

FFI RAPPORT

AUTOMATISK VÆRSTASJON

HØIMYR Tor, STRØMMAN Eivind

FFI/RAPPORT-2001/05317

FFIE/775/119.2

Godkjent
Kjeller 22 september 2002

Stian Løvold
Forskningsjef

AUTOMATISK VÆRSTASJON

HØIMYR Tor, STRØMMAN Eivind

FFI/RAPPORT-2001/05317

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

| | | |
|---|---|----------------------------------|
| 1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2001/05317 | 2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED | 3) NUMBER OF PAGES 61 |
| 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/775/119.2 | 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE - | |
| 4) TITLE AUTOMATISK VÆRSTASJON An automatic weather station | | |
| 5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) HØIMYR Tor, STRØMMAN Eivind | | |
| 6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig) | | |
| 7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN: | | |
| a) <u>weather station</u> | a) <u>værstasjon</u> | |
| b) <u>meteorological parameters</u> | b) <u>meteorologiske parametre</u> | |
| c) <u>data logging</u> | c) <u>datalogging</u> | |
| d) <u>data transmission</u> | d) <u>dataoverføring</u> | |
| e) _____ | e) _____ | |
| THESAURUS REFERENCE: | | |
| 8) ABSTRACT Two nearly identical automatic weather stations have been constructed. They have been applied for establishing comprehensive meteorological databases, which have been used as foundations in modelling object and background signatures. The stations measure all relevant meteorological parameters: air temperature and humidity, long and short wave radiation (in and out), wind speeds and directions, precipitation (rain and snow), and finally underground temperatures. The sensors are connected to a data logger equipped with three multiplexers. Every 5 minutes over 50 meteorological parameters are logged, and once a day the logged data are transferred to FFI via telephone. The telephone connection makes it also possible to supervise and reprogramme the logger. The stations have been operating successfully over long periods of time, and they have proved to fulfil the purpose of delivering confident meteorological information. | | |
| 9) DATE 22. September 2002 | AUTHORIZED BY This page only Stian Løvold | POSITION Director of Research |

ISBN-82-464-0661-2

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

| | Side | |
|------------------|--|----|
| 1 | BAKGRUNN | 7 |
| 2 | KORT BESKRIVELSE AV VÆRSTASJONEN | 7 |
| 3 | DATALOGER | 8 |
| 3.1 | Datalogger Campbell CR10X | 8 |
| 3.2 | Sensorer koblet direkte til loggeren | 12 |
| 3.2.1 | Sensorer for lufttemperatur og relativ fuktighet: RHA1, SKH 2011 og T+RF | 12 |
| 3.2.2 | Vaisala Humitter 50Y Integrated Humidity and Temperature Transmitter | 14 |
| 3.2.3 | Geonor nedbørmåler T-200B | 14 |
| 4 | LOGGERENS EKSTERNE KOMPONENTER | 15 |
| 4.1 | Campbell AM416 Relay Multiplexer | 15 |
| 4.2 | Sensorer koblet til AM416: | 17 |
| 4.2.1 | Campbell Temperature Probe 107 | 17 |
| 4.2.2 | Campbell Windvane W200P | 17 |
| 4.2.3 | Campbell Wetness Sensing Grids 237 | 18 |
| 4.2.4 | Eppley Precision Infrared Radiometer Model PIR (Pyrgeometer) | 19 |
| 4.3 | Campbell AM25T Solid State Multiplexer | 20 |
| 4.4 | Sensorer koblet til AM25T | 21 |
| 4.4.1 | Termoelementer type T | 21 |
| 4.4.2 | Kipp & Zonen Pyranometer CM21 | 22 |
| 4.5 | Campbell SDM-SW8A Switch Closure Input Module | 24 |
| 4.6 | Sensorer koblet til SDM-SW8A | 24 |
| 4.6.1 | Vector Instruments A100R Switching Anemometer | 24 |
| 5 | DATAKONTROLL OG -OVERFØRING | 25 |
| 5.1 | Kommunikasjon | 25 |
| 5.1.1 | Oversikt | 25 |
| 5.1.2 | Over telefonnett og til lokal PC | 26 |
| 5.1.3 | Via GSM-nett | 27 |
| 5.2 | Nedlasting og presentasjon av data på Kjeller | 28 |
| 6 | STRØMFORSYNING | 30 |
| 7 | OPPSUMMERING | 32 |
| APPENDIKS | | |
| A | BEREGNINGER OG PROGRAMMER | 33 |
| A.1 | Om loggerprogrammet | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| A.2 | Hovedprogrammet | 33 |
| A.3 | Program for styring av AM416 | 36 |
| A.4 | Program for styring av AM25T | 37 |
| A.5 | Program for styring av SDM-SW8A | 38 |
| A.6 | Lufttemperatur og -fuktighet | 38 |
| A.6.1 | For Delta-T RHA1, Skye SKH 2011 og Hoffmann T+RF | 38 |
| A.6.2 | For Vaisala 50Y | 41 |
| A.7 | Nedbørmengde | 42 |
| A.8 | Lufttemperatur | 43 |
| A.9 | Vindretning | 44 |
| A.10 | Overflatefuktighet | 45 |
| A.11 | Langbølget stråling | 46 |
| A.12 | Bakke- og overflatetemperatur | 49 |
| A.13 | Kortbølget stråling | 50 |
| A.14 | Vindhastighet | 51 |
| B | TILKOBLINGER | 53 |
| B.1 | Datalogger Campbell CR10X | 53 |
| B.2 | Campbell AM416 Multiplexer | 54 |
| B.3 | Campbell AM25T Solid State Multiplexer | 55 |
| B.4 | Campbell SDM-SW8A Switch Closure Input Module | 55 |
| C | TEKNISKE SPESIFIKASJONER | 56 |
| C.1 | Datalogger og multipleksere | 56 |
| C.2 | Meteorologiske instrumenter | 56 |
| | Litteratur | 60 |
| | Fordelingsliste | 61 |

AUTOMATISK VÆRSTASJON

1 BAKGRUNN

Som en vesentlig del av prosjekt 775 ”Termisk signatur fra objekt og bakgrunn” (1) ble det konstruert to automatiske målestasjoner (2). Hver målestasjon består av to adskilte deler: en værstasjon for måling av meteorologiske parametre og en radiometrisk stasjon for måling av termiske signaturer (3). Målestasjonene skulle gi datagrunnlag for utvikling av modeller for beregning av hvordan de termiske signaturer for forskjellige bakgrunnstyper og objekter varierte med døgnet og med forskjellige værforhold. Målingene skulle i tillegg benyttes til å verifisere modellene.

Den ene målestasjonen er plassert på Rygge hovedflystasjon og den andre på Bardufoss flystasjon. Det er forberedt flytting av den ene stasjonen fra Rygge til Ørland hovedflystasjon. Målestasjonene har vært i praktisk talt kontinuerlig drift fra hhv november 2000 og juli 2001, og de planlagte målingene har til fulle svart til forventningene idet de har gitt de nødvendige inngangsdata for modelleringen.

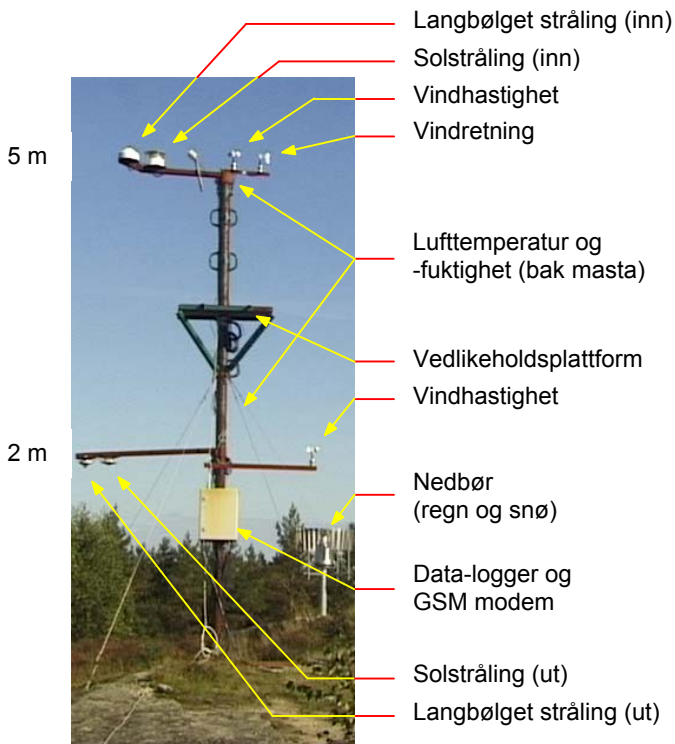
De to værstasjonene i målestasjonen er praktisk talt identiske. Den vesentligste forskjellen ligger i antall og typer meteorologiske instrumenter som er montert. I denne rapporten vil den ene værstasjonen bli beskrevet, og der det er vesensforskjeller mellom de to, vil disse forskjellene bli spesielt omtalt.

2 KORT BESKRIVELSE AV VÆRSTASJONEN

Værstasjonen består i korthet av en rekke standard meteorologiske instrumenter koblet til en datalogger som igjen er tilkoblet et GSM-modem for overføring av data.

De meteorologiske instrumentene er valgt for å kunne måle de parametre som har innflytelse på termisk signatur til objekter og relevante bakgrunnelementer. Parametre som måles er lufttemperatur og -fuktighet, vindstyrke og -retning, inn- og utgående stråling (kort- og langbølget), nedbør, overflatefuktighet og temperaturen i bakken. En vesentlig del av instrumentene er montert i en spesialkonstruert mast som vist i figur 2.1. Som en ser av figuren måles noen av parametrene i forskjellige høyder. I tillegg er det plassert en rekke sensorer rundt i terrenget – f eks måles vindstyrke og temperatur flere steder nede ved bakken. Fullstendig beskrivelse av de enkelte sensorene er gitt i (2) og de viktigste spesifikasjoner er listet i appendiks C.2.

Dataloggeren, som er hjernen i værstasjonen, sitter i et værtett skap på meteorologimasten (figur 2.1). Dataloggeren er programmert til å samle inn signaler fra de enkelte sensorene og omgjøre dem til meteorologiske verdier for deretter å lagre dem. Loggeren, som er beskrevet i kapittel 3,



Figur 2.1 Meteorologi-masten med sensorer (Rygge)
Nedbørmåleren i bakgrunnen

sørger også for å overføre data over telefon til FFI. Det var nødvendig å utstyre dataloggeren med eksterne enheter (multipleksere) for å få tilstrekkelig antall inn- og utganger. I tillegg har hver av disse enhetene spesielle egenskaper som gjør dem bedre egnet for de enkelte instrumenter. Multiplekserne med sine tilkoblede instrumenter er beskrevet i kapittel 4 og de tekniske spesifikasjoner er gitt i appendiks C.1. Fordi signalene fra de enkelte sensorer kan være av helt forskjellig karakter, er tilkobling til loggeren med multipleksere ikke triviell og programmeringen for konvertering til meteorologiske parametre omfattende.

Sammen med dataloggeren og dens periferiutstyr er montert en GSM-

modul. I skapet er også en batterilader og et batteri. Målestasjonen vil dermed kunne flyttes hvor som helst bare det er dekning i GSM-nettet og tilgang på nettspenning (230V). I områder med dårlig GSM-dekning vil værstasjonen kunne knyttes til det vanlige telefonnettet via et modem. Batteriet har kapasitet til å holde værstasjonen i drift et par uker, hvis strømmen skulle forsvinne. Målestasjonen kunne også vært drevet med strøm fra et solcellepanel under andre himmelstrøk.

Den lokale hukommelsen i dataloggeren har begrenset kapasitet og det er derfor kun plass til måledata for noen døgn i selve loggeren. Måledataene blir av den grunn lest ned til Kjeller en gang i døgnet, via den innebygde GSM-modulen. GSM-linjen gjør det også mulig å lese av instrumentene i nær sann tid på en PC på Kjeller. Samtidig er det mulig å overvåke tilstanden til værstasjonen samt foreta endringer i dataloggerens program. Dataoverføring og -lagring samt kontroll av loggerens status er beskrevet i kapittel 5.

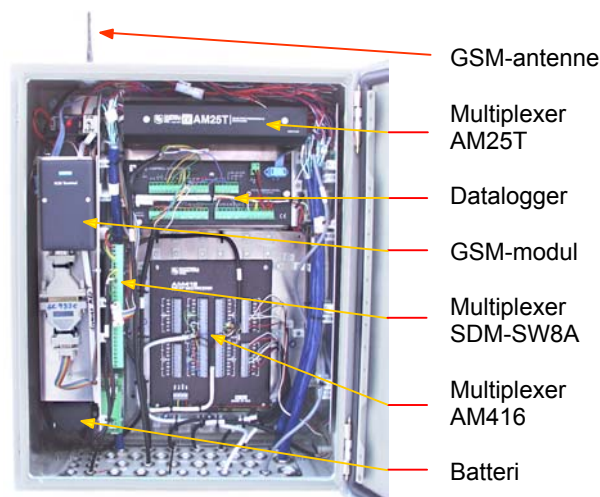
3 DATALOGGER

3.1 Datalogger Campbell CR10X

CR10X er en programmerbar datalogger med innebygd hukommelse og batteri-drevet klokke. Loggeren er et robust måle- og kontrollsystem, laget for å kunne måle kontinuerlige over lang tid. Det hele er innebygd i en liten forseglet stålbeholder med et avtagbart tilkoblingspanel.

Enheten måler signaler fra sensorer, kontrollerer eksterne enheter og kommuniserer via direkte linje eller telefonlinje. De eksterne enheter (multiplexere) som ble valgt, er SDM-SW8A, AM25T og AM416 (alle fra Campbell). Disse er beskrevet i kapittel 4, og plasseringen i datalogger-skabet er vist i figur 3.1

Dataloggeren har en rekke inn- og utganger som blir beskrevet nedenfor (jfr figur 3.2 og figur 3.3).

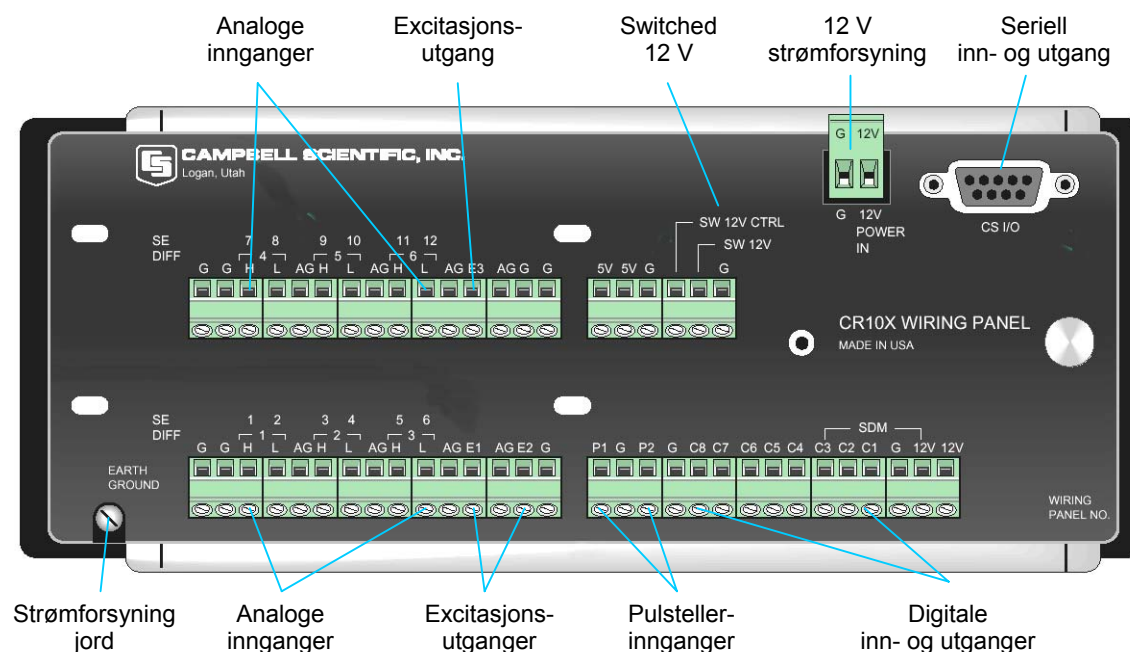


Figur 3.1 Datalogger-skap med innhold

Analoge innganger (6 stk). Inngangene kan brukes som differensielle og er merket med nummer fra 1 til 6, og bokstavene H og L som angir høy og lav. Inngangene kan alternativt brukes som 12 single-ended innganger, og er derfor også merket med nummer fra 1 til 12. Programmet bestemmer om en inngang skal brukes som differensiell eller single-ended.

Exitasjonsutganger (3 stk). Ved en del målinger, for eksempel av motstand og brokoblinger, er det behov for en kjent referanse- eller drivspenning (excitasjonsspenning). Utgangene er bare aktive under selve målingen og spenningen settes med samme instruksjon som utfører målingen.

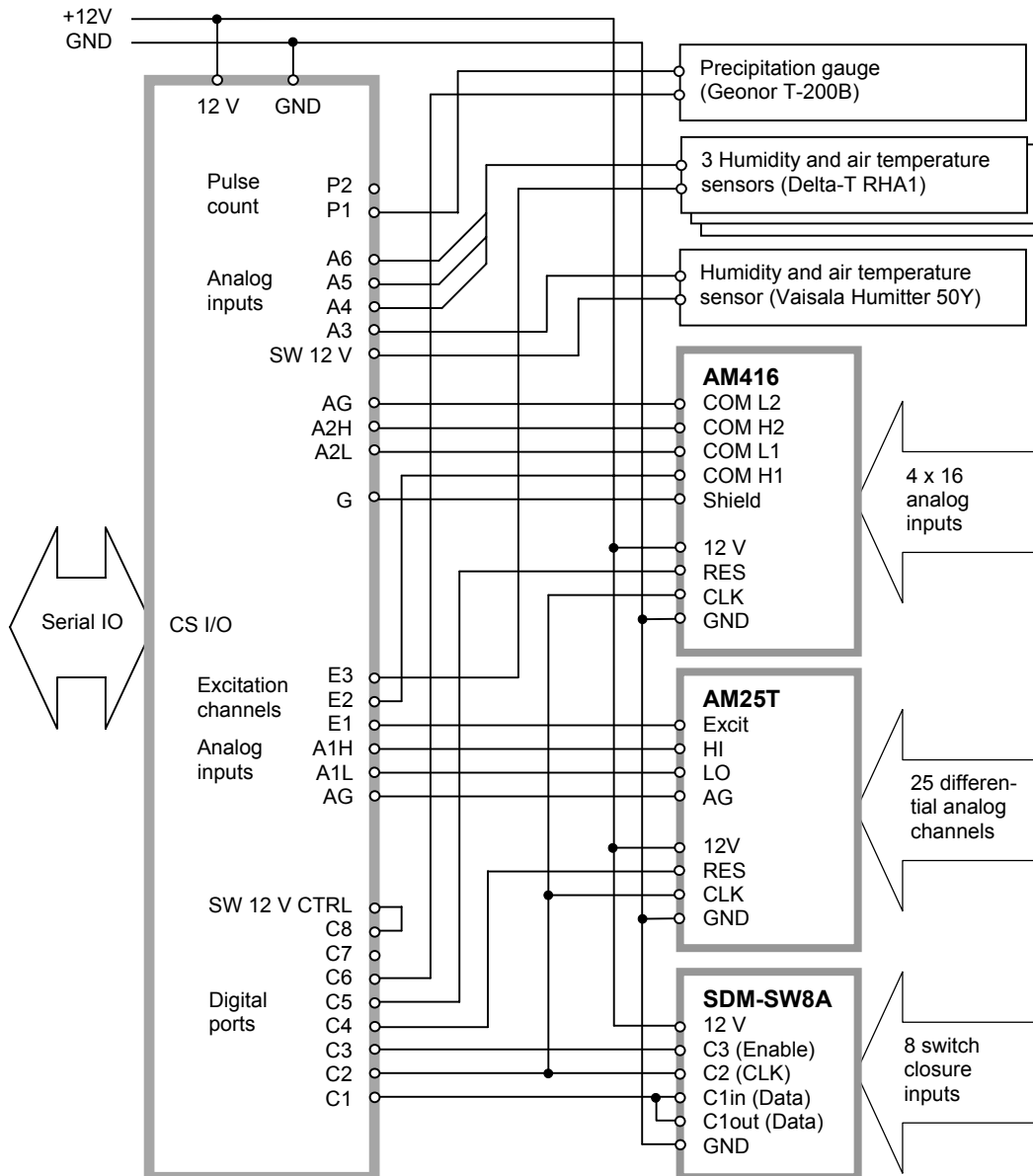
Digitale porter (8 stk). Disse kan konfigureres som inn- eller utganger. De brukes som kontrollporter for kommunikasjon med de eksterne enheter og for å skru av og på strømforsyningen til enkelte av måleinstrumentene.



Figur 3.2 Koblingspanel til CR10X (jfr figur 3.3)

Pulstellerinnganger (2 stk). Dette er 8-bits tellere som kan kobles sammen til en 16-bits teller.

Serieport (1 stk). Porten brukes for å koble dataloggeren til en PC for programmering og nedlasting av data. Serieporten følger ikke RS232 standard når det gjelder spenningsnivåer og det må derfor benyttes en omformer (interface) mellom PCens RS232-linje og loggeren – se avsnitt 5.1.



Figur 3.3 Datalogger Campbell CR10X med eksterne komponenter

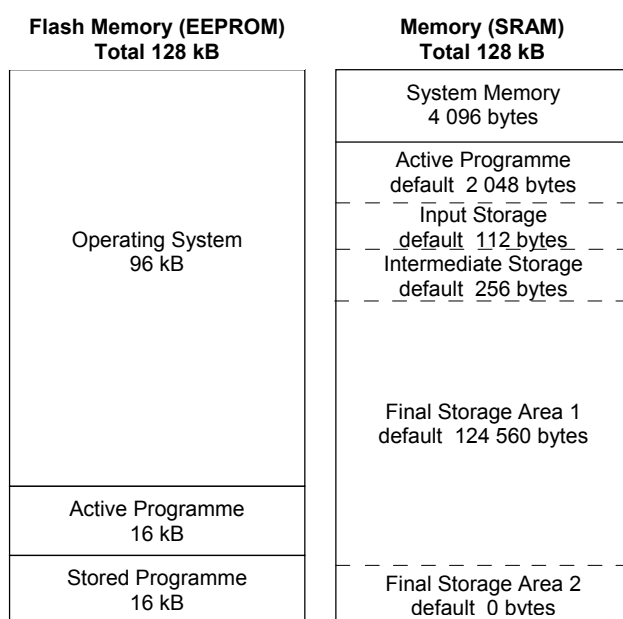
Datalogger inn- og utganger (jfr figur 3.2):

- P1 – P2 Pulsteller-innganger
- A1 – A6 Analoge innganger (single ended eller balanserte)
- E1 – E3 Excitasjons-utganger
- C1 – C8 Digitale inn- og utganger
- G Strømforsyning jord
- AG Signalgjord
- Serial IO Seriell inn- og utgang (ikke standard RS232 nivåer)

CR10X er utstyrt med et multitasking operativsystem som tillater samtidig målinger og kommunikasjon. Den inneholder også et omfattende sett av kraftige instruksjoner for prosessering, matematiske beregninger og programkontroll. Dataloggeren kan programmeres slik at den kan brukes sammen med omtrent hvilken som helst sensor. Ytterligere beskrivelse av programmet og programmene for de enkelte sensorer er gitt i appendiks A.

For å programmere dataloggeren benyttes Campbell PC208W, som er et Windows-basert utviklingsmiljø. Programmet skrives og feilsjekkes på PCen, deretter kompiles det og sendes til dataloggeren. PC208W kan også brukes for å overføre data fra værstasjonen via telefonlinje til en PC på FFI. I tillegg er det mulig fra FFI å kontrollere tilstanden til værstasjonen, lese av instrumentene ”live” samt å foreta endringer i loggerens program (se kapittel 5).

Dataloggeren har et 128 kB elektronisk slettbart programminne (EEPROM) og et 128 kB statisk minne (SRAM). Operativsystemet og programtabellen lagres i EEPROM, mens SRAM brukes for datalagring og for å kjøre programmet. Den totale størrelsen på SRAM kan ikke endres, men grensene mellom inndelingen i minnet kan flyttes avhengig av behovet – som antydnet med de stiplede linjene i figur 3.4



Figur 3.4 Oversikt over dataloggerens interne minne

Resultatet av målinger og beregninger plasseres midlertidig i Input Storage. Intermediate Storage brukes av noen prosesserings-instruksjoner til midlertidig lagring av data. De ferdig behandlede data lagres i Final Storage hvor de blir liggende til de leses ut. Datalagringskapasiteten med vår instrumentering og program er begrenset til ca 3 døgn (75 timer). Hvis minnet blir fullt slettes de eldste data først. Måledataene blir av den grunn lest ned en gang i døgnet over telefonlinje til en PC på Kjeller for permanent lagring. Målefrekvensen for de forskjellige instrumentene er gitt i appendiks A.1

Sensorer koblet direkte til loggeren:

- Delta-T Devices RHA1
- Skye Instruments SKH 2011
- Hoffmann Meßtechnik T+RF
- Vaisala Humitter 50Y
- Geonor nedbørmåler T-200B

Periferutstyr koblet til logger:

- AM416 Relay Multiplexer
- AM25T Solid State Multiplexer
- SDM-SW8A Switch Closure Input Module

Tilkoblingene er vist i appendiks B.1, tekniske spesifikasjoner er gitt i appendiks C.1.

3.2 Sensorer koblet direkte til loggeren

3.2.1 Sensorer for lufttemperatur og relativ fuktighet: RHA1, SKH 2011 og T+RF

Som en følge av samarbeidet med FGAN-FOM er det på de to målestasjonene montert tre typer sensorer for måling av relativ fuktighet og lufttemperatur. På Målestasjon 1 (pt Rygge) er benyttet 3 stk RHA1 fra Delta-T Devices Ltd, og på Målestasjon 2 (pt Bardufoss) er montert 2 stk SKH 2011 fra Skye Instruments Ltd og 1 stk T+RF fra Hoffmann Meßtechnik GmbH. De tre instrumentene virker etter de samme prinsipper og er konstruert på omtrent samme måte. De behandles derfor samlet i dette avsnittet.

Hvert instrument består av en temperatursensor og en sensor som måler relativ fuktighet. Disse er bygget inn i en felles åpen sylindrisk probe. Proben passer i en strålings-skjerm som beskytter sensorene mot direkte solstråling og regn. Strålingsskjermen er belagt med hvit høyreflekterende epoxymaling for å redusere soloppvarmingen. Sensorene er avbildet i figur 3.5 hvor tilkoblingen til dataloggeren også er vist.

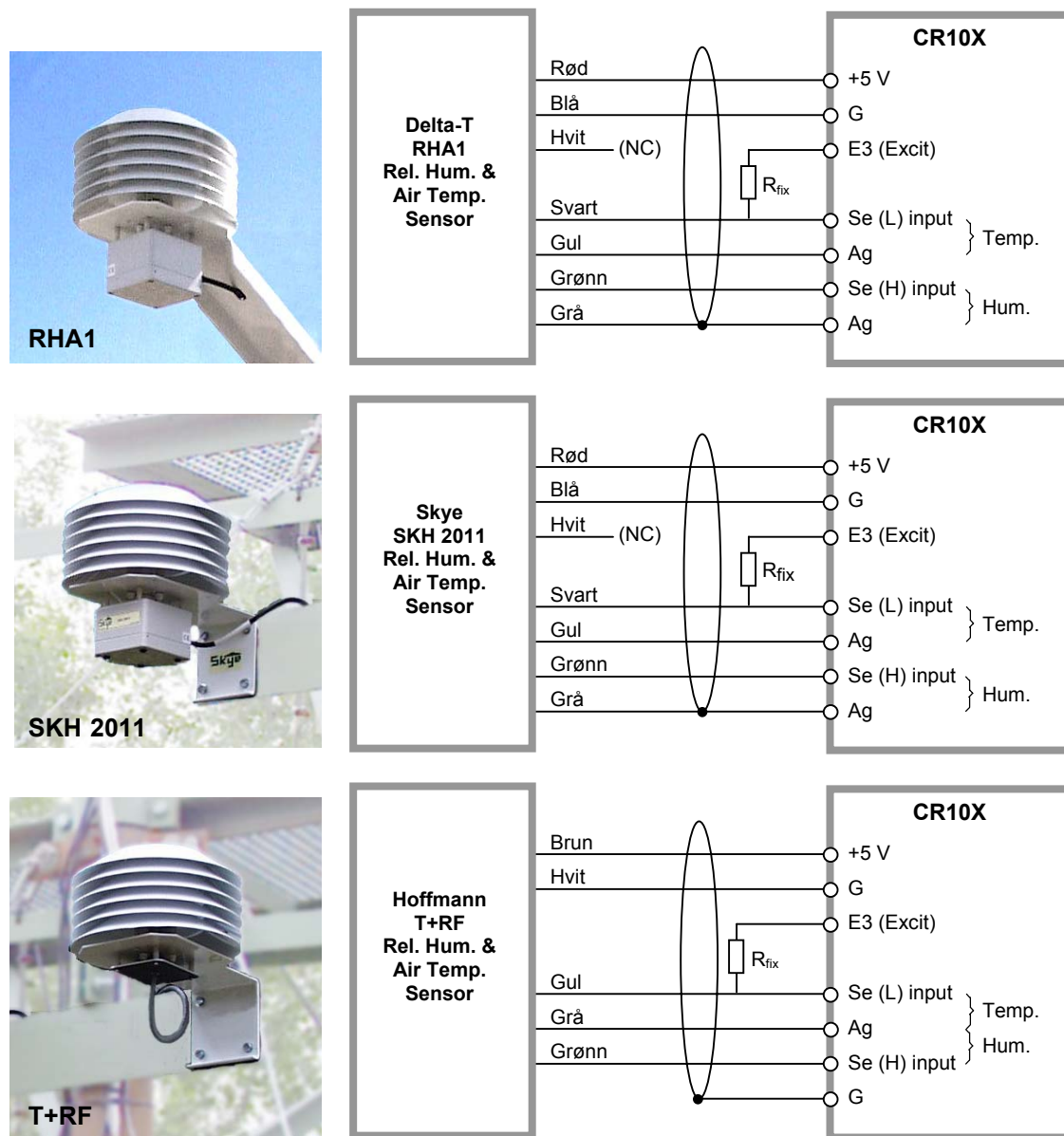
Lufttemperaturen måles med en hermetisk forseglet termistor. Når omgivelses-temperaturen endres, endres også termistorens elektriske motstand. Det er brukt termistorer med standardiserte karakteristikk, og dette gir mulighet for å bytte temperaturprobe i et instrument uten å måtte recalibrere systemet.

Ved å benytte termistoren som en del av en brokobling, kan en få ut et signal på flere millivolt, i motsetning til mikrovolt for termoelementer. Ut fra dette signalet beregnes termistorens motstandsverdi, og dermed kan omgivelsestemperaturen bestemmes. Termistorens motstandsverdi, R_t , beregnes ut fra følgende formel:

$$R_t = R_{\text{fix}} \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{excit}} - U_{\text{out}}} \quad (3.1)$$

hvor U_{out} er utgangssignalet, R_{fix} er en fast referansemotstand i brokoblingen, og U_{excit} er excitasjonsspenningen over broen. Excitasjonsspenningen er 100 mV for alle tre sensorene, mens R_{fix} er 68 k Ω for RHA1 og 250 k Ω for SKH 2011 og T+RF. Referansemotstanden og excitasjonsspenningen er valgt slik at gyldig temperaturområde blir fra -20 til $+30$ °C.

Når termistorens motstandsverdi er kjent, kan temperaturen bestemmes ut fra standardkurver gitt for hver enkelt termistor. Dette er utførlig beskrevet sammen med programmet i appendiks A.6.1.



Figur 3.5 Fuktighets- og temperaturmålerne og deres kobling til dataloggeren

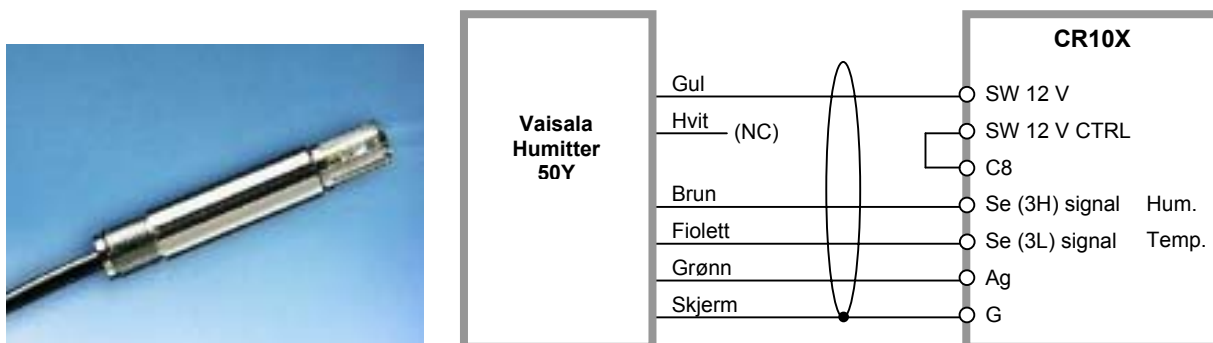
Relativ fuktighet måles ved hjelp av en sensor som består av ”cracked chromium oxide”. Denne har en kapasitans som er følsom for endringer i luftfuktigheten. En elektronisk krets i bunnen av sensoren konverterer sensorens kapasitans til en spenning som har en lineær sammenheng med relativ fuktighet (se appendiks A.6.1).

Hvis proben utsettes for relativ fuktighet over 97%, kan kondensering inntreffe på sensoren. Dette øker parallellkapasitansen og fører til at utlesningene ikke lenger vil ha en nøyaktighet på 2%. Over 98 %RH kan instrumentet feilutslag på 4 %RH. Slik kondensering vil ikke ødelegge føleren, men det kreves en periode med lavere relativ fuktighet for å tørke sensoren.

3.2.2 Vaisala Humitter 50Y Integrated Humidity and Temperature Transmitter

Denne sensoren er benyttet for å overvåke temperatur og fuktighet i rommet hvor PC og annet datautstyr er plassert. Krav til nøyaktighet er derfor ikke stort, og den billigere sensoren 50Y ble valgt for dette formålet. Sensoren virker etter andre prinsipper enn de som er beskrevet i avsnittet foran. Den benytter en 1000 Ω PRT (platinum resistance thermometer) for å måle temperatur og en Vaisala Intercap kapasitiv fuktighetssensor for å måle relativ fuktighet. Sensor-karakteristikkene for Vaisalas Intercap fuktighetssensorer er så like at sensoren kan skiftes uten at proben trenger å kalibreres på nytt. Den har en meget lineær, aktiv utgang (0 – 1 V) for temperaturområdet -40 til $+60$ °C, og for relativ fuktighet fra 0 til 100%.

Temperatur og relativ fuktighet beregnes direkte ut fra de målte utgangsspenninger som beskrevet i appendiks A.6.2.



Figur 3.6 50Y fuktighets- og temperaturmåler og dens kobling til dataloggeren

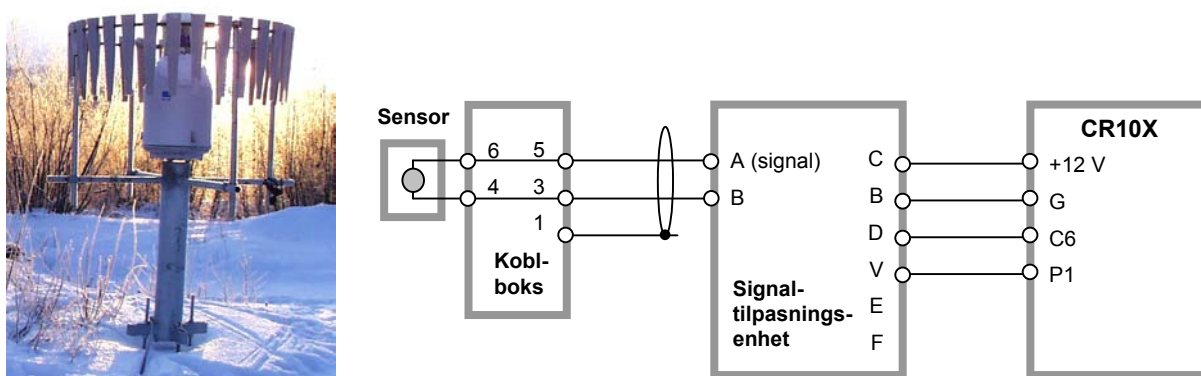
Sensoren strømforsynes fra dataloggerens styrte 12 V utgang. For å spare strøm når målestasjonen går på batteri, blir sensoren slått på rett før en måling og så av igjen etter at målingen er avsluttet. Til dette brukes den styrte 12 V ("Switched 12 V") terminalen på loggeren. Ved å koble en kabel fra en digital I/O-port (C8) til kontroll-terminalen for styrt 12 V, kan strømforsyningen til sensoren styres fra denne I/O-porten – se figur 3.3.

3.2.3 Geonor nedbørmåler T-200B

Nedbørmåleren er konstruert for helårs automatisk innsamling av nedbørdata. All nedbør, også snø, samles opp i en standard 12 l bøtte som veies. Bøtta henger i tre fleksible oppheng hvorav det ene er koblet direkte til veiesensoren – en elektrisk svingende streng. Strengens frekvens er en funksjon av belastningen og dermed nedbørmengden i bøtta. Frekvensen måles, og ut fra kalibreringsdata kan nedbørmengden i cm beregnes som beskrevet i appendiks A.7.

Da en ujevn belastningsfordeling av måleoppheget kan gi store målefeil er nedbørmåleren solid fundamentert og måleren nøyaktig nivellert. Nedbørmåleren monteres slik at inntaksåpningen ligger minimum 50 cm over forventet maksimal snødybde. En vindskjerm rundt bøtta sørger for en jevn horisontal vindstrømming over måleinntaket.

Ved måling i kuldegrader må frostvæske brukes for å smelte snø som er falt i bøtta og for å



Figur 3.7 Nedbørmåleren koblet til dataloggeren CR10X

forhindre at vannet fryser. En blanding av etylen-glykol og metanol er brukt, og mengden er tilpasset forventet temperatur. Væsketap pga fordampning er redusert ved at det er tilsatt 0.4 l tynn olje både vinter og sommer. For å unngå å overbelaste sensoren anbefales det ikke å flytte bøtta når den skal tømmes, men heller benytte en hevert eller en håndpumpe.

Signalene fra sensoren (den svingende strengen) kobles til en signaltilpasningsenhet i dataloggerskapet. Utgangen fra enheten går direkte til en av dataloggerens pulstellerinnnganger

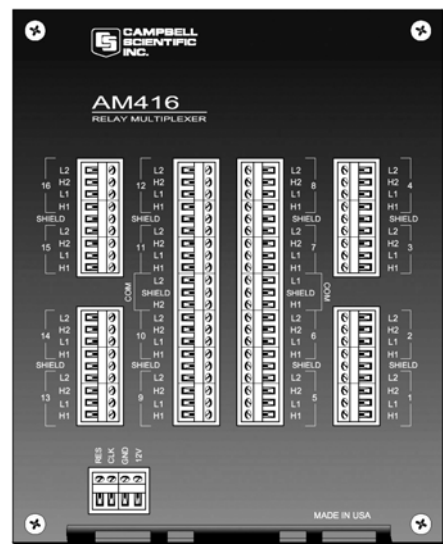
Nedbøren måles en gang i timen mot hvert femte minutt for de andre instrumentene. Dette for å spare veiestrengen. Mellom målingene er strømforsyningen til veiestrengen slått av. Den skrues først på noen minutter før hver måling og av igjen etter at målingen er avsluttet. Spenningen må være på i noen minutter før måling slik at måleren rekker å bli stabilisert. Nedbørmåleren skrues av og på med en av dataloggerens digitale utganger (C6).

4 LOGGERENS EKSTERNE KOMPONENTER

4.1 Campbell AM416 Relay Multiplexer

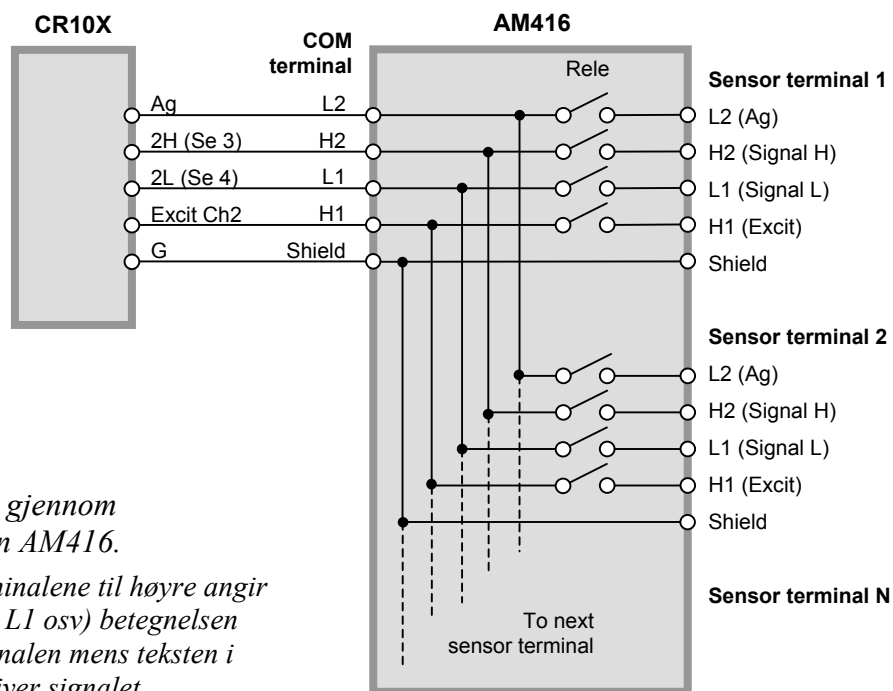
AM416 plasseres mellom datalogger og sensorer, og benyttes for å øke antall innganger til dataloggeren. Multiplexeren består av et antall mekaniske releer som kobler signal fra sensorene gjennom systemet til loggeren. Fire linjer kobles samtidig. Multiplexeren har 16 kanaler slik at maksimalt 16 sett av 4 linjer kan bli skannet. Inngangene kan konfigureres som single-ended eller differensielle, og dermed kan AM416 tilpasses en rekke ulike sensorer.

Figur 4.2 viser signalgangen gjennom multiplexeren. Her er bare signal-lederne tatt med, i tillegg finnes kontrollsignaler og strømforsyning som vist i figur 3.3. Som figuren viser er AM416 koblet til dataloggerens port 2, og betegnelsene 2H og 2L på dataloggeren angir høy og lav signalinngang når port 2 er i differensiell modus. Porten kan alternativt brukes som to anlaoge single-ended porter og kalles da singel-ended port 3 og 4 (Se 3 og Se 4).



Figur 4.1 Campbell AM416 Relay Multiplexer

Reset-inngangen (RES) på AM416 er koblet til kontrollport C5 på dataloggeren (jfr figur 3.3). Reset-inngangen bestemmer om AM416 er i aktiv eller passiv modus. I passiv modus (hvilemodus) er strømforbruket bare en brøkdel av forbruket i aktiv modus. For å spare strøm setter datalogger-programmet AM416 i passiv modus mellom målingene ved å legge denne kontrollporten lav. Under måling leses inputkanalene sekvensielt ved at dataloggeren sender pulser på kontrollport C2 som er koblet til klokkeinngangen (CLK) på AM416 (vist i figur 3.3).



Figur 4.2 Signalgangen gjennom multiplekseren AM416.

For sensorterminalene til høyre angir første ord (H2, L1 osv) betegnelsen angitt på terminalen mens teksten i parentes beskriver signalet.

Sensorer koblet til AM416:

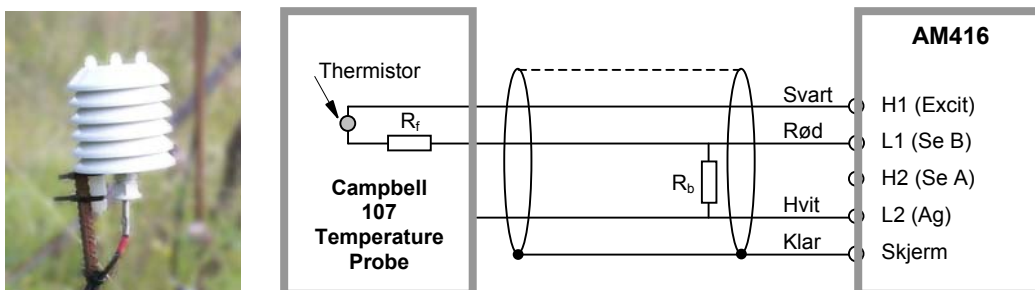
- Campbell Temperatur Probe 107
- Campbell Windvane W200P,
- Campbell Wetness Sensing Grid 237
- Eppley Precision Infrared Radiometer Model PIR

Tilkoblingene er vist i appendiks B.2, og tekniske spesifikasjoner er gitt i appendiks C.1.

4.2 Sensorer koblet til AM416:

4.2.1 Campbell Temperature Probe 107

Campbell Temperature Probe 107 er en generell temperaturprobe beregnet for bruk i luft, bakke og vann. Proben er designet for å måle temperaturer i området $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selve sensoren er en termistor med en standardisert karakteristikk. For måling av lufttemperatur er probene påmontert strålings skjold (Campbell T351 Radiation Shield) som vist i figur 4.3.



Figur 4.3 Temperaturproben med strålings skjold koblet til Campbell AM416 multiplexer $R_f = 249\text{ k}\Omega$ og $R_b = 1\text{ k}\Omega$ – begge med 0.02% toleranse

Total nøyaktighet for proben er en kombinasjon av nøyaktigheten i termistoren og bro-motstandene, presisjonen til lineariseringspolynom-beregningene og digitaliseringen. I et "worst case" får vi en nøyaktighet på $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ over et temperaturområde fra -20 til $+48\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperaturberegninger med tilhørende program er gitt i appendiks A.8.

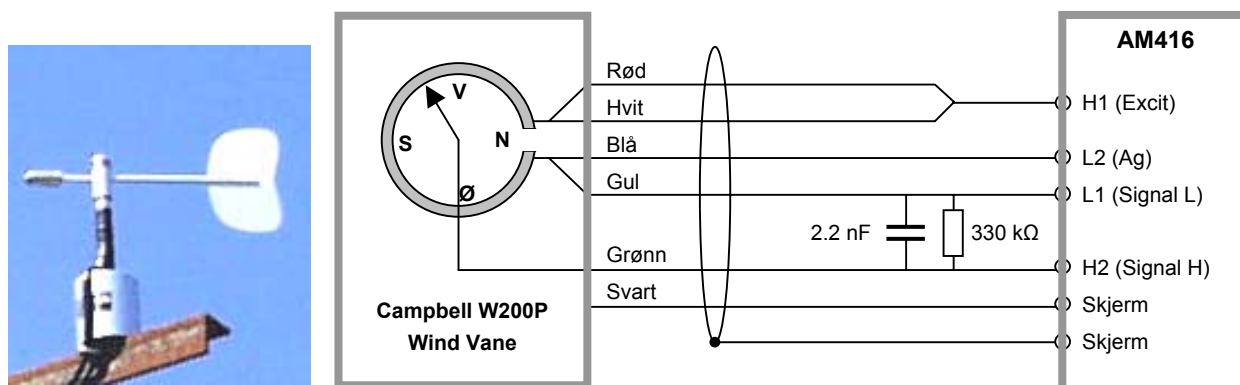
4.2.2 Campbell Windvane W200P

Instrumentet, som brukes til å måle vindretning, benytter et trådviklet presisjonspotentiometer som vinkelgirer. Potentiometeret har lav dreiemotstand forbundet med lang brukstid og pålitelighet. Selv om vindfanen dreier lett ved lave temperaturer, har noen av instrumentene en egen varmekilde for å redusere dreiemotstanden ytterligere og for å forhindre fastfrysing.

Vindfanen kan dreie hele 360 grader. Når vinden blåser fra syd er wiperen halvvegs rundt potentiometer-banen. I nord er det en liten dødsoner som indikert i figur 4.4. Denne er 2.3 grader.

Instrumentet har ikke innebygget noen form for signalfiltrering, og det brukes derfor et eksternt filter bestående av en motstand og en kondensator i enden av kabelen ved tilkoblingen til AM416. Motstanden er med på å forhindre at sensoren plukker opp støysignaler når wiperen passerer dødsonen.

Instrumentet får tilført en referanse-spennning over rød og blå terminal. Fallet i signalspenningen er redusert ved at både rød og hvit leder er parallellkoblet. For de kabellengder mellom AM416 og instrumentet som brukes på våre stasjoner er spenningsfallet neglisjerbart.



Figur 4.4 Vindfanen koblet til Campbell AM416

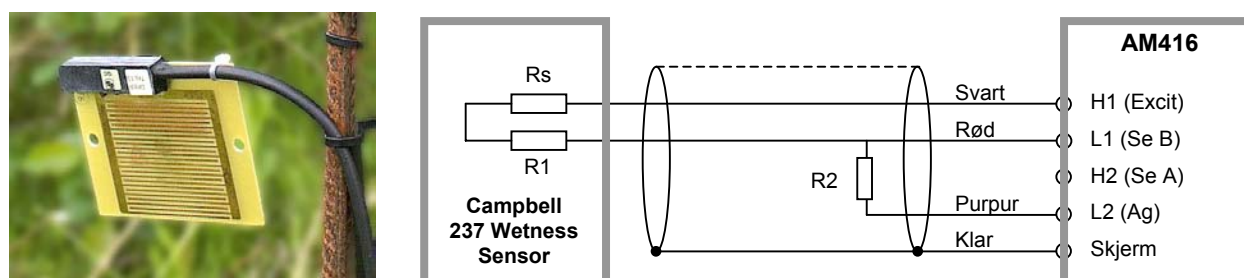
Utgangssignalet er proporsjonalt med den del av motstandselementet som er dekket av wiperen i potentiometeret med unntak av det lille gapet på 2.3 grader i nord. Det fysiske gapet sammen med wiperens størrelse gir en elektronisk dødzone på 3.5 grader. I appendiks A.9 er gitt formelverket for beregning av vindretningen sammen med et utdrag av programmet som leser input, foretar beregningene og lagrer resultatene.

Ved montering av vindfanen på instrumentet delene holdes loddrett med riktig orientering mellom de to, før vindfløya presses på plass. For å fjerne selve vindfløya fra holderen, må hele enheten holdes opp/ned samtidig som en presser akselen inn mot holderen. En intern gravitasjons-følsom låsemekanisme utløses og vindfløya kan trekkes av.

4.2.3 Campbell Wetness Sensing Grids 237

Sensoren er laget for å emulere overflaten til et løvblad. Den består av et kretskort med gullbelagte ”fingre” som vist i figur 4.5. Kondensert fuktighet på sensorens overflate minsker den elektriske motstanden mellom fingrene. Dråper må berøre to fingre samtidig for å endre sensormotstanden. Sensoren er derfor påført et latex-belegg for å spre dråpene. Sensormotstanden varierer fra over 3000 kΩ når den er tørr til under 1 kΩ når sensoren er våt.

Sensoren er meget følsom, og det er derfor viktig å montere sensoren slik at fuktighet på kablen ikke influerer resultatet. I felt er det montert en fuktighetssperre på kablen like ovenfor sensoren. Bildet i figur 4.5 viser ikke en korrekt montering i felt.



Figur 4.5 Overflatefuktighetssensoren koblet til AM416

Sensoren må kalibreres. Ved en slik kalibrering bestemmes sensormotstandens overgang mellom våt og tørr status. Sensoren skal helst kalibreres i felten siden overgangen vil variere for ulike situasjoner.

I appendiks A.10 er gitt programmet som leser sensoren via AM416 og beregner en verdi for overflatefuktigheten.

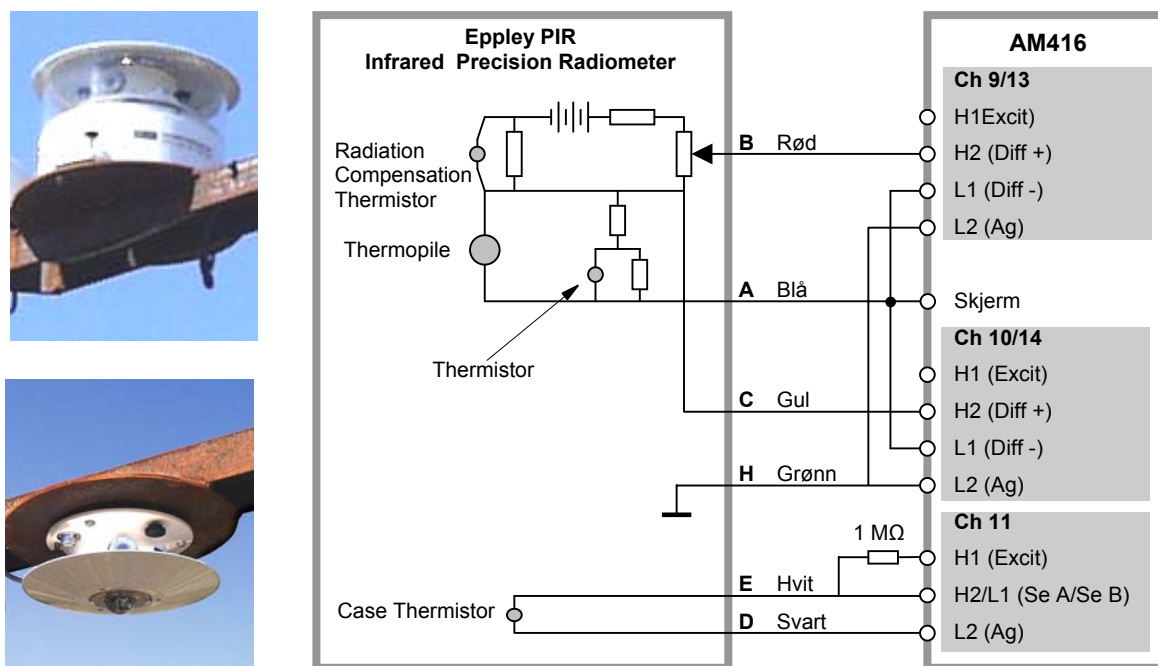
4.2.4 Eppley Precision Infrared Radiometer Model PIR (Pyrgeometer)

To pyrgeometere benyttes for å måle hhv innfallende langbølget himmelstråling og reflektert langbølget stråling fra bakken. Det første peker oppover og er montert i masten 5 m over bakken, mens det andre peker nedover og er montert på en arm 2 m over bakken som vist i figur 2.1 og figur 4.6.

Selve sensoren er en termosøyle (thermopile) bestående av et hundretalls sammenkoblede termoelementer plassert under en dobbel kuppel av silisium. Disse gir en meget bredbåndet følsomhet. For å begrense følsomheten til langbølget stråling, har kuppelens innside pådampnet et interferensfilter som kun slipper gjennom stråling fra 3.5 til 50 μm .

Fordi sensoren selv har en viss langbølget utstråling, vil thermopile-signalet gi forskjellen mellom inn- og utstråling – altså netto innstråling på sensorens overflate (W_{NET}). Innstrålingen vil derfor være summen av netto innstråling og utstrålingen fra sensoren:

$$W_{\text{IN}} = W_{\text{NET}} + W_{\text{OUT}} \quad (4.1)$$



Figur 4.6 Pyrgeometeret koblet til Campbell AM416.
Bilde øverst: oppoverseende med ventilator, nederst: nedoverseende sensor

Instrumentet har innebygget en ekstra krets som gjør det mulig å kompensere for utstrålingen (W_{OUT}). W_{OUT} er i alt vesentlig avhengig av temperaturen på sensoren. En temperaturføler (termistor) er derfor montert inne i instrumentet. Den måler sensor-temperaturen kontinuerlig og kontrollerer en spenningskilde som adderes til thermopile-utgangen. Kretsen består av en termistor, et 1.35 V batteri, noen motstander og et trimpotentiometer, se figur 4.6. Med trimpotentiometeret kan en sette thermopile-følsomheten. I tillegg er det lagt inn en egen krets for å kompensere for thermopilens responsvariasjon med temperaturen.

Instrumentet har flere signalutganger (jfr figur 4.6):

1. Thermopile-signalet mellom pin C og A. Dette gir netto innstråling når signalet divideres med instrumentets kalibrerte følsomhet, S: $W_{NET} = U_{CA}/S$.
2. Pyrgeometer-signalet mellom pin B og A. Denne utgangen benyttes normalt når en måler kun en enkelt utgang fra instrumentet. Ved å dividere signalet med instrumentets følsomhet fås den ønskede innstråling direkte: $W_{IN} = U_{BA}/S$.
3. Kompensasjons-signalet mellom pin B og C. Signalet er generert av kompensasjons-kretsen. Vi måler ikke dette signalet, men beregner det ut fra de to målingene ovenfor: $U_{BC} = U_{BA} - U_{CA}$. Signalet gir mulighet for å kontrollere batteriets tilstand.
4. Signalet fra "case thermistor" mellom pin E og D brukes til å bestemme instrumentets temperatur og derav beregne dets utstråling (W_{OUT}). Ved å bruke resultatet fra denne utgangen sammen med resultatet fra thermopile-utgangen, kan instrumentet brukes uten batteri.

Det finnes en temperatursensor til, en som måler temperaturen i bunnen av kuppelen. Den kan dermed benyttes til å kontrollere oppvarming eller nedkjøling av instrumentet. Vi benytter ikke denne sensoren, og den er ikke tatt med i figuren.

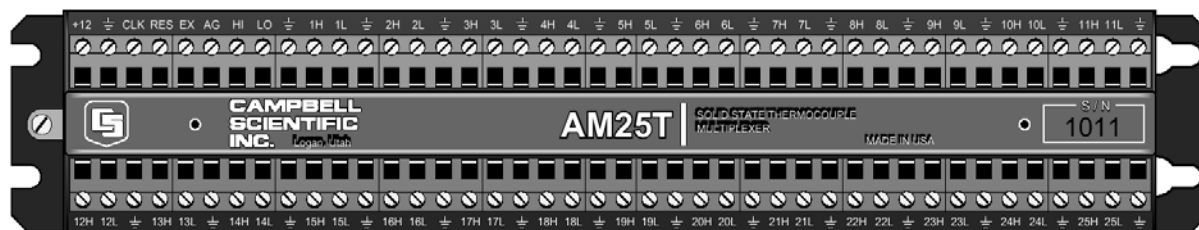
For å redusere rim og dugg på utsiden av kuppelen, er den oppoverseende sensoren utstyrt med en ventilator, Eppley Ventilator Type VEN, som blåser luft over kuppelen.

Strålingsberegninger med tilhørende program finnes i appendiks A.11.

4.3 Campbell AM25T Solid State Multiplexer

Campbell AM25T er en multiplexer basert på halvleder-releer. AM25T plasseres mellom datalogger og sensorer, og øker antall differensielle innganger. Styrt fra dataloggeren kan hver av de tilkoblede sensorene etter tur kobles til datalogger-inngangene. AM25T har 25 differensielle innganger. Hver av disse kan programmeres til å måle 2 single-ended spennings-innganger.

Multiplexeren er godt egnet til temperaturmåling med termoelementer da den har innebygget en presisjons-temperaturføler: PRT (platinum resistance thermometer). Denne benyttes som tempurreferanse (på cold junction terminalen) ved innsamling av temperaturdata fra termoelementer – se avsnitt 4.4.1. AM25T benyttes derfor primært ved temperaturmålinger, men også for signaler fra Kipp&Zonen Pyranometre CM21.



Figur 4.7 Koblingspanelet til AM25T

Differensielle innganger reduserer støyen i målingene og er nødvendig i og med at termoelementene er plassert et stykke fra dataloggeren. På grunn av den relativt høye motstanden i halvleder-releene er ikke AM25T egnet til måling av brokoblinger.

AM25T kobles til dataloggeren med 8 ledere, som overfører strømforsyning, kontroll-signaler og analoge signaler fra inngangene – se figur 3.3. Dataloggerens digitale utgang C4 brukes til å resette AM25T og til å skru multiplekseren av og på (for å spare strøm mellom målingene). Ved å sende pulser på C2-utgangen kobles multiplekser-inngangene i tur og orden til dataloggerens differensielle inngang (A1).

Sensorer koblet til AM25T:

- Termoelementer Type T
- Kipp&Zonen Pyranometer CM21

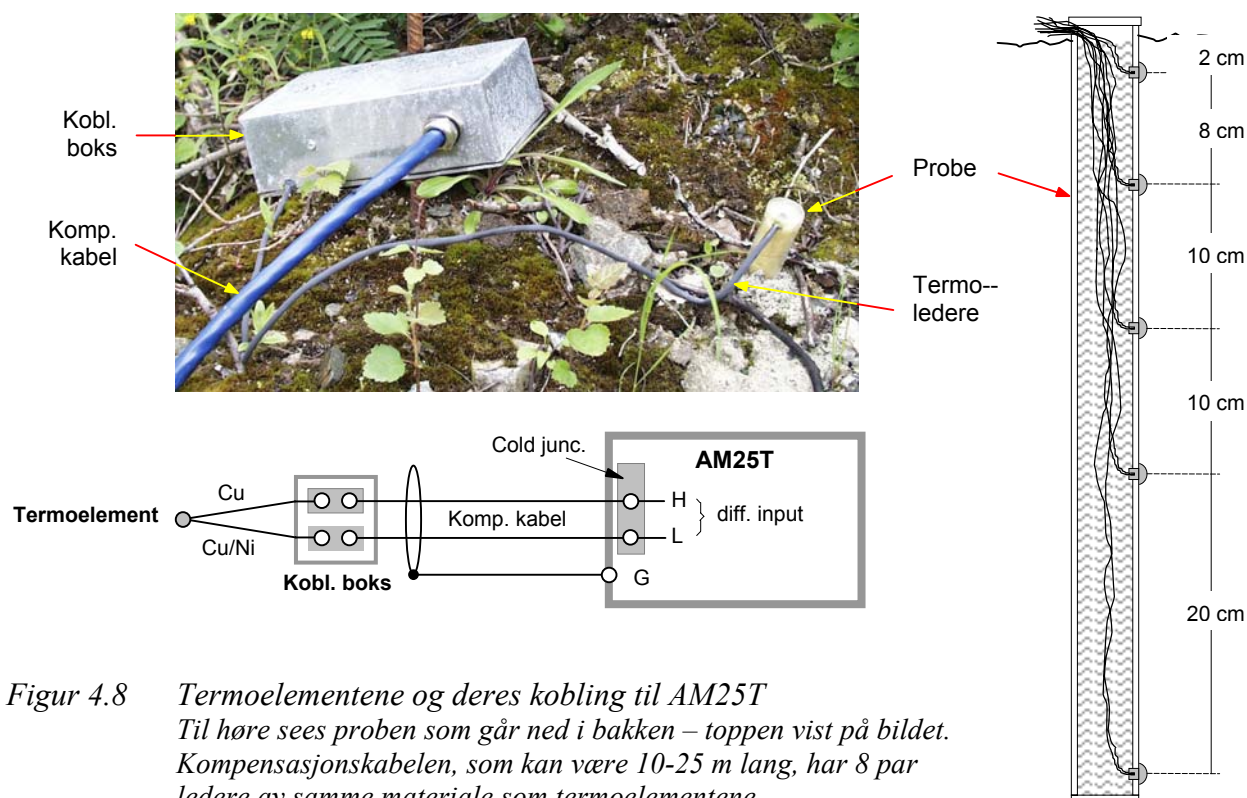
Tilkoblingene er vist i appendiks B.3, og tekniske spesifikasjoner er gitt i appendiks C.1.

4.4 Sensorer koblet til AM25T

4.4.1 Termoelementer type T

For å måle temperaturer i bakken i flere dybder og i ulike underlag, var det behov for et større antall sensorer. Valget falt på termoelementer av type T (kobber/konstantan), som dekker det aktuelle temperaturområdet med god nøyaktighet. Det ble laget en egen probe for disse målingene som vist i figur 4.8. Den samme type termoelement ble også benyttet for å måle overflatetemperaturer på kjøretøy.

Prinsippet for termoelementer er at sammenkoblingen av ulike metaller genererer en spenning som varierer med temperaturen. De to metallene i type T termoelement er Cu og konstantan (legering av Cu og Ni). Når termoelementer brukes til å måle temperatur blir de to lederne loddet sammen i målepunktet. Imidlertid vil koblingen av den andre enden av termoelement-kabelen til måleterminalen danne et eget termoelement. Denne kalles "Cold junction". Den spenningen som måles er derfor summen av termoelement-spenningen og cold junction spenningen. Når temperaturen i referansepunktet (cold junction) er kjent, kan temperaturen til målepunktet bestemmes ved å måle termoelement-spenningen og legge den beregnede temperaturdifferansen (mellom målepunkt og tilkoblingspunkt) til referansetemperaturen. Referansetemperaturen blir gitt av temperaturføleren som sitter på tilkoblingspanelet til.



Figur 4.8 Termoelementene og deres kobling til AM25T
 Til høre sees proben som går ned i bakken – toppen vist på bildet.
 Kompensasjonskabelen, som kan være 10-25 m lang, har 8 par ledere av samme materiale som termoelementene.

Termoelementer gir et meget svakt signal som endrer seg lite – kun 10-50 μV for hver grad. Dette signalet er derfor svært utsatt for elektrisk støy. Inngangen til AM25T har et lavpass støyfilter som undertrykker 50 Hz støy. I tillegg finns en inngangsforsterker med høy forsterkning som gir signaler på nivåer som kan utnytte AD-konverteren og gi maksimal følsomhet.

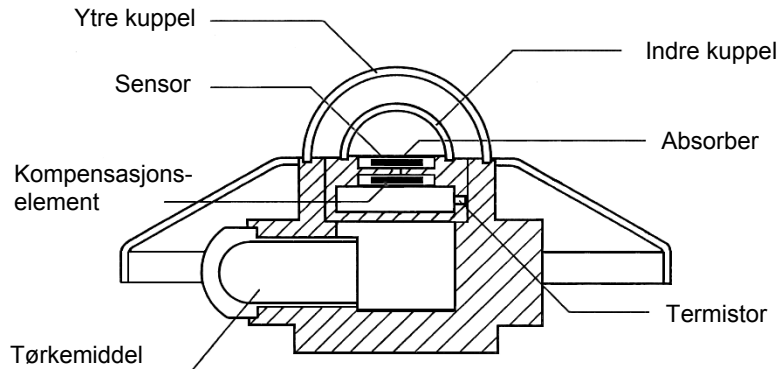
Hvert termoelement kobles til en differensial inngang, og styrt fra dataloggeren kan hver av de tilkoblede sensorene etter tur kobles til datalogger-inngangene. I appendiks A.12 er beskrevet (inkludert program) hvordan disse avleses og hvordan beregningene av temperaturene blir gjort.

4.4.2 Kipp & Zonen Pyranometer CM21

Pyranometeret måler innkommende direkte, diffus og reflektert solstråling (irradiance i W/m^2) i spektralområdet 0.3-2.8 μm over en halvkule. Horisontalstilt og vendt oppover som i figur 4.9, måles både direkte solstråling og all diffus innfallende stråling fra himmelen. Brukt på denne måten kalles instrumentet også solarimeter. Ved å snu instrumentet nedover, måles reflektert stråling fra bakken. Målestasjonen er utstyrt med et oppoverseende og et nedoverseende pyranometer som avbildet i figur 4.10.

Sensoren har en spektralrespons som går ut over solspektret. For å begrense spektralresponsen til solspektret, er de to beskyttelseskuplene pålagt filtre. Kuplenes hovedoppgave er å skjerme detektoren mot vind og regn samt isolere den fra omgivelsestemperaturen.

Selve sensoren består av en svart skive som absorberer strålingsenergien. Varmen som



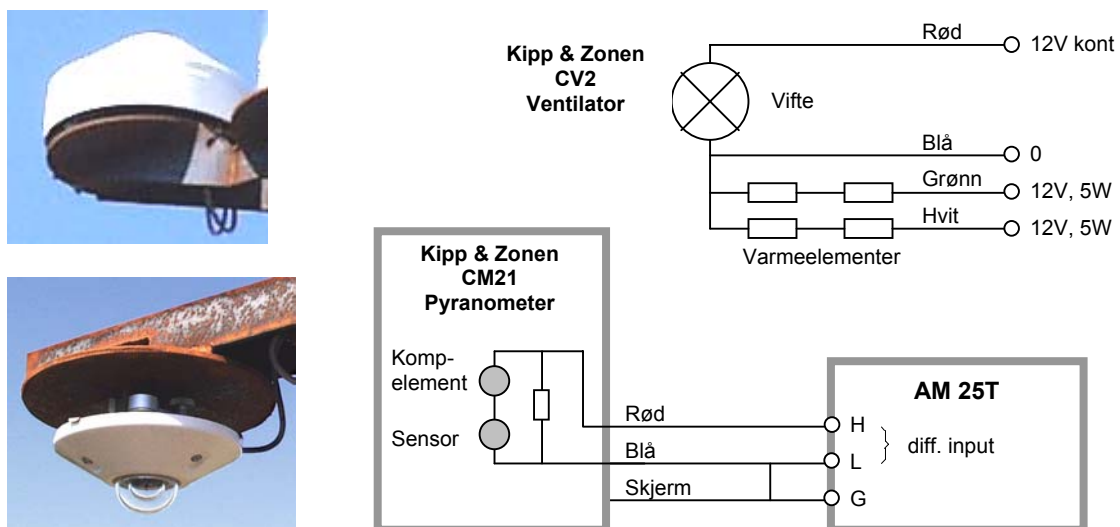
Figur 4.9 Kipp & Zonen CM21 prinsippskisse

genereres i skiva, flyter gjennom en termisk motstand til kjøleplaten (chassis). Temperatur-differansen over detektorens termiske motstand blir konvertert til en spenning. Et ekstra temperaturfølsomt element er koblet i serie med hovedsensoren. Dette blir ikke belyst, og brukes for å kompensere for endringer i chassis-temperaturen.

En termistor er montert i målekretsen slik at instrumentets følsomhet kan holdes mest mulig konstant innen temperaturområdet -20 til $+50$ °C.

Et tørkemiddel forhindrer damp (dugg) på innsiden av kuppelen, noe som kjøler ned sensoren betydelig. For å redusere rim og dugg på utsiden av kuppelen, er den oppoverseende sensoren utstyrt med en ventilator, Kipp&Zonen CV2, som blåser luft over kuppelen. Ved kuldegrader blir ventilasjonsluften oppvarmet. Viften går kontinuerlig, mens varmeelementene kan kobles til å trekke 5 eller 10 W avhengig av omgivelsestemperaturen.

For å kunne brukes som solarimeter, må instrumentet monteres horisontalt med fri sikt, uten



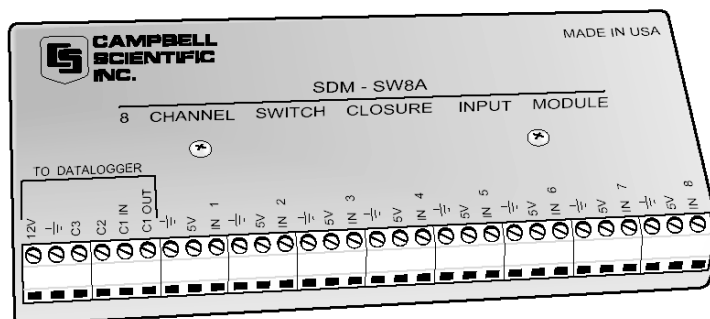
Figur 4.10 Pyranometeret og dets kobling til AM25T og kobling for ventilatoren. Bilde øverst: oppoverseende med ventilator, nederst: nedoverseende sensor.

hindringer over planet med det følsomme elementet. Instrumentet er utstyrt med en libelle og justeringsskruer for finjustering av orienteringen. På våre målestasjoner er det ikke alltid mulig å ha fri sikt til horisonten i alle retninger. Dette er imidlertid ikke kritisk for vårt formål.

Programmet for strålingsberegninger er gitt i appendiks A.13.

4.5 Campbell SDM-SW8A Switch Closure Input Module

SDM-SW8A er en 8-kanals input-enhet for å måle lavfrekvens-signaler fra f.eks vindmålere som er basert på en kontakt som åpnes og lukkes en eller flere ganger per omdreining. Hver av inngangene kan konfigureres for å lese signal fra enpolet enveis og toveis brytere (SPDT, SPST) eller lese spenningspulser. Vi benytter enheten bare til frekvensmåling, men den kan også måle duty-cycle og status for alle inngangene. Målefunksjon velges med brytere (jumpere) på kretskortet.



Figur 4.11 Campbell SDM-SW8A

Sensorer koblet til SDM-SW8A:

- Vector Instruments A100R Switching Anemometer

Tilkoblingene er vist i appendiks B.4, og tekniske spesifikasjoner er gitt i appendiks C.1.

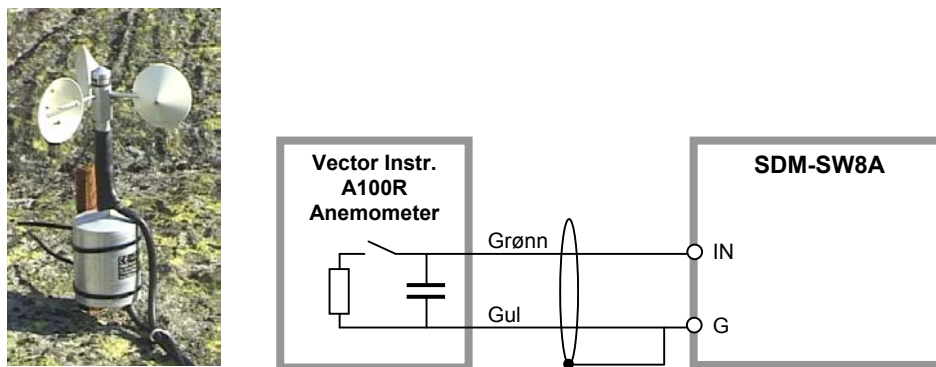
4.6 Sensorer koblet til SDM-SW8A

4.6.1 Vector Instruments A100R Switching Anemometer

A100R er et skålanemometer med 3 skåler på rotoren som vist i figur 4.12. Når rotoren dreier, følger akselen med og en magnetisk aktuator passerer forbi en magnetbryter som kortslutter strømkretsen en gang per omdreining. Ved å telle antall kortslutninger per minutt, kan en ut fra kalibreringsdata beregne vindhastigheten. A100R har innebygd filter som fjerner kontaktprell.

Instrumentet (måleboksen med tilhørende rotor) er kalibrert i vindtunnel og kalibreringsdata som følger med fra produsenten, gir sammenhengen mellom vindhastighet og omdreininger per sekund. Selv om alle rotorene ser mekanisk like ut og kan flyttes mellom målerne, må hver måler ha sin faste rotor hvis kalibreringen skal gjelde.

På noen av vindmålerne er det montert en varmekabel for at rotoren skal dreie lett selv ved lave temperaturer. Dette er aktuelt når vindmåleren brukes i kalde strøk om vinteren. For å øke robustheten til instrumentet, er kulelager og bevegelige deler beskyttet mot fuktighet og støv.



Figur 4.12 Anemometer koblet til SDM SW8A

Rotoren er montert med et spesielt hurtigfeste – gravitasjons-føler. Rotoren festes til akselen ved å presse navet mot akselen mens anemometeret holdes loddrett. For å fjerne rotoren må instrumentet først holdes opp ned før en presser navet mot akselen – dermed utløses sikringen.

Beregninger av vindhastighet og programmet er gitt i appendiks A.14.

5 DATAKONTROLL OG -OVERFØRING

5.1 Kommunikasjon

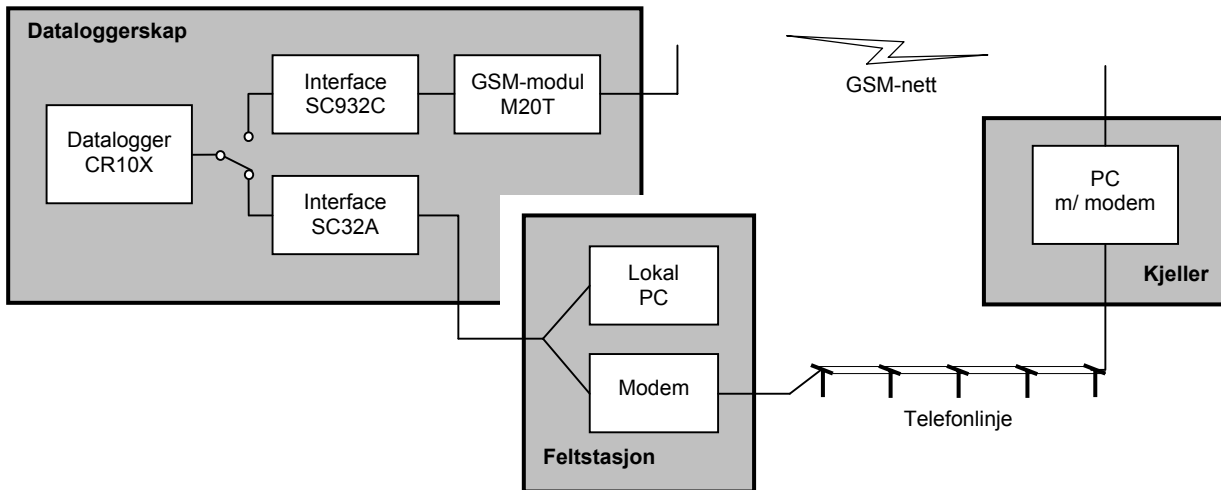
5.1.1 Oversikt

For å kunne programmere og lese ut data fra dataloggeren må den knyttes til en PC. Her er flere muligheter som vist i figur 5.1. Ved normal drift ønsker vi å gå via telefonlinje (modem) eller GSM-nett til en PC på Kjeller. Under service-oppdrag ute i felten er det ønskelig med direkte forbindelse til en lokal PC for å overvåke status, teste og rette eventuelle feil.

Kommunikasjon mellom Kjeller og målestasjonen på Rygge går via GSM-nettet. Problemer med GSM-overføringen fra Bardufoss gjør at kommunikasjonen dit må gå over telefonlinje, men da på en litt annen måte enn vist i figuren: den lokale PC har et innebygd modem som benyttes.

All kommunikasjon med dataloggeren går via serieporten. Dataloggerens serieport benytter logiske signalnivåer (0 – 5 V) og ikke standard RS232 signaler som PC, modem etc gjør. Det må derfor settes en omformer (interface) mellom dataloggeren og disse enhetene.

Vi benytter to RS232 interface-enheter med ulike egenskaper: SC32A og SC932C begge fra Campbell. Den første er (galvanisk) optisk isolert og benyttes mellom dataloggeren og enheter som er koblet til strømmettet (PC og modem). Den andre brukes til enheter som ikke krever isolasjon av signalene, f.eks den batteridrevne GSM-modulen.



Figur 5.1 Måter å kommunisere på: over telefonlinje eller via GSM til Kjeller eller direkte til en lokal PC.

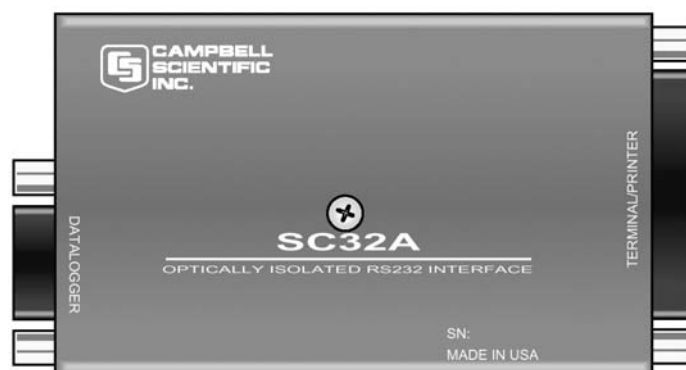
For å få kontakt med dataloggeren må serieporten på PC'en settes til: 9600 baud, 8 bit, 1 stopp-bit og ingen paritet. Hastigheten kan reduseres til 1200 eller 300 baud hvis linjen er dårlig. I telekommunikasjons-modus tilpasser dataloggen overføringshastigheten etter det innkommende signal.

I de neste avsnitt er beskrevet enhetene og deres koblinger i de alternative kommunikasjonsveier.

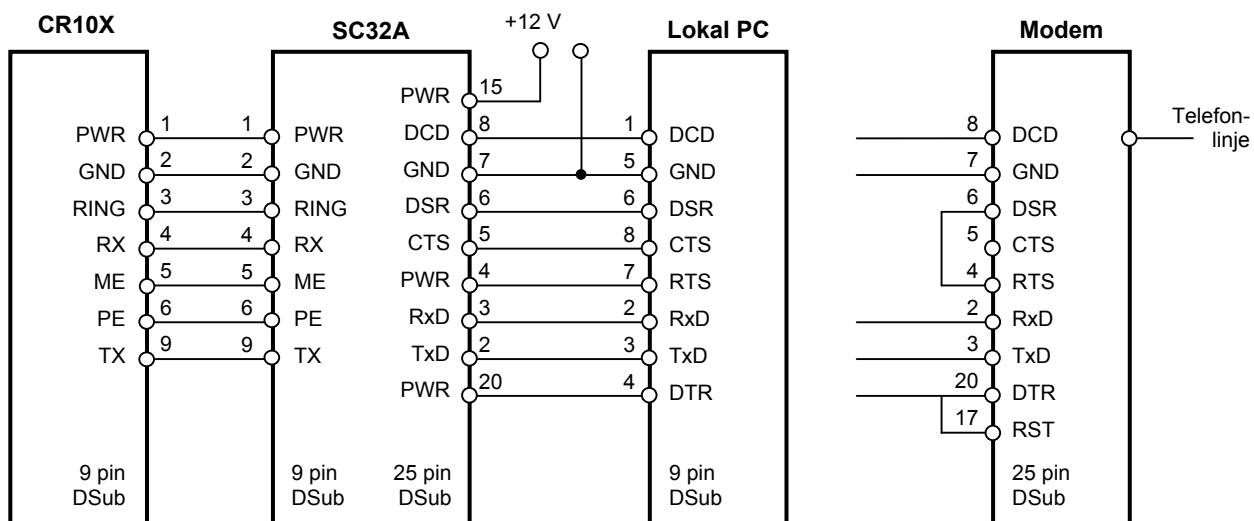
5.1.2 Over telefonnett og til lokal PC

Ved denne kommunikasjonslinjen benyttes interfacet SC32A. Interfacet isolerer datamaskinens elektriske system fra dataloggeren og forhindrer dermed en eventuell jordsløyfe, samtidig beskytter enheten mot statisk utladning og støy. SC32A konverterer dataloggerens spenningsnivåer til standard RS232-nivåer

SC32A forsynes normalt med strøm fra PCens serieport og fra dataloggeren som vist i figur 5.3. Når avstanden mellom datalogger og PC er over ca 25 meter må interfacet kobles til en ekstern strømkilde. Hvor lang avstanden kan være uten ekstra strømforsyning avhenger av PC-fabrikat og modell.



Figur 5.2 Campbell SC32A

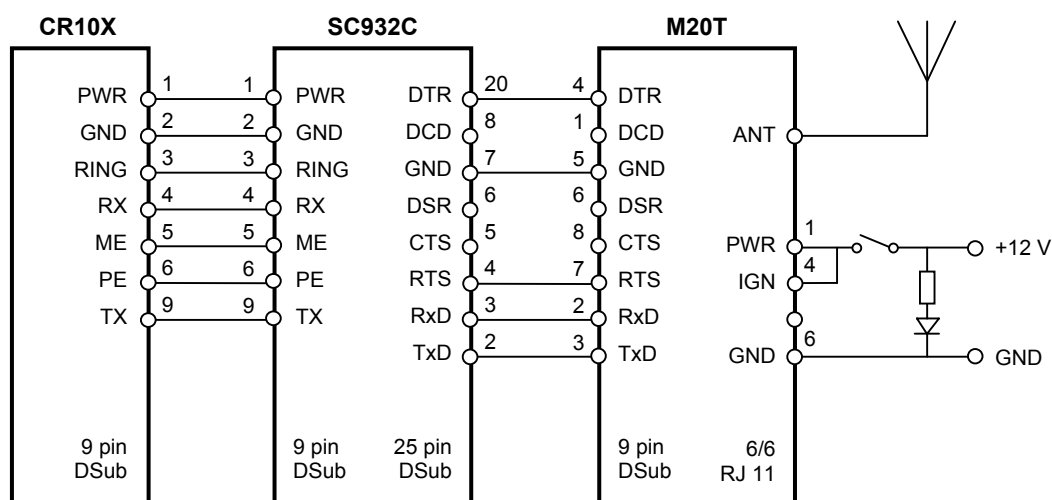


Figur 5.3 Koblingen mellom dataloggeren og lokal PC alternativt til et modem via SC32A. Her er modemmet av typen Team 2400. Andre modem vil kreve en annen tilkobling

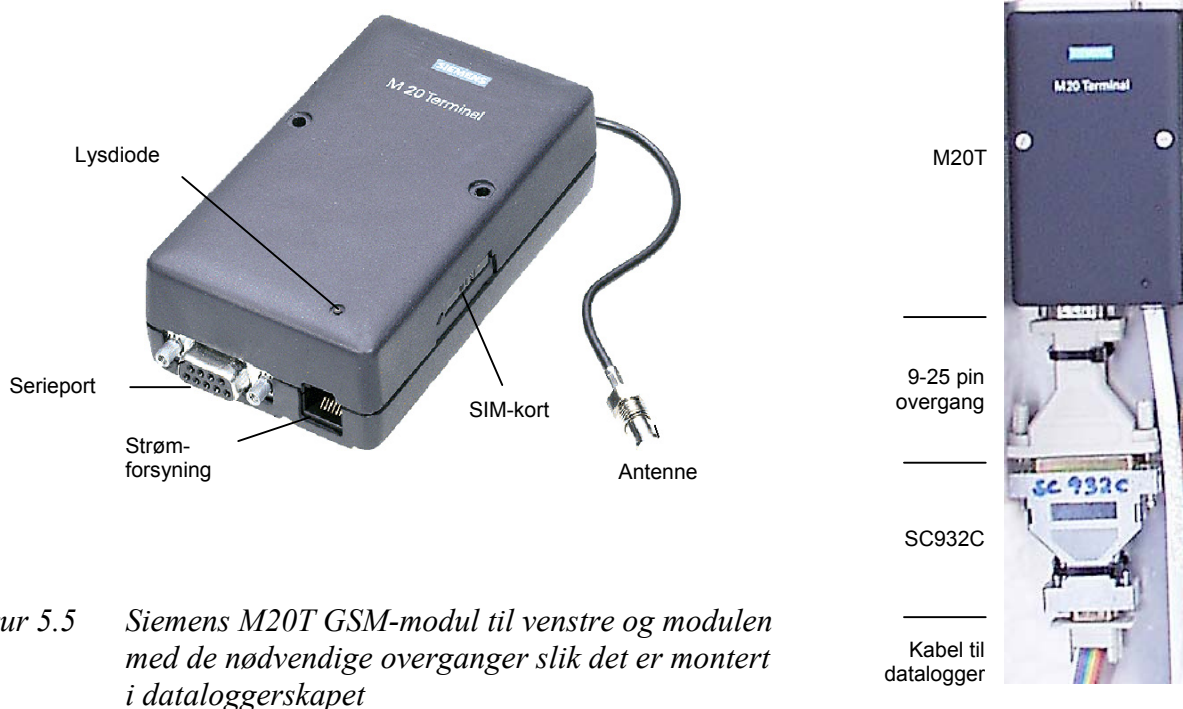
5.1.3 Via GSM-nett

Interfacet SC932C brukes for å koble dataloggeren til enheter som følger RS232 standard og som ikke krever isolasjon av signalene. Vi benytter den mellom dataloggeren og GSM-modulen (Siemens M20T). Den forsynes med strøm fra dataloggeren. SC932C kobles til dataloggerens serieport (9 pin) med en 1:1 kabel. Den andre utgangen kobles via en standard 25 til 9 pin overgang til GSM-modulen (se figurene 5.4 og 5.5).

Siemens M20T knytter dataloggeren til GSM-nettet. Den er liten og kan benytte dataloggerens strømforsyning på 12 V (figur 5.3). Enheten kobles slik at den automatisk starter når spenningen blir satt på. En lysdiode på fronten viser om kontakten med GSM-nettet er opprettet.



Figur 5.4 Koblingen mellom dataloggerens serieport og GSM-modulen via SC932C.



Figur 5.5 Siemens M20T GSM-modul til venstre og modulen med de nødvendige overganger slik det er montert i dataloggerskapet

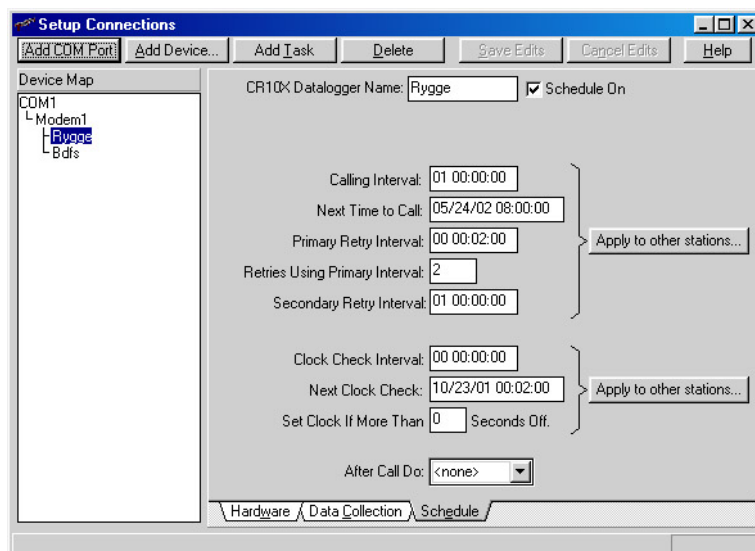
Bruk av GSM-forbindelsen forutsetter at operatøren av GSM-nettet har god dekning på målestedet, og at abonnementet er av typen "data" (evt "tale og data"). Et rent tale-abonnement gir ikke adgang til M20T. Som nevnt tidligere har det vært problemer med overføringen fra målestasjonen på Bardufoss.

Før M20T-modulen kan brukes sammen med dataloggeren, må et antall parametere settes. Et program som Hyperterminal, som følger med Windows, kan brukes til dette. Følgende parametere må settes:

| | |
|----------------------|---|
| ATX0 | Basic connect messages only (result code only) |
| AT&D2 | Sets the unit to end calls if the DTR line goes low, letting the datalogger terminate bad calls |
| AT+IFC=0,0 | No hardware or software handshaking |
| AT+DS=0 | Do not attempt to compress data |
| ATS0=1 | M20T auto-answer incoming calls. Wait 1 rings before answer |
| AT+CBST=7,0,0 | Fixes the RF link, the DTE baud rate (9600 baud) and sets the unit to transparent mode |
| ATV0 | Numeric result codes |

5.2 Nedlasting og presentasjon av data på Kjeller

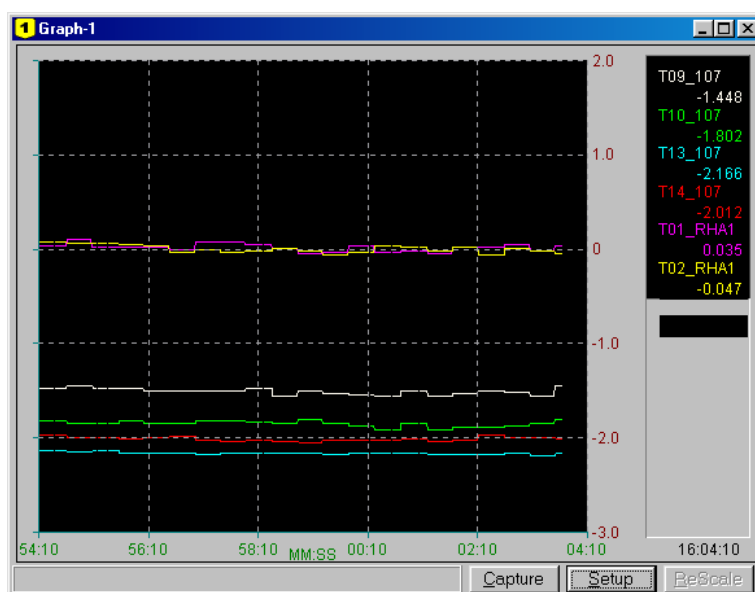
Programvaren PC208W fra Campbell står for all kommunikasjon mellom dataloggeren og PCen på Kjeller. Programmet som kjøres lokalt på Kjeller, har rutiner for å koble opp forbindelsen mellom Kjeller og målestasjonene. Oppkoblingen kan enten gjøres manuelt eller automatisk. I automatisk modus ringer programmet selv opp målestasjonen til tidspunkt som er satt på forhånd, kobler seg til dataloggeren, henter ned data og tar ned forbindelsen – figur 5.6. Tidspunktene for nedlasting kan settes til en eller flere ganger pr dag eller pr uke. For å redusere oppkoblingstiden (tellerskritt) overføres bare data som er lagret i loggeren etter forrige nedlasting.



Figur 5.6 *Setting av tidspunkter for nedlasting av data fra Rygge. Fra begge stasjonene skjer nedlastingen hver dag kl 0800*

Forbindelsen til målestasjonen kan som nevnt også kobles opp manuelt. Dette kan være aktuelt for å overvåke målestasjonen og instrumentene, eller foreta endringer i datalogger-programmet. Ved at data fra sensorene kan vises grafisk i tilnærmet sann tid på FFI som illustrert i figur 5.7, blir det enklere å vurdere om signalene fra sensorene er fornuftige, eller om det er oppstått en feilsituasjon.

Det samme programmet (PC208W) benyttes for å programmere dataloggeren. Etter at logger-programmet er laget, kompilert og feilsjekket sendes det til dataloggeren. Dataloggingen stopper midlertidig under omprogrammeringen og starter automatisk igjen når programmet er på



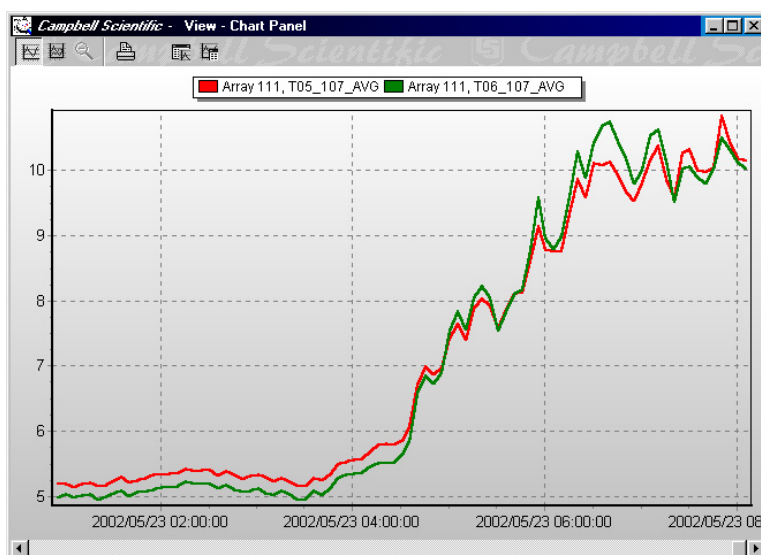
Figur 5.7 *Registrering i tilnærmet sann tid fra 6 temperatursensorer på Rygge (til høyre) og grafisk presentert fra venstre mot høyre for de siste 10 min*

plass. Omprogrammeringen kan gjøres fra Kjeller, men det forutsetter at telefon-forbindelsen til målestasjonen er god.

Programmet kan også brukes til å presentere en grafisk fremstilling av utvalgte loggerdata som vist i figur 5.8.

Data lagres i en tekstfil som komma-separerte ASCII-tegn. Datafilen inneholder ingen header som gir informasjon om hvilke datasett som stammer fra de ulike sensorene. En egen fil med denne informasjon (.fsl = final storage labels) må derfor følge datafilen. Programmet har egne rutiner for å eksportere data til andre analyseprogram og regneark.

En ulempe med dataformatet er at det ikke er lett å søke i dataene. Vi overfører derfor loggerdata til en egendefinert database på Microsoft Access format. Denne databasen er beskrevet i (4).

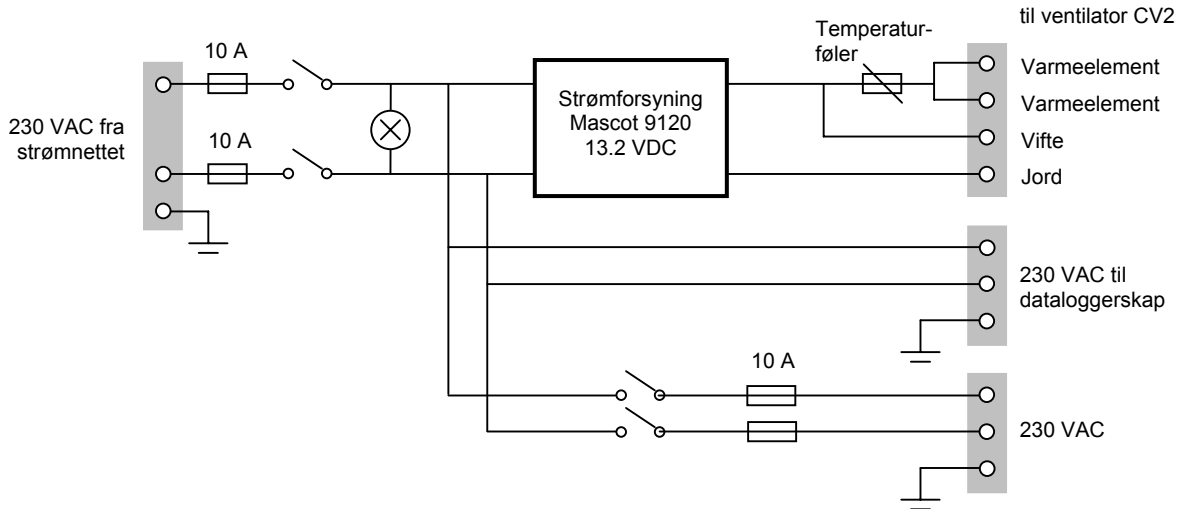


Figur 5.8 Temperaturforløpet fra midnatt til kl 0800 23 mai 02 på 2 steder på Rygge.

6 STRØMFORSYNING

Værstasjonen får strøm fra det lokale strømnettet. Det er bygget et strømforsyningskap for å skaffe flere uttak for nettspenning og for å levere 12 V til enkelte spesielle formål (figur 6.1 og 6.2). Skapet er utstyrt med hovedbryter (og sikring) som bryter strømmen til alt tilkoblet utstyr. En av kursene har også en bryter for å skru av strømmen ved vedlikeholdsarbeid på enheter som er koblet til denne kretsen uten at annet utstyr påvirkes. Skapet forsyner også andre enheter i tilknytning til målestasjonen. På Bardufoss er det montert på meteorologimasten, mens det på Rygge er plassert under tak.

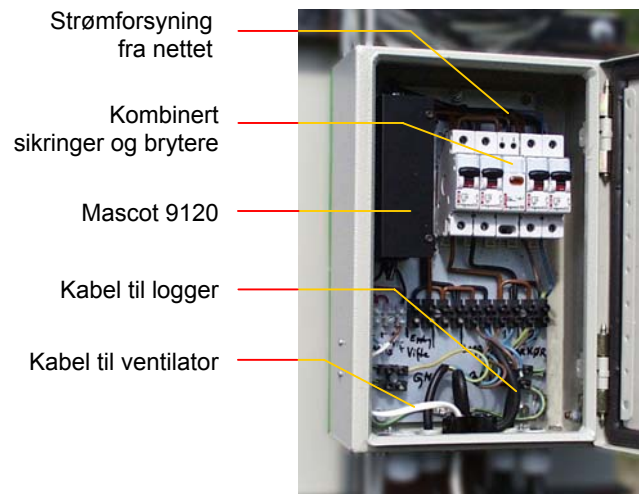
Skapet inneholder en 13.2 V likespenningskilde (nominelt 12 V) som gir strøm til varmeelement og vifte i ventilatoren CV2 på pyranometeret (avsnitt 4.4.2). Utgangen til varmeelementene er



Figur 6.1 Strømforsyningskap skjematisk

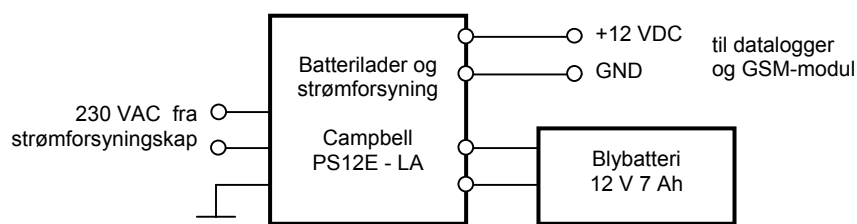
stjurt av en temperaturføler som kobler inn elementene når temperaturen (på skapets yttervegg) faller under ca +3 °C. Denne utgangen benyttes også til varmeelementer av typen Vector He1 som er montert på enkelte av vindmålerne og vindfanene.

Strømforsyningsskapet gir nettspenning til dataloggerskapet hvor det er en egen strømforsyning som gir 12 V like-spennning. Denne strømforsyningen leverer strøm til dataloggeren som igjen leverer strøm til de enheter som den er koblet til. Samtidig virker denne strømforsyningen som batterilader for et innebygd blybatteri (figur 6.3). Batteriet lades kontinuerlig med lav strømstyrke, og er derfor alltid oppladet. Ved strømbrydd overtar batteriet og forsyner loggeren og eksterne enheter med strøm. Batteriet har kapasitet til å holde værstasjonen i drift et par uker.



Figur 6.2 Strømforsyningskapet på Bardufoss

Dataloggeren med sine tilknyttede enheter og en GSM-modul trekker ikke mer strøm enn at det ville være fullt mulig å forsyne værstasjonen med strøm fra et solcellepanel i solrike strøk. Det vil imidlertid ikke omfatte de tidligere nevnte varmeelementene, noe som heller ikke burde være nødvendig.



Figur 6.3 Strømforsyningen til dataloggeren

7 OPPSUMMERING

To nesten identiske meteorologiske stasjoner er konstruert. De har vist seg å være meget stabile og de har levert værdata i bortimot to år med kun få avbrekk. Det er foretatt vel 50 dataregistreringer hvert femte minutt, noe som betyr ca 15 000 målinger pr dag. I dag inneholder databanken for Rygge mer enn 1 mill målepunkter, mens den andre inneholder noen færre punkter.

Stasjonene har til fulle tilfredsstilt de krav som var satt til dem og til de data som er levert. Dataene er blitt brukt som planlagt som inngangsdata ved modelleringen av termisk signatur for forskjellige bakgrunnstyper og objekter. Et fortsatt behov for denne type data har medført at driften av stasjonene vil bli videreført.

Å konstruere og programmere stasjonene har vært en omfattende oppgave. Utviklingen har foregått trinnvis – delvis på labben og delvis i felt. Da den første stasjonen var montert, var ikke alle elementene på plass. At stasjonene ikke var ferdig utviklet da de ble satt i drift samt noen senere små uregelmessigheter i registreringene og dataoverføringene har medført at det har vært nødvendig å foreta endringer underveis. Totalt sett har likevel stasjonene vist seg å være meget driftsikre. For å øke driftsikkerheten er det fortsatt behov for noen justeringer – både fysisk og programmessig.

Værstasjonene er konstruert som stasjonære stasjoner. En viss mobilitet ligger i muligheten av å flytte til et annet geografisk sted, f eks fra Rygge til Ørlandet som opprinnelig var planlagt. Slik stasjonene er konstruert kreves imidlertid en viss form for infrastruktur på stedet. For mange formål ville det være ønskelig med en fullstendig mobil værstasjon. Å konstruere en slik stasjon skulle være relativt enkelt med den erfaringen man nå har oppnådd.

APPENDIKS

A BEREKNINGER OG PROGRAMMER

A.1 Om loggerprogrammet

CR10X inneholder et multitasking operativsystem som tillater samtidig målinger og kommunikasjon. I tillegg har loggeren et omfattende sett av kraftige instruksjoner for prosessering, matematiske beregninger og programkontroll. Loggeren må imidlertid programmeres før den kan foreta målinger, og den kan programmeres slik at den kan brukes sammen med omtrent hvilken som helst sensor. Programmer for de eksterne enhetene og for de enkelte sensorer er gitt i avsnittene nedenfor.

Operativsystemet er programmert i fabrikken og ligger i loggerens Flash Memory (se figur 3.4), mens brukerprogrammet lastes ned fra PCen etter kompilering og lagres i den del av Flash Memory som er kalt Active Program Area. System Memory brukes av operativsystemet ved kompilering og overføring av data.

Et program består av en gruppe instruksjoner samlet i en programtabell. Programtabellen har en variabel kalt `Execution Interval` som bestemmer hvor ofte instruksjonene i tabellen skal utføres. Når utførelsen av tabellen startes kalles instruksjonene i rekkefølge fra begynnelse til slutt. Etter at tabellen er utført, venter loggeren til det er tid for ny måleserie og starter så på begynnelsen av tabellen igjen. Tiden mellom hver gang data lagres er uavhengig av hvor ofte tabellen utføres. Det programmet vi har laget leser inn data (utfører tabellen) 2 ganger per minutt, og lagrer data hvert femte minutt. (Nedbørmengden leses kun en gang pr time.)

Ut fra kalibreringskurver/-verdier for hver enkelt sensor, regner programmet sensorenes utgangssignal om til vanlige enheter for temperatur, vindhastighet etc.

A.2 Hovedprogrammet

Programmet består av et hovedprogram som kaller tre subrutiner. De tre subrutinene styrer og leser inn data fra hver sin ekspansjonsenhet (AM416, AM25T og SDM-SW8A). Hovedprogrammet lagrer data fra alle enhetene i minnet og leser i tillegg inn data fra de instrumenter som er koblet direkte til dataloggeren. For de fleste sensorene lagres middelveirdien av de 10 siste målingene, for de resterende lagres momentanverdiene. Batterispenningen og loggerens interne temperatur lagres for gi en indikasjon på værstasjonens status. Sammen med hvert datasett lagres dato og klokkeslett. Alle data lagres i "Final Storage Area 1".

Et utdrag av hovedprogrammet er listet nedenfor. I listingen er det ikke tatt med rutiner for

innlesning av data fra de enkelte sensorene da dette er dokumentert sammen med beskrivelsen av sensorene senere i dette appendikset. Subrutinene er av samme årsak ikke beskrevet her, bare rutinekallet er tatt med.

*Table 1 Program

01: 30.0000 Execution Interval (seconds)

1: Do (P86)

1: 21 Set Flag 1 Low

2: Batt Voltage (P10) Read battery voltage

1: 54 Loc [battery]

3: Internal Temperature (P17) ;Intern temperature in CR10x (deg C)

1: 55 Loc [CR10Xtemp]

De neste programdelene omhandler måling av relativ fuktighet og lufttemperatur med RHA1 samt nedbørmåling. Programdelene er beskrevet i hhv kapittel A.6.1 og A.7.

De følgende subrutiner styrer multiplekserne og foretar målinger med instrumentene som er knyttet til dem. Programdelen for multiplekserne er beskrevet i kapitlene A.3 – A.5.

```
; ----- Call Subroutines -----
33: Do (P86)
1: 2 Call Subroutine 2 ;Read data from AM416
34: Do (P86)
1: 1 Call Subroutine 1 ;Read data from AM25T
35: Do (P86)
1: 3 Call Subroutine 3 ;Read data from SW8A
```

De følgende instruksjoner lagrer data fra sensorene i loggerens minne hvert 5. minutt. Hvor mange ganger dette gjentas for hver instrumenttype (antall instrumenter) er gitt ved parameteren Reps i programmet.

```
36: If time is (P92) ;Save data every 5 min
1: 1 Minutes (Seconds --);into a same units as above
2: 5 Interval
3: 10 Set Output Flag High
37: Set Active Storage Area (P80)
1: 1 Final Storage Area 1
2: 111 Array ID
38: Real Time (P77) ;Save date and time
1: 1221 Year,Day,Hour/Minute,Seconds (midnight = 2400)
39: Sample (P70) ;Save battery voltage
1: 1 Reps
2: 54 Loc [ battery ]
```

```

40: Sample (P70)           ;Save data from intern temperature
   1: 1       Reps         ;sensor in CR10
   2: 55      Loc [ CR10Xtemp ]

41: Average (P71)         ;Save average temp. from RHA1
   1: 3       Reps
   2: 39      Loc [ T01_RHA1 ]

44: Average (P71)         ;Save average temp from TP107
   1: 10      Reps
   2: 1       Loc [ T05_107 ]

54: Average (P71)         ;Save average temp. from Thermocouplers
   1: 23      Reps
   2: 14      Loc [ TE_11 ]

77: Sample (P70)         ;Save average humidity from RHA1
   1: 3       Reps
   2: 45      Loc [ F01_avrge ]

80: Sample (P70)         ;Save Wetness data in Kohm
   1: 2       Reps
   2: 51      Loc [ O1_237 ]

;   Save Pyrgeometer data
82: Sample (P70)         ;Save Epply Pyrgeometer PIR (B-signal)
   1: 2       Reps
   2: 69      Loc [ R1b_PIR ]

83: Sample (P70)         ;Save Epply Pyrgeometer PIR (C-signal)
   1: 2       Reps           ;Save Epply Pyrgeometer PIR (C-signal)
   2: 70      Loc [ R1_inRad ] ;calc. input radiation

86: Sample (P70)         ;Save Epply Pyrgeometer, case temp.
   1: 2       Reps
   2: 81      Loc [ R1_therm ]

88: Sample (P70)         ;Save Epply Pyrgeometer, comp. voltage
   1: 2       Reps
   2: 76      Loc [ R1_CompV ]

;   Save Pyranometer data
90: Sample (P70)         ;Save Kipp&Zonen Pyranometer CM21
   1: 2       Reps
   2: 100     Loc [ P1_avrge ]

92: Sample (P70)         ;Save Winddirection data W200P
   1: 2       Reps
   2: 56      Loc [ V1_W200P ]

94: Sample (P70)         ;Save Windspeed data from A100R
   1: 6       Reps
   2: 92      Loc [ A1_avrge ] ;Windspeed in m/s

95: Sample (P70)         ;Save data from T200B, Precip. Gauge
   1: 1       Reps

```

2: 66 Loc [NedbFinal]

A.3 Program for styring av AM416

Subrutine 2 inneholder program for å styre Campbell AM416, og for å lese inn data fra sensorene som er koblet til denne enheten. Nedenfor er det vist et utdrag av dette programmet. Utskriften viser bare de instruksjonene som styrer AM416, da programdelene for innlesning og beregning av data fra de ulike instrumentene er beskrevet i egne avsnitt.

Subrutine 2 åpner multiplekseren ved å sette dataloggerens port 5 høy. Programmet leser inn data fra input kanalene i tur og orden. En puls fra dataloggerens port 2 får AM416 til å koble inn neste kanal i rekken. Deretter kalles instruksjon P22 (Excitation with Delay) før måling på den nye kanalen. Instruksjonen fører til at dataloggeren venter 10 ms før innlesning av data for å være sikker på at riktig kanal er koblet inn, og at signalet er stabilt før målingen forestas.

```
;     Subroutine 2   Read data from AM416 (Relay multiplexer)
```

```
93:   Beginning of Subroutine (P85)
```

```
  1: 2     Subroutine 2
```

```
94:   Do (P86)                             ;Activate multiplexer (AM416)
```

```
  1: 45         Set Port 5 High     ;Reset input on AM416)
```

```
95:   Do (P86)                             ;Switch to Analog channel 1
```

```
  1: 72         Pulse Port 2     ;Clock Pulse (default 10 ms)
```

```
96:   Excitation with Delay (P22)     ;Delay only
```

```
  1: 02         Ex Channel
```

```
  2: 0         Delay W/Ex (units = 0.01 sec)
```

```
  3: 1         Delay After Ex (units = 0.01 sec)
```

```
  4: 0000       mV Excitation
```

```
;     Measure sensor on port 1   (TP 107 sensor x2)
```

```
97:   Do (P86)                             ;Switch to Analog channel 2
```

```
  1: 72         Pulse Port 2
```

```
;     Measure sensor on port 2
```

Slik leses port for port for hvert enkelt av instrumentene: 10 stk TP 107 sensor, 2 stk Windvane W200P, 2 stk Epply Pyrgeometer PIR-1 og 2 stk Wetness Sensing Grids 237. Etter at alle målekanaler er lest lukkes (deaktiveres) AM416 ved å legge port 5 lav igjen:

```
186:   Do (P86)                             ;Deactivate multiplexer
```

```
  1: 55         Set Port 5 Low
```

```
187:   End (P95)                             ;End Subroutine 2
```

A.4 Program for styring av AM25T

AM25T benyttes primært for innsamling av data fra termoelementene, men leser også data fra pyranometrene. Den delen av loggerprogrammet som styrer innlesning av målinger fra AM25 er plassert i subrutine nr 1. Hver gang en ny målesekvens startes, kalibreres målebroen og en ny referansetemperatur beregnes for termofølerne. Dette er beskrevet i detalj i kapittel A.12. Når referansetemperaturen er funnet, måles hver av de tilkoblede sensorene etter tur. Programmet som brukes til måling av termoelementene er beskrevet i kapittel A.12, mens kapittel A.13 omhandler måling av kortbølget stråling med pyranometer.

```
; Subroutine 1 Read data from AM25T (Thermocouple multiplexer)
```

```
1: Beginning of Subroutine (P85)
  1: 1 Subroutine 1

2: Do (P86) ;Turn on the AM25T
  1: 44 Set Port 4 High
```

Programdelene 3-10 måler og beregner referansetemperaturen – beskrevet i kapittel A.12.

```
11: Do (P86) ;Reset the AM25T
  1: 74 Pulse Port 4

12: Beginning of Loop (P87)
  1: 0000 Delay
  2: 1 Loop Count

13: Do (P86) ;Clock the AM25T twice to
  1: 72 Pulse Port 2 ;switch to the next channel

14: Do (P86)
  1: 72 Pulse Port 2
```

Alle termoelementene måles på samme måte (Thermocouple Temp(P14)) – dette er beskrevet i kapittel A.12.

```
82: Do (P86) ;Clock the AM25T twice to switch to ch. 24
  1: 72 Pulse Port 2

83: Do (P86)
  1: 72 Pulse Port 2
```

Måler kortbølget stråling fra de to pyrageometerene som beskrevet i kapittel A.13.

```
90: End (P95) ;End of measurement loop

91: Do (P86) ;Turn off the AM25T
  1: 54 Set Port 4 Low

92: End (P95) ;End Subroutine 1
```

A.5 Program for styring av SDM-SW8A

Den delen av programmet som kommuniserer med Campbell SDM-SW8A og leser inn data fra vindmålerne, er plassert i subrutine 3.

Det viste seg at vi måtte redusere hastigheten på kommunikasjonen mellom dataloggeren og SDM-SW8A for å få enheten til å virke. Vi benyttet instruksjon P115 (Set SDM Clock) med en bit-periode på 100 µs.

Nedenfor følger et utdrag av subrutine 3. Kun de instruksjoner som angår styringen av SDM-SW8A er tatt med – programdel for lesning av data fra anemometrene er dokumentert i kapittel A.14.

```
; Subroutine 3. Read data from SW8A, Switch closure input module
188: Beginning of Subroutine (P85)
    1: 3          Subroutine 3
189: Set SDM Clock (P115)    ;Reduce communication speed
    1: 10         ;Bit Period (units = 10 usec)
```

Instruksjoner her leser data fra anemometrene. Disse gjentas 8 ganger.

```
200: End (P95)                ;Ends Subroutine 3.
```

A.6 Lufttemperatur og -fuktighet

A.6.1 For Delta-T RHA1, Skye SKH 2011 og Hoffmann T+RF

Forholdet (X) mellom termistorspenningen (U_{out}) og påtrykket spenning (U_{excit}) i brokoblingen er gitt av:

$$X = \frac{U_{out}}{U_{excit}} = \frac{R_t}{R_{fix} + R_t}$$

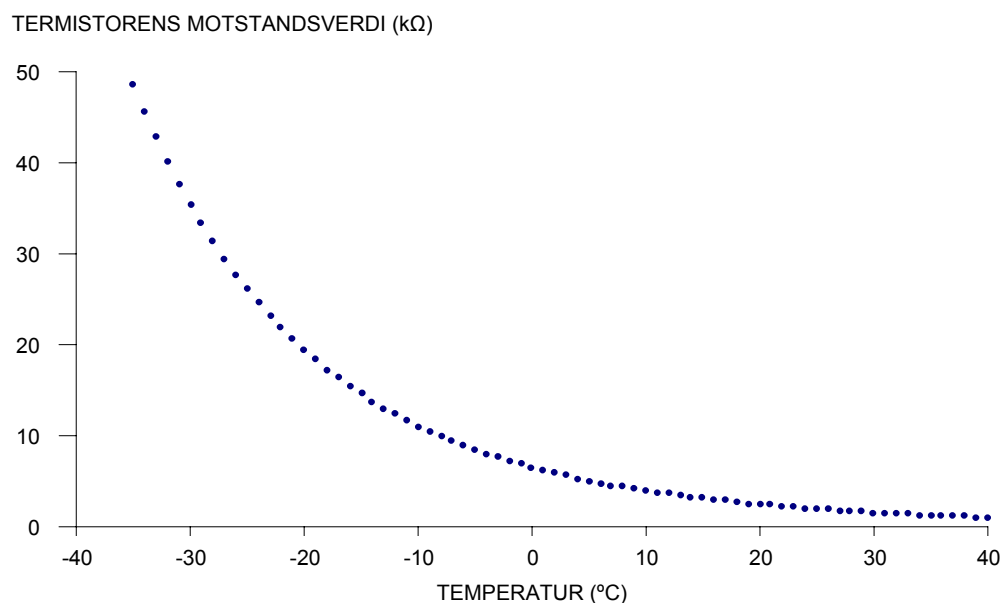
hvor er R_t termistorens motstandsverdi og R_{fix} er en fast referansemotstand i brokoblingen. Her er R_{fix} og U_{excit} kjente størrelser (se avsnitt 3.2.1). Programinstruksjon P4 (Excite, Delay and Measure) måler signalet fra brokoblingen (U_{out}) og beregner X. Fra ligningen ovenfor fås:

$$R_t = R_{fix} \frac{X}{1 - X},$$

og motstandsverdien kan beregnes vha instruksjon P59 (Bridge Transform). Deretter lagres resultatet midlertidig som en motstandsverdi.

Alle temperatursensorene har standardiserte karakteristikker i tabells form som gir

sammenhengen mellom temperatur og motstandsverdier. Imidlertid gir tabellene kun motstandsverdier for hver hel grad. For enkelt å kunne beregne verdier mellom trinnene i tabellene, ble tabellene konvertert til funksjoner. Ved konverteringen ble benyttet den naturlige logaritmen til motstandsverdiene da disse gir en mer tilnærmet lineær sammenheng med temperaturen.



Figur A.1 Eksempel på standardisert termistorkarakteristikk – Fenwell UUA 32J2

Termistoren i RHA1 følger Fenwall Unicurve UUA 32J2. Med utgangspunkt i de tabellerte verdiene har vi benyttet statistikkpakken Minitab til å utføre polynomiske regresjoner av første, andre og tredje orden. Vi har så regnet ut de estimerte temperaturverdiene ved hjelp av Excel, beregnet gjennomsnittlig feilmargin og funnet største og minste avvik. For enkelthets skyld og for best tilpasning er temperaturområdet begrenset til $-35 - +40$ °C. På grunnlag av disse utregningene ble det valgt å benytte tredjegradspolynom for beregning av temperaturen:

$$t = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3$$

hvor x er den naturlige logaritmen til termistorens motstandsverdi ($\ln R_t$) og konstantene $c_0 - c_3$ er gitt i følgende tabell:

| Sensor | Standard-kurve | Konstanter | | | |
|----------|----------------|------------|----------|---------|---------|
| | | c_0 | c_1 | c_2 | c_3 |
| RHA1 | UUA 32J2 | 309.776 | -55.7711 | 2.88625 | -0.0628 |
| SKH 2011 | (UUA 4J1) | 309.776 | -55.7711 | 2.88625 | -0.0628 |
| T+RF | R/T-2001 | 455.920 | -78.8060 | 4.39630 | -0.0999 |

Det var oppgitt at karakteristikken til termistoren i SKH 2011 følger Fenwall Unicurve UUA 4J1. Våre målinger har imidlertid vist at den har den samme karakteristikken som RHA1. Siemens-termistoren i T+RF har karakteristikken gitt ved Kennlinie 2001. I det siste tilfellet er

sammenhengen mellom temperatur og motstandsverdi gitt for kun hver femte grad.

Programinstruksjon P40 ($Z=LN(X)$) brukes for å finne logaritmen til motstandsverdien, mens instruksjon P55 (Polynomial) gir oss temperaturen beregnet ved hjelp av et tredjegrads polynom med de koeffisienter som ble funnet ovenfor. Middelerdien av de 10 sist målte temperaturene lagres i hhv T01_RHA1, T02_RHA1 og T03_RHA1 for de 3 instrumentene.

Verdien av den relative fuktigheten kan leses direkte med programmets instruksjon P1 (Single-Ended Volt) i og med at RHA1 gir 1 mV pr %RH, mens de to andre (SKH 2011 og T+RF) gir 10 mV pr % RH. Middelerdien av de 10 siste målingene lagres i hhv F01_avrge, F02_avrge og F03_avrge.

Nedenfor presenteres programdelen for innlesning og beregning av både temperatur- og fuktighetsdata fra RHA1 (relativ fuktighet først, deretter temperatur). De to andre sensorene har tilsvarende program.

```

--- Input from RHA1 (Relative humidity and air temp) ---

4: Volt (SE) (P1) ;Input from RHA1, Relative Humidity
1: 1 Reps
2: 4 250 mV Slow Range
3: 11 SE Channel
4: 42 Loc [ F01_RHA1 ]
5: 1.0 Mult
6: 0.0 Offset

5: Running Average (P52) ;average of 10 most recent values
1: 1 Reps
2: 42 First Source Loc [ F01_RHA1 ]
3: 45 First Destination Loc [ F01_avrge ]
4: 10 Number of Values in Avg Window

6: Excite-Delay (SE) (P4) ;Input from RHA1, Air Temp Sensor
1: 1 Reps
2: 3 25 mV Slow Range
3: 12 SE Channel
4: 3 Excite all reps w/Exchan 3
5: 10 Delay (units 0.01 sec)
6: 100 mV Excitation
7: 38 Loc [ RHA1_tmp ]
8: 0.01 Mult
9: 0.0 Offset

7: BR Transform Rf[X/(1-X)] (P59)
1: 1 Reps
2: 38 Loc [ RHA1_tmp ]
3: 68.0 Multiplier (Rf)

8: Z=X*F (P37)
1: 38 X Loc [ RHA1_tmp ]
2: 1000 F

```

```

3: 38          Z Loc [ RHA1_tmp ]

9:  Z=LN(X) (P40)
1: 38          X Loc [ RHA1_tmp ]
2: 38          Z Loc [ RHA1_tmp ]

10: Polynomial (P55)
1: 1           Reps
2: 38          X Loc [ RHA1_tmp ]
3: 39          F(X) Loc [ T01_RHA1 ]
4: 309.776    C0
5: -55.7711   C1
6: 2.88625    C2
7: -0.0628    C3
8: 0.0        C4
9: 0.0        C5

```

A.6.2 For Vaisala 50Y

Vaisala HUMITTER 50Y har to signalutganger, relativ fuktighet og temperatur, begge er koblet til single-ended innganger på dataloggeren og måles med instruksjon P1 (Volt (SE)).

Temperaturfølerne gir et signal på 10 mV/°C med en offset på -40 °C. Tilsvarende tall for fuktighetsmåleren er 10 mV/%RH og 0 %RH.

```

1: Do (P86)          ;Skru på strømforsyning til Humitter
1: 48                Set Port 8 High

;    Tidsforsinkelse så 50Y rekker å bli stabil

2: Excitation with Delay (P22)
1: 3                 Ex Channel
2: 0                 Delay W/Ex (units = 0.01 sec)
3: 10                Delay After Ex (units = 0.01 sec)
4: 0                 mV Excitation

;    Temperaturmåling

3: Volt (SE) (P1)    ;Temperaturmåling
1: 1                 Reps
2: 35                2500 mV 50 Hz Rejection Range
3: 06                SE Channel
4: 0000              Loc [ T04_50Y ]
5: 0.1               Mult
6: -40.0             Offset

4: Volt (SE) (P1)    ;Mål reativ fuktighet
1: 1                 Reps
2: 35                2500 mV 50 Hz Rejection Range
3: 05                SE Channel
4: 0000              Loc [ F04_50Y ]
5: 0.1               Mult
6: 0.0               Offset

```

```
5: Do (P86) ;Skru strømforsyningen av igjen
1: 58 Set Port 8 Low
```

A.7 Nedbørmengde

Ut fra den målte frekvensen på sensoren (den svingende strengen), f (i Hz), beregnes nedbørmengden, P (i cm), ved hjelp av følgende formel:

$$P = A(f - f_0) + B(f - f_0)^2$$

hvor A og B er sensorkonstanter og f_0 er sensorfrekvens med tom bøtte. Kalibreringsdata er gitt i følgende tabell:

| Målestasjon | Serienr. | A | B | f_0 |
|---------------|----------|-------------------------|-------------------------|--------|
| 1 (Rygge) | 27299 | $1.68667 \cdot 10^{-2}$ | $9.18113 \cdot 10^{-6}$ | 1055.8 |
| 2 (Bardufoss) | 33999 | $1.73462 \cdot 10^{-2}$ | $9.10784 \cdot 10^{-6}$ | 1077.4 |

Nedbørmåleren slås på hver gang klokken passerer hel ny time og av igjen etter 13 minutter. Flag 1 brukes for å signalisere om måleren er aktiv. Dette er lang nok tid til å lese nedbørmåleren 2 ganger.

```
-- Input from T200B, Precipitation Gauge ---
; Turn the gauge on every hour and off again 13 minutes later

25: If time is (P92) ;Enable Gauge
1: 00 Minutes (Seconds --) into a
2: 60 Interval (same units as above)
3: 46 Set Port 6 High

; Flag 1 used to signal valid input from T200B

26: If time is (P92) ;T200 signal valid
1: 00 Minutes (Seconds --) into a
2: 60 Interval (same units as above)
3: 11 Set Flag 1 High

27: If time is (P92) ;Disable gauge
1: 13 Minutes (Seconds --) into a ; 13
2: 60 Interval (same units as above)
3: 56 Set Port 6 Low

28: If time is (P92) ;T200 signal not valid
1: 13 Minutes (Seconds --) into a
2: 60 Interval (same units as above)
3: 21 Set Flag 1 Low

; Wait min 10 sek before measurement is done !!

29: Pulse (P3) ;Read from Pulse Counter channel
1: 1 Reps
```

```

2: 1      Pulse Channel 1
3: 23     High Frequency, 16 Bit, Output Hz
4: 63     Loc [ Nedboer ]
5: 100.0  Mult
6: 0.0    Offset

30:  Z=F (P30)                ;Set frequency with no load (Constant)
   1: 1050.0  F
   2: 00      Exponent of 10
   3: 65      Z Loc [ NedbNull ]

31:  Z=X-Y (P35)              ;Calculate net Precipitation
   1: 63      X Loc [ Nedboer ]
   2: 65      Y Loc [ NedbNull ]
   3: 64      Z Loc [ NedbNetto ]

32:  Polynomial (P55)
   1: 1      Reps
   2: 64      X Loc [ NedbNetto ]
   3: 66      F(X) Loc [ NedbFinal ]
   4: 0.0     C0
   5: 0.01687 C1
   6: 0.0     C2
   7: 0.0     C3
   8: 0.0     C4
   9: 0.0     C5

```

Resultatet lagres som NedbFinal:

A.8 Lufttemperatur

Campbell har utviklet en egen instruksjon for å lese inn data fra TP107 – Instruksjon P11. Instruksjonen legger ut en excitasjonsspenning på 2 VAC på valgt excitasjonsutgang, foretar en single-ended spenningsmåling over en fast motstand i serie med termistoren, og beregner verdien på sensormotstanden R_s ut fra forholdet mellom den målte spenningen U_s og den påtrykte excitation-spenningen U_x ut fra formelen

$$U_s / U_x = \frac{R_f}{(R_s + R_f)} = \frac{1000}{(R_s + 250000)}$$

hvor R_f er en fast motstand (se figur 4.3). Deretter beregnes temperaturen i °C ved å bruke et femte ordens polynom på en standard termistorkurve (ved korrelasjon mellom U_s/U_x og temperatur).

Exciterings-kanalen E2 er felles for alle PT107. Temperatur i °C fås med multiplikator lik 1 og offset lik 0.

```

106: Temp (107) (P11)          ;Measure 107 sensor
   1: 1      Reps
   2: 3      SE Channel

```

```

3: 2      Excite all reps w/E2
4: 5      Loc [ T05_107 ]
5: 1.0    Mult
6: 0.0    Offset

```

I hovedprogrammet (kapittel A.2) midles over de 10 siste målingene for hvert av de 10 instrumentene, og resultatene lagres som T05_avrge - T14_avrge.

A.9 Vindretning

Når referansespenningen U_{ref} er kjent (se figur 4.4), kan potentiometer-viperens posisjon beregnes ut fra følgende formel:

$$X = \frac{(\text{signal}_H - \text{signal}_L)}{U_{ref}}$$

Vindretningen θ beregnes deretter fra formelen:

$$\theta = (360 - D)X + D/2$$

hvor D er dødsonen i grader. For dette instrumentet er D lik 3.5grader.

```

120: Ex-Del-Diff (P8)      ;Les input fra vindfane (W200P)
  1: 1      Reps
  2: 5      2500 mV Slow Range
  3: 2      DIFF Channel
  4: 2      Excite all reps w/Exchan 2
  5: 001    Delay (units 0.01 sec)
  6: 2500   mV Excitation
  7: 67     Loc [ W200_tmp ]
  8: 1.0    Mult
  9: 0.0    Offset

```

```

;   Divider målt spenning med exciterings-spenning (2500 mV) for
;   å finne potensiometer posisjon.

```

```

121: Z=X*F (P37)
  1: 67     X Loc [ W200_tmp ]
  2: 0.0004 F
  3: 56     Z Loc [ V1_W200P ]

```

```

;   Multipliser input med 360 -3.5 (full scale -dead band)

```

```

122: Z=X*F (P37)
  1: 56     X Loc [ V1_W200P ]
  2: 356.5  F
  3: 56     Z Loc [ V1_W200P ]

```

```

;   Legg halve dødsonen til input (1.75 deg), og lagre resultatet.

```

```

123: Z=X+F (P34)
  1: 56     X Loc [ V1_W200P ]
  2: 1.75   F

```

```
3: 56      Z Loc [ V1_W200P ]
```

Resultatene lagres som momentanverdiene `V1_deg` og `V2_deg`.

A.10 Overflatefuktighet

Campbell 237 er koblet i en halv-bro kobling, og for å lese signalet fra denne sensoren brukes instruksjon `P5` (AC Half Bridge). En kan ikke benytte DC-eksitering med en slik sensor da dette kan resultere i polarisering og dermed målefeil.

Instruksjonen returnerer forholdet mellom den målte spenningen U_s og eksiteringsspenningen ($U_x = 2500$ mV), som er lik forholdet mellom motstandsverdiene, se figur 4.5:

$$\frac{U_s}{U_x} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 + R_s}$$

En alternativt uttrykk for bladfuktighet er sensormotstanden, R_s , som beregnes som følger:

$$R_s = \frac{R_2}{U_s/U_x} - R_2 - R_1, \text{ som blir } R_s = \frac{1}{U_s/U_x} - 101$$

når R_2 og R_1 erstattes med hhv 1 og 100 k Ω .

Når sensoren er fullstendig tørr blir resultatet av utlesningen 99999 (overflow).

```
; Exciter og mål Campbell 237 sensor

163: AC Half Bridge (P5)
  1: 1      Repr
  2: 13     25 mV Fast Range
  3: 03     SE Channel
  4: 2      Excite all reps w/Exchan 2
  5: 2500   mV Excitation
  6: 53     Loc [ W237_tmp ]
  7: 1.0    Mult
  8: 0.0    Offset

; Konverter til absoluttverdi

164: Z=ABS(X) (P43)
  1: 53     X Loc [ W237_tmp ]
  2: 53     Z Loc [ W237_tmp ]

; Inverter Us/Ux (forholdet mellom målt spenning
; og exciterings-spenning)

165: Z=1/X (P42) ;
  1: 53     X Loc [ W237_tmp ]
  2: 51     Z Loc [ O1_237 ]
```

; Legg til -101.0 for å få motstandsverdien i k Ω

```
166: Z=X+F (P34)
    1: 51      X Loc [ 01_237 ]
    2: -101.0 F
    3: 51      Z Loc [ 01_237 ]
```

Resultatene lagres som momentanverdiene 01_237 og 02_237.

A.11 Langbølget stråling

Alle målinger og beregninger går på å bestemme en eller flere av størrelsene i ligningen $W_{NET} = W_{IN} - W_{OUT}$, hvorav W_{IN} er den som skal være det endelige resultatet. I denne sammenhengen vises til beskrivelsen i avsnitt 4.2.4 om de forskjellige signalutganger fra pyrgeometeret. Hvilke målekanaler i AM416 som er reservert for de to instrumentene, er gitt i figur 4.6 og appendiks B.2.

Nedenfor vises hvordan beregningene gjennomføres og den del av programmet som brukes for å måle (og beregne) stråling med ett av pyrgeometrene. Instruksjonene gjentas for det andre.

Innstrålingen W_{IN} bestemmes direkte (i W/m²) ved å måle spenningen mellom pin B og A (U_{BA}) og dele den på instrumentets følsomhet, som beskrevet i pkt 2 i avsnitt 4.2.4. Dette forutsetter at det sitter et "friskt" batteri i kompensasjonskretsen. Resultatet lagres i location R1b_PIR.

```
132: Volt (Diff) (P2)
    1: 1      Repr
    2: 2      7.5 mV Slow Range
    3: 2      DIFF Channel
    4: 69     Loc [ R1B_PIR ]
    5: 273.224 Mult           ;invers av følsomhet
    6: 0.0    Offset
```

Pyrgeometer-spenningen mellom pin B og A (U_{BA}) måles og lagres midlertidig som R1b_Volt for senere bruk.

```
133: Volt (Diff) (P2)
    1: 1      Repr
    2: 2      7.5 mV Slow Range
    3: 2      DIFF Channel
    4: 74     Loc [ R1b_Volt ] ;spenning i mV
    5: 1.0    Mult           ;M=1 pga måler spenning ikke stråling
    6: 0.0    Offset
```

Netto innstråling bestemmes ved å måle spennigen mellom pin C og A (U_{CA}) og dele den på instrumentets følsomhet. Verdien lagres midlertidig i R1c_PIR for senere beregning av den ønskede innstråling.

```
136: Volt (Diff) (P2)
```



```

1: 1      Reps
2: 1      2.5 mV Slow Range
3: 2      DIFF Channel
4: 72     Loc [ R1c_PIR ]
5: 273.224 Mult          ;invers følsomhet (1/S)
6: 0.0    Offset

```

Thermopile-spenningen (R1c_Volt) måles og kompensasjons-spenningen beregnes. Resultatet lagres som R1_CompV. Denne kan senere brukes til å sjekke kompensasjonskretsens og batteriets tilstand.

```

137: Volt (Diff) (P2)
1: 1      Reps
2: 1      2.5 mV Slow Range
3: 2      DIFF Channel
4: 75     Loc [ R1c_Volt ] ;i mV
5: 1.0    Mult          ;M=1 pga måler spenning ikke stråling
6: 0.0    Offset

138: Z=X-Y (P35)          ;Calculate comp. output voltage
1: 74     X Loc [ R1b_Volt ]
2: 75     Y Loc [ R1c_Volt ]
3: 76     Z Loc [ R1_CompV ] ;Komp.spenning i mV

```

I de følgende instruksjonene bestemmes utstrålingen fra instrumentet W_{OUT} basert på dets interne temperatur.

Først bestemmes motstandsverdien til "case thermistor" ut fra spenningen målt (over pin E og D) etter å ha påtrykt exciteringsspenning. Sammenhengen mellom termistorens motstandsverdi og instrumentets absolute temperatur, T , finnes fra gitte tabeller og temperaturen beregnes med programdelene 142-146. Her er benyttet samme tilnæringsmåte som for termistorene brukt ved måling av lufttemperatur – beskrevet i avsnitt A.6.1. Konstantene c_0 , c_1 og c_2 i polynomet er i dette tilfelle hhv 375.99, -51.455 og 1.4496.

Ved å anta at sensoren er en svart stråler, beregnes utstrålingen med programdelene 148, 149 og 150 etter formelen $W_{OUT} = 5.6697 \times 10^{-8} T^4$.

```

141: Excite-Delay (SE) (P4)
1: 1      Reps
2: 3      25 mV Slow Range
3: 3      SE Channel
4: 2      Excite all reps w/Exchan 2
5: 10     Delay (units 0.01 sec)
6: 125    mV Excitation
7: 80     Loc [ PIR_tmp ] ;spenning over termistoren
8: 0.008  Mult
9: 0.0    Offset

142: BR Transform Rf[X/(1-X)] (P59)
1: 1      Reps
2: 80     Loc [ PIR_tmp ] ;Term. motstand i Kohm

```

```

3: 1000.0  Multiplier (Rf)      ;Pga 1 Mohm resistor

143:  Z=X*F (P37)
1: 80      X Loc [ PIR_tmp ]
2: 1000.0  F
3: 80      Z Loc [ PIR_tmp ] ;Term. motstand i ohm

144:  Z=LN(X) (P40)
1: 80      X Loc [ PIR_tmp ]
2: 80      Z Loc [ PIR_tmp ]

145:  Polynomial (P55)          ;Calculate case temp i deg.C
1: 1       Repr
2: 80      X Loc [ PIR_tmp ]
3: 81      F(X) Loc [ R1_therm ] ;case temperature
4: 375.99  C0
5: -51.455 C1
6: 1.4496  C2
7: 0.0     C3
8: 0.0     C4
9: 0.0     C5

146:  Z=X+F (P34)              ;Calculate case temp (Kelvin)
1: 81      X Loc [ R1_therm ]
2: 273.16  F
3: 82      Z Loc [ R1_thermK ]

147:  Z=F (P30)                ; Make exponent (4)
1: 4.0     F
2: 00      Exponent of 10
3: 68      Z Loc [ Exp_4 ]

148:  Z=X^Y (P47)              ;Beregn casetemp i 4.de potens
1: 87      X Loc [ R1_thermK ]
2: 68      Y Loc [ Exp_4 ]
3: 88      Z Loc [ R1_Tci4de ]

149:  Z=X*F (P37)
1: 84      X Loc [ R1_Tci4de ]
2: 0.00001 F
3: 83      Z Loc [ R1_TcScal ]

150:  Z=X*F (P37)              ;Calculate output radiation
1: 83      X Loc [ R1_TcScal ]
2: 0.00567 F                   ;Boltzmans konstant, skalert
3: 85      Z Loc [ R1_outRad ] ;Output radiation

```

Resultatet, W_{OUT} , brukes til å beregne den ønskede innstrålingen W_{IN} (i W/m^2) som summen av utstråling og netto innstråling W_{NET} . Sluttresultatet lagres i $R1_inRad$.

```

151:  Z=X+Y (P33)
1: 85      X Loc [ R1_outRad ] ;Rout
2: 72      Y Loc [ R1c_PIR   ] ;Rnet
3: 70      Z Loc [ R1_inRad  ] ;Input radiation (W/m2)

```

Etter målingen med det oppoverseende instrumentet, er innholdet i variablene (memory locations) som følger:

R1b_PIR : målt innstråling (W_{IN} i W/m^2) basert på Pyrgeometer-signalet.
 R1_CompV : kompensasjons-spenning (i mV) ($R1b_Volt - R1c_Volt$).
 R1_inRad : beregnet innstråling (W_{IN} i W/m^2) ($W_{NET} + W_{OUT}$).
 R1_therm : instrumentets (Case) temperatur i °C.

For det nedoverseende instrumentet er R2 benyttet i parameternavnene.

A.12 Bakke- og overflatetemperatur

Dataloggeren benytter følgende sekvens for å bestemme termoelement-temperaturen: Først kalibreres målebroen i AM25T og temperaturen i referansepunktet (cold junction) beregnes. Referansetemperaturen lagres midlertidig i minnet på et sted som kan nås av instruksjonen P14, som brukes til å måle temperatur fra termoelementene. Loggeren beregner den spenningen som et termoelement av samme type ville gitt ved referansetemperaturen, hvis dens referanse-temperatur var 0 °C, og legger denne spenningen til den målte termoelement-spenningen. Temperaturen i målepunktet beregnes så ved hjelp av en polynom tilpasning. Referansetemperaturen måles kun en gang pr scan.

```
; Measure the output of the Full Bridge where the RTD is located

3: Full Bridge (P6)
1: 1      Reps
2: 32     7.5 mV 50 Hz Rejection Range
3: 1      DIFF Channel
4: 1      Excite all reps w/Exchan 1
5: 250    mV Excitation
6: 12     Loc [ Vs_250 ]
7: 1.0    Mult
8: 0.0    Offset

4: Do (P86) ;Clock the AM25T to the excit. channel
1: 72     Pulse Port 2

5: Full Bridge (P6) ;Measure the voltage drop at the bridge
1: 1      Reps
2: 34     250 mV 50 Hz Rejection Range
3: 1      DIFF Channel
4: 1      Excite all reps w/Exchan 1
5: 250    mV Excitation
6: 13     Loc [ Vx_250 ]
7: 0.001  Mult
8: 0.0    Offset

; Calculate the bridge output, compensating for the voltage drop

6: Z=X/Y (P38)
1: 12     X Loc [ Vs_250 ]
2: 13     Y Loc [ Vx_250 ]
3: 11     Z Loc [ RefTemp_C ]
```

```

7:  Z=X*F (P37)
1:  11      X Loc [ RefTemp_C ]
2:  -.001   F
3:  11      Z Loc [ RefTemp_C ]

8:  Z=X+F (P34)
1:  11      X Loc [ RefTemp_C ]
2:  0.09707 F
3:  11      Z Loc [ RefTemp_C ]

9:  BR Transform Rf[X/(1-X)] (P59) ;Find the resistance of RTD
1:  1      Reps ;(reference temp)
2:  11     Loc [ RefTemp_C ]
3:  10.025 Multiplier (Rf)

10: Temperature RTD (P16) ;Calculate the reference temperature
1:  1      Reps
2:  11     R/R0 Loc [ RefTemp_C ]
3:  11     Loc [ RefTemp_C ]
4:  1.0    Mult
5:  0.0    Offset

```

Følgende programdel måler signalet fra et termoelement og beregner temperaturen i målepunktet. Funksjonen benytter referansetemperaturen som er beregnet ovenfor, og rutinen gjentas til alle termoelementene er målt.

```
; Measure the first thermocouple
```

```

15: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1:  1      Reps
2:  31     2.5 mV 50 Hz Rejection Range
3:  1      DIFF Channel
4:  1      Type T (Copper-Constantan)
5:  11     Ref Temp (Deg. C) Loc [ RefTemp_C ]
6:  14     Loc [ TE_11 ]
7:  1.0    Mult
8:  0.0    Offset

```

Resultatene fra termoelementene lagres som middelverdier av de siste 10 målingene: TE_11-TE_15, TE_21-TE_25, TE_31-TE_35 og TE_41-TE_48. De 3 første gruppene er målinger i bakken, mens den siste er overflatetemperaturer f eks på kjøretøyer.

A.13 Kortbølget stråling

Strålingen i W/m^2 bestemmes direkte ved å dividere den utmålte spenningen med instrumentets følsomhet. Følsomheten er gitt i kalibreringsdata fra produsenten. Av programmeringstekniske grunner blir spenningen multiplisert med den inverse verdien av følsomheten – kalt multiplikator. Følsomheten og multiplikatoren for instrumentene er gitt i følgende tabell:

| Målestasjon | Syns- retn | Serienr. | Følsomhet (V / W/m ²) | Multiplikator (W/m ² / mV) |
|---------------|---------------|----------|--------------------------------------|--|
| 1 (Rygge) | opp | 990685 | 10.85 10 ⁻⁶ | 92.166 |
| 1 (Rygge) | ned | 990686 | 10.93 10 ⁻⁶ | 91.491 |
| 2 (Bardufoss) | opp | 990650 | 12.20 10 ⁻⁶ | 81.967 |

Programmets instruksjon P2 (Differential Volts) måler spenningen mellom høy og lav inngang, og gir ut signalet i W/m².

88: Volt (Diff) (P2)

```
1: 1      Repr
2: 3      25 mV Slow Range
3: 1      DIFF Channel
4: 99     Loc [ P1_CM21 ]
5: 92.17  Mult
6: 0.0    Offset
```

89: Running Average (P52)

```
1: 1      Repr
2: 99     First Source Loc [ P1_CM21 ]
3: 101    First Destination Loc [ P1_avrge ]
4: 10     Number of Values in Avg Window
```

Som vist lagres middelverdiene som P1_avrge og P2_avrge.

A.14 Vindhastighet

Hver omdreining av rotoren gir en kortslutning. Dataloggeren måler antall kortslutninger (eller kontakter) i en måleperiode på 30 s. Ut fra instrumentets kalibreringsdata kan vindhastigheten bestemmes. Kalibreringen er gjort ved å måle vindhastigheten ved en gitt rotorhastigheten (425 rpm), og anta at sammenhengen mellom vindhastighet og rotorhastighet er lineær. Følgende uttrykk gir da vindhastigheten S:

$$S = N/R$$

hvor N er rotorens omdreinger i minuttet (rpm) og R er kalibreringskurvens stigning (rpm per m/s).

I praksis viser det seg at karakteristikken ikke er en rett linje, men en kurve. I kalibreringen inngår derfor en tabell av korreksjonsledd som kan brukes for å korrigere for feilene som oppstår ved å anta en lineær karakteristikk. Korreksjonsverdien, C, adderes til resultatet som vist i følgende formel:

$$S = (2N_m/R) + C$$

hvor N_m er antall rotoromdreininger i et halvt minutt (derfor faktoren 2). Korreksjonen gjelder imidlertid bare for et begrenset hastighetsintervall. Tilnærmingen viser seg likevel å være god nok for vårt behov.

Anemometrene er koblet til multiplekseren SDM-SW8A. Data leses fra anemometeret med instruksjon P102 (SDM-SW8A) hvert halve minutt. Dette gir oss en "Multiplier" lik $2/R$. "Offset" settes til en middelvei av C for aktuelle vindhastigheter (0 – 10 m/s). Kalibreringsdata for instrumentene er praktisk talt identiske: $R = 47.9$ rpm pr m/s. "Multiplier" blir da 0.0408 og "Offset" er beregnet til 0.079.

```
190:  SDM-SW8A (P102)           ;Read data from anemometer A100R
      1: 1                      Repts
      2: 00                     SDM Address
      3: 2                      Counts function
      4: 01                     SDM-SW8A Starting Channel
      5: 58                     Loc [ A1_A100R ] ;Windspeed in m/s
      6: 0.0408                 Mult           ;Measurement periode 30 sec
      7: 0.079                  Offset        ; (Correction)
```

```
191:  Running Average (P52)
      1: 1                      Repts
      2: 58                     First Source Loc [ A1_A100R ]
      3: 92                     First Destination Loc [ A1_avrge ]
      4: 10                     Number of Values in Avg Window
```

Middelveiene for hvert av de 6 anemometerene lagres som A1_avrge – A6_avrge.

B TILKOBLINGER

I dette appendiks gis en samlet oversikt over hvordan datalogger, multipleksere og sensorer er koblet sammen. Detaljene finnes i diagrammene i hovedteksten.

Tabellene i dette appendiks har en kolonne kalt "Name". Det er den betegnelsen vi har gitt de forskjellige sensorer for å kunne holde orden på dem i felt. Sensorene med kabler er derfor merket med disse betegnelse. F eks er en av de kombinerte fuktighets- og temperaturmålerne merket K1, mens kabelenderne på de samme instrumentene er merket hhv F1 og T1.

De lagrede måleverdier har i stor grad fått tilsvarende betegnelser – f eks er T05_avrge resultatet av temperaturmålingen med T05. Dette har imidlertid ikke latt seg gjennomføre for alle. Her vises til appendiks A.

B.1 Datalogger Campbell CR10X

For hver av de analoge kanalene 4, 5 og 6 er gitt instrumentene for hhv Rygge og Bardufoss. For eksiteringskanalen E3 og for Power output er kun gitt instrumentene på Rygge.

| Analog inputs | Purpose | Sensor/unit | Name | |
|-----------------|------------|-----------------|------|----|
| Diff 1H (Se 01) | Signal Hi | AM25T | | |
| Diff 1L (Se 02) | Signal Lo | | | |
| AG | | | | |
| Diff 2H (Se 03) | COM H2 | AM416 | | |
| Diff 2L (Se 04) | COM L1 | | | |
| AG | COM L2 | | | |
| G | | | | |
| Diff 3H (Se 05) | Humidity | 50Y | K4 | F4 |
| Diff 3L (Se 06) | Thermistor | | | T4 |
| AG | | | | |
| G | | | | |
| Diff 4H (Se 07) | Humidity | RHA1 / T+RF | K3 | F3 |
| Diff 4L (Se 08) | Thermistor | | | T3 |
| AG | | | | |
| Diff 5H (Se 09) | Humidity | RHA1 / SKH 2011 | K2 | F2 |
| Diff 5L (Se 10) | Thermistor | | | T2 |
| AG | | | | |
| Diff 6H (Se 11) | Humidity | RHA1 / SKH 2011 | K1 | F1 |
| Diff 6L (Se 12) | Thermistor | | | T1 |
| AG | | | | |

| Digital ports | Purpose | Sensor/unit | Name |
|---------------|----------------|-------------|------|
| C1 | DATA | SDM SW8A | |
| C2 | CLK | | |
| C3 | ENABLE | | |
| C4 | RESET | AM25T | |
| C5 | RESET | AM416 | |
| C6 | ON/OFF | T200B | |
| C7 | | | |
| C8 | Vaisala On/Off | SW12ctrl | |

| Excitation chnls | | Sensor/unit | Name |
|------------------|--|---------------|------|
| E1 | | AM25T | |
| E2 | | AM416, COM H1 | |
| E3 | | 3 x RHA1 | |

| Pulse inputs | Purpose | Sensor/unit | Name |
|--------------|---------|-------------|------|
| P1 | | T200B | N1 |
| P2 | | | |

| Power output | Connected to | Sensor/unit | |
|--------------|--------------|---------------|--|
| 5 V | | | |
| 5 V | | 3 x RHA1 | |
| SW 12 CTRL | C 8 | CR 10 X | |
| SW 12 V | + 12 V | Hummitter 50Y | |
| G | | | |

B.2 Campbell AM416 Multiplexer

Hver av de analoge inngangene kan programmeres som to single-ended eller en differensiell kanal. I feltene merket Purp (Purpose) i tabellen (nedenfor) angir Se3 og Se4 at input-kanalen er i single-ended modus. På samme måte viser Hi og Lo til høy og lav inngang på en inputkanal som er i differensiell modus.

| Input | Purp. | Sens. | Name |
|------------|-------|-------|------------------|
| channel 1 | L2 | Ag | 107 |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 2 | L2 | Ag | 107 |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 3 | L2 | Ag | 107 |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 4 | L2 | Ag | 107 |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 5 | L2 | Ag | 107 |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 6 | L2 | Ag | |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 7 | L2 | Ag | W200P |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 8 | L2 | Ag | W200P |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 9 | L2 | Ag | PIR ₁ |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 10 | L2 | Ag | PIR ₁ |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 11 | L2 | Ag | PIR ₁ |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 12 | L2 | Ag | 237 |
| | H2 | Se3 | |
| | L1 | Se4 | |
| | H1 | Exc | |
| channel 13 | L2 | Ag | PIR ₂ |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 14 | L2 | Ag | PIR ₂ |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 15 | L2 | Ag | |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |
| channel 16 | L2 | Ag | |
| | H2 | Hi | |
| | L1 | Lo | |
| | H1 | Exc | |

B.3 Campbell AM25T Solid State Multiplexer

| Input | Purp. | Sensor | Name |
|-------|--------|---------------|-------------|
| 1H | Cu | Thermo-couple | TE11 |
| 1L | Const. | | |
| GND | | | |
| 2H | Cu | Thermo-couple | TE12 |
| 2L | Const | | |
| GND | | | |
| 3H | Cu | Thermo-couple | TE13 |
| 3L | Const | | |
| GND | | | |
| 4H | Cu | Thermo-couple | TE14 |
| 4L | Const | | |
| GND | | | |
| 5H | Cu | Thermo-couple | TE15 |
| 5L | Const | | |
| GND | | | |
| 6H | Cu | Thermo-couple | TE21 |
| 6L | Const | | |
| GND | | | |
| 7H | Cu | Thermo-couple | TE22 |
| 7L | Const | | |
| GND | | | |
| 8H | Cu | Thermo-couple | TE23 |
| 8L | Const | | |
| GND | | | |
| 9H | Cu | Thermo-couple | TE24 |
| 9L | Const | | |
| GND | | | |
| 10H | Cu | Thermo-couple | TE25 |
| 10L | Const | | |
| GND | | | |
| 11H | Cu | Thermo-couple | TE31 |
| 11L | Const | | |
| GND | | | |
| 12H | Cu | Thermo-couple | TE32 |
| 12L | Const | | |
| GND | | | |
| 13H | Cu | Thermo-couple | TE33 |
| 13L | Const | | |
| GND | | | |

| Input | Purp. | Sensor | Name |
|-------|----------|---------------|-------------|
| 14H | Cu | Thermo-couple | TE34 |
| 14L | Const. | | |
| GND | | | |
| 15H | Cu | Thermo-couple | TE35 |
| 15L | Const | | |
| GND | | | |
| 16H | Cu | Thermo-couple | TE41 |
| 16L | Const | | |
| GND | | | |
| 17H | Cu | Thermo-couple | TE42 |
| 17L | Const | | |
| GND | | | |
| 18H | Cu | Thermo-couple | TE43 |
| 18L | Const | | |
| GND | | | |
| 19H | Cu | Thermo-couple | TE44 |
| 19L | Const | | |
| GND | | | |
| 20H | Cu | Thermo-couple | TE45 |
| 20L | Const | | |
| GND | | | |
| 21H | Cu | Thermo-couple | TE46 |
| 21L | Const | | |
| GND | | | |
| 22H | Cu | Thermo-couple | TE47 |
| 22L | Const | | |
| GND | | | |
| 23H | Cu | Thermo-couple | TE48 |
| 23L | Const | | |
| GND | | | |
| 24H | Signal + | CM21 | P1 |
| 24L | Signal - | | |
| GND | Shield | | |
| 25H | Signal + | CM21 | P2 |
| 25L | Signal - | | |
| GND | Shield | | |

B.4 Campbell SDM-SW8A Switch Closure Input Module

| Input | Purp. | Sensor | Name |
|-------|--------|--------|-----------|
| IN 1 | Signal | A100R | A1 |
| 5 V | | | |
| GND | | | |
| IN 2 | Signal | A100R | A2 |
| 5 V | | | |
| GND | | | |
| IN 3 | Signal | A100R | A3 |
| 5 V | | | |
| GND | | | |
| IN 4 | Signal | A100R | A4 |
| 5 V | | | |
| GND | | | |

| Input | Purp. | Sensor | Name |
|-------|--------|--------|-----------|
| IN 5 | Signal | A100R | A5 |
| 5 V | | | |
| GND | | | |
| IN 6 | Signal | A100R | A6 |
| 5 V | | | |
| GND | | | |
| IN 7 | | | |
| 5 V | | | |
| GND | | | |
| IN 8 | | | |
| 5 V | | | |
| GND | | | |

C TEKNISKE SPESIFIKASJONER

C.1 Datalogger og multipleksere

Datalogger Campbell CR10X

| | |
|-------------------|---------------------------------------|
| Strømforsyning: | 12 VDC (0.6 – 16 VDC) |
| Strømforbruk: | 46 mA (max) (<1.5 mA i hviletilstand) |
| Input-spenning: | ±2.5 mV til ±2 500 mV |
| Oppløsning: | 0.33 µV til 333 µV |
| Driftstemperatur: | -25 til +50 °C |

Campbell AM416 Relay Multiplexer

| | |
|----------------------------|---|
| Strømforsyning: | 12 VDC (0.6 – 16 VDC) |
| Strømforbruk: | 17 mA (< 100 µA i hviletilstand) |
| Max strøm over kontaktene: | 500 mA (strøm over 30 mA kan degradere overflaten i kontaktene og dermed gi dårligere kontakt over tid) |
| Driftstemperatur: | -40 til +65 °C |

Campbell AM25T Solid State Multiplexer

| | |
|-----------------------------|--|
| Strømforsyning: | 12 VDC (0.6 – 16 VDC) |
| Strømforbruk: | 1.0 mA typisk (0.5 mA i hviletilstand) |
| Typisk kontaktmotstand: | 500 Ω |
| Nøyaktighet referanse temp: | ±0.2 °C i området -25 til +50 °C ±0.4 °C i området -40 til +85 °C |
| Driftstemperatur: | -40 til +85 °C |

Campbell SDM-SW8A Switch Closure Input Module

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Strømforsyning: | 12 VDC (0.6 – 16 VDC) |
| Strømforbruk: | 6 mA (3 mA i hviletilstand) |
| Input spenning: | 0.9 til 4 VDC |
| Maksimal input frekvens: | 100 Hz (50% duty cycle) |
| Driftstemperatur: | -25 til +50 °C |

C.2 Meteorologiske instrumenter

RHA1, SKH 2011, T+RF

| | |
|-----------------|----------------------------|
| Strømforsyning: | 5 til 15 VDC (T+RF: 5 VDC) |
| Strømforbruk: | 2 mA |

Fuktighetssensor

| | |
|-------------------|---|
| Måleområde: | 0 til 100 %RH |
| Signal: | 1 mV/%RH (T+RF:10mV/%RH) |
| Responstid: | 10 s for endring fra 10 til 75 %RH (for 90% av endringen) |
| Nøyaktighet: | < 2% |
| Driftstemperatur: | -30 til +70 °C |

Temperatursensor

Type: Epoxybelagt termistor (2 k Ω ved 25 °C – 10 k Ω for T+RF)
 Signal (motst/temp): Fenwall UUA32J2 kurve for RHA1 og SKH 2011
 R/T-Kennlinie 2001 for T+RF
 Nøyaktighet: ± 0.1 °C mellom 0 og 80 °C og ± 0.13 °C ved -20 °C

Vaiala Humitter 50Y

Strømforsyning: 7 til 28 VDC (12 VDC)
 Strømforbruk: 2 mA

Fuktighetssensor

Måleområde: 0 til 100 %RH
 Signal: 10 mV/%RH
 Nøyaktighet: 3 til 5 %RH i området 10 til 90 %RH

Temperatursensor

Måleområde: -10 til +60 °C
 Signal: 10 mV/°C
 Nøyaktighet: ± 5 til ± 8 °C

Geonor nedbørmåler T-200B

Strømforsyning: 12 VDC
 Strømforbruk: 20 mA
 Følsomhet: 0.1 mm
 Nøyaktighet: 0.1 % av full skala
 Inntaksareal: 200 cm²
 Kapasitet: 0 – 600 mm (inkl frostveske)
 Driftstemperatur: -25 til +60 °C

Campbell Temperature Probe 107

Strømforsyning: Ingen
 Termiske konstant: 60 sek (i luft med 1 m/s).
 Lineær feil:

| Område °C | Feil °C |
|-----------|-------------|
| -40 – +56 | < ± 1.0 |
| -38 – +52 | < ± 0.5 |
| -23 – +48 | < ± 0.1 |

Campbell Windvane W200P

Strømforsyning: Ingen
 Terskelverdi: 0.6 m/s
 Nøyaktighet: ± 3 grader i stabil vind > 5m/s
 Responstid: dempet naturlig bølgelengde: 3.4 m
 Elektrisk vinkelkontinuitet: 357.7 ± 1.5 grader (2.3 grader blindsoner mot nord)
 Pot.meterets temp.koef.: $\pm 50 \cdot 10^{-6}$ /°C
 Driftstemperatur: -50 til +70 °C
 Strømforsyning varmelem: 12 VDC

Strømforbruk varmeelement: 0.5 A

Campbell Wetness Sensor Grids 237

Strømforsyning: Ingen
 Størrelse: 75 x 60 mm
 Eksitasjonsspenning: 2 500 mV
 Motstand (tørr): 3000 k Ω (<1 k Ω våt)

Eppley Precision Infrared Radiometer Model PIR

Strømforsyning: Ingen
 Spektralområde: 3.5-50 μ m
 Synsfelt: 2π sr
 Cosinusrespons: < 5%
 Responstid: 2 s
 Linjærhet: ± 1 % 0-700 W/m²
 Temperaturfølsomhet: ± 2 % (-20 til +40 °C nominelt)
 Følsomhet (kalibrering):

| Serienr | Følsomhet V/W/m ² |
|-----------------|------------------------------|
| 32748F3 (FGAN) | 3.62×10^{-6} |
| 32776F3 (FFI-1) | 3.66×10^{-6} |
| 32777F3 (FFI-2) | 3.61×10^{-6} |

Termoelementer type T

Strømforsyning: Ingen
 Nøyaktighet: ± 0.5 °C
 Tråd-diameter: 0.2 mm
 Isolasjonsmateriale: Teflon
 Måledybde i bakken: 0, 10, 20 30 og 50 cm
 Temperaturområde: -40 til +125 °C

Kipp & Zonen Pyranometer CM21

Strømforsyning: Ingen
 Spektralområde: 305-2800 nm (50%) – 335-2200 nm (95%)
 Innstråling: 0 – 1400 W/m² (max 4000 W/m²)
 Synsfelt: 2π sr
 Responstid: 5 s for 95% respons
 Ustabilitet: ± 0.5 % per år
 Ulinjærhet: ± 0.25 %
 Temperaturfølsomhet: ± 1 (-20 til +50 °C relativt til 20 °C)
 Følsomhet (kalibrering):

| Serienr | Følsomhet V/W/m ² |
|----------------|------------------------------|
| 990650 (FGAN) | 12.20×10^{-6} |
| 990685 (FFI-1) | 10.85×10^{-6} |
| 990686 (FFI-2) | 10.93×10^{-6} |

Strømforsyning ventilator: 12 VDC

Strømforbruk ventilator: 0.4 A (pluss 0.4 A for hvert av to varmeelement)

Vector Instruments A100R Switching Anemometer

Strømforsyning: Ingen
Måleområde: 0.2 m/s – 75 m/s
Nøyaktighet: 1 % av avlest verdi (10 til 55 m/s)
Kalibrering: nominelt 0.8 omdreininger per sekundmeter (nominelt)
Driftstemperatur: –30 til +70 °C
Bryter kapasitet, max: 72 VDC, 40 mA,
Bryter kapasitet, anbefalt: 1 til 5 VDC, 1 mA,
Driftstemperatur: –50 til +70 °C
Strømforsyning varmeelem: 12 VDC
Strømforbruk varmeelement: 0.5 A

Litteratur

- (1) Olsen F B, Gamborg M, Høimyr T, Strømman E, Søderblom M (2001): Termisk signatur fra objekt og bakgrunn - Sluttrapport for prosjekt 775, FFI/RAPPORT-2001/05210
- (2) Strømman E, Høimyr T, Gamborg M, Olsen F B (2001): An automatic station for measurement of meteorological parameters and thermal signatures, FFI/RAPPORT-2001/05402
- (3) Høimyr T, Gamborg M (2001): Målestasjon for termiske signaturer, FFI/RAPPORT-2001/05318
- (4) Gamborg M, Olsen F B (2001): A database for thermal background signatures and their corresponding meteorological parameters - Data organization and reduction, FFI/RAPPORT-2001/05482

FORDELINGSLISTE

FFIE

Dato: 22 september 2002

| | | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|
| RAPPORTTYPE (KRYSS AV) | | RAPPORT NR. | REFERANSE | RAPPORTENS DATO | |
| <input checked="" type="checkbox"/> RAPP | <input type="checkbox"/> NOTAT | <input type="checkbox"/> RR | 2001/05317 | FFIE/775/119.2 | 22 september 2002 |
| RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD | | | ANTALL EKS UTSTEDT | ANTALL SIDER | |
| UGRADERT | | | 35 | 61 | |
| RAPPORTENS TITTEL | | | FORFATTER(E) | | |
| AUTOMATISK VÆRSTASJON | | | HØIMYR Tor, STRØMMAN Eivind | | |
| FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF | | | FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF: | | |
| Stian Løvold | | | Johnny Bardal | | |

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

| ANTALL | EKS NR | TIL | ANTALL | EKS NR | TIL |
|--------|--------|---|--------|--------|------------------------------|
| 1 | | FO/HST v/ maj S Johansen | 9 | | FFI-Bibl |
| 1 | | LUKS/BBSI v/ kapt L V Strædet | 1 | | Adm direktør/stabssjef |
| 1 | | LUKS/LKKI/LSR/BFTS v/ kapt T E Nicolaysen | 1 | | FFIE |
| 1 | | VSIV/INGR v/ lt O Skaaden | 1 | | FFISYS |
| 1 | | FLO/LAND/V.1 v/ kapt J I Jakobsen | 1 | | FFIBM |
| 1 | | FLO/LAND/V.1 v/ lt N Toverud | 2 | | Forfattereksemplarer |
| 1 | | FLO/SJØ-T-KSA v/ OK B Isfeldt | 1 | | Marius Gamborg, FFIE |
| 1 | | BFOSS FLYST v/ maj P K Wikestad | 1 | | Frode Berg Olsen, FFIE |
| 1 | | Dr D Clement, FGAN-FOM Gutleuthausstr. 1 D-76725 Ettlingen | 1 | | Tor Høimyr, FFIE |
| | | | 7 | | Morten Søderblom, FFIE |
| | | | | | Restopplag til Biblioteket |
| | | | | | Elektronisk fordeling |
| | | | | | Bjarne Haugstad, FFIBM |
| | | | | | Stian Løvold, FFIE |

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.