.



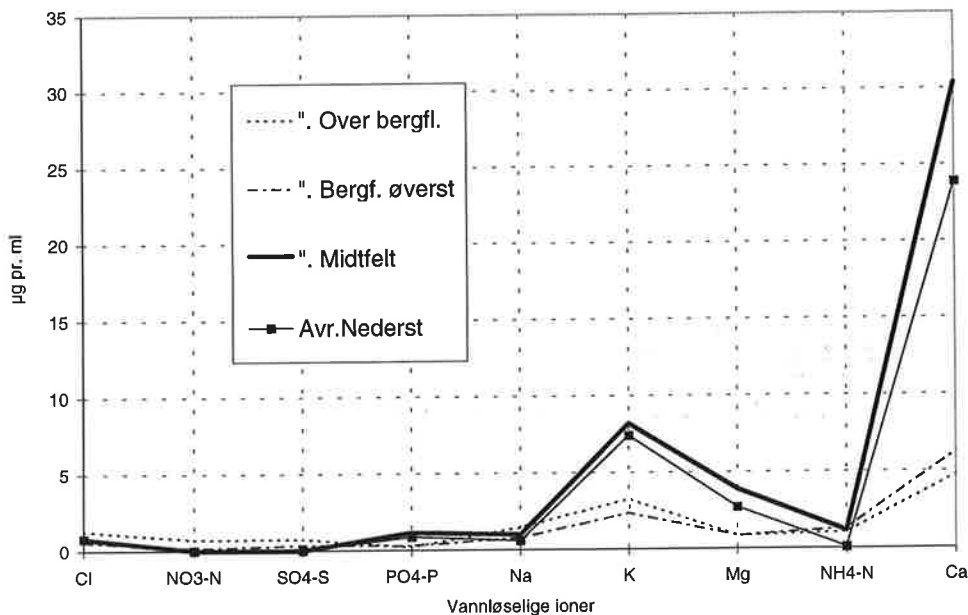
Figur 31: Konsentrasjon av nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$) i nedbør på tak, ved vei (kronedrypp) og i avrenning over bergfeltet for perioden 3. juni 1997 til 6. januar 1998.

6.1.6 Avrenning

Figur 32 viser at i avvaskingsforsøk (kunstig vanning) fra forskjellige høydenivåer på helleristningsfeltet så hadde Ca, K, Mg og $\text{PO}_4\text{-P}$ de største konsentrasjonene når bare de nedre områdene ble vannet, mens anionene Cl, $\text{SO}_4\text{-S}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$ fikk de høyeste konsentrasjonene når de øvre områdene ble vannet. Dette kan tyde på at feltet har fått et lite tilslag fra jordsmonnet, og at anionene fra dette tilslaget absorberes på vei nedover bergflaten. Veide middelverdier kationer: Ca = 13,6 µg/ml, K = 5,3 µg/ml, Mg = 2,1 µg/ml og $\text{PO}_4\text{-P}$ = 0,6 µg/ml. Veide middelverdier anioner: Cl = 0,8 µg/ml, $\text{SO}_4\text{-S}$ = 0,3 µg/ml og $\text{NO}_3\text{-N}$ = 0,2 µg/ml.

Avvaskingsforsøket ble gjort etter at det var kommet regn etter en lang tørkeperiode. Verdiene ville antakelig vært mye høyere hvis forsøket hadde blitt gjort ved slutten av den lange tørkeperioden før tørrdeposisjonen var blitt vasket bort av regnet. Avvaskingsforsøket viste også høye Ca-konsentrasjoner fra de deler av feltet hvor det var fylt sement i noen sprekker. Ca-verdiene ble ikke like høye når det ble vannet ovenfor sementen, men forklaringen på det kan være at vannet rant utenom sementen.

Skjematisk fremstilling av de ulike høydenivåene er vist i Figur C1, vedlegg C.



Figur 32: Resultat fra avrenningsforsøk, hvor vann ble helt over bergflaten i ulike høydenivåer. Figuren viser konsentrasjon av 9 ioner i ulike høydenivåer på feltet.

6.1.7 Mikroskopering av løsmateriale i avrenning

Prøvetakingen ble foretatt i perioden 26. august–8. september 1997. Bare en svært liten del av prøven er undersøkt. Slammet besto hovedsakelig av tre hovedkategorier partikler:

1. Organisk materiale. Planterester, insektfragmenter, pollen m.m.
2. Aske og karbonholdige partikler. Dette representeres for det meste av sot, koks og annet partielt forbrent materiale.
3. Mineraler, mest kvarts, men også plagioklasfeltspat (turbid, sannsynligvis noe omdannet oligoklas), glimmer (mest biotitt), hornblende (grønnlig) og en del magnetiske mineraler, sannsynligvis magnetitt.

6.2 Analyser av forurensende gasser

Resultatene fra analysene av de passive prøvetakerne er basert på eksponering av prøvetakerne i 14-dagersperioder, fra 11. februar 1997 til 6. januar 1998, de enkelte måleperioder er angitt i figurene.

6.2.1 Svoveldioksid (SO₂)

Av Figur 33 går det frem at konsentrasjonene av SO₂ generelt har vært lave med et nivå omtrent som ventet. Kun i perioden februar til mars 1997 var SO₂-verdien større enn 5 µg/m³. Disse forhøyede verdiene skyldtes dels bruk av mer olje til oppvarming og dels perioder med dårligere luftutskifting (inversjonsperioder). De klimatiske forhold endret seg og det ble mildere i overgangen mars/ april. Vi så et relativt kraftig fall i SO₂-verdiene. Middelveidien i perioden april til oktober var

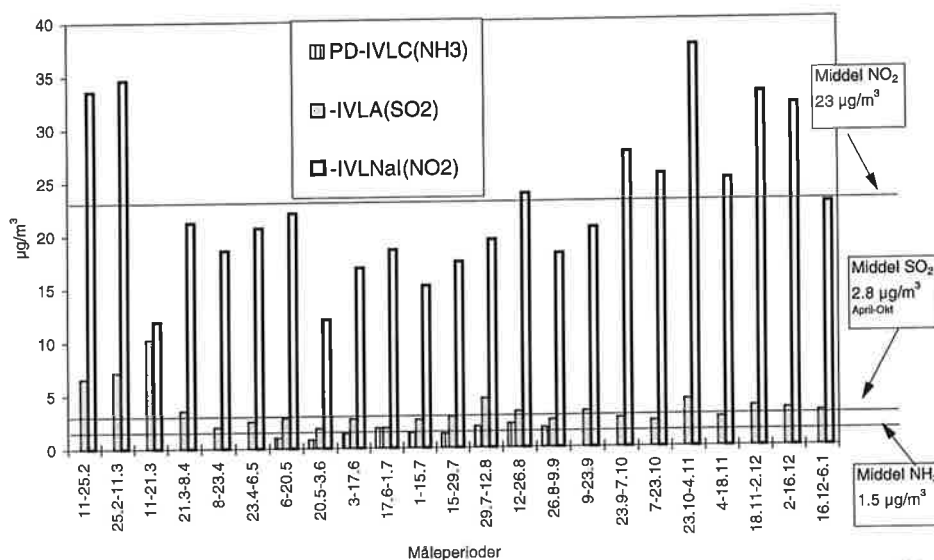
2,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vinteren 1997/98 hadde ikke verdier som gikk over 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frem til målingene ble avsluttet 6. januar 1998. De forholdsvis lave vinterverdier i slutten av måleperioden var forårsaket av den milde værtypen.

6.2.2 Nitrogen dioksid (NO_2)

NO_2 -konsentrasjonene var høyest om vinteren med av og til nær det doble av sommerkonsentrasjonene som lå rundt 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vintermålingene viste nivåer mellom 25 og 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, men vil generelt være avhengig av de meteorologiske forhold og innslag av ozon. Nitrogenoksidnivåene vil i Oslo-området være korrelert med trafikkbelastningen. Målinger fra Oslo har vist at NO -verdiene gjerne ligger ca. 10 ganger høyere enn NO_2 -verdiene. Middelerdien for hele året var 22,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og de høyeste verdiene ble målt i perioden oktober til mars.

6.2.3 Ammoniakk (NH_3)

Måling av ammoniakk (NH_3) ble kun utført i sommerhalvåret fordi verdiene antas å være høyest i denne perioden. Målingen startet i mai måned og ble avsluttet i august. Resultatet av analysene viste at verdiene allikevel var lave med middelerdi på 1,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figur 33). Dette viste at det ikke var noen klart definerte kilder i nærheten. Man kunne eventuelt ha forventet utslipp fra renseanlegget på Bekkelaget, som ikke ligger så langt unna.



Figur 33: Resultat fra analyser av forurensende gasser ved bruk av passive prøvetakere.

6.2.4 Ozon

Måling av ozon (O_3) ble også utført i sommerhalvåret. Verdiene er presentert i Tabell 4. Resultatene viser en sesongvariasjon med høye verdier om sommeren når solintensiteten er størst og en betydelig reduksjon utover høsten. Resultatene er lavere enn de verdier som måles utenfor Oslo, og i samsvar med de senere tiders målinger i sentrum i Oslo (Tørseth og Manø, 1997).

Ozon forbrukes ved oksidering av NO til NO₂.

For enkelte materialer som kalkholdig stein er nedbrytningen større i områder hvor det forekommer både SO₂ og O₃. For bergartene på Ekebergfeltet er effekten av SO₂ sammen med O₃ ikke undersøkt. SO₂ og O₃ er en potensiell nedbrytnings-effekt som bør undersøkes videre.

Tabell 4: Temperatur- og ozonverdier målt over seks perioder fra 1. juli til 22. oktober 1997.

Parallell	Start	Stopp	T/°C	O ₃ /µg/m ³
1	970701 16:30	970715 19:30	17	49.3
2			17	52.7
1	970715 19:40	970729 18:00	17	45.5
2			17	44.6
1	970729 18:00	970812 17:00	16	49.3
2			16	48.2
1	970812 17:00	970826 18:45	16	51.5
2			16	51.9
1	970923 16:00	971007 16:00	13	17.7
2			13	17.3
1	971007 16:45	971022 16:20	10	22.1
2			10	18.7

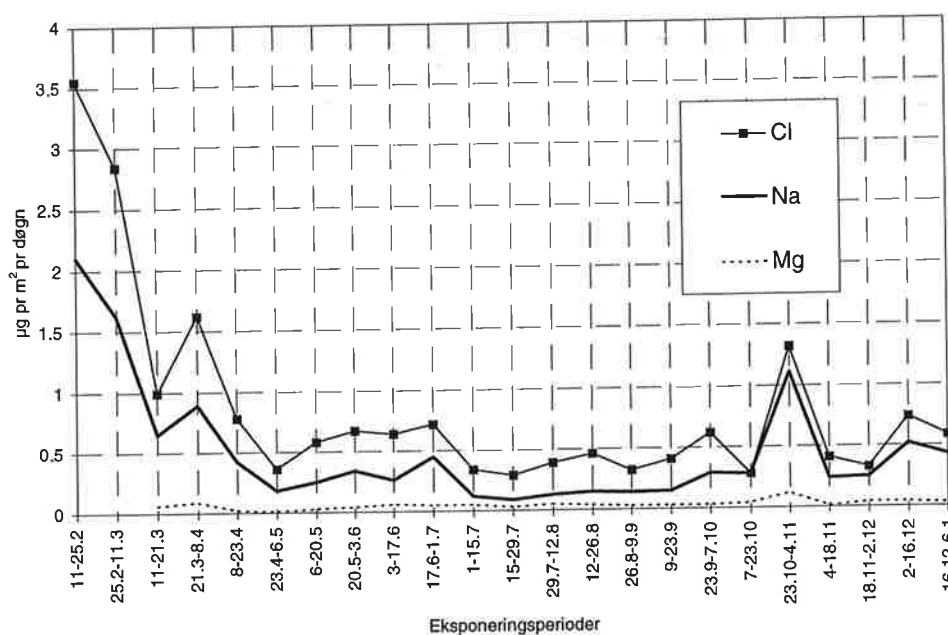
6.3 Måling av vannløselig støvavsetning

Tørravsetning av partikler kan karakteriseres og grupperes på ulike måter. En måte er å skille på størrelse. De minste partiklene (< 10 µm) har meget lang svevetid i luft og betegnes som svevestøv. Større partikler kalles nedfallsstøv fordi de har en definert større fallhastighet i luft i kort avstand fra kilden. På Ekeberg har en samlet opp begge typer. Nedfallsstøv vil falle ned i regnsamlere og bli en del av nedbørsanalysen. Svevestøv fanges opp på en aerosolfelle. I Figur 34 er resultatene fra aerosolfellen presentert mens nedfallsstøvet vil være en del av totalavsetningen som vist i Figur 27 og Figur 28. Ved sammenligning av resultatene er svevestøvet en meget liten del av totalavsetningen. Den midlere verdien utenom maksimumsperioden er 0,4 µg/m² pr. døgn. Mens tre perioder i februar og mars samt en periode i månedsskiftet oktober-november har betydelig større belastning.

I to av periodene 1.-25. februar og 25. februar-13. mars, ble salting av Kongsveien gjennomført, hvilket fremgår tydelig i Figur 34. Perioden 21. mars til 8. april var uten nedbør, men veibanen var periodevis fuktig. Fuktigheten blir større hvis det er salter igjen i veibanen og dette fører til økt kloridinnhold i svevestøvet. Hvorvidt det ble saltet i perioden 23. oktober til 4. november er ikke kjent, men målingene viser også i denne perioden en økning i kloridinnholdet. Det er sannsynlig at den økte kloridbelastningen i svevestøvet i perioden skyldtes salting av Kongsveien.

Sammenlikning av kloridmengdene i nedbørmåleren ved vei og på tak viser at det er betydelig mer nedfallsstøv ved vei i perioder. (Tabell C2 og C3 i vedlegg C).

På vinterstid var dette i godt samsvar med episodene fra kloridavsetningene på aerosolfellen og skyldtes salting. Om sommeren var også kloridavsetningen størst ved vei. Her skyldtes dette avvasking av støv fra vegetasjonen og fra saltholdig støv etter vinterens salting.



Figur 34: Tørravsatt Cl, Na og Mg målt med aerosolfelle gitt i $\mu\text{g}/\text{m}^2$ pr. døgn. Analysene gjelder den vannløselige delen.

6.4 Diskusjon av miljømålingene

Hensikten med plasseringen av nedbørsamleren ved vei var å måle avsetningen fra veien og fra trærne (kronedrypp). Nedbørssamleren ved vei var alltid forurenset av partikler. Om vinteren dominerte nedfallsstøv, mens det om sommeren var mye forurensning fra omkringliggende vegetasjon. Nedbørsamleren på tak skulle ideelt sett ikke ha denne type belastning, men i perioder, særlig om sommeren falt det allikevel noe organisk materiale i samleren. Bidraget var alltid betydelig lavere enn ved vei.

Saltavsetningen var betydelig større i nedbørsamleren ved vei enn på taket av målebua. Dette skyldtes lokalt tilskudd av ioner som hadde to hovedkilder. Den ene var partikler og støv fra Kongsveien, primært representert ved NaCl. Den andre var ioner som ble vasket ned fra trærne. Klorid vil være en del av denne avsetningen. Salter fra vegetasjon domineres av kaliumsalter og kalium var et dominerende ion i nedbøren ved vei i vekstsesongen. Den største forurensningsmessige belastningen skyldtes derfor forurensninger fra vei og vegetasjon.

Saltene i nedbøren har en buffereffekt og øker pH i regnvannet og dermed reduseres surheten. Det vannet som når helleristningsfeltet er derfor lite surt. Mindre forekomst av salt ga et surere regn, noe som kan sees i målingene fra tak og som ga lavere pH enn for vei. I nedbørsamleren på tak ble det i løpet av fire perioder målt pH under 5. I en periode 28. august til 9. september var pH så lav som 4.58. Det er uvisst i hvilken grad den sure nedbøren vil ha betydning for nedbrytningen av helleristningene.

Nitrogen er et næringsprodukt for biologisk aktivitet. Det er episodiske lokale tilskudd av nitrogen i nedbør. Konsentrasjonene er imidlertid små. Det ble registrert at konsentrasjonen var lavere i avrenningen fra fjellet. Dette tyder på at den biologiske veksten utnytter tilskuddet.

Den kunstige avvaskingen som ble utført 28. mai 1997 viste at det krevdes mye vann før en fikk noen utvasking fra jordsmonnet. Det vesentligste av avrenningsvannet som ble samlet opp gjennom forsøksperioden er derfor vann som primært har rent over bergflaten. Det ble registrert høyere konsentrasjoner av kalsium (Ca) i de områder der sprekker var tettet med sement.

Svoveldioksidkonsentrasjonene var lave og overskred $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bare i en mindre periode vinteren 1997. Sammen med O_3 konsentrasjonen kan SO_2 være en mulig kilde til nedbrytning av enkelte bergarter.

Nitrogendioksid skyldes biltrafikken i området. I laboratorieforsøk er det vist at NO_2 har negativ effekt på mange materialer. Spesielt utvikles synergistiske effekter når man har en kombinasjon av såvel SO_2 som NO_2 og O_3 , framfor alt ved høy luftfuktighet (Elfving & Lindqvist, 1992). Denne effekten er ennå ikke verifisert i feltforsøk.

Etter å ha analysert tørr- og våtavsetninger på og omkring bergkunstfeltet på Ekeberg i løpet av en årssyklus, så viste det seg at miljøbelastningen på feltet var størst i vintermånedene. Målinger av forurensende gasser viste at både svovel- og nitrogen verdiene var høyest om vinteren, noe som for en stor grad skyldtes de klimatiske og topografiske forhold. I Oslo vil man om vinteren ofte få høye forurensningsverdier når en har inversjonsforhold.

I hvilken grad svovel- og nitrogenforbindelser har noen direkte effekt på nedbrytningen av bergartene på Ekebergfeltet, som er en blanding av ulike silikatbergarter, har det ikke vært mulig å undersøke innenfor rammen av dette prosjektet. Nedbrytningsprosessene for disse bergartene er forholdsvis langsomme og for å få mer sikre målbare effekter kreves et flerårig måleprogram av den type som Riksantikvarieämbetet i Sverige driver i Bohuslän.

Størst innvirkning på nedbrytning av bergarten har antakelig de store saltmengdene som er analysert både fra nedbør, avrenning og tørravsetning. Når saltholdig vann renner over bergoverflaten kan dette føre til krystallisering av ulike typer saltmineraler. Selve krystallisasjonsprosessen kan føre til så kraftige trykkvariasjoner i mikrosprekker og porer at bergoverflaten "sprenges" i stykker.

6.5 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. (For forklaring på betegnelser på WETCORR-sensorene i teksten og i figurtekstene se Tabell 1, kapittel 5.1.)

6.5.1 Eksempel på tolkning av data fra måling med WETCORR-instrumentet

Nedenfor følger tolkning av dataene for måling med WETCORR-instrumentet for en måned (februar 1997), som et eksempel. Det ville føre for langt å beskrive alle måleperiodene på samme måte i denne rapporten, men for studier av de enkelte måleperioder vises det til diagrammer i vedlegg B.

Figur 35 viser døgnlige temperatur- og strømvariasjoner målt med WETCORR-sensoren på fjellet over døgnet for februar 1997 og Figur 36 viser døgnlige temperatur- og strømvariasjoner målt på tak for samme periode.

I dette eksemplet er Figur 35 og Figur 36 gjennomgått for dager med:

- sol og tørt fjell
- snø
- regn
- sol og opptørking av fjellet.

Sol og tørke

Ved dager med sol slik som fra 15. til 17. februar varierte temperaturen på fjell med opptil 10 °C fra dag til natt (se Figur 35). Samtidig ble det ikke registrert strømutslag for målinger på fjell. Tilsvarende kurver ble registrert for målinger på tak. Temperaturene lå her noe lavere (se Figur 36).

Snø

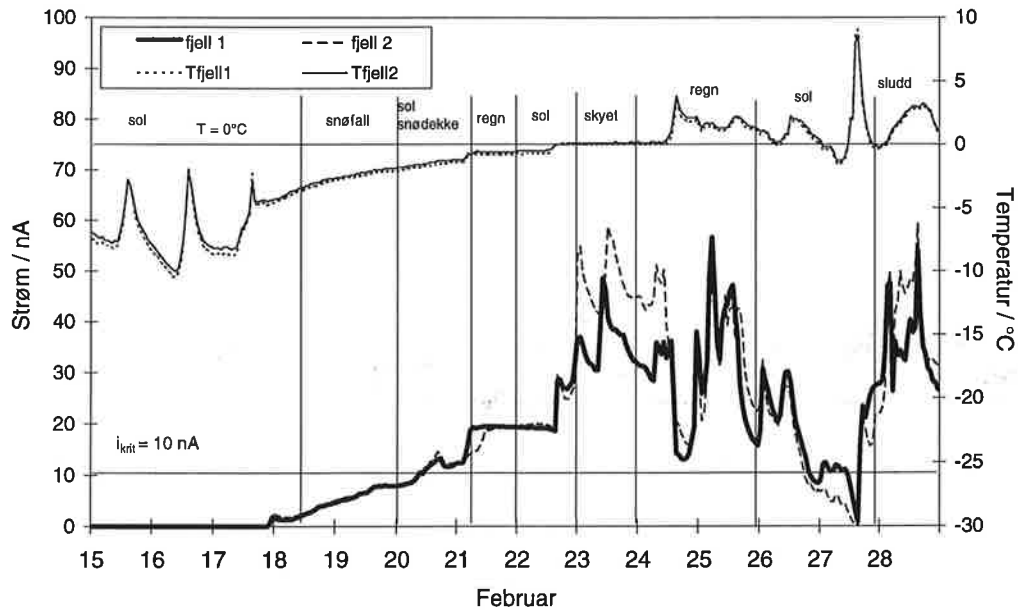
Den 18. til 19. februar falt det snø. For målinger på fjell ble det registrert en jevn økende kurve for temperaturmålingene fram til snøen var smeltet. For samme periode økte strømkurven jevnt fram til snøen smeltet den 23. februar og ga deretter en varierende strømkurve (Figur 35).

For målinger på tak sees det at temperaturen i perioden med snødekt fjell (18.-22. februar) steg raskere enn fjellet opp til rundt 0°C.

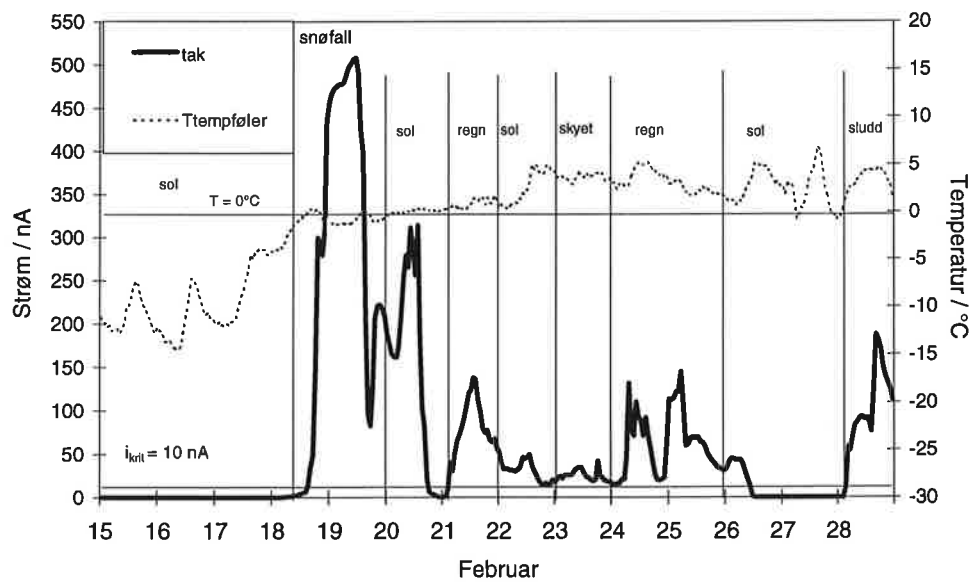
Strømmålingene ved snøfallet den 18. februar ga opp til fem ganger høyere verdier enn for fjellet. Verdiene gikk relativt hurtig ned til lavere verdier og ga så en varierende strømkurve fram til opptørking den 20. februar (Figur 36).

Perioder med regn

For begge målestedene kan man se at det regnet i to perioder, først den 21. februar og deretter i perioden fra den 24. til den 26. februar.



Figur 35: Temperatur- og strømvariasjoner for WETCORR-sensoren på fjellet over døgnet. Observerte værforandringer er angitt. Februar 1997.



Figur 36: Temperatur- og strømvariasjoner for WETCORR-sensoren på tak over døgnet. Observerte værforandringer er angitt. Februar 1997.

Sol

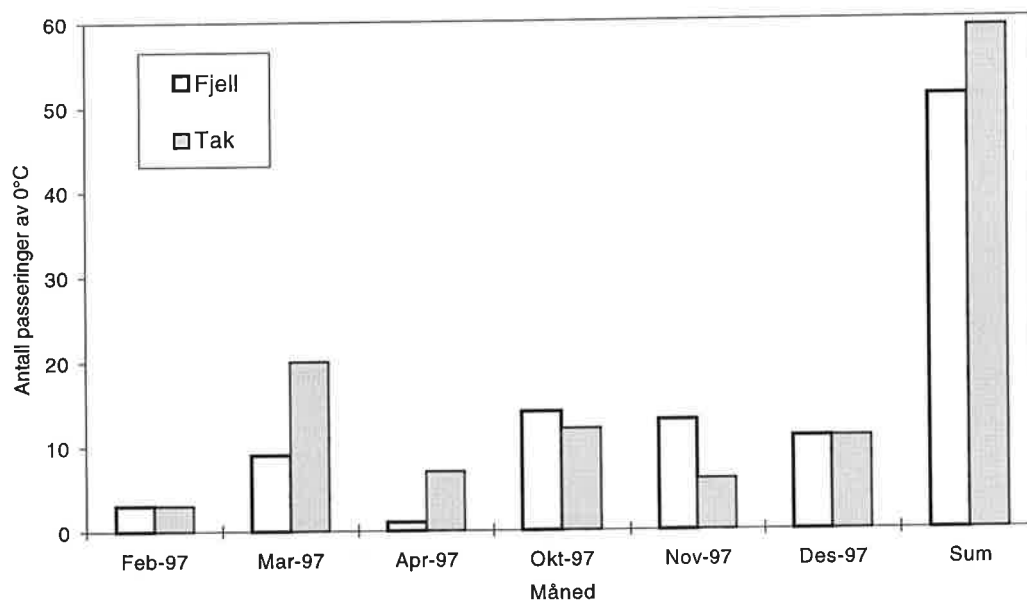
Ved sol den 26. og 27. februar viser en spiss og smal temperaturkurve at solen kun er en kort periode på fjellet og opptørkingen av fjellet tok lengre tid enn for sensor på tak, sammenlign Figur 35 og Figur 36. Strømmålingene var ikke nede i 0 nA før den 27. februar, og da kun i en kort periode (Figur 35).

Det ble observert en høyere temperaturkurve for måling på tak, og dermed sol i en lengre periode enn målinger på fjell. WETCORR-sensor på tak for registrering av nedbør tørket den 26. februar og var tørr i en mye lengre periode enn fjellet (Figur 36).

6.5.2 Periode med svingninger rundt 0°C

For å kunne vurdere i hvilken grad frostsprengning kan bidra til nedbrytning av bergflaten er det registrert antall ganger temperaturen svinger fra 0°C og ned til lavere temperatur. Her er 0°C antatt å være grensen for frostsprengning, men det kan variere fra en bergart til en annen. Videre vet vi at høyt saltinnhold i bergarten vil senke frysetemperaturen.

Figur 37 viser antall passeringer av 0°C for fjell og tak i februar, mars, april, oktober, november og desember 1997.



Figur 37: Antall passeringer av 0°C for fjell og tak i februar, mars, april, oktober, november og desember 1997.

Registrering av frostsykluser viser følgende:

- om våren (mars og april) gir fjellet færre svingninger rundt 0°C enn i luften
- om høsten (oktober og november) gir fjellet flere svingninger rundt 0°C enn i luften

- vinterstid (desember og februar) gir registreringene for fjell og luft likt antall svingninger

Målinger på tak skjer med sensor som måler luftens temperatur og denne vil lettere forandre seg ved påvirkninger som f. eks vind. En bergart er et tregt system og vil ikke forandre temperatur like fort som luft.

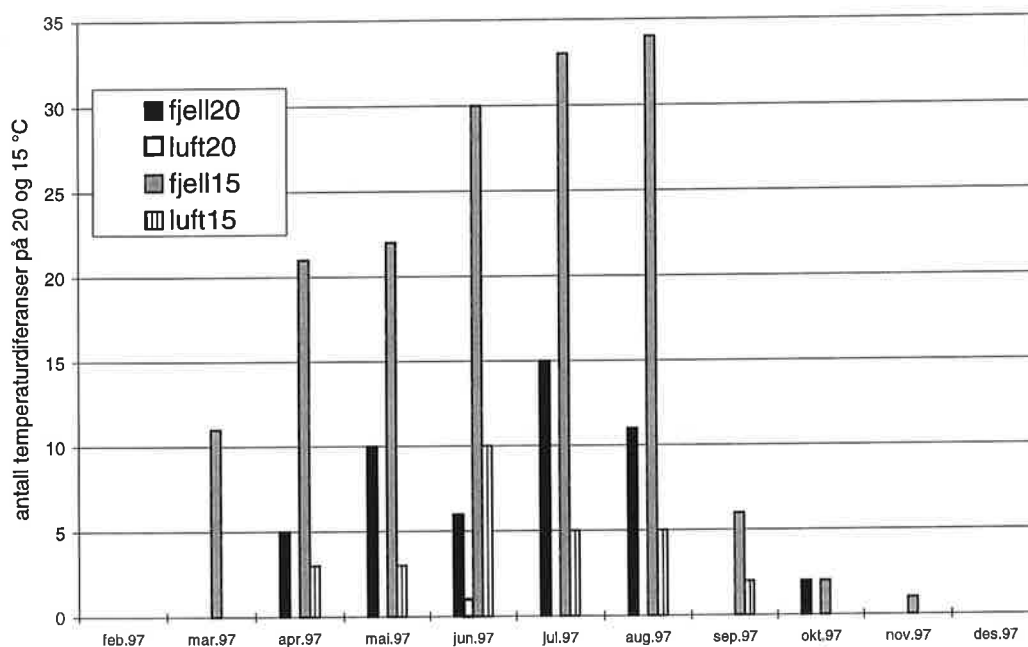
6.5.3 Perioder med store temperatursvingninger, differanse på 15°C og 20°C

Bergarter og mineraler kan reagere på store temperaturvariasjoner. En kartlegging av store temperaturdifferanser kan gi indikasjoner på om bergarten tåler slike påkjenninger. Vi har her registrert antall svingninger pr. måned for temperaturdifferanser på 15 og 20 °C.

Figur 38 viser variasjonene i temperaturdifferanser for sensorer plassert ved helle-ristningene og på taket av målebua like ved. For spesifikke dager med svingninger se Vedlegg B.

Målinger av antall temperaturdifferanser på fjellet i forhold til luft har vist at differansene på fjellet har vært fra tre til syv ganger flere enn for målinger i luft. Se også Tabell 5.

Selv ved lav vårsol som i mars og april reagerer fjellet og gir store temperatursvingninger. Målinger i luft skjermet for sol gir kun én temperaturdifferanse på 20°C i juni, ellers ingen målinger (Figur 38).



Figur 38: Totalt antall temperaturdifferanser på 15°C og 20°C.

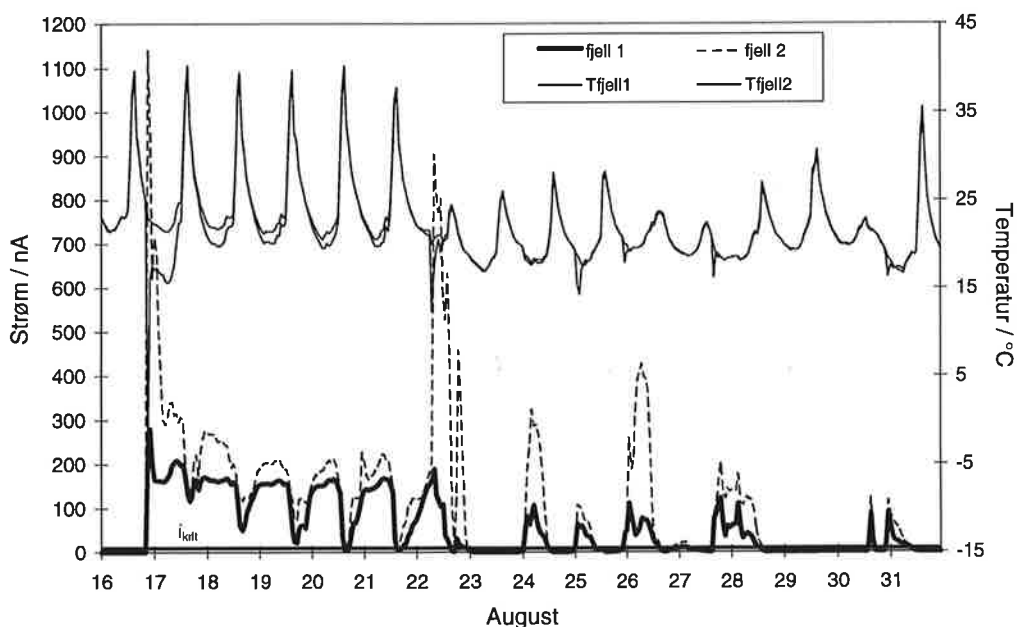
Tabell 5: Forholdet mellom antall temperaturdifferanser på henholdsvis 20°C og 15°C for luft og fjell.

Forhold :	luft/fjell	luft/fjell
Temp.differanse:	20°C	15°C
April	-	1/7
Mai	-	1/7
Juni	1/6	1/3
Juli	-	1/7
August	-	1/7
September	-	1/3
Oktober	-	-
November	-	-
Desember	-	-

6.5.4 Periode med kalde netter og varme dager

Figur 39 viser strøm- og temperaturvariasjonen for de to WETCORR-sensorene på fjellet. Målingene av fuktighet på fjellet viser store variasjoner fra dag til natt ved kalde netter og varme dager.

Fjellet og sensorer vil over tid samle opp de forurensningene som hovedsakelig kommer som tørravsetning. Sensorene vil da få en økning i saltmengde på overflaten og resultatet er en økning i strømmengden som registreres.



Figur 39: Temperatur- og strømvariasjonene for de to WETCORR-sensorene på fjellet over døgnet, 16.–31. august 1997.

Temperaturforholdet mellom dag og natt i perioden 16. til 21. august varierte opp mot 15°C. Dette ga kondens på sensorene om natten og strømverdier ned mot null på dagtid. Forurensningene på sensorene hemmet opptørkingen av sensorene. Regn den 22. august vasket sensorene og de senere dager med sol tørket sensorene slik at strømmålingene på dagtid ble null, mens det fremdeles var kondens om natten.

Når temperaturforskjellene avtok rundt den 23. august avtok kondensen og de store strømverdiene om natten gikk mot null.

De til dels store forskjellene mellom målingene på fjell1 og fjell2 kan skyldes lokale forurensninger, f.eks. blader som har falt ned og festet seg på sensorene.

6.5.5 Periode med kulde (gjennomsnittlig temperatur på -5°C eller kaldere)

I løpet av hele måleperioden ble det kun registrert en periode på tre dager i februar 1997 hvor målingene for både fjell og tak/luft var lavere enn -5°C. Enkelte dager i desember 1997 var temperaturen i luften under -5°C, men det ble ikke registrert så lave verdier på fjellet.

6.5.6 Diskusjon

Målinger av fuktighet og temperatur på fjellet viser store variasjoner i fuktbelastning ved nedbør. Solen tørker fjellet og hever temperaturen, snø gir en jevn økning i fuktbelastning og regn gir en varierende fuktbelastning på fjellet.

Ved registrering av svingninger rundt frysepunktet har vi valgt å beregne passeringer av 0°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°C (Thorseth et al., 1997).

Resultatene viser et antall svingninger rundt frysepunktet på opptil 50 og 60 ganger pr år for målinger på henholdsvis fjell og tak/luft. Målinger på fjellet har størst antall svingninger rundt 0°C på høsten og målinger i luften har størst antall svingninger om våren. Det var i løpet av måleperioden en meget mild vinter med kun tre dager med temperatur under -5°C målt på fjellet. Det er derfor lite sannsynlig at det har skjedd store skader ved frostsprengning i måleperioden, men i følge den geologiske analysen så ble det påvist mikrosprekker i bergoverflaten som vil gjøre det lettere for vann å trenge inn og øke mulighetene for frostsprengning. I den sørlige delen av feltet er det større hyppighet av åpne sprekker hvor frostsprengning kan gjøre stor skade.

Variasjoner i lufttemperaturen vil føre til henholdsvis oppvarming og avkjøling av bergarten og oppvarming kan føre til utvikling av termiske gradienter inne i bergarten. På Ekeberg er det en mørk bergart som lett absorberer varmen fra sola om dagen og lett gir utstråling om natten og det er derfor registrert store temperatursvingninger, spesielt i perioden mars til oktober. Ved store temperatursvingninger ekspanderer overflaten mer enn innsiden og det bygges opp spenninger i

bergarten som eventuelt kan føre til oppsprekking, men ulike laboratorieeksperimenter har ikke kunnet bekrefte dette (Thorseth et al., 1997).

I dette prosjektet har man som et forsøk valgt å se på antall temperatursvingninger på 20 og 15°C, men det er uvisst om disse intervallene fører til noen skade på bergarten. Flere forskere antar i dag at variasjon i døgntemperatur ikke er en så viktig faktor (Thorseth et al., 1997). For eventuelt å få mer informasjon om dette, må man utføre eksperimenter på den aktuelle bergarten i laboratorieforsøk.

6.6 Geologisk dokumentasjon og analyse av bergarten

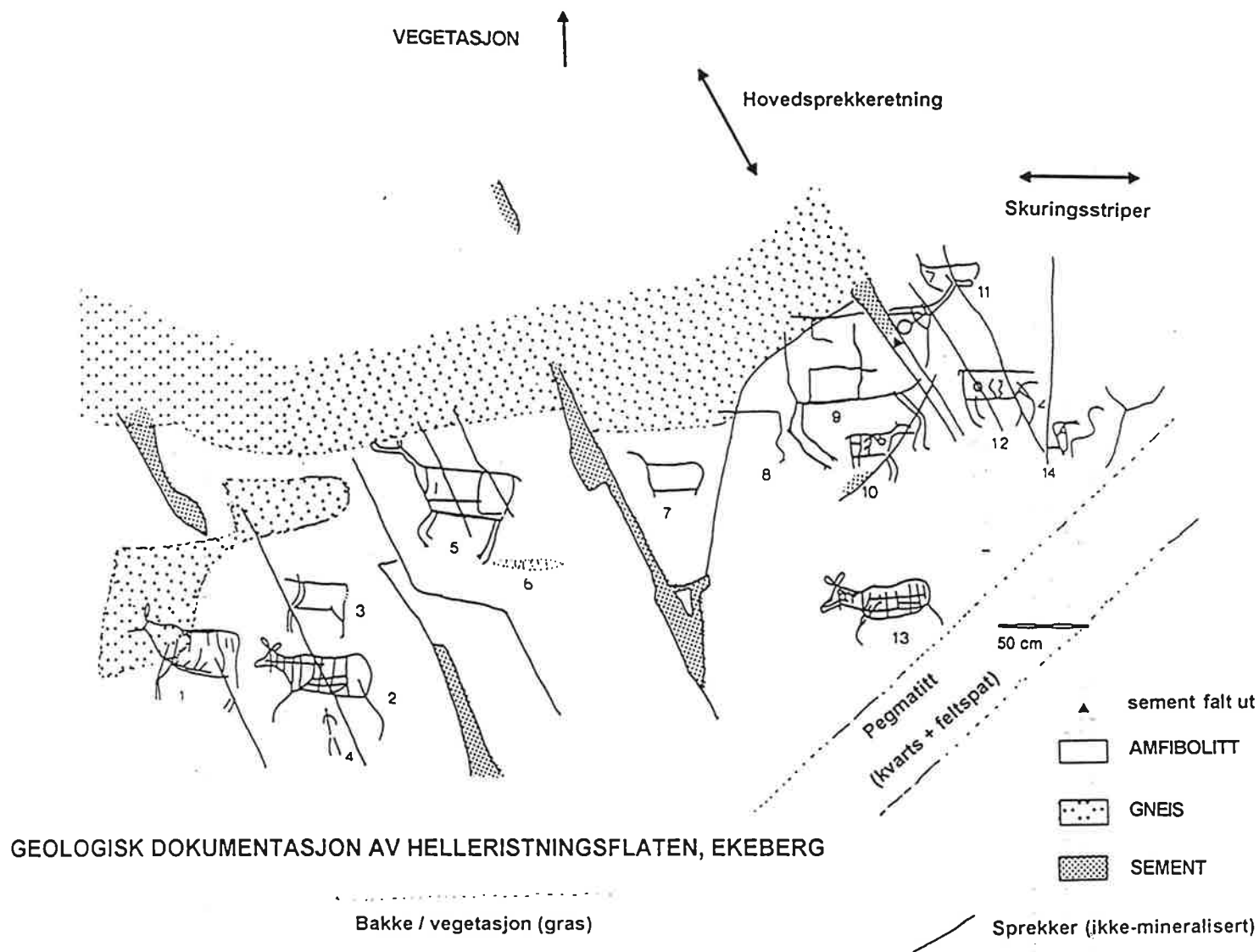
Flaten har tydelige skuringsstriper med retning NNØ-SSV, særlig utpreget på oversiden av selve ristningsfeltet, og noen av stripene er utnyttet i figurene.

Det er et fremherskende sprekkesystem med retning ØNØ-VSV. Sprekker som berører figurene er tegnet inn på Figur 40. Sprekkene er generelt smale og åpne, og ikke mineraliserte. I den sørlige delen av flaten er enkelte av sprekkenes dypere (5 cm er målt), og særlig ved Figur nr. 14 er oppsprekkingen slik at figuren kan være truet.

Både skuringsstriper og sprekker ser ut å konsentrere vekst av mose. Dessuten vil sprekker alltid være tilgjengelige for vann og derved øke faren for frostsprengning. Denne faren synes være størst ved helleristningsfigur nr. 9, 11, 12 og 14 (se Figur 40). De øvrige figurene har mindre markerte sprekker, men det er viktig å følge med i utviklingen. Hvilken effekt mosen har på vitringen vil være avhengig av bergartstype og mosetype, men den vil uansett holde på fuktighet med de negative konsekvenser dette innebærer.

Enkelte sprekkesoner har tidligere blitt sementerte. En del av sementen er bevart, mens enkelte deler er falt ut. Forekomst av sement er tegnet inn på Figur 40 og pilen antyder hvor en bit er falt ut. Inntrykket er at sement som løses opp og faller ut har mer negativ effekt enn om sementen ikke hadde vært der. Det er også viktig å vite hva slags sement som har vært brukt for å klargjøre hvilke elementer som går i oppløsning og eventuelt påvirker vitringsprosessen ved å forandre det kjemiske miljøet.

Selve bergflaten er noe vanskelig å beskrive nøyaktig geologisk, fordi den i stor grad er dekket med et tynt lag mørk begroing (alger – jfr. biologisk beskrivelse) som tilslører teksturene.



Figur 40: Geologisk dokumentasjon av helleristningsflaten, Ekeberg (etter E. Mikkelsen, 1977).

Bergflaten består av to hovedtyper bergarter:

Dominerende er en finkornet, mørk amfibolitt hvor også de fleste av figurene er risset. I tillegg sees en middels til grovkornet gneisbergart som utgjør den øverste delen av bergflaten, men som berører figurene i mindre grad. Figur 40 viser en skjematisk kartlegging av flaten i relasjon til helleristningsfigurene. Det fremgår at figurene 1, 8 og 9 er risset dels i gneis, mens den ytterste delen av mulen på figur nr. 5 såvidt berører gneisen.

På feltets sørøstlige del, like under helleristningsfigurene 13 og 14, er det en pegmatittgang på ca. 0,5 m bredde, bestående av meget grovkornet kvarts og feltspat. Denne har ikke noen direkte innflytelse på selve ristningsflaten. Tynne årer (< 1 cm) av middelskornet kvarts/feltspat går gjennom noen av figurene (dels figur 1, øvre del av figur 5, mellom figur 9 og 10, figur 11 (hodet) og ytre deler av figur 14). Disse står opp som svakt relieff mot omgivende amfibolitt, men har til nå ikke hatt noen åpenbar effekt på vitringen av figurene. Imidlertid vil disse årene etterhvert sannsynligvis være mer utsatt for vitring enn amfibolitten.

Bergartsprøver for mikroskopundersøkelser av gneisbergarten er tatt ovenfor trikketraséen og helt i utkanten av helleristningsfeltet (mot nord). Prøven av hovedbergarten amfibolitt var en løs bit og er tatt fra utkanten i sør.

En kort beskrivelse av de to hovedbergartene er gitt nedenfor:

1. Amfibolitt: Kornstørrelse 0.5-2 mm. Plagioklas feltspat (30-40%), få prosent kvarts.
Grønn amfibol (30-40%), brungrønn biotitt (10%). Titanitt i flere %. Aksessorier er granat og opaker.
2. Gneis: Kornstørrelse 1-4 mm. Plagioklas er dominerende feltspatmineral (40-50%).
Kvarts (10-20%), K-feltspat i mindre mengde. Grønn amfibol (10-20%), og brungrønn biotitt (glimmer) (10-15%). Titanitt.
Aksessorier er epidot, granat, zirkon og opaker (erts).
Klassifisering som tonalittisk (kvartsdiorittisk) gneis.

Amfibolitten er en av mange forekomster av mindre, metabasiske intrusjoner eller ganger i gneisene, som beskrevet i Graversen (1984).

6.7 Registrering av forvitring av bergoverflaten

6.7.1 Makroskopisk

Hverken grusvitring (løse korn) eller eksfoliasjon (avskalling) er åpenbar, men det er uvisst hva algeveksten kan skjule av den type forvitring. Amfibolitten, som er relativt finkornet, virker homogen og massiv. Overflaten er svakt ujevn, mens gneisoverflaten er tydelig ujevn. Mineralvitring ser ut å være viktigst. Det er lite å se av løse korn, men disse kan være vasket ut og blandet med organisk materiale ved foten av bergflaten. Gneisoverflaten er mer utsatt for mineralvitring enn

amfibolittoverflaten, som tydelig demonstrert ved at overflaten er mer ujevn. Det er lite åpenbar sprekkerelatert vitring.

6.7.2 Mikroskopisk

For å forstå nedbrytningsprosessene i bergoverflaten, gir mikroskopisk observasjon av vertikalsnitt ned i upåvirket fjell viktig informasjon. Den beste dokumentasjonen av hvilken type forvitring og hvor dypt omvandlingen går vil man best få, ved å ha en eller flere borkjerner fra det aktuelle området som utgangspunkt. Våre prøver, som dels er fra omkringliggende lokaliteter gir derfor ikke nødvendigvis det beste bilde av tilstanden i selve feltet, men de generelle trekk som her er beskrevet bør gi nyttig veiledning.

Det som karakteriserer forvitringen i overflaten, er kornenes oppsprekking. Både plagioklas og amfibol har utpregede spalteretninger og sprekker derved lett opp. Dette skyldes krystallstrukturen. Oppsprekkingen fører til at biter av kornene lett løsner.

I tillegg viser plagioklas omdannelse i form av «sausurittisering», dvs. at kornene inneholder små korn av sekundære mineraler dominert av epidot. Til å begynne med ser plagioklaskornene bare "spettet" ut, etter hvert vokser de sekundære mineralene og de opprinnelige kornene desintegreres. Opprinnelige korgrenser utviskes. Denne omdannelsen sees å øke mot overflaten av prøvene. Som for de fleste andre omdannelsesreaksjoner er vann en viktig parameter.

Amfibol omdannes til kloritt (en glimmerlignende type mineraler), og kloritt sees også i mikrosprekker i prøvene. Kalsitt er likeledes et omdannelsesprodukt. Denne type nedbrytning er også økende mot overflaten.

Biotitt blir også ofte omdannet til kloritt. I gneisen øker mengden biotitt mot overflaten, slik at noe biotitt også kan være et omdannelsesprodukt av amfibol. Dannelse av biotitt og kloritt krever vanntilførsel, samtidig som volumet av mineralene øker i forhold til amfibol. Det er også observert en spesiell type tekstur som antyder begynnende stadier av biotitt nedbrytning, særlig mot overflaten av prøvene.

I overflaten av prøvene observeres også et gulbrunt materiale som trenger inn i korgrenser, kornsprekker, og mikrosprekker. Dette tilskrives biologisk aktivitet som sees på overflaten av bergflaten, antatt å være alger, med mulig innblanding av jernhydroksider (jern finnes både i amfibol og biotitt).

Figur 41 viser mikrofotografier som illustrerer beleggets opptreden i amfibolitt. Inntrengningsdybden varierer fra <1 mm i finkornet amfibolitt til flere mm i mer grovkornet gneis.

6.7.3 *Diskusjon geologiske analyser*

Overflaten av amfibolitten, som er den bergarten som utgjør den største delen av helleristningsflaten, er generelt lite vitret. Dette skyldes i stor grad kornstørrelsen. Finkornete bergarter vitrer langsommere enn mer grovkornede, i det minste i de begynnende faser. Dette er tydelig demonstrert ved å sammenligne amfibolitten med den mer grovkornede gneisen, som har en mer ru overflate.

Selv om vitringen til nå har vært liten, tyder oppsprekningen av mineralene i overflaten, den type omdannelse som er observert, samt inntrenging av det gulbrune biologiske materialet (alger?) at vitringsprosessen vil akselerere, forutsatt at vann er tilgjengelig.

De dominerende mineralene er plagioklas, amfibol og biotitt. Disse regnes vanligvis som mindre motstandsdyktige mineraler, sammenlignet med for eksempel kvarts og K-feltspat. Omdannelsesproduktene krever tilførsel av vann og volumøkningen har en viss sprengende effekt. Disse faktorene vil også virke akselererende på vitringen. Samtidig er både biotitt og kloritt mineraler med lav hardhet, og er derfor mindre motstandsdyktig overfor mekanisk påvirkning.

Sammensetningen av det vannet helleristningsflaten blir utsatt for, vil være av stor betydning. Med tanke på tilskudd av saltholdig vann fra veien ovenfor, vil slikt vann ha en særlig uheldig effekt ved eventuell inntrenging i mikrosprekkene med påfølgende saltsprengning. Også frostsprengning vil kunne ha økt effekt når mikrosprekkene gjør det lettere for vann å trenge inn.

I større målestokk representerer også det dominerende sprekkesystemet en fare. Sprekkene kanalisere vann og sprengningseffekter kan gjøre at biter av bergflaten løsner, spesielt i den sørlige delen av feltet.

Det er videre viktig å klargjøre virkningen av begroingen på overflaten. I tillegg til å holde på fuktigheten kan det skapes et spesielt kjemisk miljø i kontakten med mineralene som igjen kan ha en forsterkende virkning på forvitringen.

Siden sement tidligere er blitt brukt for å tette de åpne sprekkene, er det nødvendig å klargjøre virkningen av sementen. Dette gjelder særlig ved helleristningsfigur nr. 9, se Figur nr 40, hvor en bit av sementen som går gjennom figuren er falt ut. Sement kan i seg selv bidra negativt ved å forandre det kjemiske miljøet i kontakten med bergflaten. Det ser også ut til at det blir spesielt fuktig i kanten mellom sement og bergart.

6.8 **Isotopforhold og konsentrasjon av strontium (Sr) og bly (Pb) i nedbør og lakning av jordprøver**

6.8.1 *Nedbørsprøver*

Regnvatten från provsamlare på taket (se Tabell 6) gav ett $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållandet på 0.71007 vilket indikerar att det huvudsakligen är regnvatten (att jämföras med värdet på havsvatten som är 0.70917 (Howarth & McArthur, 1997)). Det andra nederbörnsprovet från provsammlaren vid väg har ett högre $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -förhållande på

0.71169 som indikerar kraftigare kontaminering av regnvattnet med damm/mineralkorn/salter som adderats genom krongropp från de kringliggande träden.

Tabell 6: Resultater av isotopanalysene av strontium og bly (verdien på *sjøvann, er hentet fra Howarth & McArthur, 1997).

		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr ppb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Pb ppm
Regnvann	Vei	0.71169	4.312		
Regnvann	Tak	0.71007	0.563		
Lakning	Ovenfor ristning	0.71035	126	17.457	95
Lakning	Nær mur	0.71023	78	17.388	95
Lakning	Ovenfor Kongsv.	0.71400	30	17.629	245
Veisalt		0.70870			
Sjøvann*		0.70917			

6.8.2 Lakning av jordprøver

Ett 0-prov på cirka 1 kg jord (jorddjup cirka 30 cm) grävdes upp ungefär 100 meter ovanför vägen (cirka 25 meter vertikalt över den). Detta prov togs så pass långt ifrån vägen och då speciellt vertikalt över den att inverkan från den nedan liggande vägtrafiken skulle kunna ses som minimal. Strontium lakades från jorden med hjälp av Milli-Q renat vatten och bly med svag HNO_3 . $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållandet på 0.71400 i provet är en indikation på förhållandet i det löst bundna strontium i jorden (utbytbara katjonförrådet) liksom strontium koncentrationen på ungefär 30 ppb. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ förhållandet är 17.629 och blykoncentrationen cirka 245 ppm.

Ett annat jordprov på cirka 1 kg jord (jorddjup cirka 15 cm) grävdes upp ungefär 0.5 meter ovanför hållristningen. Strontium koncentrationen på cirka 126 ppb visar på en 4 gånger ökning av Sr i förhållande till det föregående 0-provet ovanför och bortom vägen som höll 30 ppb. Provets lägre $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållande på 0.71035 är inte kopplat till regnvatten eftersom regnvattnets Sr koncentration är mindre än 0.1 ppb. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ förhållandet är 17.457 och således lägre än förhållandet ovanför vägen. Bly koncentrationen på cirka 95 ppm är också lägre än för det föregående provet.

Cirka 1 kg jord (jorddjup cirka 30 cm) grävdes upp ungefär 5 meter ovanför hållristningen och cirka 1 meter från muren. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållandet är 0.71023 och liknande som för det föregående provet. Koncentrationen för Sr på cirka 78 ppb ligger mellan det för provet ovanför hållristningen och det så kallade 0-provet långt ovanför ristningen och vägen. Provet har det lägsta $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ förhållandet på 17.388, men samma Pb koncentration som det föregående provet ovanför ristningen.

6.8.3 Diskussion av strontium- og blyanalyser

Närvaron av atmosfärstransporterade salter, i kustnära områden, har en korrosiv effekt på olika material. Oslo är belägen vid havet men innerst i en fjord där påverkan av sjösalt kan förmodas vara av mindre betydelse, men där användningen av vägsalt vintertid tillför en betydlig mängd salt till Oslos miljö. Vintertid plogas eller rinner salt ned från vägen och akumuleras i jordsmånen mellan vägen och ristningen. Marken verkar sedan som en reservoar för saltet som under inverkan från senare nederbörd löses upp och rinner ned över ristningen. Strontium analyser av lakningar av jorden visar på förhöjda koncentrationer i jorden vid ristningen och en strontium isotopsignatur som förbinder den höga koncentrationen med användningen av vägsalt. Dessutom tyder Sr analyserna på att rent salt kastas ut över vägkanten mot ristningen vilket gör att området närmast muren ligger i en skuggzon för saltnedfall.

En jämförelse mellan analyserna för de 2 nederbördsproverna visar att provet från provstationens tak har ett strontium förhållande som är nära det för havsvatten. Det är en liten dragning mot högre värden förmodligen beroende på tillskott av mineral- och dammpartiklar som tvättats ned från grenverket på de omgivande träden vilka kan ses som stora dammsamlare. Denna effekt ses ännu mer hos det andra nederbördsprovet, ovanför ristningen, och som insamlats under några stora träd. Detta prov skulle mer kunna klassificeras som ett "throughfall" eller krondropsprov. Kontaminationseffekten kan också ses på koncentrationnivåerna, 0.563 ppb Sr i provet från mätstationens tak och 4.312 ppb Sr i krondropsprovet. Analys av laklösningen från jordprovet ovanför vägen gav ett $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållande på 0.71400, vilket är ett minimum värde för mineral jorden. Tidigare analyser av en äldre tall i Oslos närhet gav ett $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ värde på över 0.720 (Åberg 1995) vilket indikerar att jorden i sig själv har ett högre värde. Det är därför troligt att tillskott av mineralpartiklar/damm från marken är orsak till de höjda $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållandena och strontium koncentrationerna hos nederbördsproverna.

Jordprovet långt ovanför vägen provtogs med tanke på att få ett bakgrundsvärde med så liten påverkan som möjligt från trafiken och olika typer av vägunderhåll. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållandet på 0.71400 är också betydligt högre än motsvarande värden för de två andra lakade jordproven nedanför vägen vilka också ger liknande värden sinsemellan (Tabell 6). Dessutom är koncentrationen för det vattenlakade strontium upp till fyra gånger lägre för provet ovanför vägen (30 ppb Sr) i jämförelse med 78 ppb och 126 ppb, respektive, för proverna nedanför vägen men ovanför ristningen. De två senare proverna är uppenbarligen påverkade av vägsaltningen med ett $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ värde på cirka 0.70870 och en högre Sr koncentration. Påverkan från vägsaltningen kan också ses i de kontinuerliga analyserna av NaCl i torrdeposition från Ekeberg där koncentrationen minskar starkt från vinter till sommar.

Blyresultaten från syralakningarna av jordproverna visar samma trend för $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ förhållandena som för $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ förhållandena, med de högsta värdena ovanför vägen. Men analyserna av bly koncentrationerna gav motsatta värden mot vad som var väntat. Provet ovanför vägen har ett värde på cirka 245 ppm Pb i jämförelse med de två proverna nedanför vägen vilka har samma värde av cirka

95 ppm Pb. Foruttom tilførsel av bly från den allmänna föroreningen i området, antogs det att jordproverna nedanför vägen också skulle vara påverkade av blybensin från trafiken ovanför och således ge högre blykoncentrationer än provet taget långt ovanför vägen. Den mycket lägre blykoncentrationen i jordproverna vid hållristningen beror förmodligen på det mycket tunnare jordlaget och en kraftigare uttvättning av olika element medan förhållandena ovanför vägen karakteriseras av djupare jordsmån och tjockare humuslager där bly är starkare bundet (Rühling, 1994). Den vanliga bakgrundskoncentrationen för bly i sydvästra Skandinavien varierar mellan 20 till 30 µg/g (Rühling, 1994) och är således mycket lägre än i de analyserade proven. Speciellt i jämförelse med provet ovanför vägen med en koncentration av 245 ppm bly. Den höga koncentrationen av bly kan här användas som en indikator på en hög föroreningsnivå som kan bero dels på stadens topografiska förhållanden och dels på andra utsläppskällor som t.ex. eldning med ved och olja, och tidigare också kol, för uppvärmning.

Lakningen av jord nedanför vägen vid hållristningen har lägre $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ förhållanden som pekar mot ett tillskott från trafiken av bly från blybensin. Detta till skillnad mot provet som togs långt ovanför vägen som har ett starkare inslag från tidigare deposition av bly från lokal kol och vedeldning, och från långtransporterade föroreningar från Central Europa och England. Den höga koncentrationen av bly i marken, i jämförelse med det mer generella värdet för området, antyder att den totala depositionen av bly, som är en del av den totala mängden föroreningar, är eller har varit avsevärd i Oslo. Detta antyder också, då bly endast är en del av föroreningarna, att den totala föroreningsmängden i Oslo-området har varit mycket hög, speciellt med tanke på tidigare års import av föroreningar från det forna Östeuropa och England. Effekten av föroreningarna i Oslo är förmodligen också förstärkt genom de speciella atmosfäriska förhållanden som råder på grund av stadens topografiska belägenhet.

Användningen av naturligt förekommande isotopsystem, som de för bly och strontium, är mycket användbara för att karakterisera olika föroreningskällor. När sedan källorna och deras tillskott till den totala föroreningssituationen är kända kan man vidtaga de rätta åtgärderna för att reducera utsläppen. Hållristningarna på Ekeberg har ett meget utsatt läge då de förutom naturlig vittring är utsatta för vägsalt, utsläpp från intilliggande trafik, lokala och atmosfäriskt långtransporterade föroreningar, och negativa meteorologiska effekter som inversion under vinterhalvåret.

6.9 Registrering av biologisk vekst

6.9.1 Undersøkelse og utprøving av aktuelle metoder på Ekebergfeltet

Den generelle registreringen av tilstanden på bergflaten ved Ekeberg med hensyn til begroing, som er vist i figurene 8 og 9 fungerte godt. Arbeidet ble vesentlig underlettet av den ferdige tegningen av helleristningene, som er hentet fra E. Mikkelsen, 1977. Denne tegningen var enkel å skanne inn i datamaskinen, slik at registreringsnotatene lett kunne overføres inn på tegningen.

For å prøve metodikken, er prøver tatt ut med de ulike metodene som er vist i Tabell 3. Erfaringene fra disse metodene var rimelig gode, særlig avtrekks- og

avskrapingsprøver samt innsamling av plantedeler. Prøvetaking fra steinflaten stiller imidlertid krav til å kunne ta ut representative prøver uten å skade bergflaten.

Prøvetaking ved å hugge ut steinprøver er ikke gjennomført i praksis på Ekeberg, da dette ikke er akseptabelt på den konkrete bergflaten. Unntak er en liten bit av en løs sementfylling, som var mulig å analysere på undersiden. På grunn av at det ikke er hugget ut prøver fra bergflaten, er det ikke mulig å vurdere den konkrete etableringen og eventuell skadevirkning på/innover steinen. Generelt sett er det imidlertid kjent at det kan forekomme relativt rikelig med mikroorganismer i sprekker og porer innover i steinmaterialer. Vanligst å finne er bakterier, alger og svertesopp, men også enkelte lavararter kan vokse slike steder. Mengden og typene er i stor grad avhengig av steintypen og fuktbelastningen. Testanalyse av andre steinprøver viser at prøvetakingen selvsagt er destruktiv, men også at det kreves en teknikk å hugge ut prøver som blir representative og som er brukbare for videre analyse.

Bruk av kontaktskåler viste et generelt bilde på forekomst av ulike bakterier, gjærsopp og muggsopp. En slik test bør settes i sammenheng med andre prøver, f.eks. analyse av vann i tilsig (om det finnes stoffer som fremmer/hemmer vekst) eller sammen med prøvetaking innover i steinoverflaten.

Utvasking viste lite resultat. Dette skyldes hovedsakelig langvarig tørke i perioden før/under feltarbeidet, slik at få løse spredningsenheter var tilgjengelige på den skrånende bergflaten. Mønstrer på spredningen av mose på Ekeberg og et tilsvarende generelt spredningsmønster i mange andre tilfeller, viser imidlertid at lokalspredning er en klar kilde til innsmitting. Denne innsmittingsskilden er ekstra viktig i forbindelse med vannsig. Etablering av nye organismer på bergflater underlettes hvis bergflaten er fuktig i lange perioder, hvis overflaten er ru eller har rikelig med ulike makro-/mikrosprekker.

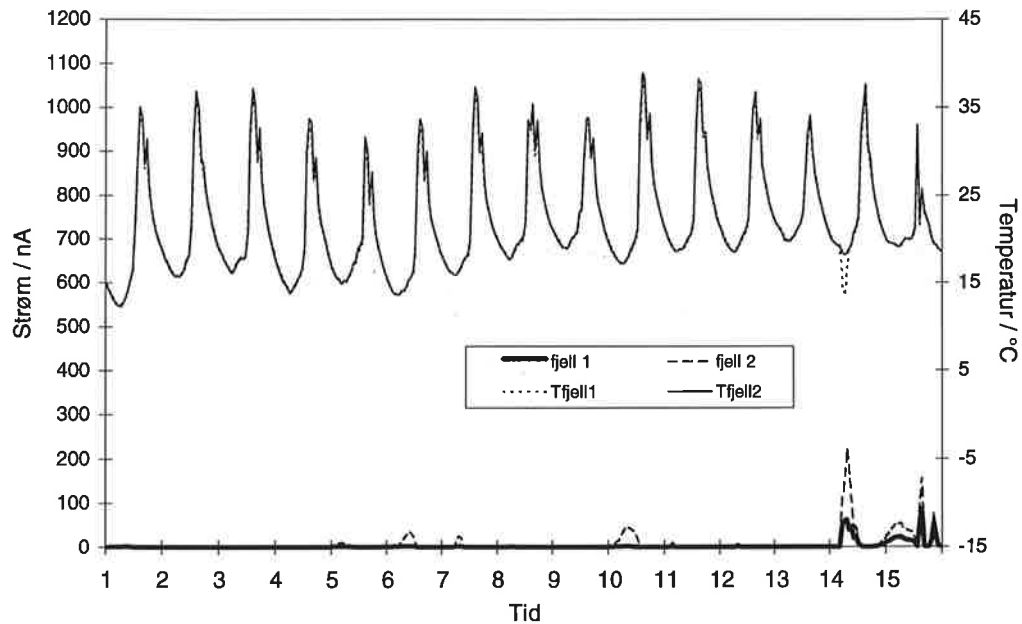
Basert på erfaringene fra feltarbeidet og de etterfølgende laboratorieanalysene er det laget en skjematisk oversikt i Figur 3, over fremgangsmåten for tilstandsanalyse av biologiske organismer, se kap. 3.3.

6.9.2 Diskusjon av resultater

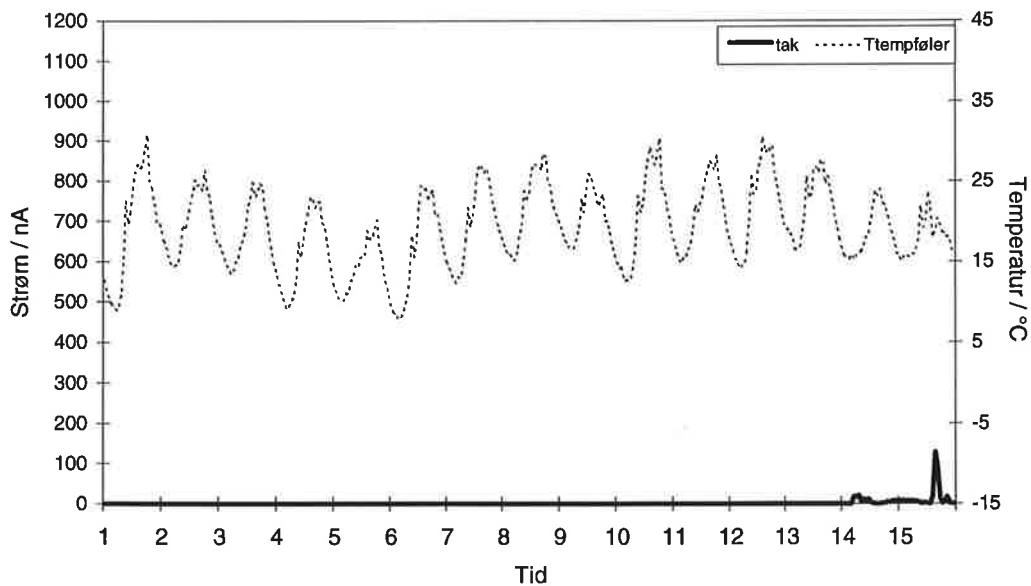
Tolkning av informasjonen om temperatur og fuktighet for den biologiske aktiviteten er noe enklere. Det er så langt enkelte karakteristiske forhold som kan nevnes:

- Det er klare og relativt store døgnvariasjoner i temperatur og fuktighet på den aktuelle bergflaten. Dette gir meget varierende mulighet for biologisk aktivitet.
- Målingene fra vinter/vår 1997 tyder på generelt tørre forhold på bergflaten, i hvert fall når man ser på døgnvariasjoner - slik som plottet for perioden 15.-28. februar 1997 (se Figur 35). Hvorvidt det forekommer fuktige forhold (kondensering) i kortere tidsrom av dagen er det ikke mulig å lese ut av plottet.
- Solinnstråling gir vesentlig høyere temperatur enn lufttemperaturen, slik som vist i plott for perioden 1.-15. juni 1997. Temperaturer opp til 37-38°C er målt

(se Figur 42 og Figur 43), mens lufttemperaturen i den samme perioden trolig var 10-15°C lavere.

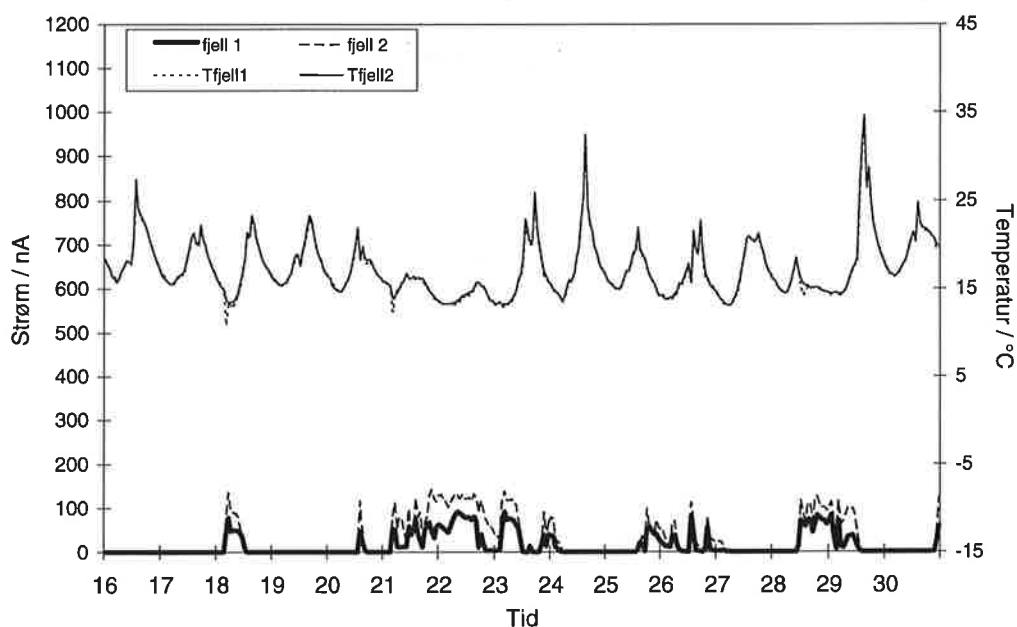


Figur 42: Temperatur- og strømvariasjoner for WETCORR-sensoren på fjellet over døgnet. 1.-15. juni 1997.



Figur 43: Temperatur- og strømvariasjoner for WETCORR-sensoren på tak over døgnet. 1.-15. juni 1997.

- Oppløseligheten gir ikke mulighet for å se om det er kortere perioder med enda høyere temperaturer. Det er derfor foreløpig ikke mulig å uttale seg om direkte solinnstråling gir så høye temperaturer at dette kan være en hemmende/skadelig faktor for biologiske organismer (fra 40-45°C og oppover).
- Det er kun korte perioder med fuktighet, trolig med en klar sammenheng med direkte nedbør. Dette vises godt i plotten for perioden 16.-30. juni 1997 (se Figur 44). Oppløseligheten av plotten er imidlertid ikke god nok til å se om det er en forsinket opptørking som kan skyldes vannsig fra overliggende terreng eller drypp fra trær. Dette regner vi med kan klarlegges ved videre analyse av måleresultater.



Figur 44: Temperatur- og strømvariasjoner for WETCORR-sensoren på fjellet over døgnet, 16.-30. juni 1997.

Vegetasjon/begroing

Vegetasjonen rundt og på bergflaten fører til ulike problemstillinger:

- Høye trær dekker indirekte (Figur 10 og Figur 11) og direkte (Figur 14) for bergflaten. Dette fører til forsinket uttørking etter nedbør på grunn av drypp fra trær og at trærne skygger for solen. I tillegg faller det ned næringsrike stoffer (både fast og flytende form) fra trær. Dette kan føre til økt biologisk aktivitet på den underliggende bergflaten. Et interessant aspekt er å sammenligne Figur 10 og Figur 11, hvor årstidsvariasjonen av vegetasjonen fører til store endringer i omgivelsene.
- Andre planter vokser i nær tilknytning eller direkte på bergflaten (Figur 12, Figur 13, Figurene 15-21). Dette kan føre til mer direkte skade av bergflaten og de reparasjoner som er utført i form av støping av sprekkene. Dessuten ødelegger vegetasjonen den estetiske siden av helleristingene og de blir vanskeligere å observere.

7. Konklusjoner

I prosjektet har det vært lagt vekt på å kartlegge miljøbelastningen på bergkunstfeltet på Ekeberg, samt å gi en generell dokumentasjon av metoder for vurdering av ulike kjemiske, fysiske og biologiske nedbrytningsfaktorer som påvirker bergkunsten. For å få et så helhetlig bilde som mulig har det vært lagt vekt på et tverrfaglig samarbeid mellom NILU (miljømålinger), IFE (geologisk dokumentasjon) og Mycoteam as (biologisk dokumentasjon).

Miljømålingene har vist at helleristningen blir utsatt for både naturlige og antropogene kilder og at belastningen på feltet varierer i løpet av årstidene.

Bergkunstfeltet på Ekeberg består av to bergartstyper, hoveddelen består av finkornet amfibolitt, med mindre partier av en mer grovkornet gneis. Studier av bergoverflaten viste en oppsprekking av mineralene i de øverste millimeterne, hvor omdannelsen av mineralene skjer.

Det gjennomgående sprekkssystemet på helleristningsfeltet representerer sannsynligvis den største umiddelbare risiko for ristningene, idet tilgjengeligheten for vann gir økt mulighet for frostsprengning og eventuelt saltsprengning. Dette gjelder spesielt den sørlige delen av feltet, hvor deler av flaten står i fare for å løsne. Det har i løpet av måleperioden vært en mild vinter med få døgn med frost, men det kan tenkes at saltet kan påvirke frysepunktet og endre antall frysepunktsperioder.

Resultater fra målinger av forurensende gasser viste at bergkunstfeltet blir utsatt for nitrogenoksider fra biltrafikk gjennom hele året. Bergkunstfeltet blir også i enkelte perioder vinterstid utsatt for relativt høye verdier av svoveldioksid som skyldes forurensning fra fyring med olje. Foruten innflytelse fra lokale kilder bekrefter analyser også innflytelse fra langtransportert luftforurensning. Dessuten gir Oslos topografiske beliggenhet økte muligheter for perioder med dårlig luftutskiftning (inversjon) i vinterhalvåret, hvilket øker konsentrasjonen av forurensninger.

Målinger av pH i nedbøren har vist at feltet i enkelte perioder kan bli utsatt for sur nedbør. I en periode på høsten 1997 ble det målt verdier ned til pH 4.58. I tillegg blir helleristningsfeltet utsatt for overrisling av vann med et unaturlig stort saltinnhold. Dette skyldes veisalt fra Kongsveien som vinterstid samles opp av de nærliggende trærne og i jordsmonnet rett ovenfor ristningen. Isotopanalyser viser at saltet akkumuleres i jorden mellom ristningen og muren. Ved hvert regnskyll løses noe salt ut, og dette gir en kontinuerlig salttilførsel til bergflaten over lengre tid. Veisalt blir dessuten slynget ut fra veien mot ristningen vinterstid. Høyt saltinnhold kan være særlig uheldig på grunn av muligheten for saltsprengning.

Virkingen av den biologiske begroingen på overflaten tyder på at den bidrar til at mineral Kornene desintegreres. Vegetasjonen rundt og på bergoverflaten fører også til forsinket uttørking etter nedbør på grunn av drypp fra trærne som også skygger for solen. Nedfall av næringsrike stoffer fra trær fører til økt biologisk aktivitet på den underliggende bergoverflaten. Planter som vokser i nær tilknytning til eller direkte på bergoverflaten kan føre til mer direkte skade av bergoverflaten. Et

interessant aspekt har vært å registrere variasjon i vegetasjon i løpet av de ulike årstidene.

En viktig del av målsettingen i dette prosjektet har vært å utprøve ulike analysemetoder for å kartlegge miljøbelastningen på et bergkunstfelt. Generelt kan man si at de metoder som ble benyttet av partene viste seg å fungere bra for å kartlegge miljøbelastningen. Metodene vil derfor kunne benyttes ved miljøovervåking av andre bergkunstfelt rundt om i landet. Hvis man i tillegg ønsker å få mer inngående opplysninger om selve nedbrytningsprosessene på bergoverflaten, så er det nødvendig med et prosjekt som går over flere år og som tar i bruk mer spesialiserte analysemetoder for å måle nedbrytningshastigheten.

8. Anbefalinger for skjøtsel

Bergkunstfeltet på Ekeberg utsettes for følgende eksponeringer ut over normal eksponering fra vær og årstidsvariasjoner:

1. forurensning fra veitrafikk og nærmiljø
2. påvirkning fra lokal og langtransporterte forurensninger
3. påvirkning fra veisalt fra Kongsveien vinterstid
4. biologisk påvirkning fra vegetasjon på og omkring bergkunstfeltet
5. mekanisk slitasje fra besøkende

Forslag til skjøtselstiltak som kan forbedre de nåværende forhold på bergkunstfeltet på Ekeberg:

- Det bør skjermes for sprut fra veien, spesielt for salt vinterstid. Dette kan gjøres ved å sette opp et tett gjerde, i passende høyde og lengde, oppe på Kongsveien.
- Helleristningsflaten bør skjermes for all overrenning av vann som kommer fra nedbør og kronedrypp og som passerer gjennom den saltholdige jorden ovenfor ristningsflaten. Dette kan løses ved at det lages en liten mur eller lignende i overkant av ristningsfeltet som avleder overrenningsvannet. Hvis man dessuten forsøksvis legger inn et kobber- eller sinkbeslag i forkant av denne muren, vil man få en svak utlekking av metallioner ved nedbør. Dette vannet vil renne over bergkunstflaten, og på den måten trolig gi en beskyttelse mot en stor del av begroingen. Det er viktig å være klar over at sink og kobber kan danne salter som kan trenge ned i bergflaten og danne oppsprekninger. I tillegg kan misfarging av bergflaten forekomme.
- Det er viktig kontinuerlig å fjerne mose og høyere planter som vokser direkte på bergoverflaten. Dette kan trolig gjøres ved en forsiktig mekanisk rengjøring. Det er fordelaktig også å fjerne de enkelte koloniene av skorpelav som vokser i direkte tilknytning til helleristningene. Dette må utføres av en konservator. Siden lavveksten er langsom, kan man godt vente med dette i 1-2 år, særlig hvis det bygges opp en mur med metallbeslag. Da kan det være mulig å se om veksten stanser, eventuelt blir borte av seg selv.

- Et av de mest dominerende trærne, en alm til høyre opp mot veimuren, er angrepet av almesyken og vil i løpet av relativt få år være helt dødt. Dette bør derfor fjernes snarest. Andre høye trær og busker rundt bergflaten kan beskjæres noe.
- Virkningen av sementen, som på et tidligere tidspunkt er lagt inn i en del sprekker i bergoverflaten, bør vurderes fordi sementen kan bidra negativt ved å forandre det kjemiske miljøet i kontakt med bergoverflaten, sammen med tilførsel av vann.
- I den sørlige delen av bergkunstfeltet er det registrert enkelte dypere sprekker (opp til 5 cm er målt), og enkelte figurer kan være truet. Det bør i et samarbeid mellom geolog og konservator vurderes om dette området skal forsterkes med et konserveringsmiddel.
- Flaten bør skjermes for overtråkking av mennesker. Dette kan eventuelt 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.

I tilknytning til de nevnte anbefalinger til tiltak så foreslår prosjektgruppen at disse settes i verk umiddelbart og at man etter at disse er gjennomført, følger opp bergkunstfeltet på Ekeberg med en ny periode med miljømålinger for å vurdere effekten av tiltakene. En slik oppfølging vil være i tråd med Riksantikvarens forslag til utkast til Prosjektplan for 1998 for prosjektet "Sikring av bergkunst", hvor det i pkt 3.1 i tilknytning til beskrivelse av fremtidige årsplaner nevnes at årsaksammenhengen bør studeres ved 5 felt i årene fremover. Etter at de anbefalte tiltak er gjennomført vil bergkunstfeltet på Ekeberg egne seg godt til en slik studie.

9. 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).
- Bøhlerengen, T. og Mattsson, J. (1996) Tilstandsanalyse av utvendig treverk. Oslo, NBI, Anvisning 35.
- Cappelen (1995) Oslo kartboka 1996. Kartblad 5 og 55. Oslo (Cappelens kart, 70).
- Elfving, P. and Lindqvist, O. (1992) SO₂ deposition on micas and feldspars in a humid atmosphere containing SO₂, SO₂/NO₂ and SO₂/O₃. Göteborg, Institutionen för Oorganisk Kemi, Chalmers Tekniska Högskola.
- Elvedal, U. (1997) Calibration of WETCORR sensors and interpretation of field measurements. Kjeller (NILU TR 12/97). (Under arbeid).

- Ferm, M. (1991) A sensitive diffusional sampler. Göteborg, Swedish. Environmental Research Institute (IVL-rapport L91-172).
- Gram, F. (1994) Utslipp av NO_x og NMVOC i Oslo i 1991. Nitrogenoksider og oksidanter i byområder; dannelse og effekt. 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).
- Graustein, W.C. and Armstrong, R.L. (1983) The use of strontium-87/strontium-86 ratios to measure atmospheric transport into forested watersheds. *Science*, 219, 289-292.
- 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.
- Klockernes, T. (1997) Direkte kommunikasjon.
- Krog, H., Østhagen, H. og Tønsberg, T. (1980) Lavflora. Norske busk- og bladlav. Oslo, Universitetsforlaget.
- 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. (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.
- Mandt, G. (1992) Introduction. In: *Conservation, Preservation and Presentation of Rock Art*. Universitetet i Bergen, Historisk Museum (Arkeologiske Skrifter, No. 6) pp. 11-14.
- Mikkelsen, E. (1977) Østnorske veideristninger - Kronologi og økokulturelt miljø. *Viking*, 40, 147-201.

- Mikkelsen, E. (1998) Direkte kommunikasjon.
- Miller, E.K., Blum, J.D. and Friedland, A.J. (1993) Determination of soil exchangeable-cation loss and weathering rates using Sr isotopes. *Nature*, 362, 438-441.
- Moberg, R. og Holmåsén, I. (1982) Lavar. En fälthandbok. Stockholm, Interpublishing.
- Rühling, Å. (1994) Atmospheric heavy metal deposition in Europe - estimations based on moss analysis. Copenhagen, Nordic Council of Ministers (Nord 1994:9).
- Thorseth, I.H., Torsvik, T. og Bjelland, T. (1997) Forvitring: prosesser og resultat. Universitetet i Bergen (Bergkunstrapper, 1) s. 27-54.
- Tørseth, K. og Manø, S. (1997) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1996. Kjeller (Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 703/97) (NILU OR 33/97).
- 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.
- Åberg, G. (1995) The use of natural strontium isotopes as tracers in environmental studies. *Water, Air and Soil Poll.*, 79, 309-322.

Vedlegg A

WETCORR-instrumentet

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.

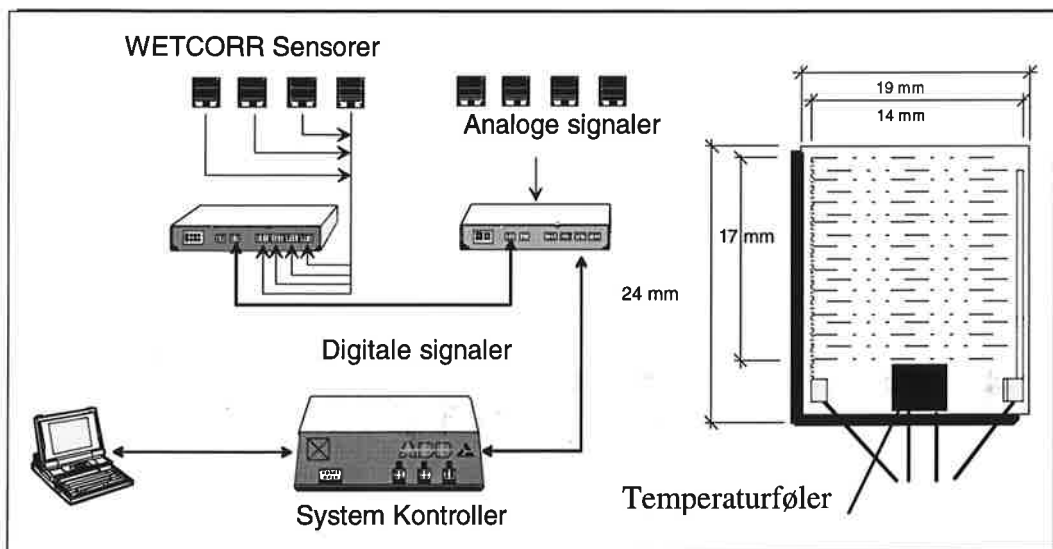
Måleprinsippet bruker den elektrokjemiske reaksjonsprosessen på en elektrokjemisk celle til å måle strømmen som en funksjon av tykkelsen av fuktighetsfilmen som dekker elektrodeoverflaten.

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 μm
- temperatursensoren Pt1000 klasse B (DIN 43760/IEC 751)

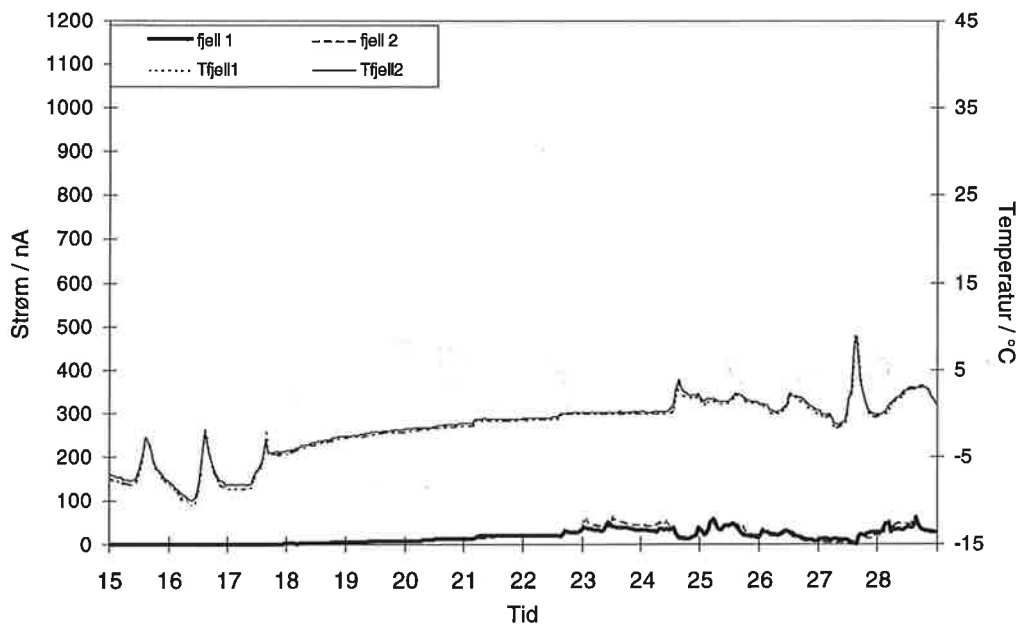


Figur A.1: Prinsippet for WETCORR-instrumentet.

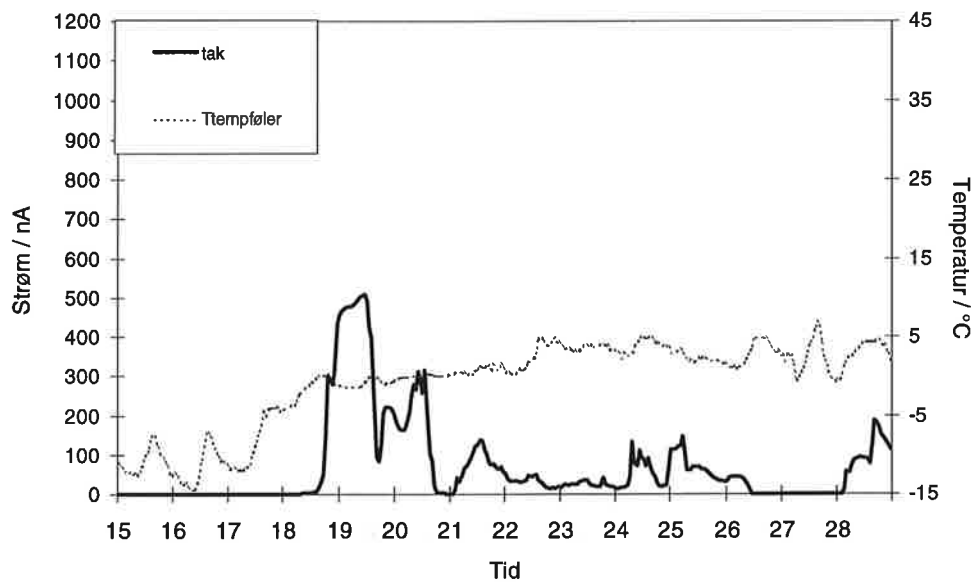
Et komplett WETCORR-system kan bli satt opp med 64 målepunkter.

Vedlegg B

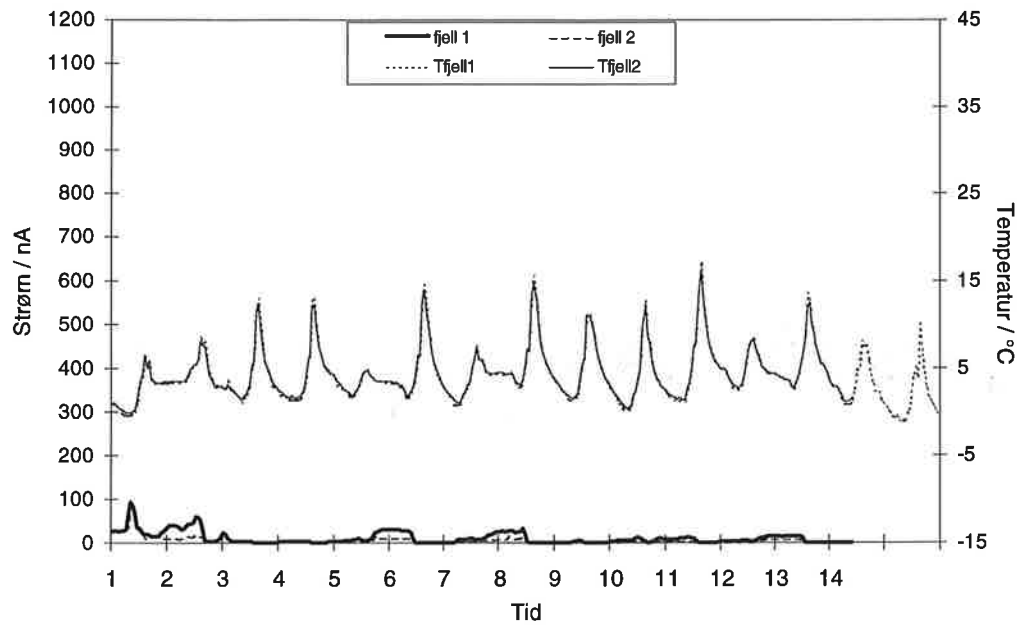
**Strøm- og temperaturplott fra måling med
WETCORR-instrumentet og værobservasjoner for
perioden februar 1997–desember 1997**



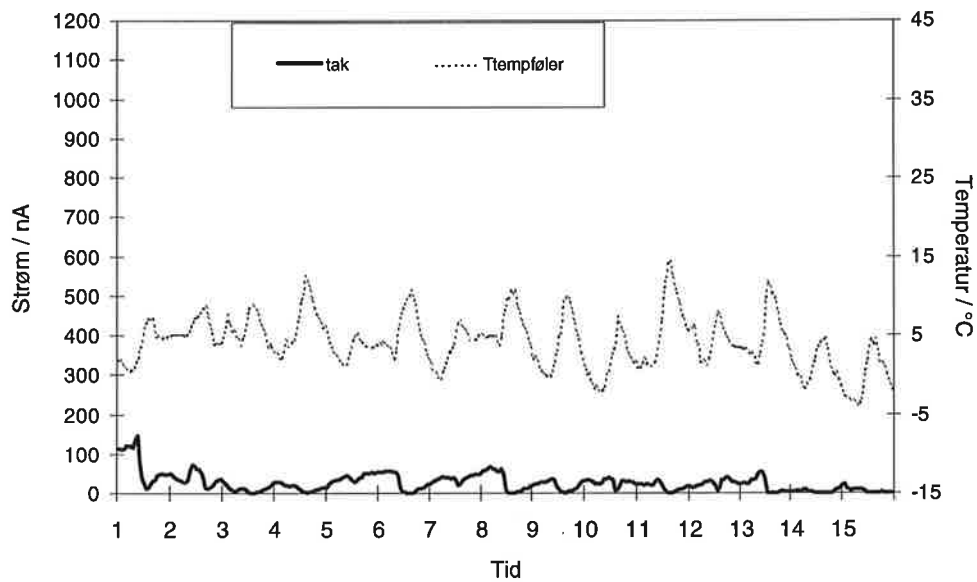
Figur B.1: Strøm og temperatur for 15.–28. februar 1997, sensorer på fjell.



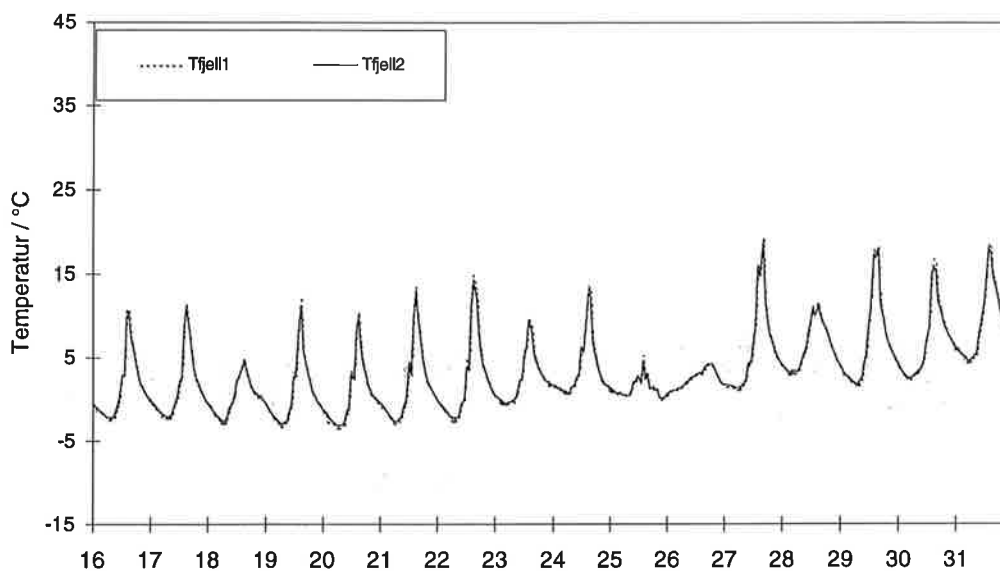
Figur B.2: Strøm og temperatur for 15.–28. februar 1997, sensorer på tak.



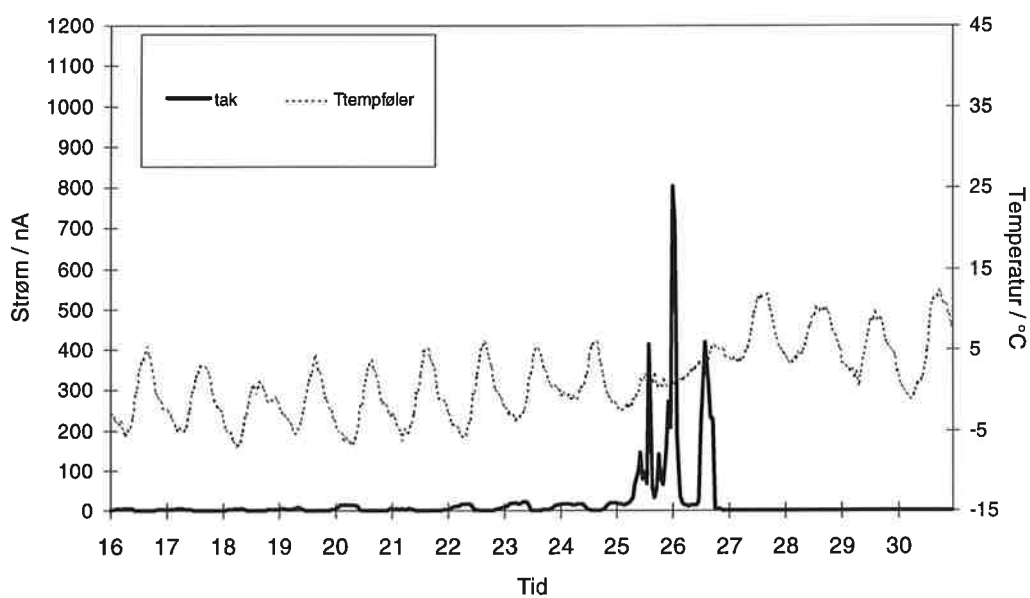
Figur B.3: Strøm og temperatur for 1.–15. mars 1997, sensorer på fjell.



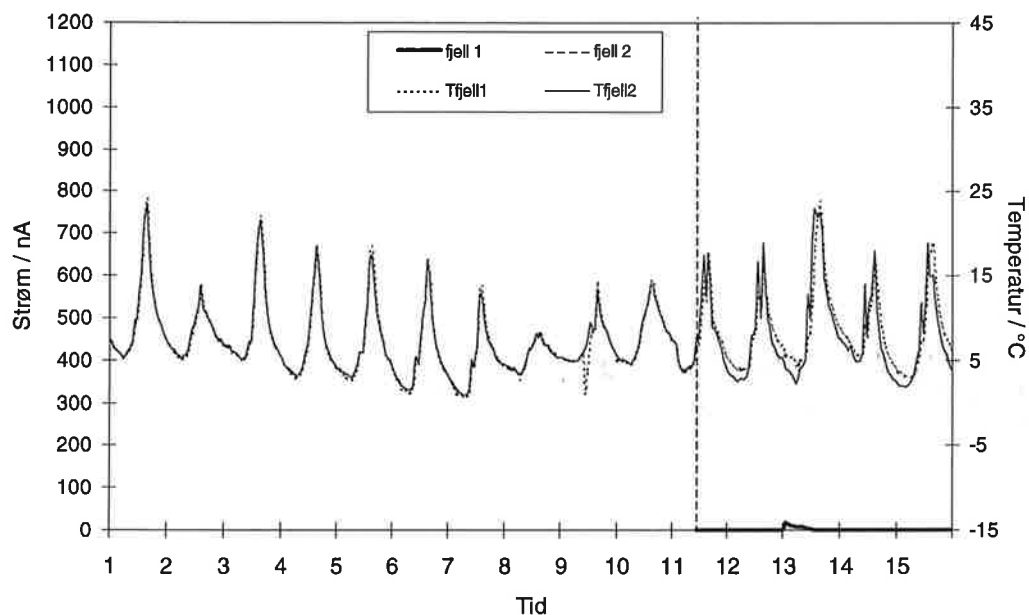
Figur B.4: Strøm og temperatur for 1.–15. mars 1997, sensorer på tak.



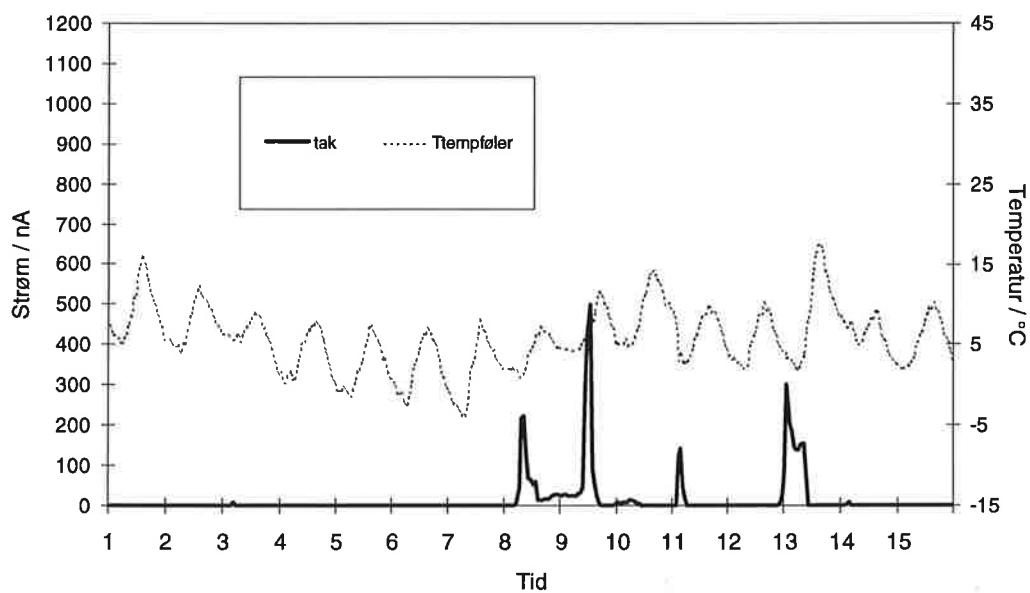
Figur B.5: Temperatur for 16.–31. mars 1997, sensorer på fjell.



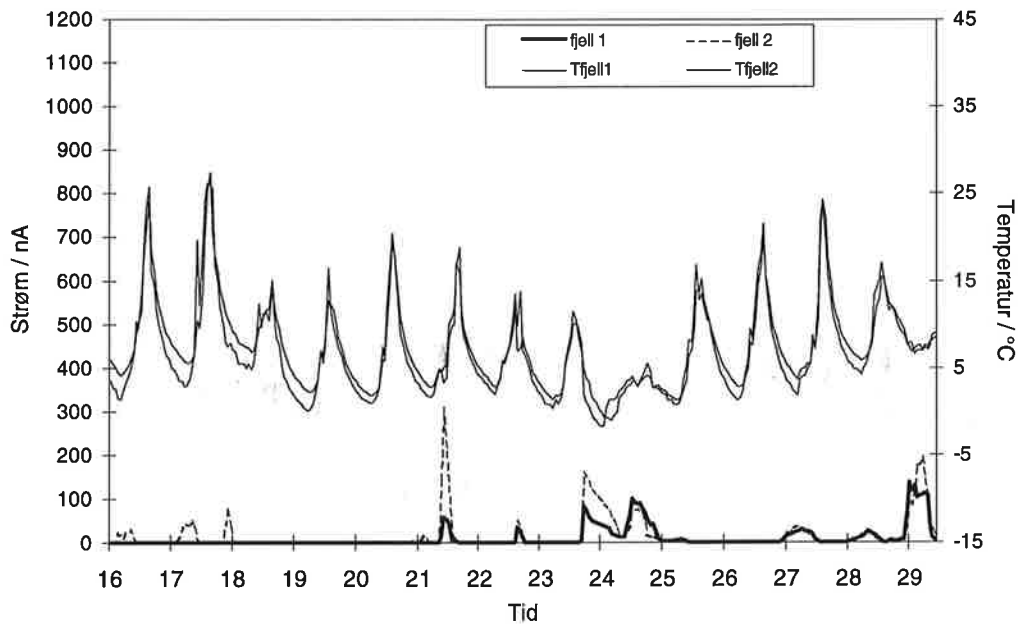
Figur B.6: Strøm og temperatur for 16.–30. mars 1997, sensorer på tak.



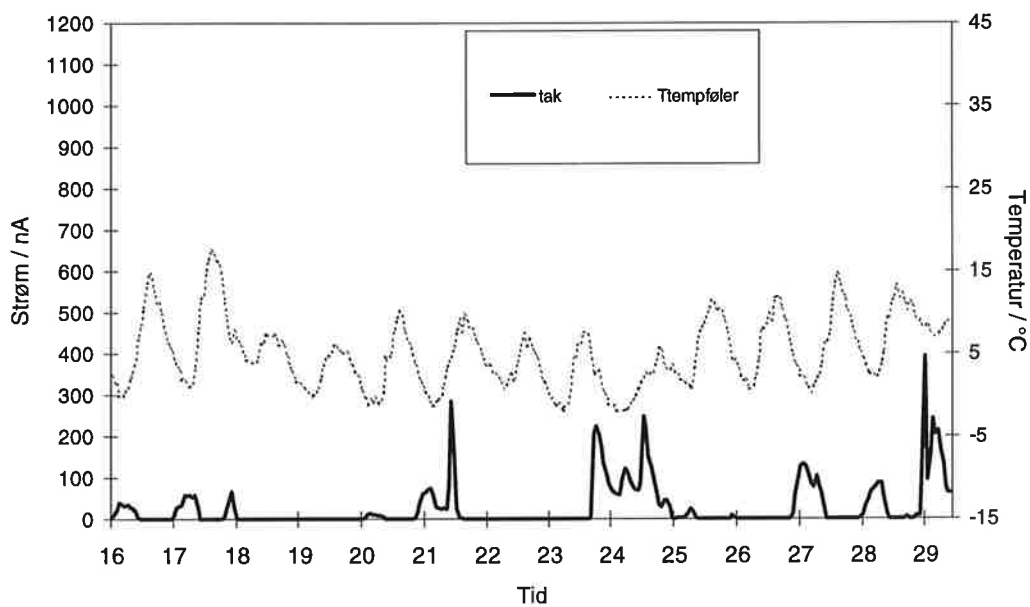
Figur B.7: Strøm og temperatur for 1.–15. april 1997, sensorer på fjell.



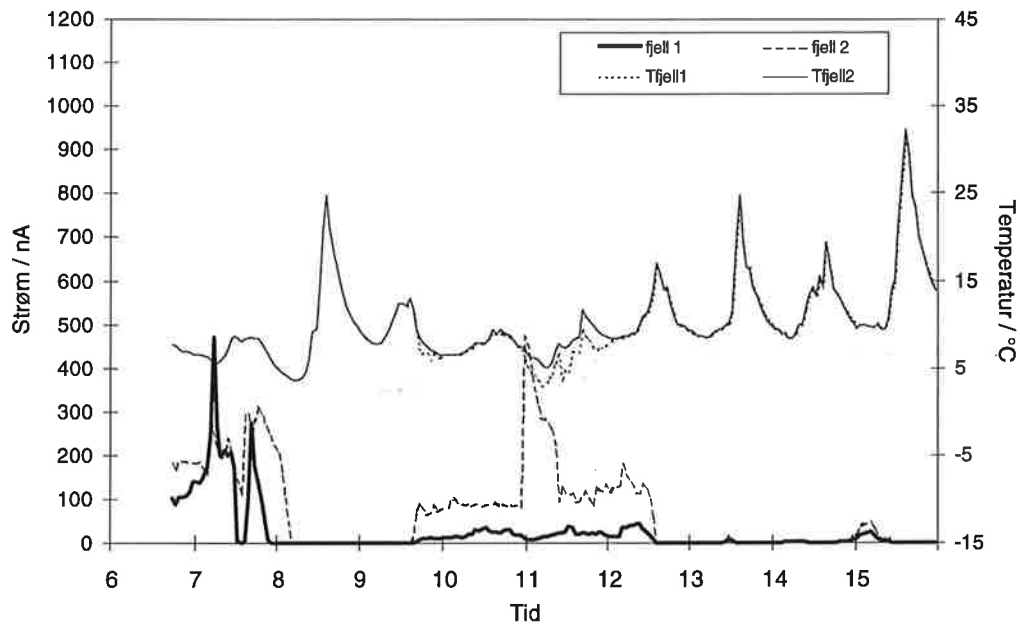
Figur B.8: Strøm og temperatur for 1.–15. april 1997, sensorer på tak.



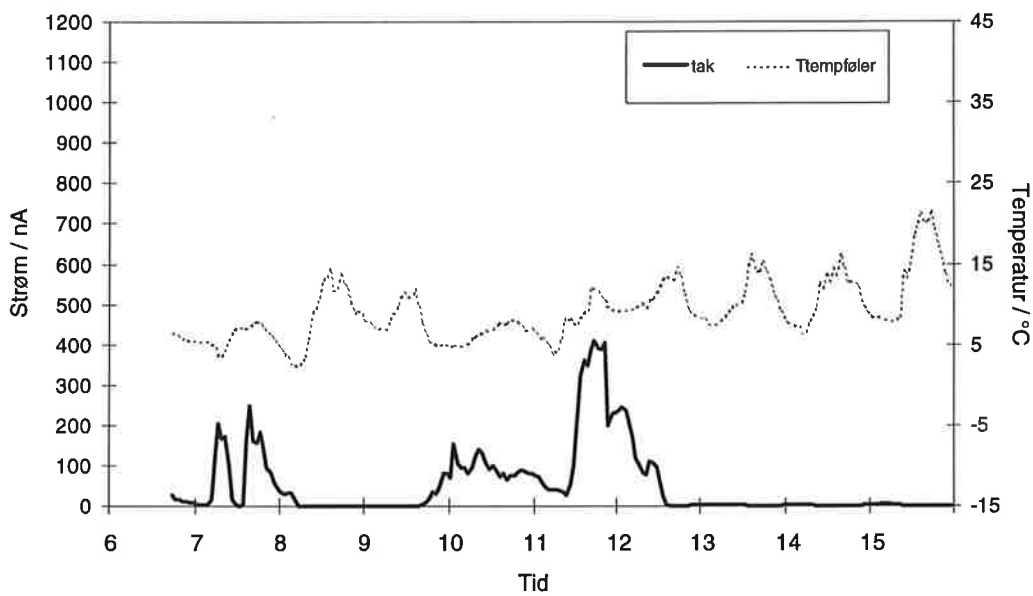
Figur B.9: Strøm og temperatur for 16.–29. april 1997, sensorer på fjell.



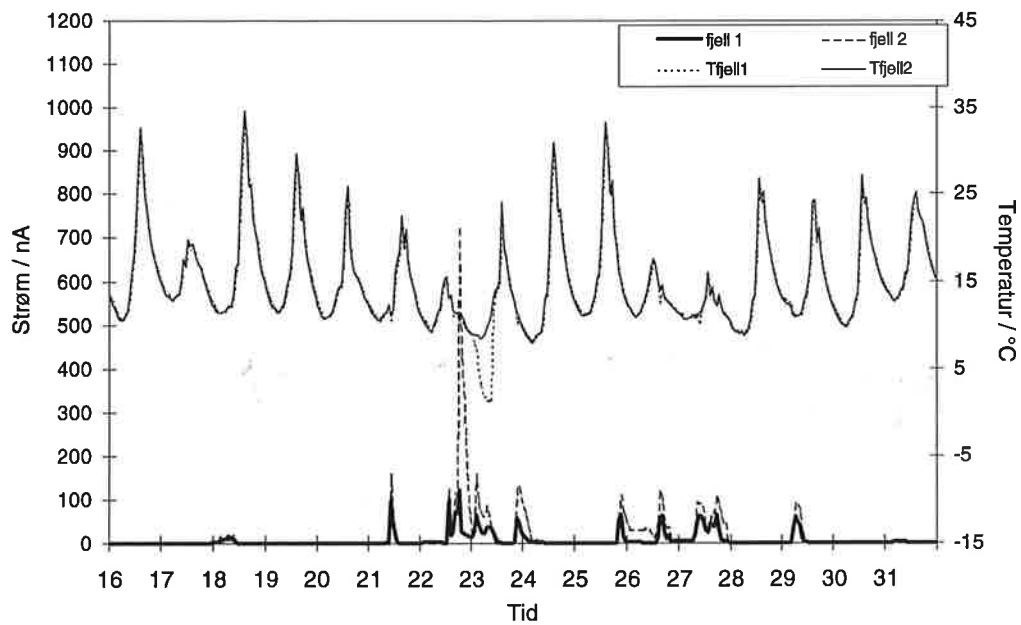
Figur B.10: Strøm og temperatur for 16.–29. april 1997, sensorer på tak.



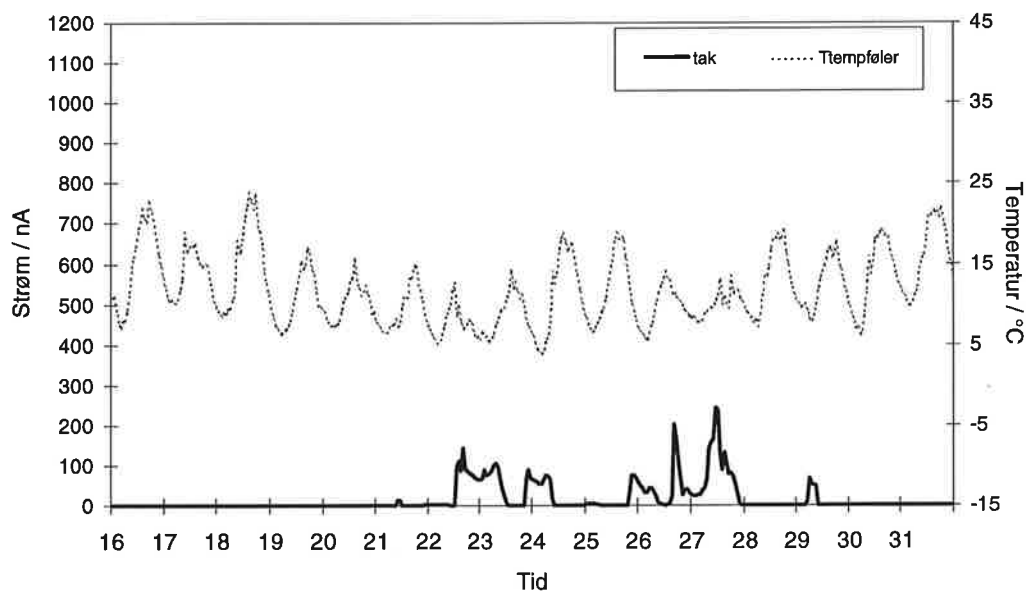
Figur B.11: Strøm og temperatur for 6.–15. mai 1997, sensorer på fjell.



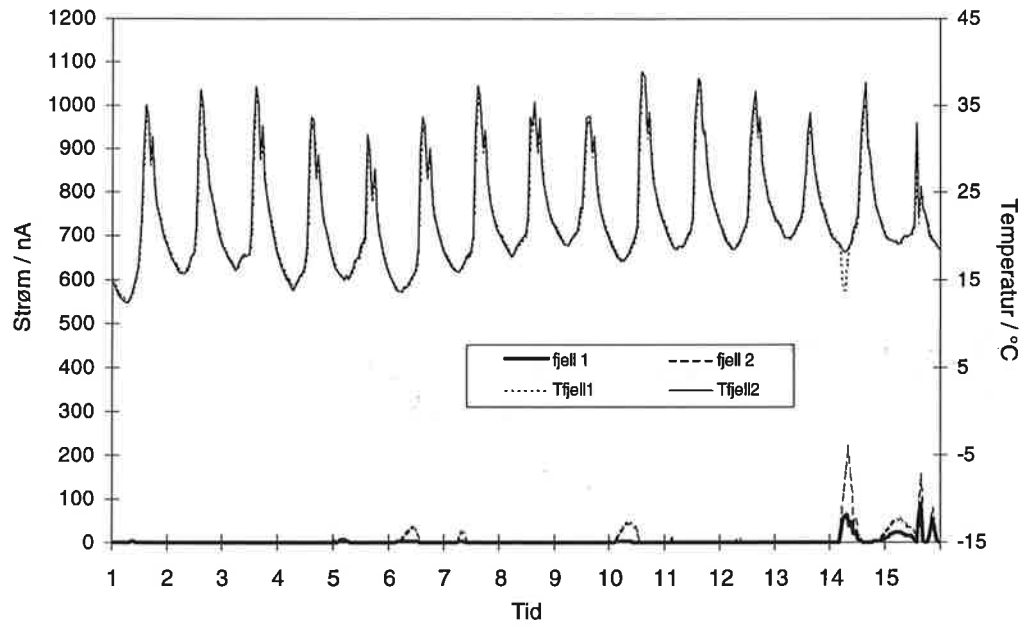
Figur B.12: Strøm og temperatur for 6.–15. mai 1997, sensorer på tak.



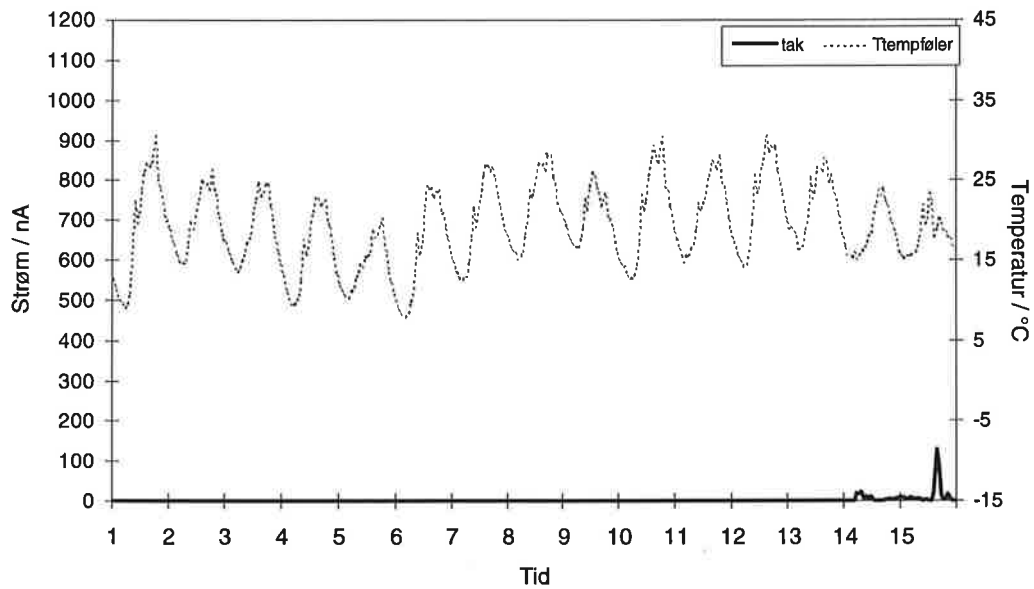
Figur B.13: Strøm og temperatur for 16.–31. mai 1997, sensorer på fjell.



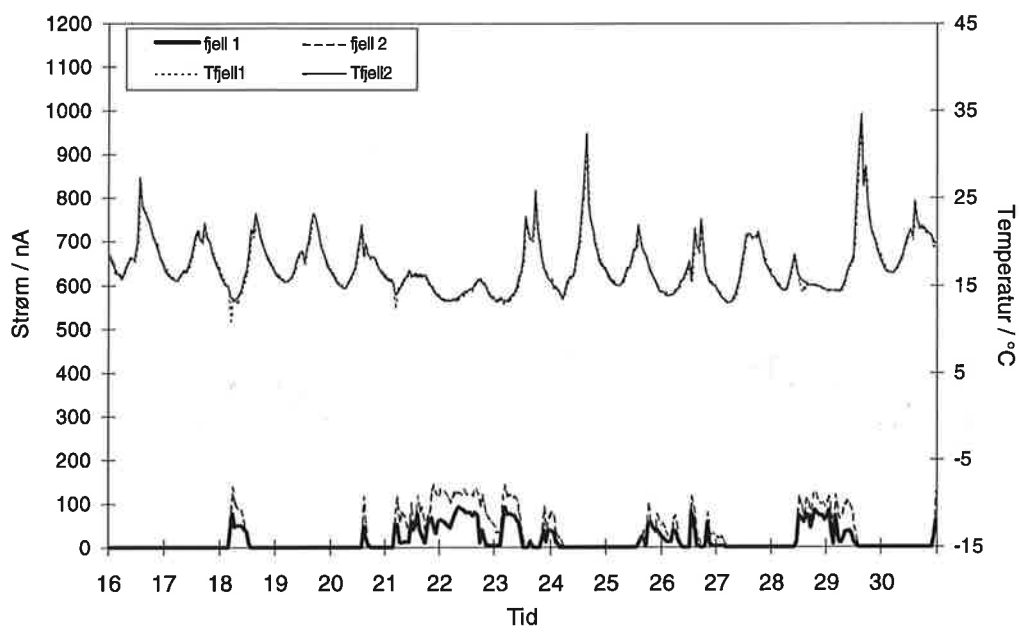
Figur B.14: Strøm og temperatur for 16.–31. mai 1997, sensorer på tak.



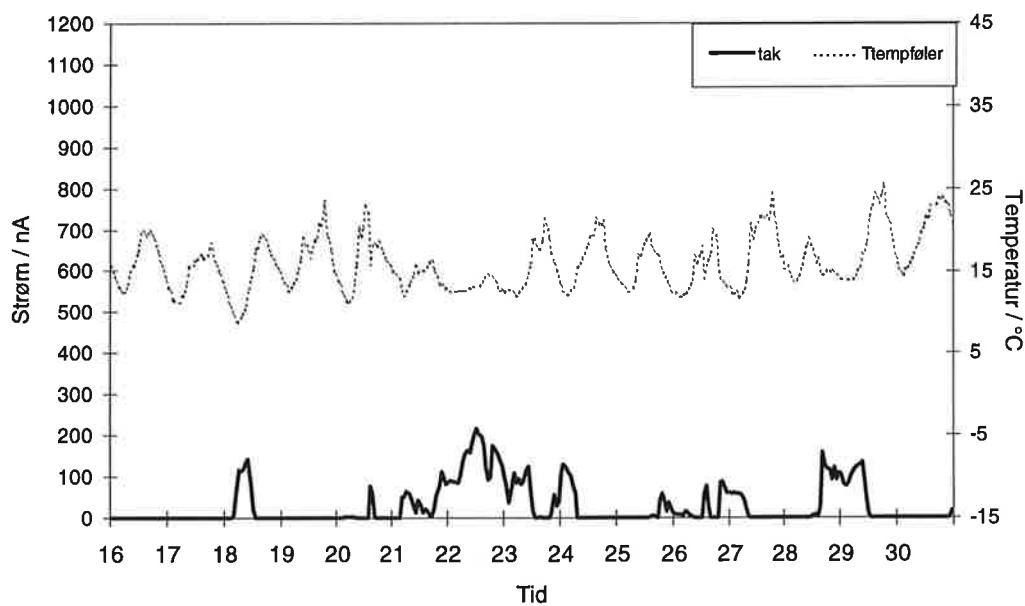
Figur B.15: Strøm og temperatur for 1.–15. juni 1997, sensorer på fjell.



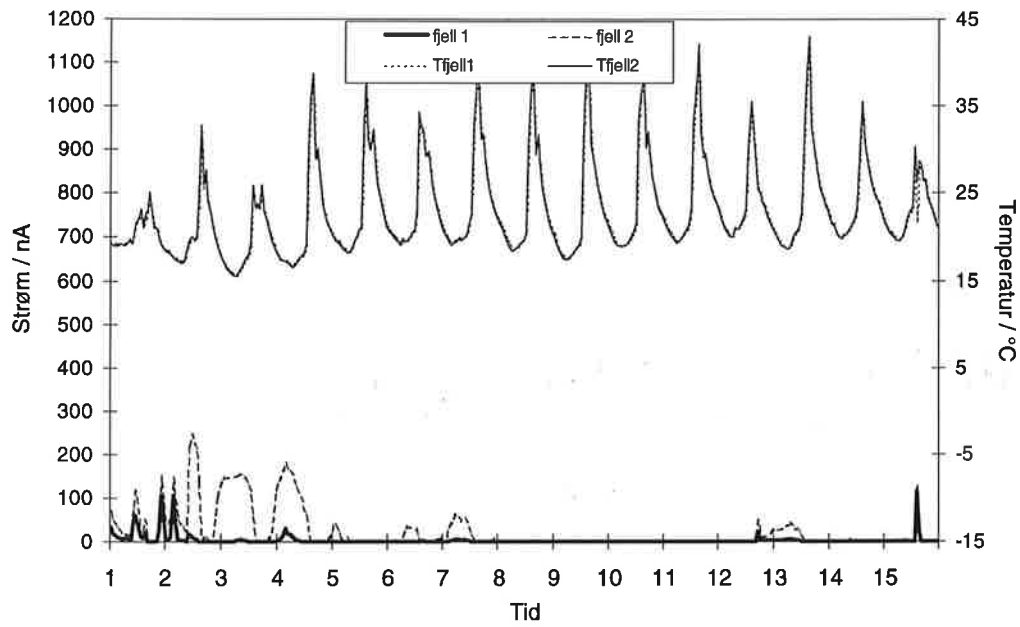
Figur B.16: Strøm og temperatur for 1.–15. juni 1997, sensorer på tak.



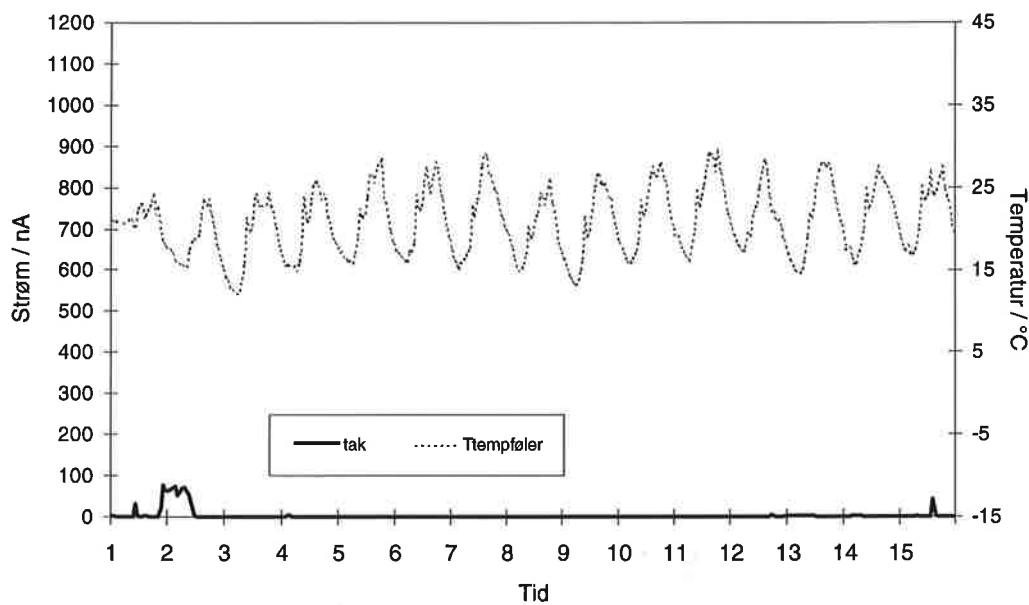
Figur B.17: Strøm og temperatur for 16.–30. juni 1997, sensorer på fjell.



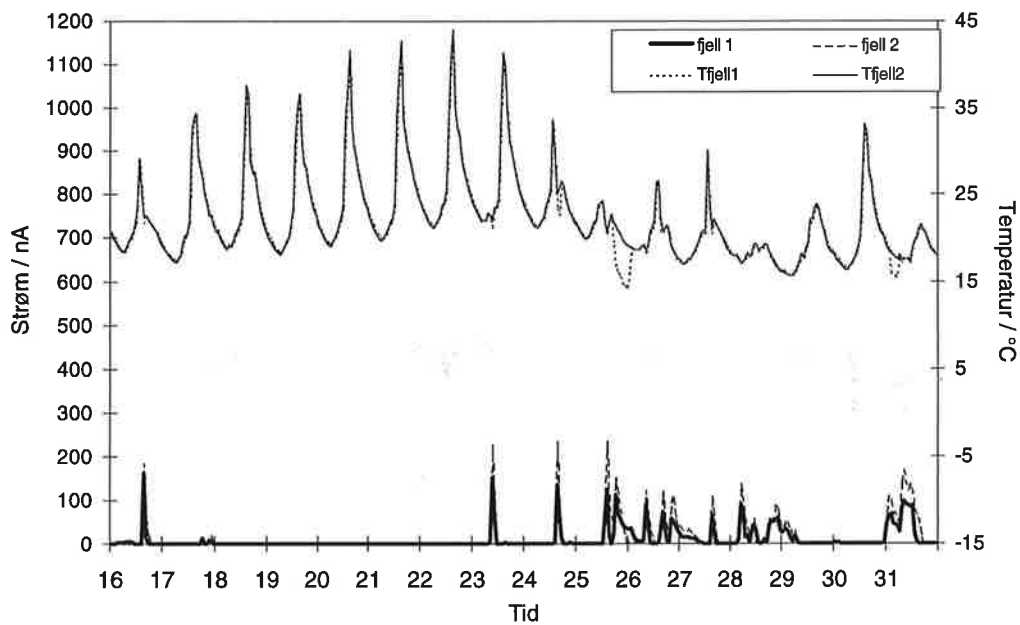
Figur B.18: Strøm og temperatur for 16.–30. juni 1997, sensorer på tak.



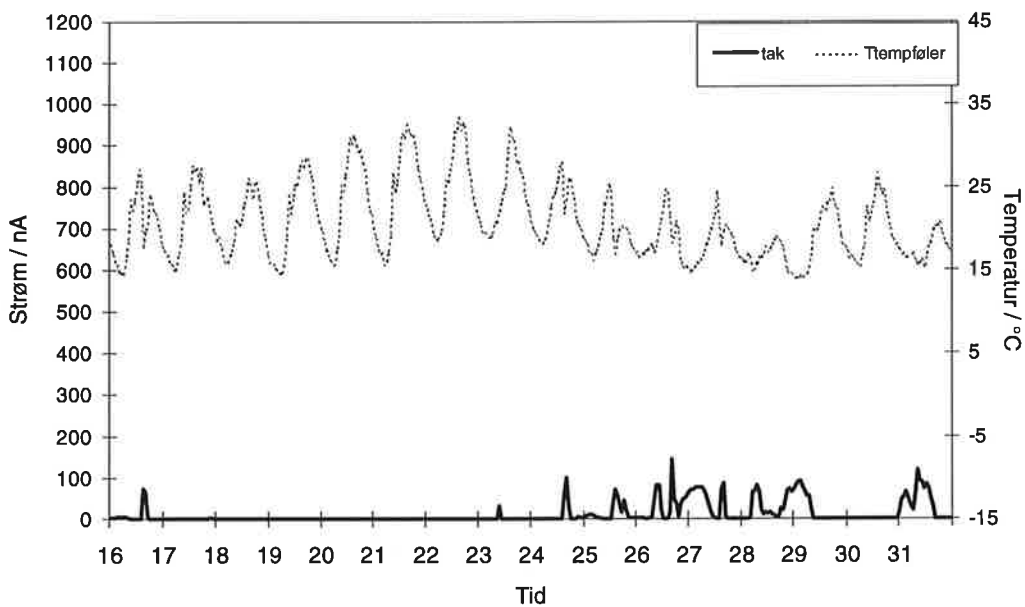
Figur B.19: Strøm og temperatur for 1.–15. juli 1997, sensorer på fjell.



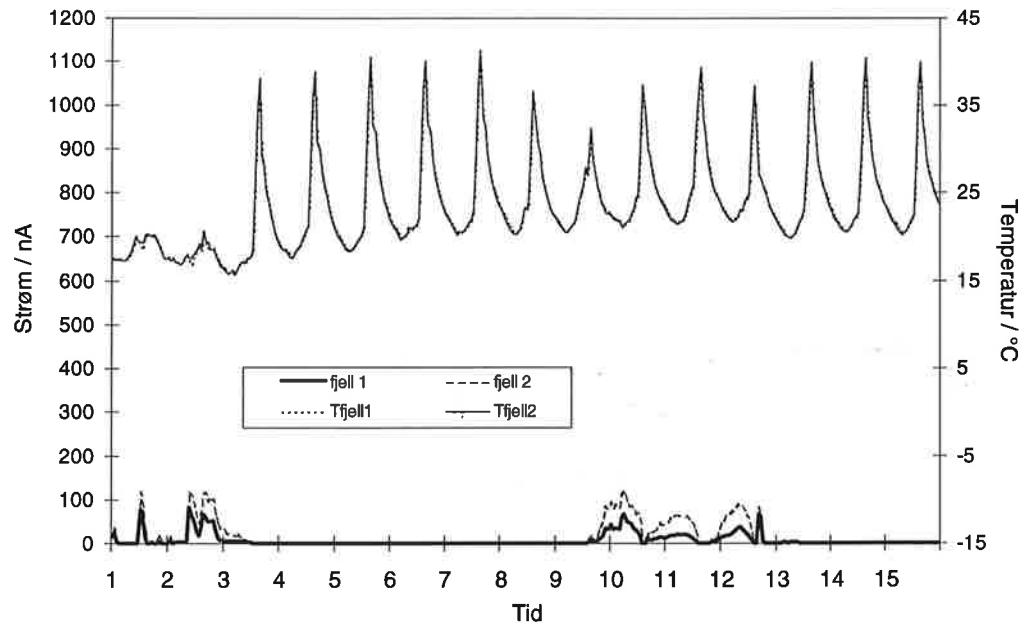
Figur B.20: Strøm og temperatur for 1.–15. juli 1997, sensorer på tak.



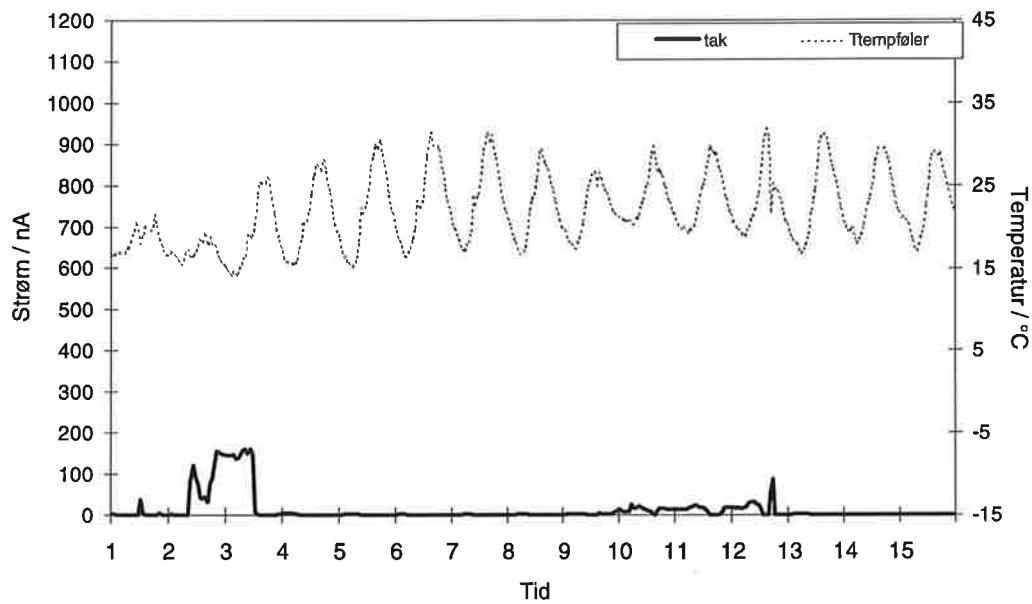
Figur B.21: Strøm og temperatur for 16.–31. juli 1997, sensorer på fjell.



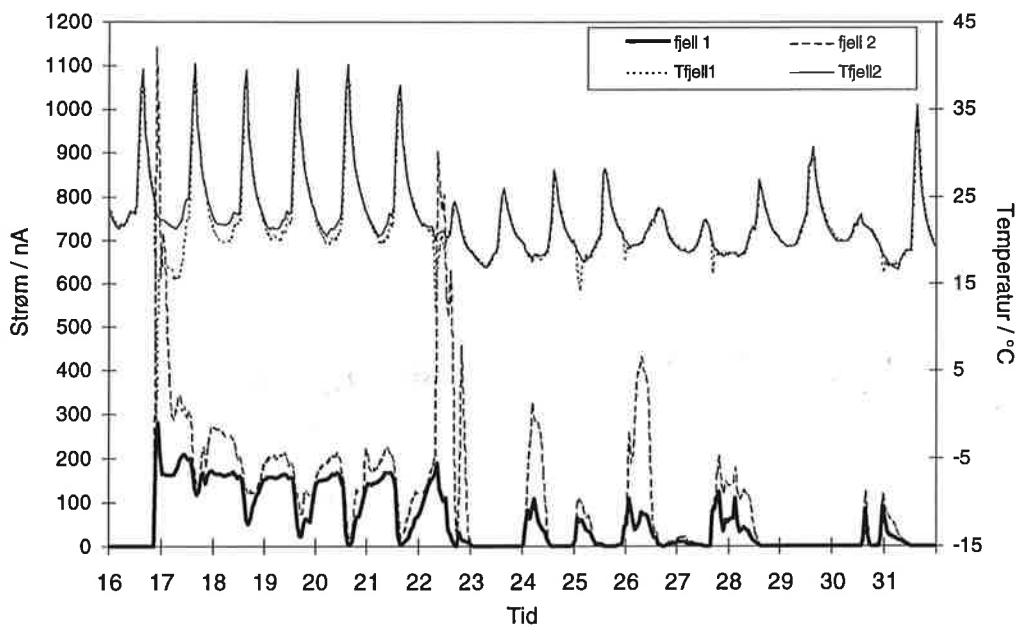
Figur B.22: Strøm og temperatur for 16.–31. juli 1997, sensorer på tak.



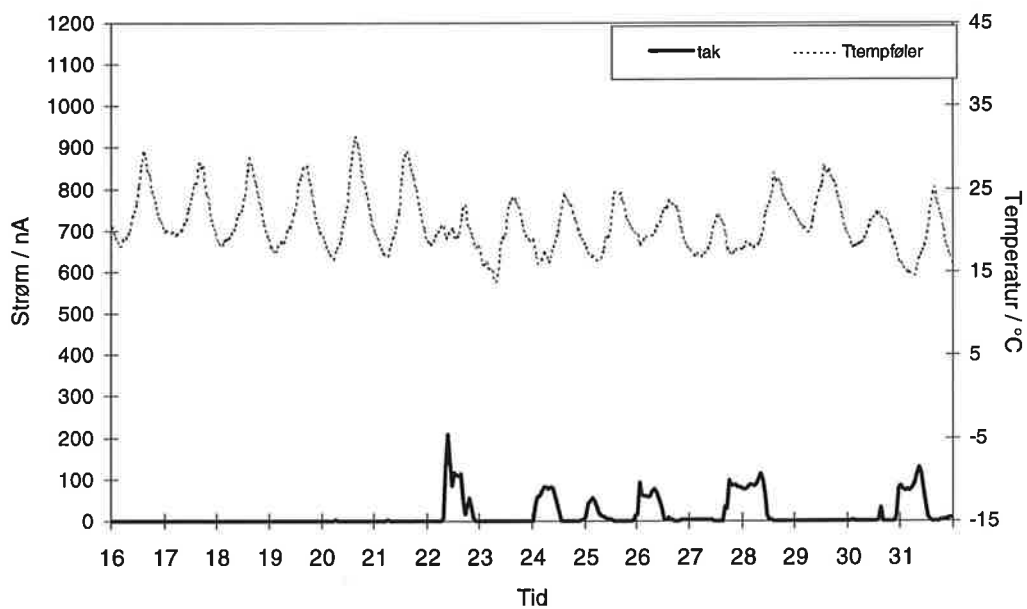
Figur B.23: Strøm og temperatur for 1.–15. august 1997, sensorer på fjell.



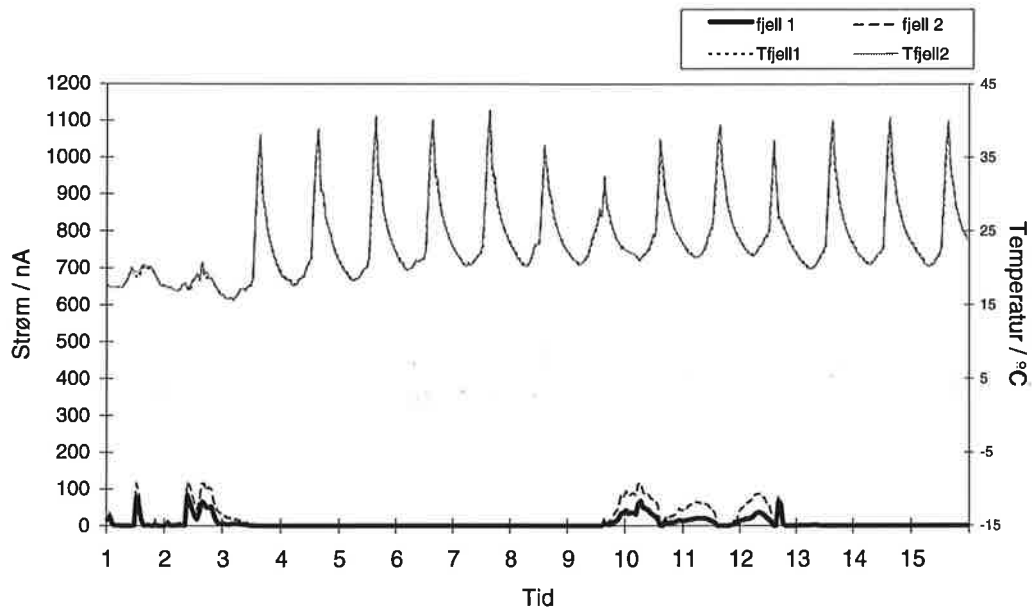
Figur B.24: Strøm og temperatur for 1.–15. august 1997, sensorer på tak.



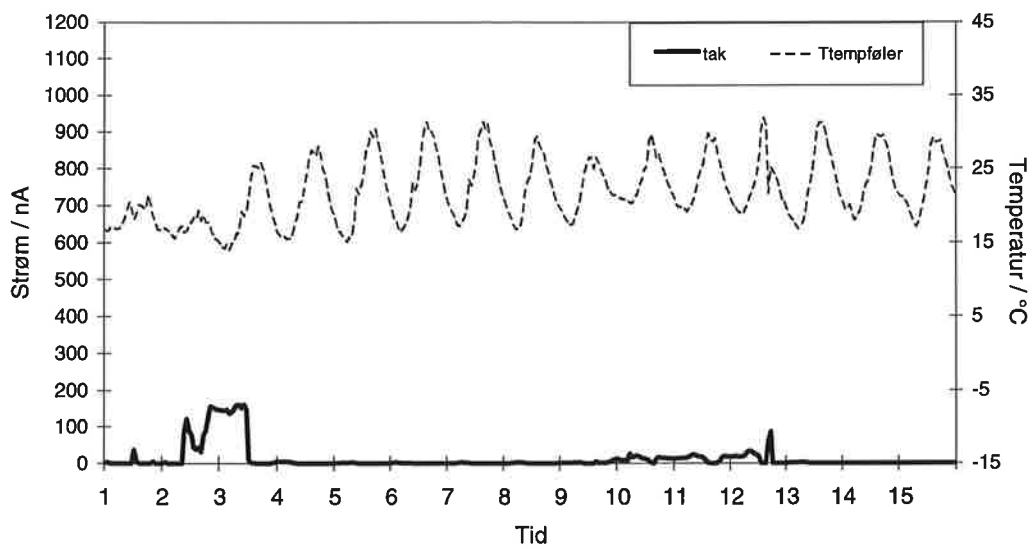
Figur B.25: Strøm og temperatur for 16.–31. august 1997, sensorer på fjell.



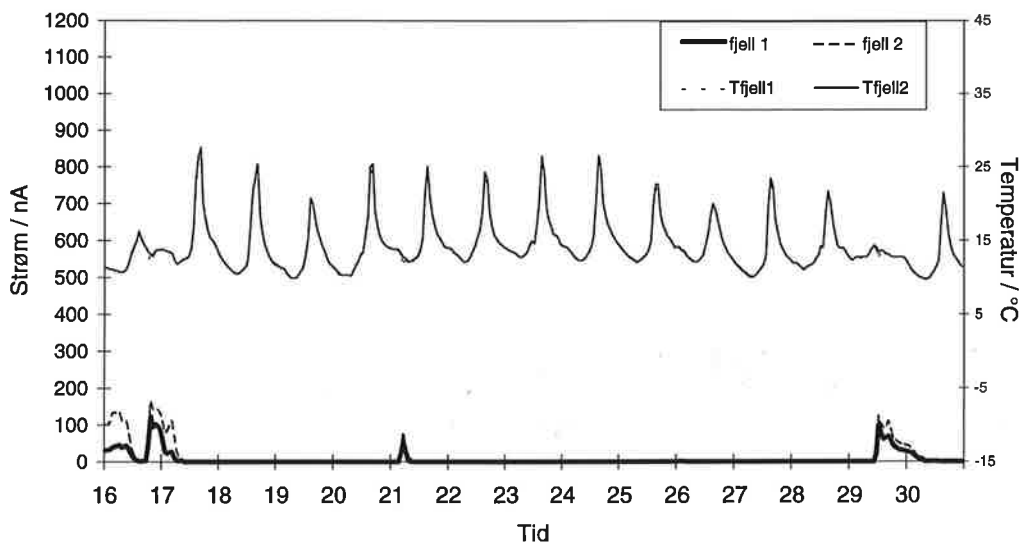
Figur B.26: Strøm og temperatur for 16.–31. august 1997, sensorer på tak.



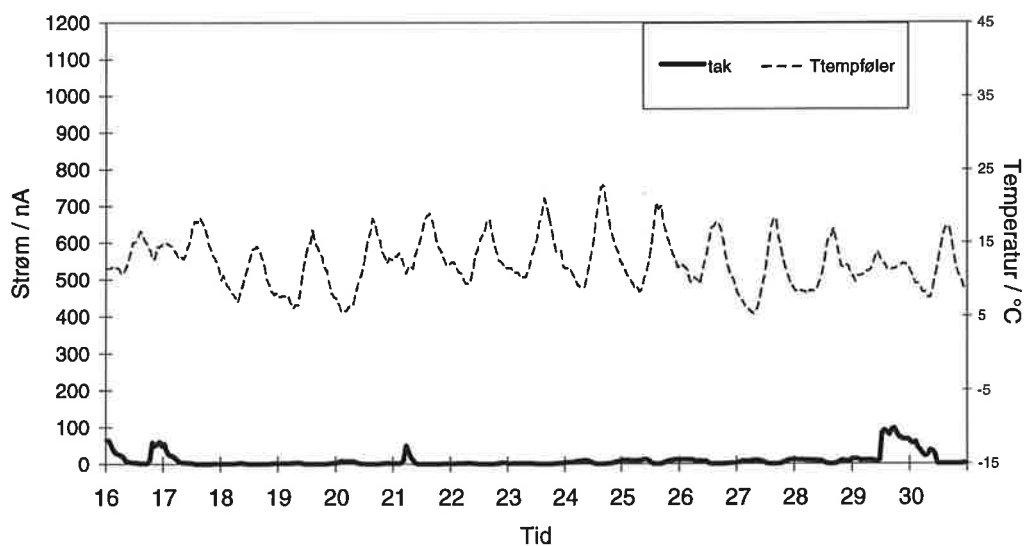
Figur B.27: Strøm og temperatur for 1.-15. september 1997, sensorer på fjell.



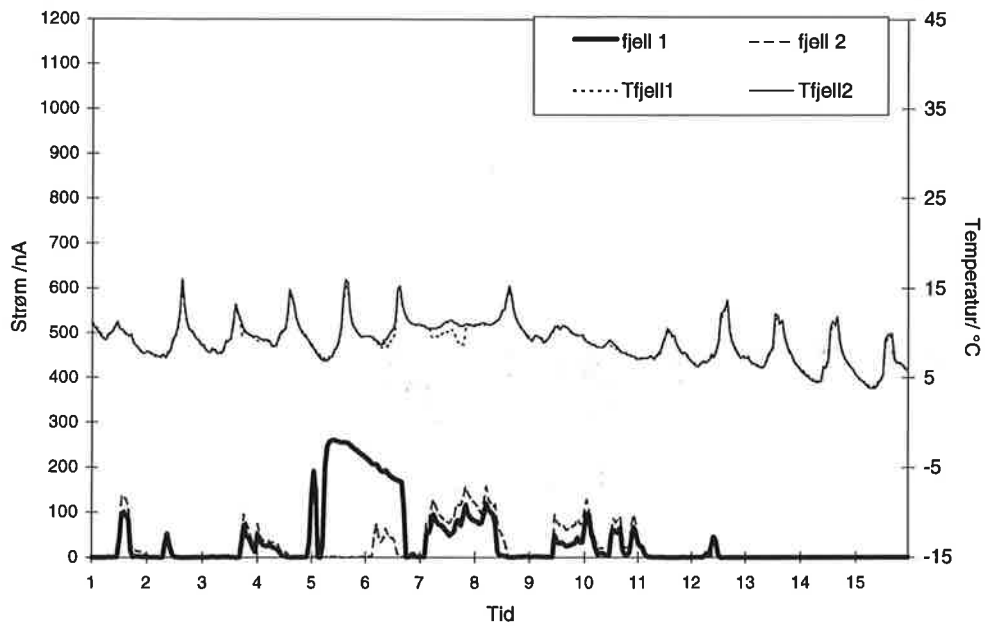
Figur B.28: Strøm og temperatur for 1.-15. september 1997, sensorer på tak.



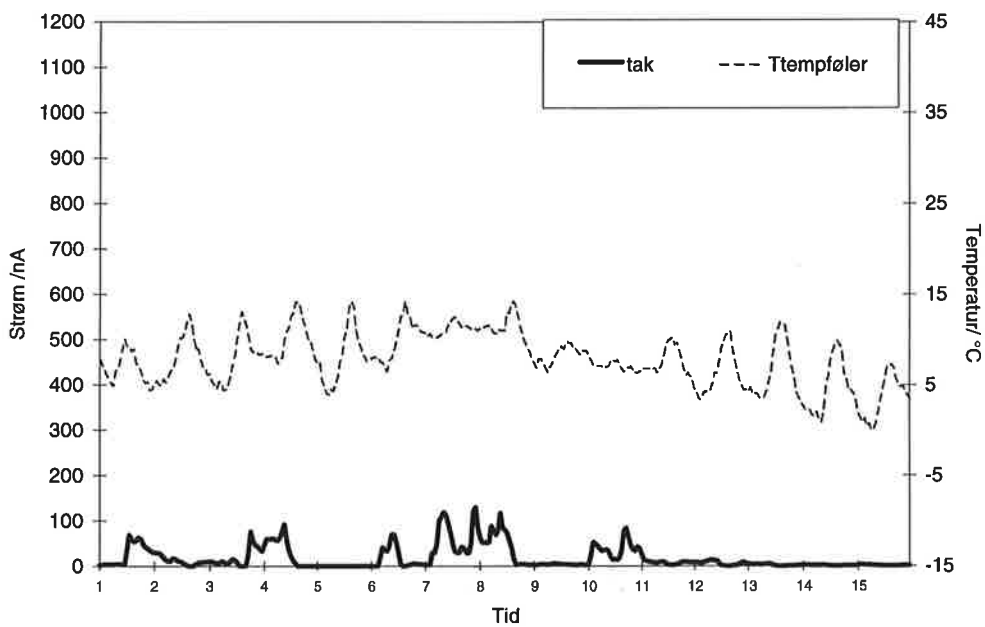
Figur B.29: Strøm og temperatur for 16.-30. september 1997, sensorer på fjell.



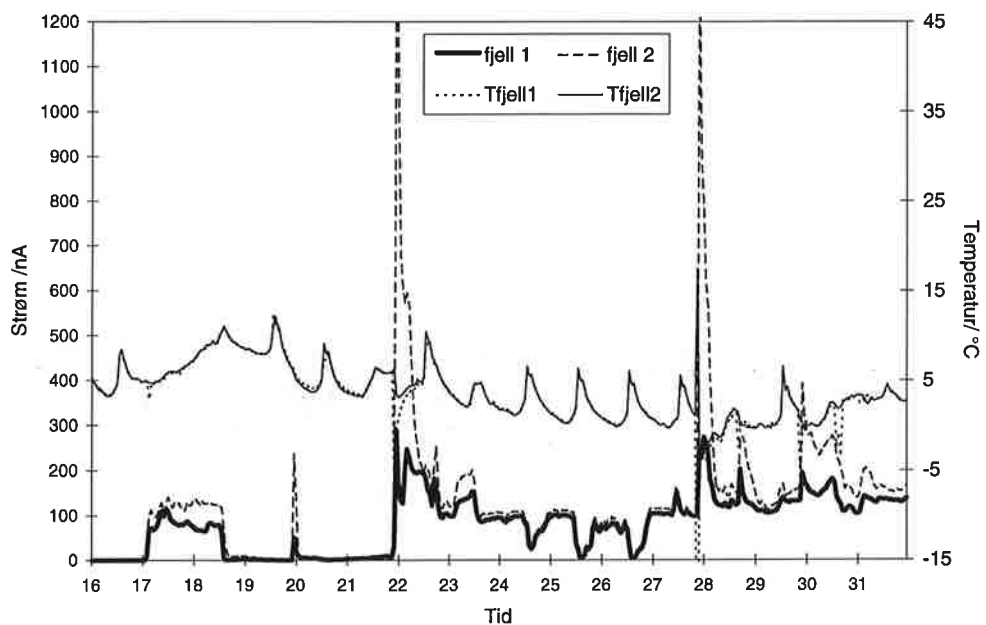
Figur B.30: Strøm og temperatur for 16.-30. september 1997, sensorer på tak.



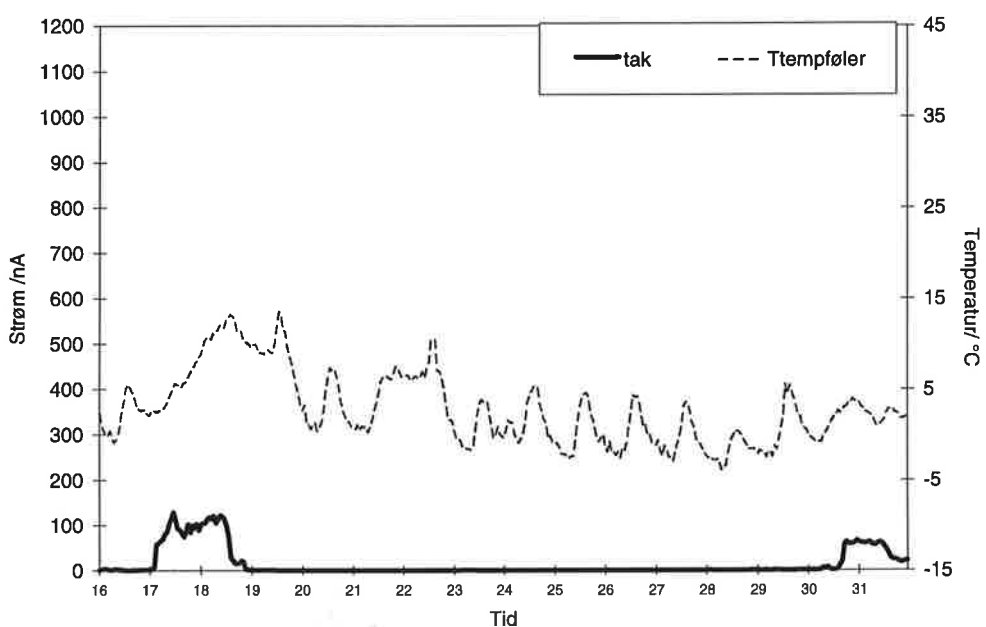
Figur B.31: Strøm og temperatur for 1.-15. oktober 1997, sensorer på fjell.



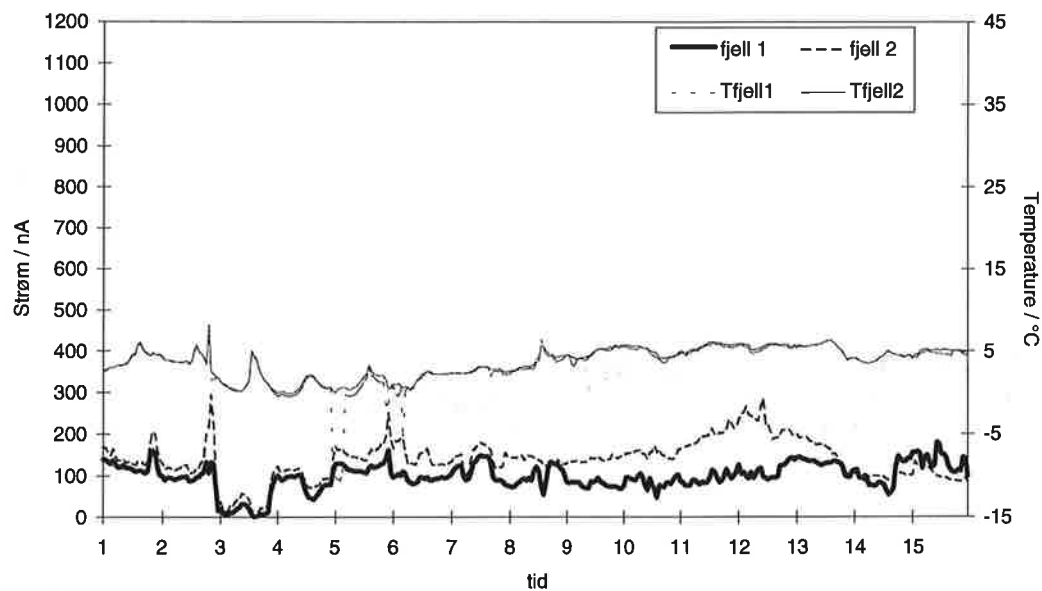
Figur B.32: Strøm og temperatur for 1.-15. oktober 1997, sensorer på tak.



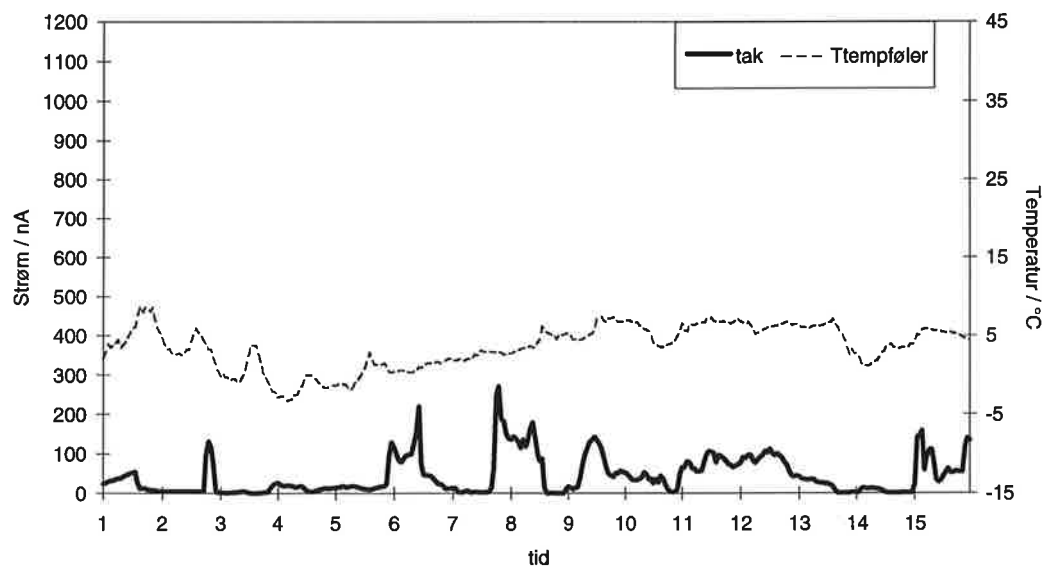
Figur B.33: Strøm og temperatur for 16.-31. oktober 1997, sensorer på fjell.



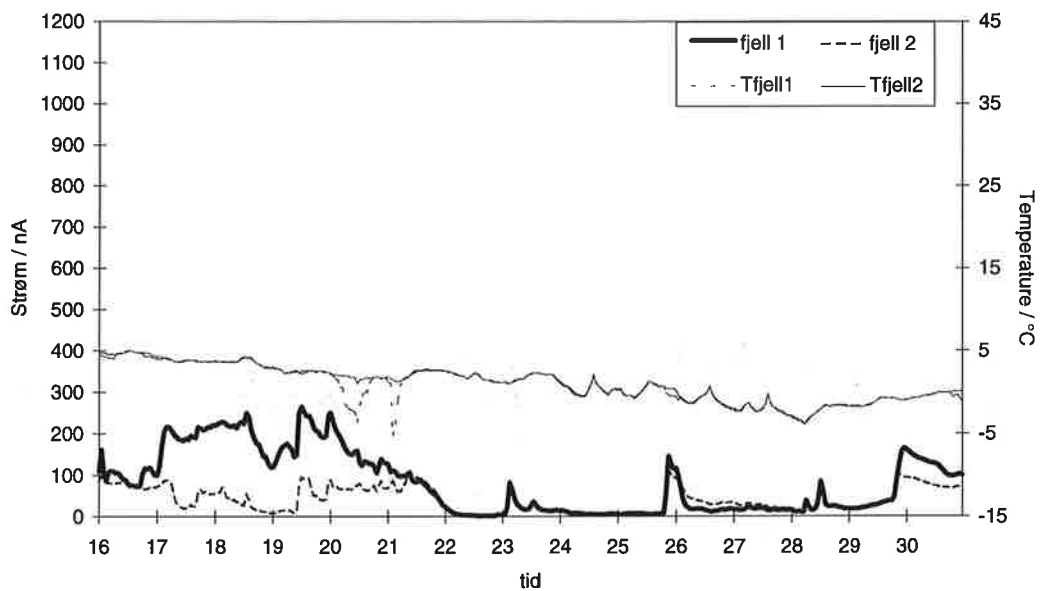
Figur B.34: Strøm og temperatur for 16.-31. oktober 1997, sensorer på tak.



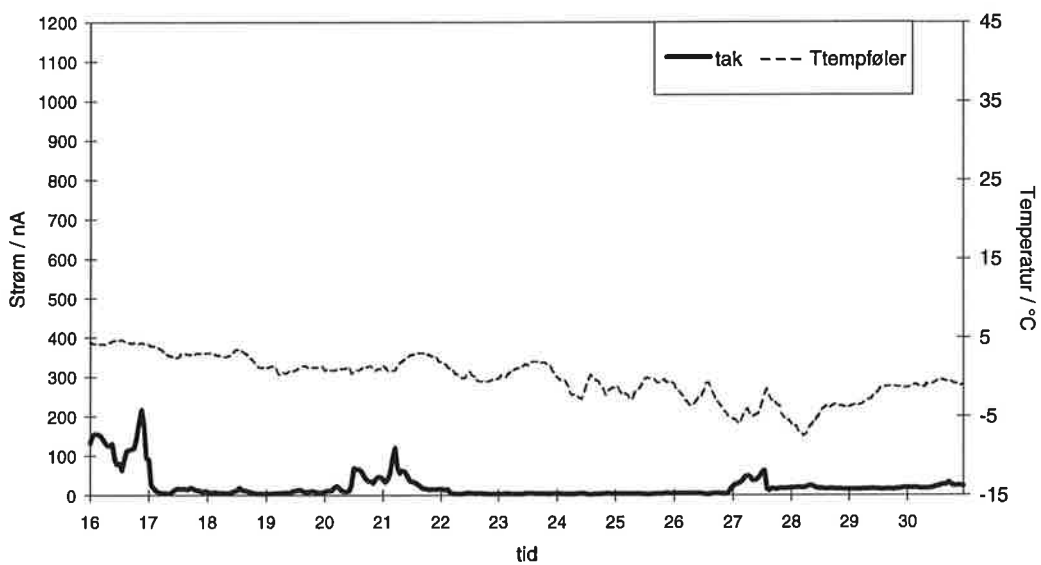
Figur B.35: Strøm og temperatur for 1.-15. november 1997, sensorer på fjell.



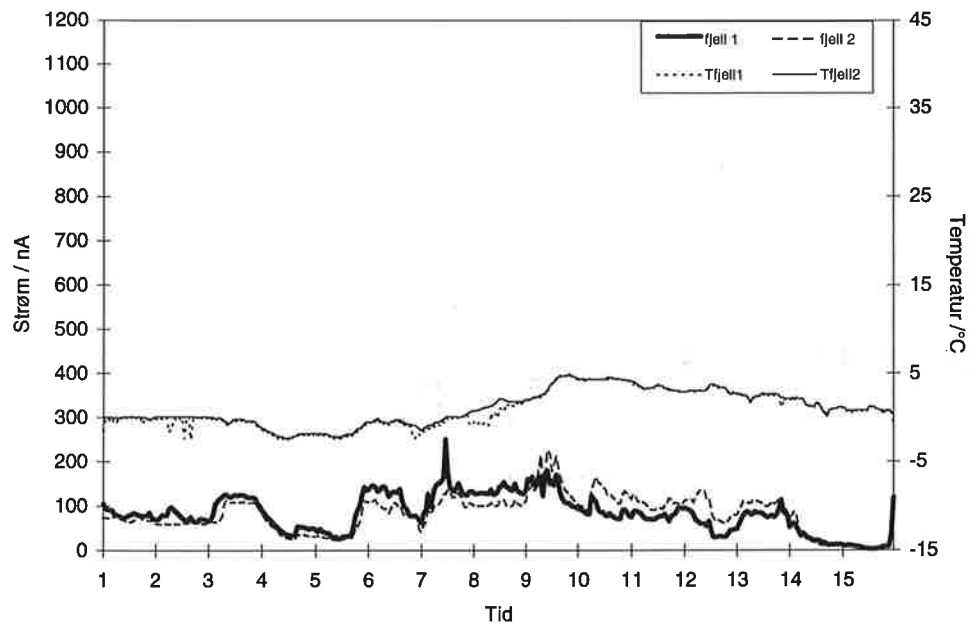
Figur B.36: Strøm og temperatur for 1.-15. november 1997, sensorer på tak.



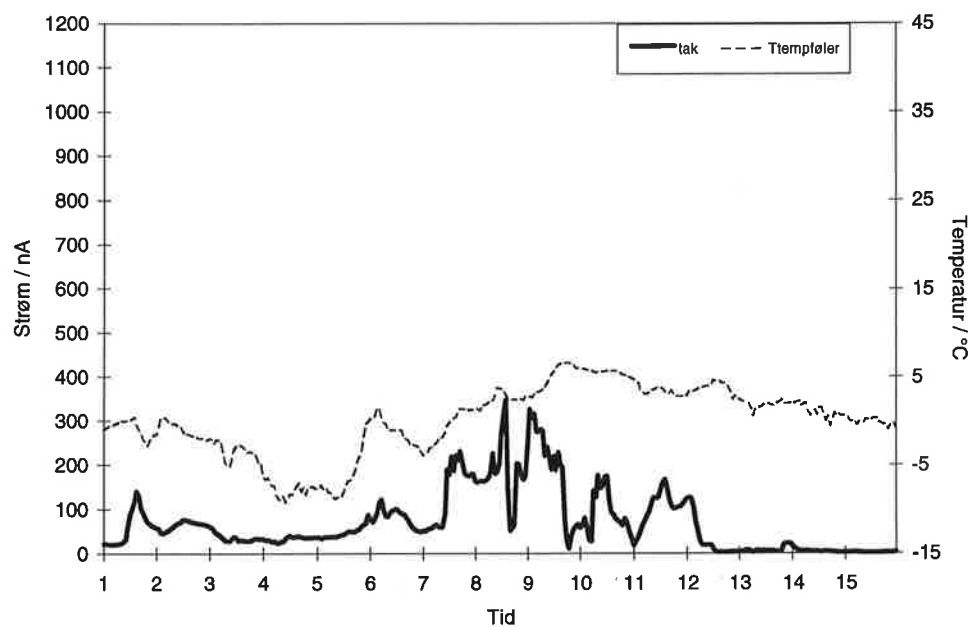
Figur B.37: Strøm og temperatur for 16.-30. november 1997, sensorer på fjell.



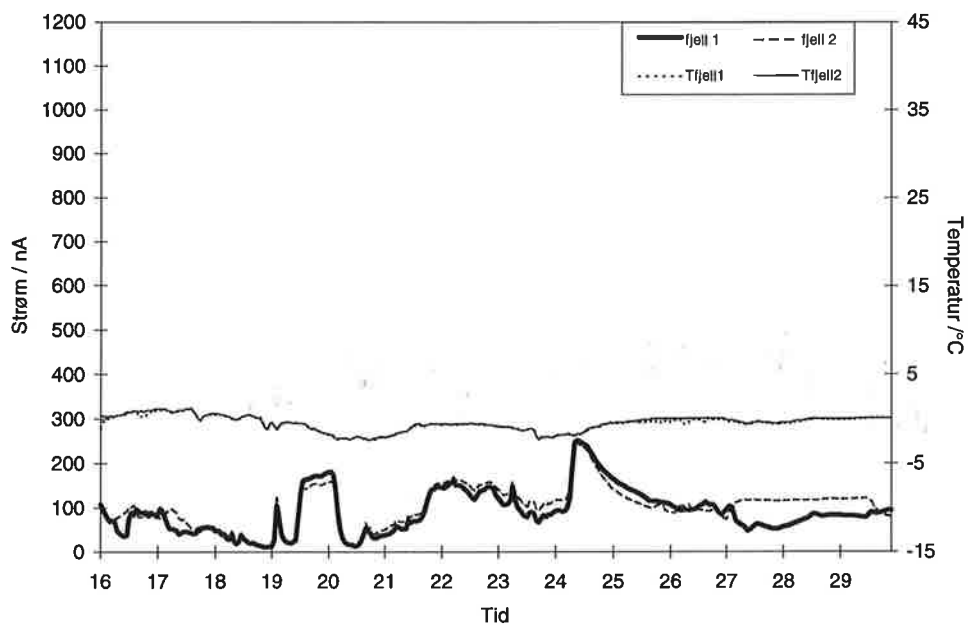
Figur B.38: Strøm og temperatur for 16.-30. november 1997, sensorer på tak.



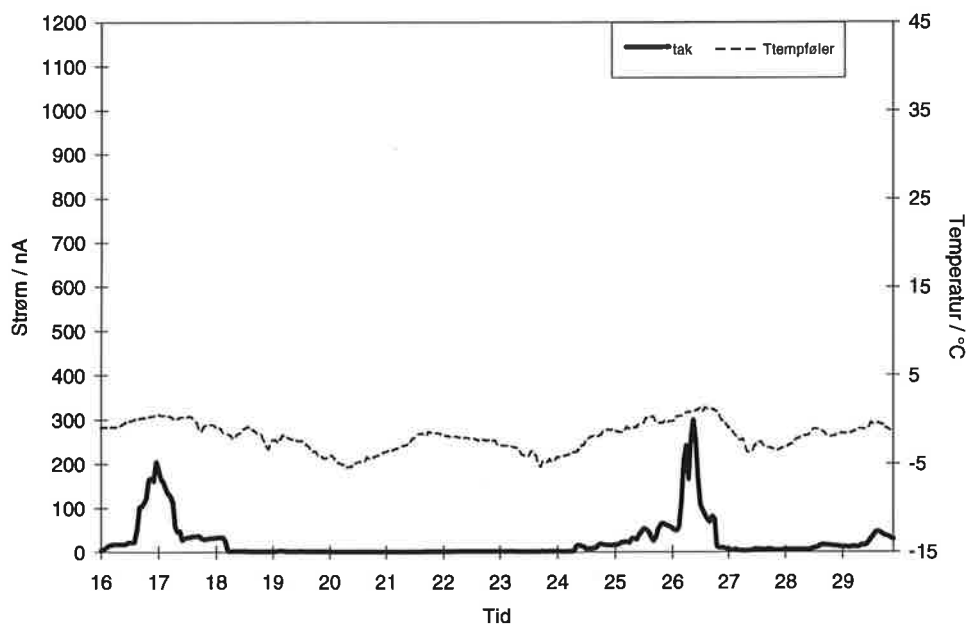
Figur B.39: Strøm og temperatur for 1.-15. desember 1997, sensorer på fjell.



Figur B.40: Strøm og temperatur for 1.-15. desember 1997, sensorer på tak.



Figur B.41: Strøm og temperatur for 16.-29. desember 1997, sensorer på fjell.



Figur B.42: Strøm og temperatur for 16.-29. desember 1997, sensorer på tak.

TOW(%), væropplysning og temperaturregistreringer for alle månedene.

Værobservasjonene er visuelle observasjoner fra NILU og nedbør per døgn fra DNMI-stasjon Blindern.

Symbolforklaring:

- | | |
|------------------|---------------|
| ○ = pent vær | ☔ = regn |
| ● = overskyet | * = snø |
| ◐ = delvis skyet | *☔ = sludd |
| | ⚡ = tordenvær |

Tabell B.1: TOW(%), væropplysning og temperaturregistreringer for februar 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
15.feb	0.0	0.0	0.0	○	-6.9	-10.9	0	0	0	0	0	0
16.feb	0.0	0.0	0.0	○	-8.0	-11.5	0	0	0	0	0	0
17.feb	0.0	0.0	0.0	○ ●	-6.6	-8.2	0	0	0	0	0	0
18.feb	0.0	0.0	37.5	*	-3.6	-1.6	0	1	0	0	0	0
19.feb	0.0	0.0	100.0	*	-2.4	-0.9	0	0	0	0	0	0
20.feb	62.5	62.5	75.0	○	-1.7	0.0	0	0	0	0	0	0
21.feb	100.0	100.0	87.5	☔	-0.9	0.8	0	0	0	0	0	0
22.feb	100.0	100.0	100.0	○	-0.4	2.5	0	0	0	0	0	0
23.feb	100.0	100.0	100.0	●	0.0	3.6	0	0	0	0	0	0
24.feb	100.0	100.0	100.0	☔	0.9	3.9	0	0	0	0	0	0
25.feb	100.0	100.0	100.0	☔	1.4	2.3	0	0	0	0	0	0
26.feb	83.3	75.0	45.8	○	0.8	2.9	2	0	0	0	0	0
27.feb	75.0	33.3	0.0	○	1.0	2.3	1	2	0	0	0	0
28.feb	100.0	100.0	87.5	☔ *	1.7	3.0	0	0	0	0	0	0
snitt	58.6	55.1	59.5		-1.8	-0.8						
sum							3	3	0	0	0	0

Tabell B.2: TOW(%), væropplysning og temperaturregistreringer for mars 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.mar	100.0	100.0	100.0	○	2.0	3.6	1	0	0	0	0	0
02.mar	70.8	37.5	100.0	○	4.4	5.9	0	0	0	0	0	0
03.mar	12.5	8.3	41.7	○	4.2	5.9	0	0	0	0	0	0
04.mar	0.0	0.0	62.5	○	4.3	6.3	0	0	0	0	0	0
05.mar	29.2	8.3	100.0	◐	3.2	3.3	0	0	0	0	0	0
06.mar	41.7	16.7	66.7	○	5.1	5.7	0	0	0	0	0	0
07.mar	25.0	0.0	100.0	◐	3.4	3.3	0	1	0	0	0	0
08.mar	50.0	12.5	66.7	○	6.0	6.5	0	0	0	0	0	0
09.mar	0.0	0.0	70.8	○	4.5	3.8	0	2	0	0	0	0
10.mar	8.3	0.0	91.7	○	3.5	1.4	0	1	0	0	0	0
11.mar	16.7	0.0	66.7	○	5.5	6.2	0	0	0	0	1	0
12.mar	25.0	0.0	95.8	○	4.8	4.3	0	0	0	0	0	0
13.mar	54.2	0.0	54.2	○	5.7	5.4	0	0	0	0	0	0
14.mar	0.0	0.0	4.2	○	3.1	1.0	0	4	0	0	0	0
15.mar			12.5	○	1.4	-0.5	2	1	0	0	0	0
16.mar			0.0	○	1.2	-1.1	1	1	0	0	0	0
17.mar			0.0	○	1.2	-1.4	1	1	0	0	0	0
18.mar	Kortslutning		0.0	○	0.1	-2.6	1	2	0	0	0	0
19.mar			0.0	○	0.6	-1.6	1	1	0	0	1	0
20.mar			33.3	○	0.4	-2.4	1	1	0	0	1	0
21.mar			0.0	○	1.5	-1.0	0	1	0	0	1	0
22.mar			33.3	○	2.2	-0.8	0	1	0	0	2	0
23.mar			50.0	○	2.4	0.2	1	1	0	0	1	0
24.mar			62.5	○	3.7	1.0	0	1	0	0	0	0
25.mar			100.0	☔	1.3	-0.1	0	0	0	0	0	0
26.mar			75.0	☔	2.3	3.2	0	0	0	0	0	0
27.mar			0.0	○	5.8	7.1	0	0	0	0	1	0
28.mar			0.0	○	6.2	6.8	0	0	0	0	1	0
29.mar			0.0	○	6.5	5.0	0	0	0	0	1	0
30.mar			0.0	○	6.8	5.1	0	1	0	0	1	0
31.mar			0.0	○	8.9	9.5	0	0	0	0	0	0
snitt	31.0	13.1	44.8		3.6	2.9					11	0
sum							9	20	0	0	11	0

Tabell B.3: TOW(%), væropplysning og temperaturregistreringer for april 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.apr			0.0	○	10.2	9.1	0	0	0	0	1	0
02.apr			0.0	○ ●	7.9	7.6	0	0	0	0	1	0
03.apr	Kortslutning			○	8.9	6.1	0	0	0	0	1	0
04.apr			0.0	○	6.8	3.7	0	0	0	0	2	0
05.apr			0.0	○	7.1	2.3	0	0	0	0	2	0
06.apr			0.0	○	5.5	2.1	0	2	0	0	2	0
07.apr			0.0	○	4.9	1.7	0	0	0	0	1	0
08.apr			75.0	*	5.5	4.0	0	0	0	0	0	0
09.apr			66.7	○ ●	6.7	6.8	0	0	0	0	0	0
10.apr			8.3	○	8.4	9.2	0	0	0	0	0	0
11.apr	0.0	0.0	16.7	○ ●	7.7	6.3	0	0	0	0	0	0
12.apr	0.0	0.0	4.2	○	7.4	5.4	0	0	0	0	0	0
13.apr	12.5	45.8	41.7	○	10.3	8.7	0	0	0	0	0	0
14.apr	0.0	0.0	0.0	○	8.0	6.3	0	0	0	0	1	0
15.apr	0.0	0.0	0.0	○	7.8	5.6	0	0	0	0	1	0
16.apr	0.0	25.0	37.5	○	-10.3	6.5	0	1	1	0	1	1
17.apr	0.0	37.5	54.2	○	11.8	8.6	0	0	2	0	2	1
18.apr	0.0	0.0	0.0	○	8.7	5.2	0	0	1	0	1	1
19.apr	0.0	0.0	0.0	○	5.7	3.0	0	1	0	0	0	0
20.apr	0.0	0.0	20.8	○	6.8	3.4	0	1	0	0	1	0
21.apr	16.7	29.2	54.2	○ *	6.6	4.3	0	1	0	0	1	0
22.apr	12.5	12.5	0.0	○ *	5.6	3.4	0	0	0	0	0	0
23.apr	29.2	29.2	29.2	○ *	3.3	2.1	1	1	0	0	0	0
24.apr	95.8	91.7	95.8	○ *	2.4	1.2	0	0	0	0	0	0
25.apr	0.0	0.0	12.5	○	6.5	6.1	0	0	0	0	0	0
26.apr	0.0	4.2	8.3	○	8.0	6.0	0	0	0	0	0	0
27.apr	45.8	45.8	41.7	○	9.6	6.6	0	0	1	0	2	0
28.apr	37.5	37.5	45.8	○	9.6	7.8	0	0	0	0	1	0
29.apr	90.9	100.0	45.8	○ ●	7.6	8.0	0	0	0	0	0	0
30.apr				○								
snitt	17.9	24.1	22.7		7.4	5.4					21	3
sum							1	7	5	0		

Tabell B.4: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for mai 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.mai				▲								
02.mai				○								
03.mai				○								
04.mai				○								
05.mai				▲ *▲								
06.mai	100.0	100.0	71.4	*▲	7.1	5.9	0	0	0	0	0	0
07.mai	75.0	100.0	70.8	▲ *▲	7.1	6.0	0	0	0	0	1	0
08.mai	0.0	16.7	20.8	○ *▲	10.4	8.3	0	0	1	0	0	0
09.mai	20.8	33.3	25.0	● ▲	9.2	7.9	0	0	0	0	2	0
10.mai	100.0	100.0	100.0	▲	7.6	6.5	0	0	0	0	1	0
11.mai	87.5	100.0	100.0	▲	5.8	8.0	0	0	0	0	0	0
12.mai	58.3	58.3	58.3	▲ ●	10.7	10.7	0	0	0	0	0	0
13.mai	0.0	4.2	0.0	▲ ● ○	12.0	10.6	0	0	0	0	1	0
14.mai	0.0	4.2	0.0	○	11.8	10.7	0	0	0	0	1	0
15.mai	20.8	37.5	0.0	○	15.9	13.7	0	0	1	0	1	0
16.mai	0.0	0.0	0.0	○	17.3	14.9	0	0	2	0	2	1
17.mai	0.0	0.0	0.0	○	15.3	13.6	0	0	0	0	1	0
18.mai	4.2	29.2	0.0	○	18.0	15.3	0	0	1	0	0	1
19.mai	0.0	0.0	0.0	● ○	16.4	10.6	0	0	1	0	2	0
20.mai	0.0	0.0	0.0	● ▲	14.5	10.2	0	0	0	0	1	0
21.mai	12.5	12.5	8.3	▲ ○	13.8	9.4	0	0	0	0	0	0
22.mai	45.8	45.8	45.8	● ▲ f	11.1	7.6	0	0	0	0	0	0
23.mai	62.5	54.2	62.5	○ ● ▲	10.0	8.8	0	0	1	0	1	0
24.mai	8.3	16.7	41.7	○	14.9	11.2	0	0	1	0	2	0
25.mai	12.5	16.7	16.7	○ ▲	16.9	11.8	0	0	1	0	2	0
26.mai	20.8	83.3	75.0	○ ▲	13.0	9.6	0	0	1	0	1	0
27.mai	50.0	62.5	91.7	○ ▲	11.7	9.9	0	0	0	0	0	0
28.mai	0.0	0.0	0.0	○	14.5	13.0	0	0	0	0	1	0
29.mai	20.8	25.0	16.7	▲	14.6	12.3	0	0	0	0	1	0
30.mai	0.0	0.0	0.0	○	15.3	13.3	0	0	0	0	1	0
31.mai	0.0	0.0	0.0	○	17.3	16.0	0	0	0	0	0	1
snitt	26.9	34.6	31.0		12.8	10.6					22	3
sum							0	0	10	0		

Tabell B.5: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for juni 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff. >=20		Temperatur diff. >=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.jun	0.0	0.0	0.0	○	19.7	19.2	0	0	1	1	1	1
02.jun	0.0	0.0	0.0	○	21.5	19.8	0	0	1	0	2	1
03.jun	0.0	0.0	0.0	○	21.8	18.5	0	0	0	0	2	0
04.jun	0.0	0.0	0.0	○	19.8	16.1	0	0	1	0	2	1
05.jun	0.0	4.2	0.0	○	18.9	14.2	0	0	0	0	2	0
06.jun	0.0	29.2	0.0	○	19.4	16.4	0	0	0	0	2	1
07.jun	0.0	12.5	0.0	○	21.8	19.6	0	0	1	0	2	0
08.jun	0.0	0.0	0.0	○	23.1	21.8	0	0	0	0	2	0
09.jun	0.0	0.0	0.0	○	23.2	20.3	0	0	0	0	1	0
10.jun	0.0	41.7	0.0	○	23.3	20.7	0	0	1	0	2	1
11.jun	0.0	0.0	0.0	○	23.9	21.0	0	0	0	0	2	1
12.jun	0.0	0.0	0.0	○	23.9	22.1	0	0	0	0	2	1
13.jun	0.0	0.0	0.0	○	23.4	21.8	0	0	0	0	0	1
14.jun	29.2	41.7	20.8	○ ▲	22.6	18.5	0	0	1	0	2	1
15.jun	70.8	75.0	20.8	○ ▲ ♯	20.8	18.0	0	0	0	0	1	0
16.jun	0.0	0.0	0.0	○	19.2	16.2	0	0	0	0	1	0
17.jun	0.0	0.0	0.0	○ ○	18.0	14.7	0	0	0	0	0	0
18.jun	33.3	33.3	33.3	▲	16.9	14.1	0	0	0	0	0	0
19.jun	0.0	0.0	0.0	○	18.0	16.8	0	0	0	0	0	0
20.jun	8.3	8.3	8.3	○	17.0	16.3	0	0	0	0	0	0
21.jun	83.3	83.3	75.0	○ ▲	15.3	14.3	0	0	0	0	0	0
22.jun	83.3	100.0	100.0	▲	14.1	13.1	0	0	0	0	0	0
23.jun	58.3	70.8	70.8	▲ ○	16.7	15.4	0	0	0	0	0	0
24.jun	12.5	20.8	29.2	○ ▲	18.3	16.3	0	0	0	0	1	0
25.jun	33.3	37.5	25.0	○ ▲	16.7	15.1	0	0	0	0	1	0
26.jun	45.8	66.7	41.7	○ ▲	16.2	14.6	0	0	0	0	0	1
27.jun	0.0	16.7	33.3	○ ▲	16.8	17.5	0	0	0	0	0	0
28.jun	54.2	54.2	37.5	○ ● ▲	15.3	15.4	0	0	0	0	0	0
29.jun	45.8	54.2	50.0	○	19.6	18.4	0	0	0	0	1	0
30.jun	8.3	8.3	4.2	○ ♯ ▲	19.4	19.7	0	0	0	0	1	0
snlitt	18.9	25.3	18.3		19.5	17.5					30	10
sum							0	0	6	1		

Tabell B.6: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for juli 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall Innfrysninger		Temperatur diff. >=20		Temperatur diff. >=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.jul	50.0	79.2	16.7	○ ♯ ▲	20.4	21.3	0	0	0	0	0	0
02.jul	12.5	87.5	45.8	○	20.3	18.3	0	0	0	0	0	0
03.jul	0.0	70.8	0.0	○	19.2	18.6	0	0	0	0	1	0
04.jul	20.8	62.5	0.0	○	21.8	19.9	0	0	1	0	1	0
05.jul	0.0	12.5	0.0	○	23.3	21.2	0	0	0	0	2	0
06.jul	0.0	25.0	0.0	○ ▲	23.5	21.5	0	0	0	0	1	0
07.jul	0.0	50.0	0.0	○	24.2	21.5	0	0	0	0	1	0
08.jul	0.0	0.0	0.0	○	23.6	19.8	0	0	2	0	2	0
09.jul	0.0	0.0	0.0	○	23.0	19.9	0	0	2	0	2	0
10.jul	0.0	0.0	0.0	○	24.0	21.7	0	0	0	0	2	0
11.jul	0.0	0.0	0.0	○	24.9	22.8	0	0	1	0	2	0
12.jul	4.2	29.2	0.0	○ ▲	23.6	21.1	0	0	1	0	1	0
13.jul	0.0	54.2	0.0	○	24.5	21.3	0	0	1	0	0	1
14.jul	0.0	0.0	0.0	○ ▲	23.9	21.6	0	0	1	0	1	0
15.jul	8.3	4.2	4.2	○	22.7	21.8	0	0	0	0	1	0
16.jul	8.3	12.5	8.3	○	21.0	19.9	0	0	0	0	0	0
17.jul	4.2	8.3	0.0	○ ▲	22.6	21.2	0	0	0	0	1	0
18.jul	0.0	0.0	0.0	○	23.5	20.5	0	0	0	0	2	0
19.jul	0.0	0.0	0.0	○ ○	23.5	21.7	0	0	0	0	2	0
20.jul	0.0	0.0	0.0	○ ○	24.9	23.5	0	0	1	0	2	1
21.jul	0.0	0.0	0.0	○ ○	25.7	24.3	0	0	2	0	2	2
22.jul	0.0	0.0	0.0	○ ○	26.9	25.2	0	0	2	0	2	0
23.jul	8.3	8.3	4.2	○	26.5	23.9	0	0	1	0	2	0
24.jul	12.5	12.5	12.5	○ ○ ▲	23.8	21.9	0	0	0	0	1	0
25.jul	41.7	41.7	37.5	○ ○ ▲	19.9	19.3	0	0	0	0	1	1
26.jul	54.2	54.2	50.0	○ ▲	19.8	18.6	0	0	0	0	0	0
27.jul	41.7	41.7	54.2	○ ▲	19.8	18.2	0	0	0	0	0	0
28.jul	54.2	54.2	66.7	▲	17.9	16.6	0	0	0	0	0	0
29.jul	25.0	29.2	37.5	○ (▲)	18.8	18.7	0	0	0	0	0	0
30.jul	0.0	0.0	0.0	○	18.8	18.7	0	0	0	0	0	0
31.jul	58.3	70.8	66.7	▲	21.0	19.9	0	0	0	0	1	0
snlitt	13.0	26.1	13.0		22.5	20.8					33	5
sum							0	0	15	0		

Tabell B.7: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for august 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall Innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.aug	20.8	25.0	4.2	☉ ▲	18.7	18.4	0	0	0	0	0	0
02.aug	54.2	66.7	62.5	☉ ☉ ▲	17.9	17.0	0	0	0	0	0	0
03.aug	0.0	37.5	50.0	☉	21.1	19.3	0	0	1	0	1	0
04.aug	0.0	0.0	0.0	☉	23.0	21.1	0	0	2	0	2	0
05.aug	0.0	0.0	0.0	☉	23.8	22.2	0	0	2	0	2	1
06.aug	0.0	0.0	0.0	☉	24.7	23.3	0	0	2	0	2	0
07.aug	0.0	0.0	0.0	☉	25.3	23.6	0	0	1	0	2	0
08.aug	0.0	0.0	0.0	☉	24.6	22.3	0	0	1	0	2	0
09.aug	16.7	33.3	4.2	☉ ▲	23.9	22.1	0	0	0	0	1	0
10.aug	79.2	91.7	70.8	☉ ▲	25.1	23.6	0	0	0	0	1	0
11.aug	58.3	70.8	70.8	☉ ☉	26.1	23.6	0	0	0	0	2	0
12.aug	62.5	66.7	62.5	☉ ☉ ▲	24.8	22.9	0	0	0	0	2	0
13.aug	0.0	0.0	0.0	☉	24.9	23.3	0	0	0	0	0	1
14.aug	0.0	0.0	0.0	☉	25.3	23.5	0	0	1	0	2	1
15.aug	0.0	0.0	0.0	☉	25.2	22.9	0	0	0	0	2	0
16.aug	12.5	12.5	0.0	☉	25.4	22.4	0	0	1	0	2	0
17.aug	100.0	100.0	0.0	☉ ☉	25.7	22.4	0	0	0	0	2	0
18.aug	100.0	100.0	0.0	☉ ☉	25.4	21.9	0	0	0	0	2	0
19.aug	100.0	100.0	0.0	☉ ☉	25.4	21.8	0	0	0	0	2	0
20.aug	87.5	100.0	0.0	☉ ☉	25.4	22.5	0	0	0	0	2	0
21.aug	87.5	100.0	0.0	☉	24.9	21.8	0	0	0	0	2	0
22.aug	83.3	95.8	54.2	☉ ☉	21.3	19.7	0	0	0	0	1	0
23.aug	0.0	0.0	0.0	☉ ☉	19.9	18.9	0	0	0	0	0	0
24.aug	45.8	45.8	50.0	☉ ☉	20.5	19.4	0	0	0	0	0	0
25.aug	45.8	41.7	37.5	☉ ☉ ☉	21.0	19.9	0	0	0	0	0	0
26.aug	62.5	70.8	50.0	☉ ☉ ☉	20.9	20.5	0	0	0	0	0	1
27.aug	45.8	58.3	33.3	☉ ▲	19.5	18.4	0	0	0	0	0	1
28.aug	54.2	58.3	50.0	☉ ☉ ☉	20.9	21.7	0	0	0	0	0	0
29.aug	0.0	0.0	0.0	☉ ☉	22.5	23.0	0	0	0	0	0	0
30.aug	20.8	20.8	8.3	☉	22.5	23.0	0	0	0	0	0	0
31.aug	37.5	33.3	50.0	☉	20.6	19.6	0	0	0	0	0	0
snitt	37.9	42.9	21.2		23.1	21.5						
sum							0	0	11	0	34	5

Tabell B.8: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for september 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall Innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01.sep	0.0	0.0	0.0	☉ ☉	21.1	20.0	0	0	0	0	0	0
02.sep	66.7	79.2	79.2	☉ ▲	18.6	17.3	0	0	0	0	0	0
03.sep	0.0	16.7	58.3	☉ ☉	19.2	15.5	0	0	0	0	1	0
04.sep	75.0	75.0	62.5	☉ ▲	16.7	15.4	0	0	0	0	1	0
05.sep	50.0	62.5	66.7	☉ ▲	17.0	16.4	0	0	0	0	0	0
06.sep	20.8	25.0	41.7	☉ ▲	16.8	15.3	0	0	0	0	0	0
07.sep	0.0	0.0	0.0	☉ ▲	18.1	15.3	0	0	0	0	1	0
08.sep	8.3	12.5	37.5	☉ ▲	17.5	15.9	0	0	0	0	0	0
09.sep	0.0	0.0	0.0	☉	16.7	13.2	0	0	0	0	0	0
10.sep	0.0	0.0	0.0	☉	16.2	13.2	0	0	0	0	0	0
11.sep	37.5	41.7	20.8	☉ ☉	17.4	14.0	0	0	0	0	0	0
12.sep	62.5	66.7	75.0	☉ ▲	15.7	13.2	0	0	0	0	1	0
13.sep	20.8	25.0	37.5	☉	14.5	11.9	0	0	0	0	0	1
14.sep	0.0	0.0	0.0	☉ ▲	13.3	11.9	0	0	0	0	0	0
15.sep	50.0	54.2	50.0	☉ ▲	11.0	9.0	0	0	0	0	0	0
16.sep	79.2	83.3	58.3	☉ ☉ ▲	12.6	13.4	0	0	0	0	0	0
17.sep	25.0	29.2	25.0	☉ ☉	15.5	14.9	0	0	0	0	1	0
18.sep	0.0	0.0	0.0	☉ ☉	13.9	10.3	0	0	0	0	1	0
19.sep	0.0	0.0	0.0	☉	12.9	10.3	0	0	0	0	0	0
20.sep	0.0	0.0	0.0	☉	14.0	11.1	0	0	0	0	0	0
21.sep	12.5	16.7	20.8	☉	14.9	14.2	0	0	0	0	0	0
22.sep	0.0	0.0	0.0	☉ ☉	15.1	13.0	0	0	0	0	0	0
23.sep	0.0	0.0	0.0	☉ ☉	15.7	14.0	0	0	0	0	0	0
24.sep	0.0	0.0	0.0	☉	15.6	14.2	0	0	0	0	0	0
25.sep	0.0	0.0	29.2	☉	14.9	13.1	0	0	0	0	0	0
26.sep	0.0	0.0	25.0	☉	14.4	12.6	0	0	0	0	0	1
27.sep	0.0	0.0	8.3	☉	13.3	10.3	0	0	0	0	0	0
28.sep	0.0	0.0	29.2	☉ ☉	13.8	11.1	0	0	0	0	0	0
29.sep	54.2	54.2	83.3	☉ ▲	12.9	11.5	0	0	0	0	0	0
30.sep	20.8	20.8	45.8	☉	12.9	11.5	0	0	0	0	0	0
snitt	19.4	22.1	28.5		15.4	13.4						
sum							0	0	0	0	6	2

Tabell B.9: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for oktober 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01-Oct	25.0	45.8	50.0	● ▲	9.7	6.9	0	0	0	0	0	0
02-Oct	12.5	16.7	45.8	▲ ○	9.2	8.0	0	0	0	0	0	0
03-Oct	29.2	29.2	41.7	○	9.3	7.8	0	0	0	0	0	0
04-Oct	45.8	54.2	58.3	○	10.1	10.1	0	0	0	0	0	0
05-Oct	91.7	0.0	0.0	○	9.5	8.1	0	0	0	0	0	0
06-Oct	75.0	45.8	37.5	● ▲	10.4	9.9	0	0	0	0	0	0
07-Oct	87.5	87.5	87.5	● ▲	10.0	11.2	0	0	0	0	0	0
08-Oct	45.8	62.5	66.7	▲	11.5	11.3	0	0	0	0	0	0
09-Oct	54.2	54.2	0.0	● ▲	9.9	8.3	0	0	0	0	0	0
10-Oct	66.7	91.7	95.8	● ▲	8.3	7.1	0	0	0	0	0	0
11-Oct	12.5	12.5	12.5	○ ○	8.1	7.6	0	0	0	0	0	0
12-Oct	16.7	8.3	20.8	○	8.3	6.3	0	0	0	0	0	0
13-Oct	0.0	0.0	0.0	○	7.9	6.5	0	0	0	0	0	0
14-Oct	0.0	0.0	0.0	○	6.8	4.6	0	0	0	0	0	0
15-Oct	0.0	0.0	0.0	○	5.9	3.5	0	0	0	0	0	0
16-Oct	0.0	0.0	0.0	○	5.0	2.1	0	2	0	0	0	0
17-Oct	87.5	91.7	87.5	▲	5.5	4.8	0	0	0	0	0	0
18-Oct	58.3	70.8	87.5	▲ ○	9.0	11.2	0	0	0	0	0	0
19-Oct	4.2	4.2	0.0	○	8.5	9.1	0	0	0	0	0	0
20-Oct	8.3	8.3	0.0	○	5.1	3.0	0	0	0	0	0	0
21-Oct	8.3	8.3	0.0	○	4.1	3.8	1	0	0	0	0	0
22-Oct	100.0	100.0	0.0	○ ○	4.9	6.3	0	0	0	0	0	0
23-Oct	100.0	100.0	0.0	○	3.1	0.6	0	3	0	0	0	0
24-Oct	100.0	100.0	0.0	●	2.6	1.6	0	2	0	0	0	0
25-Oct	87.5	91.7	0.0	●	1.8	0.2	0	1	0	0	0	0
26-Oct	87.5	87.5	0.0	●	1.5	0.1	1	1	0	0	0	0
27-Oct	100.0	100.0	0.0	○	-1.0	-0.4	2	1	2	0	2	0
28-Oct	100.0	100.0	0.0	○ ○	-0.9	-1.8	2	1	0	0	0	0
29-Oct	100.0	100.0	0.0	○	0.8	0.7	3	0	0	0	0	0
30-Oct	100.0	100.0	37.5	●	0.8	0.7	3	0	0	0	0	0
31-Oct	100.0	100.0	100.0	▲	0.9	1.5	2	1	0	0	0	0
snitt	55.0	53.9	26.7		6.0	5.2						
sum							14	12	2	0	2	0

Tabell B.10: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for november 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01-Nov	100.0	100.0	75.0	●	4.0	5.6	0	0	0	0	0	0
02-Nov	100.0	100.0	16.7	○	3.7	3.5	0	0	0	0	0	0
03-Nov	58.3	91.7	12.5	○ ▲	1.3	0.4	1	2	0	0	0	0
04-Nov	100.0	100.0	70.8	●	0.1	-1.6	1	1	0	0	1	0
05-Nov	100.0	100.0	87.5	● *	-1.2	0.1	1	0	0	0	0	0
06-Nov	100.0	100.0	100.0	*	1.2	1.1	2	0	0	0	0	0
07-Nov	100.0	100.0	41.7	● ▲	2.5	2.5	0	0	0	0	0	0
08-Nov	100.0	100.0	62.5	●	3.7	4.2	0	0	0	0	0	0
09-Nov	100.0	100.0	100.0	▲	4.9	6.0	0	0	0	0	0	0
10-Nov	100.0	100.0	83.3	▲	5.0	5.3	0	0	0	0	0	0
11-Nov	100.0	100.0	100.0	▲	5.6	6.7	0	0	0	0	0	0
12-Nov	100.0	100.0	100.0	▲	5.6	6.3	0	0	0	0	0	0
13-Nov	100.0	100.0	62.5	● ▲	5.5	5.6	0	0	0	0	0	0
14-Nov	100.0	100.0	29.2	○, tåke	4.2	2.8	0	0	0	0	0	0
15-Nov	100.0	100.0	100.0	▲	5.0	5.3	0	0	0	0	0	0
16-Nov	100.0	100.0	100.0	● ▲	4.6	4.3	0	0	0	0	0	0
17-Nov	100.0	100.0	70.8	●	3.8	3.0	0	0	0	0	0	0
18-Nov	100.0	91.7	25.0	●	3.6	2.6	0	0	0	0	0	0
19-Nov	100.0	87.5	29.2	●	2.5	1.0	0	0	0	0	0	0
20-Nov	100.0	100.0	87.5	● *	0.2	1.0	2	0	0	0	0	0
21-Nov	100.0	100.0	100.0	* ○	1.5	2.1	1	0	0	0	0	0
22-Nov	12.5	16.7	16.7	●	1.8	0.2	0	2	0	0	0	0
23-Nov	91.7	91.7	0.0	● *	1.7	1.1	0	0	0	0	0	0
24-Nov	16.7	16.7	0.0	●	0.4	-1.3	2	1	0	0	0	0
25-Nov	16.7	16.7	0.0	● *	0.1	-1.2	2	0	0	0	0	0
26-Nov	100.0	100.0	4.2	●	-1.0	-2.8	1	0	0	0	0	0
27-Nov	100.0	100.0	100.0	○	-2.0	-4.3	0	0	0	0	0	0
28-Nov	100.0	100.0	100.0	○	-2.4	-5.1	0	0	0	0	0	0
29-Nov	100.0	100.0	100.0	●	-1.2	-2.3	0	0	0	0	0	0
30-Nov	100.0	100.0	100.0	*	-1.2	-2.3	0	0	0	0	0	0
snitt	89.9	90.4	62.5		2.1	1.7						
sum							19	6	0	0	1	0

Tabell B.11: TOW (%), væropplysning og temperaturregistreringer for desember 1997.

Dato	%tid strøm > 10 nA			observert vær	Middel temperatur		antall Innfrysninger		Temperatur diff.>=20		Temperatur diff.>=15	
	fjell1	fjell2	tak		fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft	fjell	luft
01-Dec	100.0	100.0	100.0	*	-0.2	-0.8	1	2	0	0	0	0
02-Dec	100.0	100.0	100.0	*	-0.4	-1.1	3	1	0	0	0	0
03-Dec	100.0	100.0	100.0	●	-0.4	-3.4	0	0	0	0	0	0
04-Dec	100.0	100.0	100.0	●	-2.0	-7.8	0	0	0	0	0	0
05-Dec	100.0	100.0	100.0	●	-1.9	-6.4	0	0	0	0	0	0
06-Dec	100.0	100.0	100.0	○	-0.9	-1.1	0	1	0	0	0	0
07-Dec	100.0	100.0	100.0	● ▲	-0.6	-0.8	1	0	0	0	0	0
08-Dec	100.0	100.0	100.0	● ▲	0.5	2.4	0	0	0	0	0	0
09-Dec	100.0	100.0	100.0	▲	3.5	4.9	0	0	0	0	0	0
10-Dec	100.0	100.0	100.0	▲	4.3	5.6	0	0	0	0	0	0
11-Dec	100.0	100.0	100.0	▲	3.3	3.4	0	0	0	0	0	0
12-Dec	100.0	100.0	54.2	● (4)	3.1	3.7	0	0	0	0	0	0
13-Dec	100.0	100.0	16.7	▲ *	2.3	1.9	0	0	0	0	0	0
14-Dec	100.0	83.3	8.3	○ ▲	1.4	1.1	0	1	0	0	0	0
15-Dec	25.0	45.8	0.0	○	0.8	-0.1	1	3	0	0	0	0
16-Dec	100.0	100.0	87.5	*	0.4	-0.3	0	0	0	0	0	0
17-Dec	100.0	100.0	100.0	▲	0.7	0.0	1	1	0	0	0	0
18-Dec	100.0	100.0	20.8	○	0.1	-1.6	2	0	0	0	0	0
19-Dec	100.0	100.0	0.0	○	-0.8	-2.9	0	0	0	0	0	0
20-Dec	100.0	100.0	0.0	▲	-2.1	-4.6	0	0	0	0	0	0
21-Dec	100.0	100.0	0.0	○	-1.2	-2.3	0	0	0	0	0	0
22-Dec	100.0	100.0	0.0	○	-0.7	-2.1	0	0	0	0	0	0
23-Dec	100.0	100.0	0.0	○	-1.4	-3.9	0	0	0	0	0	0
24-Dec	100.0	100.0	45.8	○ ▲	-1.4	-2.7	0	0	0	0	0	0
25-Dec	100.0	100.0	100.0	▲	-0.4	-0.6	0	1	0	0	0	0
26-Dec	100.0	100.0	87.5	▲	-0.2	0.7	1	1	0	0	0	0
27-Dec	100.0	100.0	0.0	▲	-0.5	-2.7	0	0	0	0	0	0
28-Dec	100.0	100.0	41.7	▲	-0.2	-1.9	1	0	0	0	0	0
29-Dec	91.7	91.7	91.7	▲	0.0	-1.0	0	0	0	0	0	0
snitt	97.1	97.3	60.5		0.2	-0.8						
sum							11	11	0	0	0	0

Vedlegg C

Tabeller over kjemiske analyser

Tabell C.1: Konsentrasjoner av NH_3 , SO_2 og NO_2 ($\mu g/m^3$) samt tørravsetning av Cl, Na og Mg (mg/m^2d).

Dato	Kolonnene merket med 1 og 2 gjelder parallellmålinger									Aerosolfelle (mg/m^2d)			
	Parallell målinger		Snitt	Parallell målinger		Snitt	Parallell målinger		Snitt	Cl	Na	Mg	Mrk.
	1	2	PD-IVLC (NH_3)	1	2	PD-IVLA (SO_2)	1	2	PD-IVLNaI (NO_2)				
11.-25.02.				6.54	6.54	6.54	30.4	36.7	33.55	3.55	2.1		
25.02.-11.03.				6.52	7.73	7.125	31.6	37.6	34.6	2.84	1.62		
11.-21.03.				6.95	13.43	10.19	9.8	13.9	11.85	0.99	0.65	0.06	
21.03.-08.04.				*)	3.53	3.53	19.5	22.8	21.15	1.62	0.89	0.09	*) Lå på bakken
08.-23.04				1.85	2.12	1.985	18.4	18.7	18.55	0.78	0.42	0.02	
23.04.-06.05.				2.2	2.82	2.51	20.6	20.7	20.65	0.36	0.18	0.01	
06.-20.05.	0.95	1.02	0.985	2.76	2.9	2.83	21.7	22.4	22.05	0.58	0.25	0.03	
20.05.-03.06.	0.77	0.83	0.8	1.65	2.03	1.84	9.4	14.7	12.05	0.67	0.34	0.04	
03.-17.06.	1.29	1.42	1.355	2.62	2.8	2.71	16.8	16.9	16.85	0.64	0.26	0.06	
17.06.-01.07.	1.22	2.44	1.83	1.68	2.06	1.87	18.1	19	18.55	0.72	0.45	0.05	
01.-15.07.	1.3	1.47	1.385	2.62	2.62	2.62	15	15.3	15.15	0.34	0.12	0.05	
15.-29.07.	1.24	1.36	1.3	2.8	2.99	2.895	17.4	17.4	17.4	0.29	0.09	0.03	
29.07.-12.08.	1.95	2	1.975	4.3	4.86	4.58	19.4	19.5	19.45	0.39	0.13	0.05	
12.-26.08.	2.19	2.2	2.195	3.36	3.36	3.36	23.7	23.8	23.75	0.46	0.15	0.04	
26.08.-09.09.	1.78	183	1.805	2.43	2.62	2.525	18.1	18.1	18.1	0.32	0.14	0.03	
09.-23.09.				3.9	2.8	3.3	20.6	20.5	20.5	0.41	0.15	0.03	
23.09.-07.10.				2.8	2.6	2.7	27.5	27.7	27.6	0.62	0.29	0.03	
07.-23.10.				2.6	2.1	2.4	25.5	25.5	25.5	0.28	0.28	0.04	
23.10.-04.11.				4.4	4.4	4.4	37.4	37.7	37.6	1.32	1.11	0.12	
04.-18.11.				2.5	2.9	2.7	25.1	25.0	25.0	0.41	0.24	0.01	S: 0,11(aerosolf.)
18.11.-02.12.				3.8	3.7	3.7	32.8	33.4	33.1	0.33	0.25	0.04	S: 0,25
02.-16.12.				3.6	3.4	3.5	32.0	32.0	32.0	0.74	0.52	0.04	S: 0,26
16.12.-06.01.				3.4	3.0	3.2	22.7	22.7	22.7	0.59	0.43	0.03	S: 0,13
Middel	1.41	1.62	1.51	2.80	2.87	2.83	22.33	23.56	22.95	0.84	0.48	0.04	

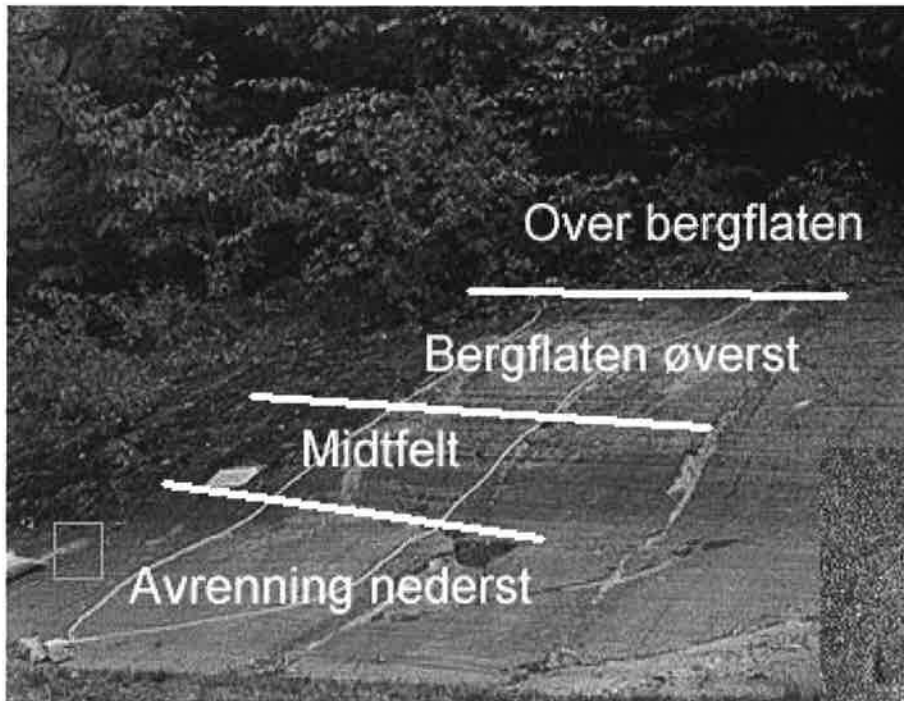
Tabell C.3: Nedbørmengde (mm), pH, ledningsevne (μS) og konsentrasjonen av diverse ioner i nedbøren ($\mu\text{g/ml}$) – Vei.

Dato	mm	pH	μS	Cl	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{SO}_4\text{-S}$	Na	K	Ca	Mg	$\text{NH}_4\text{-N}$	Mrk
11.-25.02.	38.3	6.07	371	106.15	0.51	1.51	70.28	4.12	2.03	0.46	0.54	Rusk i bøtta
25.02.-11.03.	0	6.07	37	7.42	0.22	0.77	4.24	0.58	1.40	0.33	0.24	Tørr bøtte
11.-21.03.	0	7.77	33	4.93	0.21	0.66	3.34	0.76	4.22	0.28	0.19	Tørr bøtte
21.03.-08.04.	0	6.23	403	81.00	3.64	12.4	38.04	20.55	17.46	3.48	3.52	Tørr bøtte
08.-23.04.	0	6.81	164	6.60	0	3.72	4.57	21.69	10.47	1.29	5.42	
23.04.-06.05.	13.1	5.9	101	4.20	0	2.01	2.63	13.72	7.07	1.13	0.90	
06.-20.05.	23.6	6.84	35	0.73	0.29	0.53	0.65	6.01	0.96	0.18	0.83	
20.05.-03.06.	9.9	6.55	67	3.43	0	1.25	1.51	13.53	3.26	0.58	0.13	Grønske?
03.-17.06.	0.1											
17.06.-01.07.	27.2	7.32	90	0.65	0.10	0.52	1.08	15.09	2.47	0.84	2.51	
01.-15.07.	8.3	6.12	32	1.19	0	0.86	0.63	6.11	2.37	0.42	0.44	
15.-29.07.	8.8	6.15	91	3.35	2.24	2.13	1.23	8.97	6.94	1.21	2.29	
29.07.-12.08.	12.9	5.89	57	4.52	0	1.12	1.53	9.43	3.67	0.66	0.94	
12.-26.08.	15.3	5.65	70	3.78	0	2.25	1.83	10.44	4.80	1.26	0.68	
26.08.-09.09.	43.5	5.99	35	1.78	0	1.02	0.72	7.81	2.14	0.37	0	
09.-23.09.	25.3	6.36	54	4.83	0	1.22	1.22	12.05	2.36	0.40	0.01	
23.09.-07.10.	15.4	5.70	98	7.94	0	2.15	2.27	19.07	6.23	0.89	0.01	Strøfall
07.-23.10.	41.1	6.53	49	6.65	0.20	1.25	0.63	9.93	2.92	0.41	0.70	
23.10.-04.11.	0											
04.-18.11.	22.0	6.22	60	4.42	0.74	1.95	1.18	11.88	3.04	0.71	0.27	
18.11.-02.12.	3.8	6.14	64	5.96	0	1.21	3.11	7.67	5.52	0.96	0	
02.-16.12.	7.2	6,20	35	2.53	0.51	1.23	1.17	3.80	2.80	0.50	0.84	Strøfall
16.12.-06.01.	14.4	5,78	73	12.99	0.88	1.76	8.06	4.26	2.18	0.32	0.49	
Veid middelverdi		6,10		15.95	0.27	1.33	9.49	9.57	3.04	0.58	0.65	
Sum	330,2											

I tiden 25.02. til 23.04. var det ikke nedbør. Nedbørsamleren er da tilsatt vann tilsvarende 3.2 mm nedbør. Dette vannet er så analysert på vanlig måte.

Tabell C.5: Spesielle feltforsøk. De fire midtre prøvetypene er fra vanningsforsøk, og de to andre prøvene er fra korte regnværsperioder.
Kons. i µg/ml.

Dato	Prøvetype	pH	µS	Cl	NO ₃ -N	SO ₄ -S	PO ₄ -P	Na	K	Mg	Ca	NH ₄ -N
26.-28.05.	Avr. fra nedbør	7.22	718	4.64	0	0.34	2.12	4.48	23.1	6.76	44.13	32.57
28.05.	Avr. Nederst	6.11	145	0.79	0	0	0.85	0.57	7.41	2.7	23.87	0.08
28.05.	" Midtfelt	6.36	237	0.77	0	0	1.13	0.98	8.21	3.87	30.41	1.14
28.05.	" Bergf. øverst	6.47	55	0.55	0.14	0.33	0.28	0.77	2.35	0.84	6.24	1.27
28.05.	" Over bergfl.	6.43	64	1.25	0.7	0.72	0.19	1.44	3.24	0.83	4.74	1.02
28.-29.05.	Avr. fra nedbør	6.44	46	1.19	0.03	0.6	0.08	1.23	4.2	0.77	4.07	0.36



Figur C.1: Skjematisk fremstilling av høydenivåene brukt under avvaskingsforsøk.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 22/98	ISBN 82-425-0973-5 ISSN 0807-7207	
DATO 3.7.98	ANSV. SIGN. <i>Eystein Hov</i>	ANT. SIDER 120	PRIS NOK 185,-
TITTEL Miljøovervåking av bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo		PROSJEKTLEDER Elin M. Dahlin	
		NILU PROSJEKT NR. O-97001	
FORFATTER(E) Elin M. Dahlin, Unni Elvedal, Jan F. Henriksen, Odd Anda, Johan Mattsson, Kjersti Iden og Göran Åberg		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Riksantikvaren Postboks 8196 Dep. 0034 OSLO			
STIKKORD Bergkunst	Miljøovervåking	Nedbrytning	
REFERAT Rapporten presenterer resultater av en miljøovervåking av bergkunstfeltet på Ekeberg, Oslo. Prosjektet har kartlagt og vurdert belastningen fra kjemiske, fysiske og biologiske nedbrytningsfaktorer. Resultatene viser at ristningen blir utsatt for forurensning fra lokale kilder som biltrafikk og oljefyring, i tillegg til innflytelse fra langtransportert luftforurensning. Vinterstid kan disse kildene gi økt konsentrasjon på grunn av inversjon. På grunn av salting av nærliggende vei vinterstid blir helleristningsfeltet utsatt for et unaturlig stort saltinnhold som kan føre til saltsprengning.			
TITLE Environmental Monitoring of the Rock Art Site at Ekeberg, Oslo, Norway.			
ABSTRACT This report presents the results of environmental monitoring of the Rock Art Site at Ekeberg, Oslo, Norway, where the influence of chemical, physical and biological degradation agents have been evaluated. The results show that the rock carvings at Ekeberg are at high risk since they, apart from the natural weathering, are exposed to deposition of road salt, emissions from nearby traffic, local and long range atmospheric pollution, and meteorological inversion effects during winter time.			

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