

**Avdeling for Ingeniørutdanning
Elektrolinjen****HOVEDPROSJEKT**

OPPGAVENS TITTEL Temperaturregulert kabinett	DATO 28.05.2003
	ANTALL SIDER / BILAG 97 / 25
FORFATTERE Frode Efteland og Marius Brenden	VEILEDER Veslemøy Tyssø, sivilingeniør
UTFØRT I SAMMARBEID MED Justervesenet	KONTAKTPERSON Helge Karlsson, senioringeniør

SAMMENDRAG

Opggaven går ut på å regulere og måle temperaturen i et lite kabinett. Kabinettets temperatur reguleres ved hjelp av sirkulerende vann via et reservoar. Temperaturen til vannet settes med en datamaskin som benytter seriekommunikasjon (RS232) opp mot sirkulasjonsbadet. Et multimeter bruker termistorer som er montert på sentrale lokasjoner i kabinettet som måler og logger temperatur til datamaskinen ved bruk av GPIB overføring. Rapporten omhandler fakta om temperaturmåling, informasjon om termistorene, kalibreringsprinsipp og metode, bruk av kurvetilpasning, detaljerte beskrivelser om data kommunikasjonen, programkode og brukerveiledning.

3 STIKKORD

LabVIEW

Kurvetilpasning

Kalibrering

2 Forord

Denne rapporten er et prosjektarbeid i 3.årskurs på elektroavdelingen ved Høgskolen i Oslo, avdeling for ingeniørutdanning, våren 2003.

Vi hadde mange prosjektoppgaver å velge i, og vårt valg falt på Justervesenet og oppgaven ”Temperaturregulert kabinett”. Vi hadde fått en innføring i bruk av LabVIEW på skolen, og hadde lyst å lære mer om grafisk programmering. Samtidig er måling av temperatur veldig lærerikt og utfordrene.

Denne rapporten beskriver prosjektets gjennomføring og de tekniske løsninger vi har valgt. Rapporten legger til grunn for at leseren har kjennskap i bruken av LabVIEW og vanlige programmeringsteknikker. Målet er å fordele arbeidet mellom oss to likest mulig. Vi skal bli like gode ved alle sider av prosjektet.

Vi deltok også to dager på kurs, Hands-on LabVIEW og Hands-on family som er en kort innføring i LabVIEW arrangert av dirstributøren National Instruments Norge.

Høsten 2002 reiste vi på besøk til Justervesenet og møtte vår veileder, senioringeniør Helge Karlsson. Han var sterkt motivert for å gjennomføre oppgaven, noe som var en viktig faktor for oss. Under hele prosjektperioden har han alltid vært behjelpelig, selv om han til tider var veldig opptatt. Takk skal du ha. Du har gitt oss mye ny kunnskap.

Vi vil også takke andre personer som har bidratt med kunnskap og hjelp. Takk til Tore Sørdsdal for lån av kalibreringsbad, Ole Christian Borgen som bygget kabinettet og lagde kapslingene til termistorene. Sist men ikke minst vil vi takke vår interne veileder Veslemøy Tyssø som har gitt gode råd og veiledning under prosjekt perioden.

HiO, 28. Mai 2003

Frode Efteland

Marius Brenden

3 Sammendrag

I mekanisk verkstedindustri benyttes det i stor grad passbiter som hovednormaler for mange typer kalibreringer av lengdeskalaer. Måleprinsippet er interferometri. Passbitene heftes til en referanseplate som utgjør den ene reflekterende flaten i interferometeret. Interferensmønsteret over passbit og referanseplate måles for to laser bølgelengder, rød og grønn, og analyseres. Lengden av passbiten bestemmes med en oppløsning på 1 nm.

Veileder Helge Karlsson oppdaget et systematisk avvik i målingene i henhold til internasjonale standarder. Jo lenger passbiten er, jo større har feilmålingen hans blitt pga metallens temperaturutvidelsesfaktor. Han har en teori om at det finnes temperaturforskjeller i måleområdet ut fra tidligere historiske målinger. Målingene ligger fortsatt innenfor de fastsatte normene, men veileder ønsker bedre nøyaktighet.

Problemet kan løses med å stabilisere temperaturen rundt passbitene. Et sirkulasjonsbad koblet til et lite kabinett, kan sørge for en jevnere og mer homogen temperatur rundt passbitene. Oppgaven vår var å koble sammen dette utstyret, samt lage et brukervennlig program i LabVIEW for å logge temperatur over tid.

Første del bestod i å klargjøre hardware som lodding og innkapsling av termistorer, deretter å opprette kommunikasjon med Keithley multimeter i LabVIEW. Keithley hadde laget drivere til LabVIEW men disse var fulle av feil. Vi slet med å få sikker kommunikasjon med multimeteret. Andre del bestod i en kalibreringsprosess og berekne en matematisk modell av termistorene. Vi gjorde flere kurvetilpasninger og avviksberegninger i matlab.

Programmeringen besto i å lage et loggeprogram som lagret temperatur til fil, og som deretter kan importeres i Excel for videre analyse. Vi laget et midlingsfilter for å filtrere bort stokastisk støy. Vi måtte også lage helt nye drivere til Neslab sirkulasjonsbad. Denne modulen kan sette og lese parametere som setpunkt, timer, PID-parametere, alarmnivåer og temperatur i sirkulasjonsbadet.

Siste del bestod i å teste programmet sammen med sirkulasjonsbadet og kabinettet.

4 Innholdsfortegnelse

1	Forord	1
2	Sammendrag	2
3	Innholdsfortegnelse	3
4	Liste over figurer og tabeller	6
5	Innledning	9
5.1	Bakgrunn	9
5.2	Temperaturavvik	10
5.3	Temperaturregulering	10
5.4	Hardware	11
5.5	Software	12
5.5.1	Betjening	12
6	Fakta om temperaturmåling	13
6.1	ITS-90 standarden	13
6.1.1	Praktiske temperaturskalaer	14
6.1.2	Krav til måling:	14
6.1.3	Problemer ved temperaturmålinger	14
6.2	Termistorer	15
6.2.1	Varmeovergang i termistorene	15
6.2.2	Ekvivalentskjema luftlommer	16
6.2.3	Tidsrespons	17
6.2.4	2-leder prinsippet	17
6.2.5	4-leder prinsippet	18
6.2.6	Støy	18
6.3	Steinhart-Hart likningen	19
6.3.1	Steinhart-Hart i matlab	19
6.3.2	Fabrikant data	21
7	Kalibrering og kurveoptimalisering	22
7.1	Hardware kalibrering	23
7.2	Virkemåte målebro	24
7.3	Fremgangsmåte	25
7.4	Første kalibrering	26
7.5	Andre kalibrering	27
7.6	Tredje kalibrering	28
7.6.1	Fremgangsmåte	28
7.6.2	Referansetemperatur	29
7.6.3	Resistansverdier	30
7.6.4	Standardavvik	31
7.6.5	Steinhart-Hart koeffisienter	32
7.7	Fjerde kalibrering	33
7.7.1	Innledning	33
7.7.2	Fremgangsmåte:	33
7.7.3	Forsøk på nye Steinhart-Hart koeffisienter:	34
7.7.4	Resultat 3-punkts kalibrering	34
7.8	Konklusjon av kalibrering og kurveoptimalisering	38
8	Eksperimenter i matlab og LabVIEW	39
8.1	Kapslingens innvirkning	39

8.1.1	Hva skyldes avvikene?	41
8.1.2	Konklusjon på kapslingstest:.....	42
8.2	Støy på relékort/skannerkort?.....	42
8.2.1	Konklusjon på støytest:	43
8.3	Matlab plot av 3-punkts SH-kurve	43
8.3.1	Konklusjon av 3-punkts SH-kurve:.....	46
8.4	Matlab plott av 15pkt Steinhart-Hart kurve	47
8.4.1	Konklusjon av 15pkt kalibrering:.....	48
8.5	Matlab – kalibrering 4	49
8.5.1	Konklusjon av fjerde kalibrering:	50
8.6	Måleusikkerhet	51
9	Logging av kabinett.....	54
9.1	Logging nr.1- Kabinettets homogenitet	54
9.1.1	Testforløp:	55
9.1.2	Analyse i Excel.....	55
9.1.3	Resultat av logging nr.1:	57
9.2	Logging nr.2- Kabinettets homogenitet	58
9.2.1	Analyse i Excel:	58
9.2.2	Resultat av logging nr.2:	59
9.3	Logging nr.3- Kabinettets homogenitet	59
9.3.1	Analyse i Excel:	61
9.3.2	Resultat av logging nr.3:	63
10	Programmering.....	64
10.1	Bruksanvisning.....	64
10.1.1	Hoved Frontpanel - KEITHLEY Control.....	64
10.1.2	Hoved Frontpanel - Temperature measurement.....	66
10.1.3	Hoved Frontpanel - Resistance measurement	67
10.1.4	Hoved Frontpanel - KEITHLEY Statistics	68
10.1.5	Hoved Frontpanel - NESLAB Control.....	69
10.1.6	Running average.vi - Frontpanel.....	70
10.1.7	NESLAB Advanced Control - Frontpanel	72
10.2	Programforklaring	75
10.2.1	Hierarkisk oppbygning.....	75
10.2.2	MainFront.vi - Diagram 	76
10.2.3	SubVi ”Start Criteria.vi” 	83
10.2.4	SubVi ”Start module.vi” 	84
10.2.5	SubVi ”HartFilter.vi” 	85
10.2.6	SubVi ”Save measurements.vi” 	85
10.2.7	SubVi ”Neslab ControlBox.vi”- Sekvens 0 	86
10.2.8	Neslab Timer.vi.....	91
10.2.9	SubVi ”Running average.vi” 	91
10.2.10	SubVi ”Temperature History.vi” 	92
10.3	Problemer ved programutvikling	94
10.3.1	Nullpunktsavlesning.....	94
10.3.2	Feil i formelnode	95
	Konklusjon på prosjektet.....	96
11	Kilder.....	97

Oversikt over bilag

A-	Oversikt over viktige filer	2
B-	Matlab scriptfiler – Ulike kurvemodeller	3
C-	Matlab script og Steinhart-Hart berekning fra tredje kalibrering	6
D-	Neslab kommandoer	8
E-	FDS	12
F-	Gant diagram.....	22
G-	Prosjektbeskrivelse	23
H-	Timeliste	24

5 Liste over figurer og tabeller

Figurindeks

Fig 5-1 Stålplate og passbiter med et Pt-100 element som referansetemperatur.	9
Fig 5-2 Påmonterte termistorer på objektet.	10
Fig 5-3 Temperaturregulert kabinett.	10
Fig 5-4 Hardwareoppsett	11
Fig 6-1 Termistor YSI 44031	15
Fig 6-2 Skjematisk varmeoverføring.	15
Fig 6-3 Tverrsnitt av temperaturføler.	16
Fig 6-4 Ekvivalentskjema for temperaturføler.	16
Fig 6-5 Tidsrespons.	17
Fig 6-6 Illustrasjon av 2-leder prinsippet.	17
Fig 6-7 Illustrasjon av 4-leder prinsippet.	18
Fig 6-8 Tvunnet virtuell skjerm.	18
Fig 6-9 Typisk karakteristikk fra termistor med negativ temperaturkoeffisient.	21
Fig 7-1 Hardwareoppsett kalibrering	22
Fig 7-2 Skisse av målebro	24
Fig 7-3 Bilde av målebroen.	25
Fig 7-4 Temperatursprang i kalibreringsbad.	25
Fig 7-5 Termistor uten kapsling.	26
Fig 7-6 Skannerkort med termistorer.	26
Fig 7-7 kurvetilpasning.	27
Fig 7-8 Prediksjonsfeil.	27
Fig 7-9 Termistor med kapsling.	28
Fig 7-10 20,0 °C med offset, bånd innenfor 1 mK som ligger over CH1.	35
Fig 7-11 20,5 °C med offset, bånd innenfor 1 mK men under CH1. CH5 og CH10 avviker sterkt.	35
Fig 7-12 21,0 °C. Båndet har flyttet seg 0,5 mK lengre ned enn ved forrige.	36
Fig 7-13 20,0 °C uten offset.	36
Fig 7-14 20,5 °C uten offset.	37
Fig 7-15 21,0 °C uten offset.	37
Fig 8-1 Plott av prediksjonsfeil.	40
Fig 8-2 Plott av tapsfunksjon.	41
Fig 8-3 10 kΩ presisjonsmotstand i kalibreringsbad.	42
Fig 8-4 Plott av tapsfunksjon.	44
Fig 8-5 Plott av prediksjonsfeil.	45
Fig 8-6 Plott av prediksjonsfeil.	46
Fig 8-7 Plott av tapsfunksjon.	47
Fig 8-8 Plott av prediksjonsfeil.	48
Fig 8-9 Plott av tapsfunksjon.	49
Fig 8-10 Plott av prediksjonsfeil.	50
Fig 8-11 Rektangulærfordeling	51
Fig 9-1 Oppsett med interferometeret	54
Fig 9-2 Termistorer plassert i kabinettet.	54
Fig 9-3 Oversiktsplott av logging nr 1	55
Fig 9-4 Plott av logging nr 1 fase 2.	56
Fig 9-5 Plott av logging nr 1 fase 3	57

Fig 9-6 Oversiktsplott av logging nr 2	58
Fig 9-7 Forstørret plott av CH6-10	59
Fig 9-8 Nærbilde av monitor til interferometeret.....	60
Fig 9-9 Plassering av termistorer og Pt-100	60
Fig 9-10 Lokk over kabinett	61
Fig 9-11 Oversiktsplott av logging nr 3.	62
Fig 9-12 Forstørret plott av logging med lokk.	62
Fig 10-1 Skjerm bilde fra "KEITHLEY Control" ("MainFront.vi").	64
Fig 10-2 Utsnitt av startprioritet.	64
Fig 10-3 Utsnitt av avlesnings alternativer.	65
Fig 10-4 Utsnitt av startvalg.	65
Fig 10-5 Utsnitt av lagringsvalg.	65
Fig 10-6 Skjerm bilde fra "Temperature measurements" ("MainFront.vi").	66
Fig 10-7 Skjerm bilde fra "Resistance measurements" ("MainFront.vi").	67
Fig 10-8 Skjerm bilde fra "KEITHLEY Statistics" ("MainFront.vi").	68
Fig 10-9 Skjerm bilde fra "NESLAB Control" ("MainFront.vi").	69
Fig 10-10 Utsnitt fra "Running average.vi"	70
Fig 10-11 Utsnitt fra "Running Average".	71
Fig 10-12 Utsnitt fra "Running average.vi".	71
Fig 10-13 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Neslab ControlBox.vi".	72
Fig 10-14 Utsnitt av parameterfremstilling	72
Fig 10-15 Utsnitt av start.	73
Fig 10-16 Utsnitt av parametersetting.	73
Fig 10-17 Utsnitt av Neslab internavlesning.	74
Fig 10-18 Grafisk fremstilling av hierarkisk oppbygning.	75
Fig 10-19 Skjerm bilde fra diagram	76
Fig 10-20 Utsnitt av prioritetsvalg "false".	76
Fig 10-21 Utsnitt av prioritetsvalg "true".	77
Fig 10-22 Utsnitt av startkontroll.	77
Fig 10-23 Utsnitt av sekvens "0"	78
Fig 10-24 Utsnitt av sekvens "1"	79
Fig 10-25 Utsnitt av sekvens "2"	80
Fig 10-26 Utsnitt av initialisering.	80
Fig 10-27 Utsnitt av resistans lagring/fremstilling.	81
Fig 10-28 Utsnitt av temperatur lagring/fremstilling.	81
Fig 10-29 SubVi Node Setup.	82
Fig 10-30 Utsnitt av PopUp koding	82
Fig 10-31 Utsnitt av Neslab setting/fremstilling og hovedstopp.	82
Fig 10-32 Utsnitt av sekvens "3".	83
Fig 10-33 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Start Criteria.vi".	83
Fig 10-34 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Start Criteria.vi".	84
Fig 10-35 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Start module.vi".	84
Fig 10-36 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Start module.vi".	84
Fig 10-37 Skjerm bilde av frontpanel tilhørende "HartFilter.vi".	85
Fig 10-38 Skjerm bilde av diagram tilhørende "HartFilter.vi"	85
Fig 10-39 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Save measurements.vi"	85
Fig 10-40 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Save measurements.vi"	86
Fig 10-41 Utsnitt av sekvens "0".	86
Fig 10-42 Skjerm bilde av diagram tilhørende "NESLAB read temperature module.vi".	87
Fig 10-43 Utsnitt av sekvens "1".	87

Fig 10-44 Utsnitt av sekvens "2"	88
Fig 10-45 Utsnitt av sekvens "3"	88
Fig 10-46 Utsnitt av sekvens "4"	89
Fig 10-47 Utsnitt av sekvens "5"	89
Fig 10-48 Utsnitt av sekvens "6"	90
Fig 10-49 Diagram "Neslab timer.vi"	91
Fig 10-50 Utsnitt av første sekvens i "Running average.vi"	91
Fig 10-51 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Temperature History.vi"	92
Fig 10-52 Skjerm bilde av frontpanel tilhørende "Temperature History.vi"	93
Fig 10-53 Diagram "Scan Keithley.vi"	94
Fig 10-54 Kommafeil i formelnoden	95

Tabellindex

Tabell 6-1 ITS-90 fikspunkter	13
Tabell 6-2 Typiske parametere for en termistor	21
Tabell 7-1 Hardwareliste kalibrering	23
Tabell 7-2 Temperatur kalibrering nr 3	29
Tabell 7-3 Resistans kalibrering nr 3	30
Tabell 7-4 Standardavvik kalibrering nr 3	31
Tabell 7-5 Steinhart-Hart koeffisienter kalibrering nr 3	32
Tabell 7-6 Temperatur kalibrering nr 4	34
Tabell 7-7 Resultat med tre-punkts kalibrering	34
Tabell 7-8 Temperaturoffset ved 20,0 °C	35
Tabell 8-1 Resistans uten kapsling 5 punkter	39
Tabell 8-2 Resistans med kapsling 5 punkter	39
Tabell 8-3 SH-koeffisienter 5 punkts kalibrering	40
Tabell 8-4 Resultat av presisjonsmotstand i romtemperatur	43
Tabell 8-5 Resultat av presisjonsmotstand i kalibreringsbad	43
Tabell 8-6 Resistans fra kalibrering nr 4	49
Tabell 9-1 Filer fra logging nr 1	55
Tabell 9-2 Resultat logging nr 1 – fase 2	56
Tabell 9-3 Resultat fra logging nr 1 – fase 3	57
Tabell 9-4 Filer fra logging nr 2	58
Tabell 9-5 Filer fra logging nr 3	61

6 Innledning

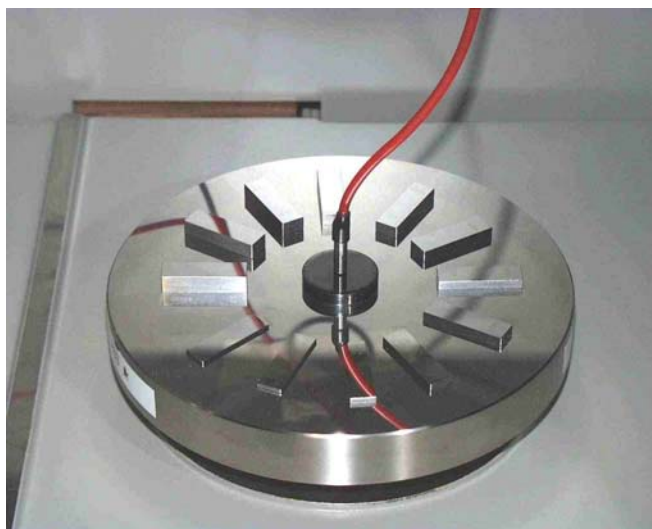


Fig 6-1 Stålplate og passbiter med et Pt-100 element som referansetemperatur.

6.1 Bakgrunn

I mekanisk verkstedindustri benyttes det i stor grad passbiter som hovednormaler for mange typer kalibreringer av lengdeskalaer. Måleprinsippet er interferometri. Passbitene heftes til en referanseplate som utgjør den ene reflekterende flaten i interferometeret. Interferensmønsteret over passbit og referanseplate måles for to laser bølgelengder, rød og grønn, og analyseres. Lengden av passbiten bestemmes med en oppløsning på 1 nm.

Veileder Helge Karlsson oppdaget et systematisk avvik i målingene i henhold til internasjonale standarder. Jo lenger passbiten er, jo større har feilmålingen hans blitt pga metallens temperaturutvidelsesfaktor. Han har en teori om at det finnes temperaturforskjeller i måleområdet ut fra tidligere historiske målinger. Målingene ligger fortsatt innenfor de fastsatte normene, men veileder ønsker bedre nøyaktighet.

Oppgaven er dermed delt i to hoveddeler. Én del studerer nærmere hvor stor temperaturavvik det er i forhold til avstand/høyde i måleområdet 19.8-20.2 °C. Den andre delen tar sikte på å finne ut temperaturutvidelsesfaktoren til et metall. Måleområdet her er mellom 15-25 °C.

6.2 Temperaturavvik

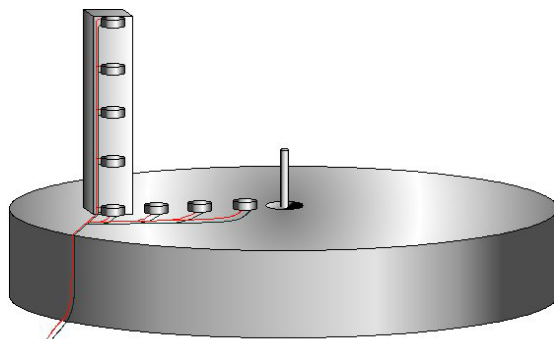


Fig 6-2 Påmonterte termistorer på objektet.

Denne oppgaven realiseres slik at vi systematisk plasserer et antall presisjonstermistorer (YSI 44031), på både underlagsplate og passbit. Vi logger måledata fra disse vha LabVIEW. Veileder kan usikkert si noe om kravet av nøyaktighet, men det ideelle vil være en måleusikkerhet på typisk 10mK. Termistorene skal være kalibrert i måleområdet 19,8°C til 20,2°C.

6.3 Temperaturregulering

Her blir oppgaven å kunne styre omgivelsestemperaturen rundt passbitene, slik at veileder kan studere påvirkningen av disse. Det er viktig med en homogen temperatur i området. For å effektivt kunne påvirke denne, tar vi i bruk et åpent kabinett som produseres spesielt til dette prosjektet av Justervesenets verkstedsansatt Ole Christian Borgen.

Regulering av temperatur vil bli styrt fra LabVIEW som vil kommunisere med et sirkulasjonsbad (RTE 10 Digital Plus fra NESLAB). Sirkulasjonsbadet vil pumpe temperert vann som vil sirkulere tett inntil temperaturkabinettet. Reguleringen av temperaturen i kabinettet er påkrevet å kunne svinge fra 15°C til 25°C. Målinger av temperaturen i kabinettet gjøres vha presisjonstermistorer.

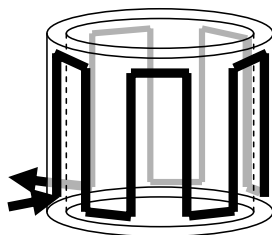


Fig 6-3 Temperaturregulert kabinett.

6.4 Hardware

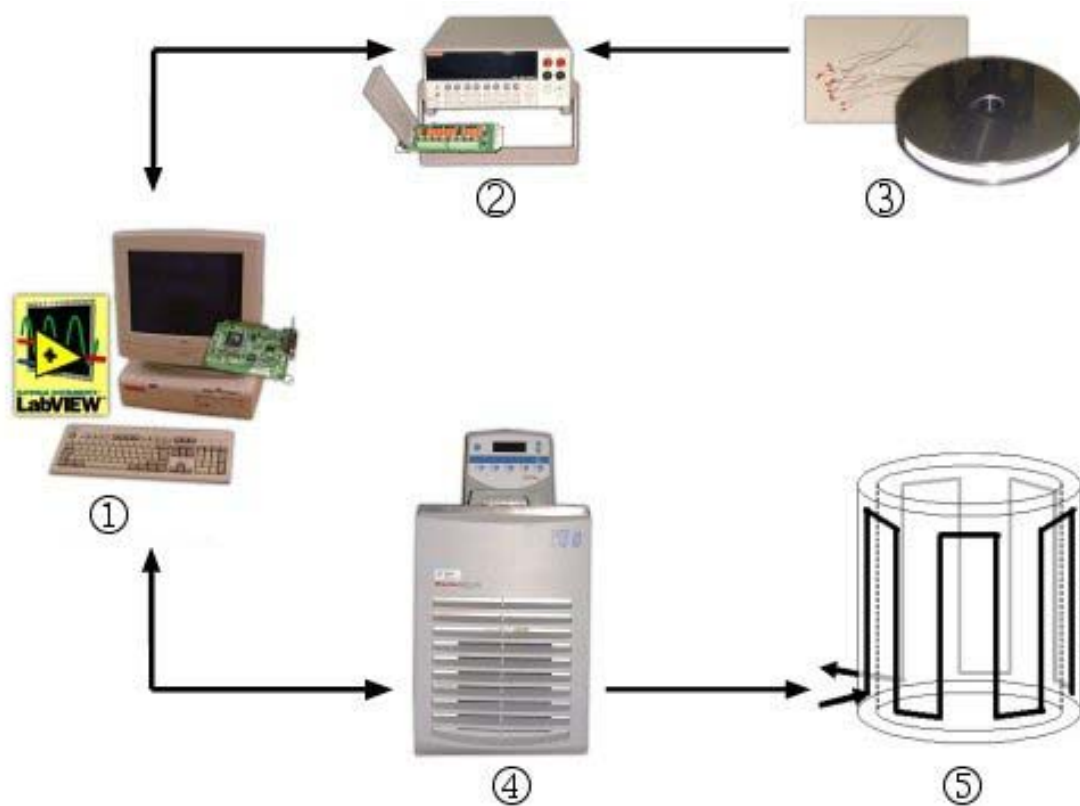


Fig 6-4 Hardwareoppsett

1. Dell PC, Pentium II og GPIB PCI kort til PC + kabel, KPCI-488.2
2. Keithley 2010 digitalt multimeter med 10 kanals skanner-kort, 2001-SCAN
3. 10 stk presisjonstermistorer, YSI 44031
4. Thermo NESLAB sirkulasjonsbad, RTE-10 series Digital Plus
5. Kabinett bygget hos Justervesenet

6.5 Software

Med software menes den delen av prosjektet som inneholder programmering i LabVIEW.

6.5.1 Betjening

LabVIEW programmet skal være enkelt i bruk med grafiske knapper og avlesing av temperaturer. Programmeringsteknikken skal være strukturert, modulbasert og forståelig, slik at andre lett kan sette seg inn i programmeringen. Manuell styring av Neslab sirkulasjonsbad skal være mulig. Programmet skal tilrettelegges slik at det er lett å gjøre endringer som ny/endret hardware og andre oppdateringer.

7 Fakta om temperaturmåling

Temperatur er et uttrykk for en fysisk tilstand som har med molekylaktivitet å gjøre. Den sier noe om i hvilken grad et legeme er i stand til å overføre varmeenergi til andre legemer og noe om hvilken retning varmetransporten mellom to legemer går.

Det finnes to generelle temperaturskalaer:

1. Den **termodynamiske** temperaturskalaen.
2. Den **internasjonale ITS-90** temperaturskalaen.

7.1 ITS-90 standarden

Den termodynamiske temperaturskalaen er den nåværende referanseskala og den er svært vanskelig å reproducere utenfor spesiallaboratorier.

Den internasjonale temperaturskalaen er laget for å gi en praktisk og enkel realiserbar temperaturskala som er en best mulig tilpassing til den termodynamiske temperaturskalaen. I standarden bruker man referansepunkter, såkalte fikspunkter, til å definere nøyaktige temperaturer. Fikspunktene representerer faseoverganger i stoffer som er stabile og reproducerbare. Med faseovergang menes her overgang mellom gass/væske eller væske/fast stoff. Fikspunktene er delt opp i kokepunkt, smeltepunkt og trippelpunkter. Ved trippelpunkt kan alle tre fasene opptre samtidig. Dette er sjeldne punkter. For vann opptre dette punktet ved temperaturen 0,01°C. Ved frysepunkt vil overgangen fra flytende metall til fast metall ikke skje momentant. Mens smelten forandrer fase holder temperaturen i metallet seg konstant inntil alt metallet har gått gjennom faseendringen. Temperaturen i frysepunktet er kun avhengig av type metall og metallens renhet.

Noen av fikspunktene ITS-90 definerer: (Primærttemperaturer)

Stoff	Fikspunkter
Trippelpunkt hydrogen	-259,3467 °C
Kokepunkt hydrogen ved 33321.3Pa	-256,115 °C
Kokepunkt hydrogen ved 101292Pa	-252,88 °C
Trippelpunkt for neon	-248,5939 °C
Trippelpunkt oksygen	-218,7916 °C
Trippelpunkt kvikksølv	-38,8344 °C
Trippelpunkt vann	0,01 °C
Smeltepunkt for gallium	29,7646 °C
Frysepunkt for tinn	231,928 °C
Frysepunkt aluminium	660,323 °C
Frysepunkt sølv	961,78 °C
Frysepunkt gull	1064,18 °C
Frysepunkt kopper	1084,62 °C

Tabell 7-1 ITS-90 fikspunkter

Mer på www.its-90.com

7.1.1 Praktiske temperaturskalaer

For teknisk bruk anvender vi følgende temperaturskalaer:

Kelvin [K]
Rankine [R]
Celsius [°C]
Fahrenheit [°F]

Sammenheng mellom disse skalaene er:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$R = ^{\circ}\text{F} + 459,67$$

7.1.2 Krav til måling:

For at et temperaturmåleinstrument skal måle så riktig temperatur som mulig må temperaturoverføringen mellom måleelement og måleobjekt være så god som overhodet mulig. Måleelementet må ikke belaste (tappe/tilføre) temperaturenergien i måleobjektets masse. Måleobjektets og måleinstrumentets termiske masse kan endre temperaturen i målepunktet. Det er derfor viktig å tenke på dette når man velger måleutrustning.

Varme kan overføres på tre måter, ledning, stråling og konveksjon. Temperaturkoblingen mellom måleobjekt og måleelement baserer deg på overføringsegenskapene til mediet som er mellom elementene.

7.1.3 Problemer ved temperaturmålinger

Å måle temperatur er ikke alltid uproblematisk.

Ett av problemene innen temperaturmåling er at måleelementet angir temperaturen slik det oppfatter den, og ikke nødvendigvis slik måleobjektets temperatur virkelig er. Dette kan ha flere årsaker:

- Tidskonstanter
- Oppløsning
- Termisk belastning

Tidskonstantene i temperaturmålinger kan ha mange årsaker:

- Typen varmeoverføring fra måleobjektet til målesonden
- Termiske egenskaper i sonde og beskyttelsesmateriale
- De termiske massene i måleobjekt og målesonde

7.2 Termistorer

Generelt kan vi si at termistorer er svært raske, har stor oppløsning men et begrenset måleområde. Tilkoblingen er med 2-lederprinsippet. Termistoren har lav termisk masse, noe som igjen gir høy egenoppvarming. Dette er en ulempe. Det er derfor viktig at det går lite strøm i termistoren slik at egenoppvarmingen blir minst mulig. Et annet problem er at den er svært ulineær. Derfor må en finne en matematisk formel som konverterer resistans til grader. Måten dette gjøres på er å plassere termistorene i et kalibreringsbad og logge forskjellige referansetemperaturer og resistansverdier fra termistorene. For å finne en passende formel kan vi bruke minste kvadraters metode og kurvetilpasning. Det finnes mange kurver å velge mellom, blant annet lineære, høyere ordens polynomer, eksponensielle og Steinhart-Hart. Sistnevnte er utviklet av forskerne Steinhart og Hart og er en matematisk tilnærmet formel som er basert på eksperimenter med termistorer.

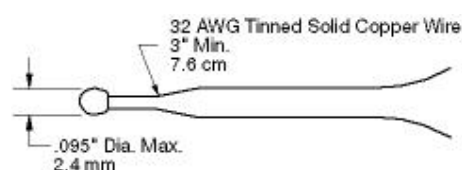


Fig 7-1 Termistor YSI 44031

Termistorene er også relativt skjøre. Derfor må de beskyttes med en kapsling. Denne kapslingen må også sikre god termisk kontakt med måleobjektet.

7.2.1 Varmeovergang i termistorene

1. fra måleobjekt til aluminiumskapsling (via varmeledende pasta)
2. fra kapsling til støpemasse
3. fra støpemasse til selve termistorkappen

Hvis to legemer har ulik temperatur, finner det sted en varmeoverføring mellom dem. I vårt tilfelle har vi flere lag med varmeoverganger. Tidskonstanten til termistorene øker med flere lag med varmeoverganger. Det betyr i praksis at det tar lenger tid før termistorene oppfatter temperaturen slik den er på måleobjektet.

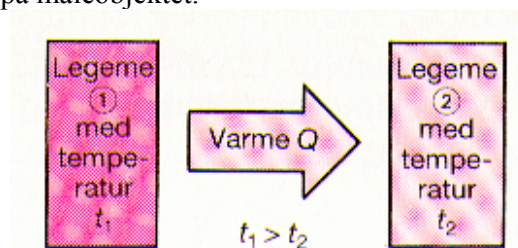


Fig 7-2 Skjematisk varmeoverføring.

7.2.2 Ekvivalentskjema luftlommer

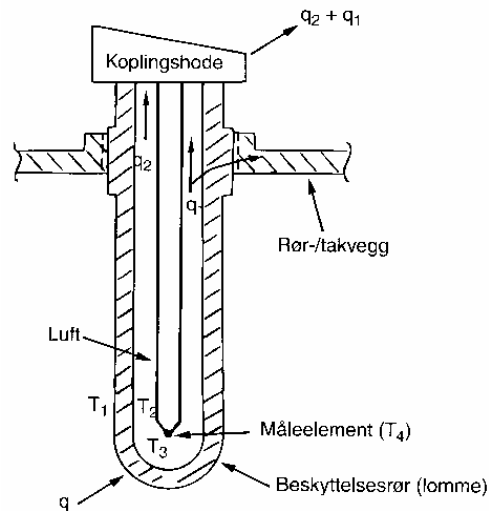


Fig 7-3 Tverrsnitt av temperaturføler.

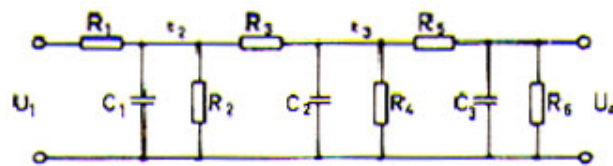


Fig 7-4 Ekvivalentskjema for temperaturføler.

Figuren viser oppbygging av en temperaturlomme, med et ekvivalentskjema som beskriver tidskonstantene i et slikt måleroppsett. En luftlomme vil virke som en kapasitans. Øker kapasitansen øker tidskonstanten også.

7.2.3 Tidsrespons

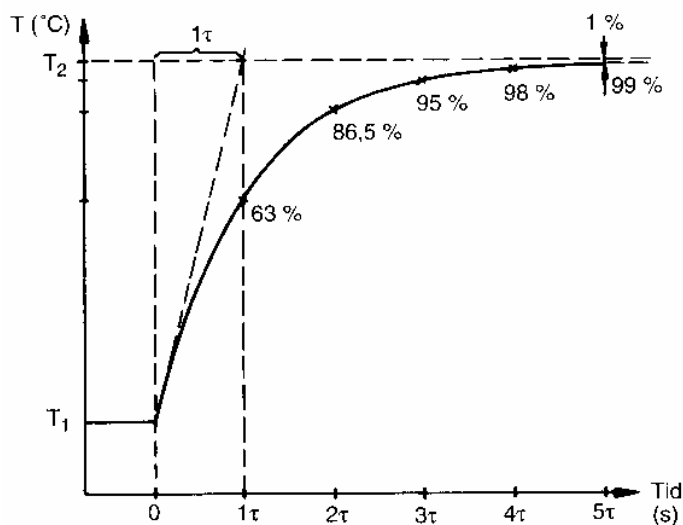


Fig 7-5 Tidsrespons.

Tidsresponsen (tidskonstanten) τ defineres som den tiden det tar til føleren har nådd 63% av maksimal endring. Ved 5τ har vi nådd 99% av maksimal temperatur.

Den eksponensielle kurven vil teoretisk ta uendelig lang tid før temperaturføleren oppnår samme temperatur som måleobjektet. Dette forklarer delvis at en termistormåler ikke nødvendigvis måler riktig temperatur, men temperaturen slik føleren oppfatter den.

7.2.4 2-leder prinsippet

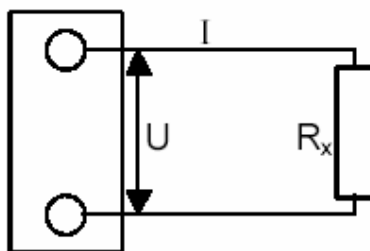


Fig 7-6 Illustrasjon av 2-leder prinsippet.

Prinsippet benyttes gjerne ved enkle målinger hvor absolutt temperatur ikke er av vesentlig interesse. Resistansen i ledningsmotstanden kommer i tillegg. Termistorene vi bruker er 2-leder basert, men selve termistoren pluss ledningsmotstanden er kalibrert i ett. Dermed elimineres motstandsfeilen.

7.2.5 4-leder prinsippet

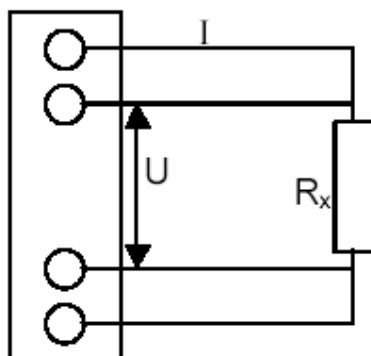


Fig 7-7 Illustrasjon av 4-leder prinsippet.

En kjent strøm I sendes gjennom motstanden R_x , men spenningen U over motstanden måles med et eget ledningspar som er koblet tett inntil motstanden. Det går ikke noe strøm gjennom dette ledningsparet. Dermed måles spenningen kun over motstanden, og resistansen i koblingsledningene elimineres.

Fordelen med 4-lederkoblingen er blant annet at feil i måling ikke er funksjon av motstanden i kilde eller ledningsmotstand. Vi får heller ingen feil pga endringer i ledningsmotstand. Ulempen er dobbelt så mye kabler og innganger på måleutstyr, og er vanligvis tregere enn 2-lederkobling.

7.2.6 Støy

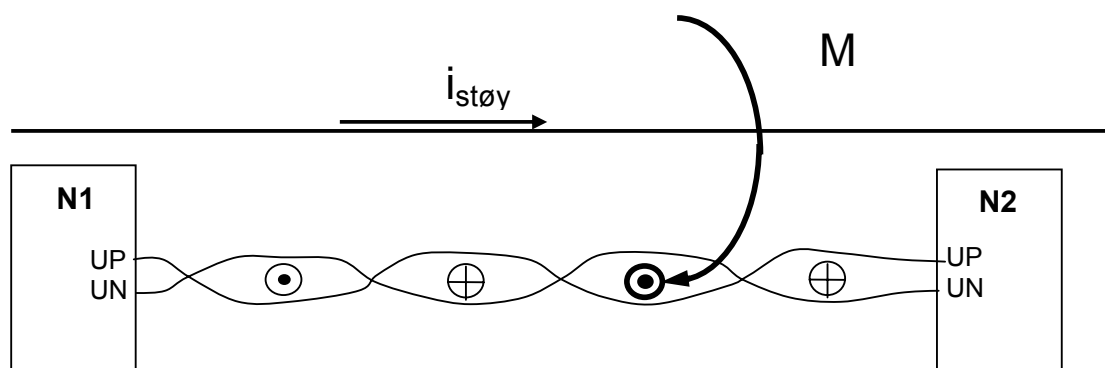


Fig 7-8 Tvunnet virtuell skjerm.

For å motvirke støy har vi tvunnet ledningene til termistorene. Dette vil virke som en virtuell skjerm. På denne måten reduserer vi sløyfearealet og gir alternerende polaritet på induisert spenning.

7.3 Steinhart-Hart likningen

Likningen er en tredje ordens logaritmisk polynom som inneholder tre konstanter.

$$\frac{1}{T_K} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3$$

T_K = Temperatur i Kelvin

A,B,C er konstanter bestemt gjennom en kalibreringsprosess

R = Termistorenes resistans i Ohm.

En mer brukervennlig form i °C er:

$$T_{°C} = \frac{1}{A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3} - 273,15$$

Da får vi temperaturen direkte i Celsius.

7.3.1 Steinhart-Hart i matlab

Matlab er et effektivt verktøy for å utføre minste kvadraters metode for kurvetilpasning. Vi kan effektivt berekne hvilke type kurver som gir den beste tilpasningen til termistorene. Prinsippet er å laste inn kalibreringsdataene i matlab og så rekne ut koeffisientene til den modellen en vil bruke.

Utlede θ -matrisen av $Y = \Phi \theta$:

$$Y = \Phi \theta$$

$$\Phi^T Y = \Phi^T \Phi \theta$$

$$(\Phi^T \Phi)^{inv} \Phi^T Y = \theta$$

$$\underline{\underline{\theta = (\Phi^T \Phi)^{inv} \Phi^T Y}}$$

θ = Parametervektoren gir ut koeffisientene vi vil ha

Φ = Regresjonsvektoren er type kurve vi bruker som modell f. eks rett linje/polynom

Y = Målematrisen

Φ^T = Transponert matrise

Eks:

2 ordens polynom: likningen $Y = a x^2 + b x + c$

Regresjonsvektoren Φ er:

$$\phi = \begin{bmatrix} x^2(1) & x(1) & 1 \\ x^2(2) & x(2) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x^2(N) & x(N) & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Hvor N er antall målinger}$$

Parametervektoren er:

$$\theta = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

i matlab kan koden se slik ut:

```
x=[0 5 10 15 20 25 30 35 40];
y=[400 380 350 290 200 100 -50 -200 -400];

% Parabelmodell y1=ax^2+bx+c

phi=[x'.^2 x' ones(9,1)];
theta=phi\y';
c=theta(1)
b=theta(2)
a=theta(3)

y1=phi*theta;

plot(x,y,'ro',x,y1,'-'); grid;
legend('Målte verdier','Estimerte verdier',1);
```

7.3.2 Fabrikant data

Typiske termistorverdier oppgitt fra produsent:

Temp [°C]	Resistans [Ω]		Typiske Steinhart-Hart koeffisienter
16	14 500		$A = 8,919172 \cdot 10^{-4}$
18	13 330		$B = 2,610042 \cdot 10^{-4}$
20	12 260		$C = 7,452927 \cdot 10^{-8}$
22	11 290		
24	10 410		

Tabell 7-2 Typiske parametre for en termistor

Ved å benytte Justervesenets Excel-ark "Steinhart-Hart-3N.xls" (se bilag A) finner vi de typiske Steinhart-Hart koeffisientene. Dette reknearket har en begrensning på 12 punkter. Ønsker vi flere punkter kan vi bruke matlab.

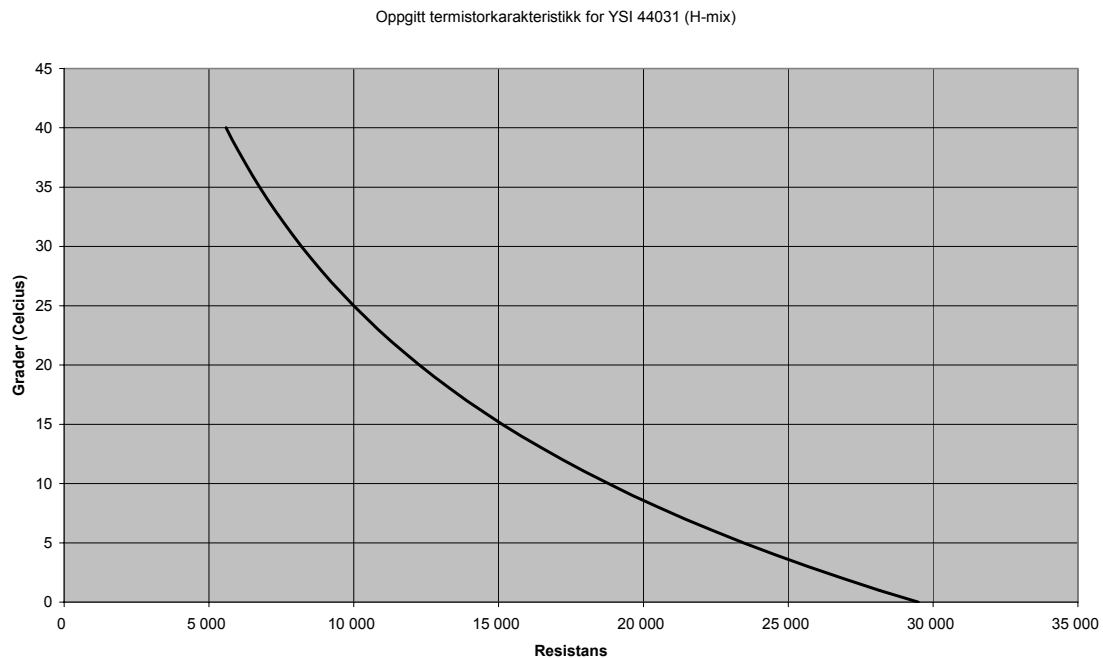


Fig 7-9 Typisk karakteristikk fra termistor med negativ temperaturkoeffisient

8 Kalibrering og kurveoptimalisering

Dette kapitlet beskriver prosedyren med kalibrering av termistorene.

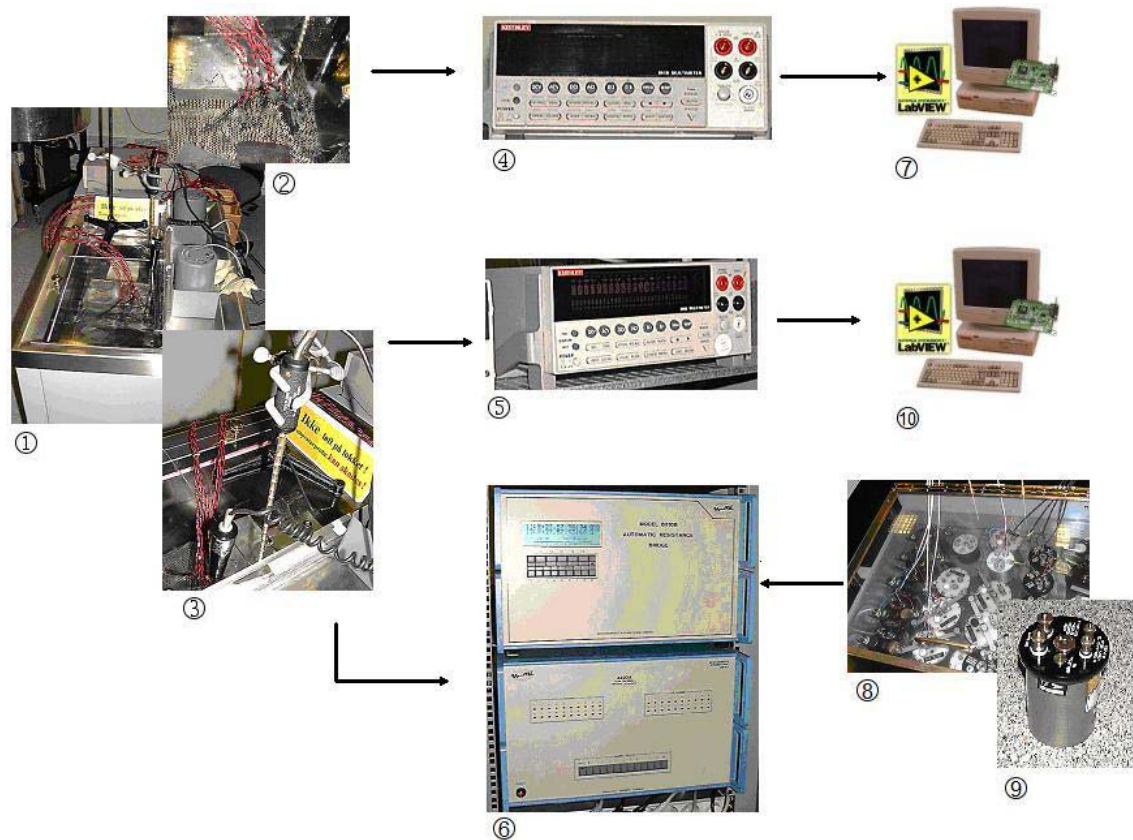


Fig 8-1 Hardwareoppsett kalibrering

8.1 Hardware kalibrering

id	Fabrikat	Modell	Serienummer	Funksjon
1	Hart Scientific	7015		Standard Resistor Bath. Kalibreringsbad for termistorer.
2	YSI 44031		YSI 44031	10 stk termistorer med aluminiumskapsling.
3.1	Leeds & Northup Co		1087380	Pt-25 element. 25 Ω ved 0 °C
3.2	Keithley			Pt-100 element Platinum RDT 4 wire probe.
4	Keithley	2010		Digitalt multimeter koblet til LabVIEW6 for avlesning av termistorer (2).
5	Keithley	2002		Digitalt multimeter koblet til LabVIEW5 (win3.11) for avlesning av temperatur fra Pt-100 element (3.2).
6.1	Measurements International Limited	4220A		Low Thermal Matrix Scanner. Multiplexer 2x20 kanaler.
6.2	Measurements International Limited	6010B		Automatic resistance bridge. Målebro mellom Pt-25 element og referansemotstand 100 Ω
7	Dell PC	Pentium		Med LabVIEW6
8	Grant instruments	Special	Y1610001	Kalibreringsbad for konstant temperatur til referansemotstand. 20°C
9	Tinsley	5684 C	225.370	Referansemotstand 100 Ω (kalibrert 10.11.01: 99.9998594)
10	PC	486		Win 3.11

Tabell 8-1 Hardwareliste kalibrering

8.2 Virkemåte målebro

Målebroen leser av motstanden til Pt-25 elementet. Dette representerer den virkelige temperaturen i kalibreringsbadet.

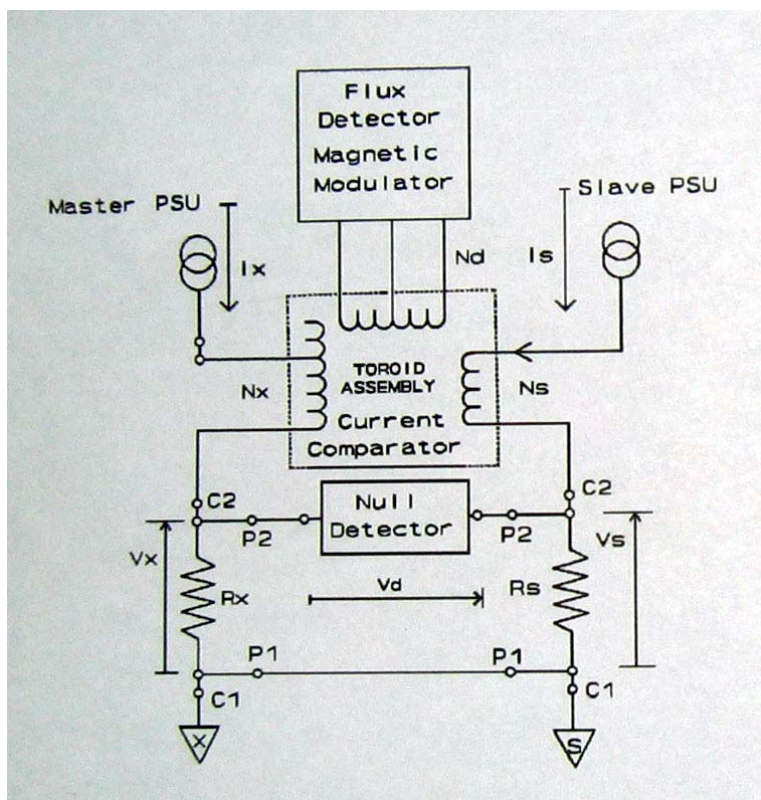


Fig 8-2 Skisse av målebro

To strømforsyninger (PSU) gir strøm til de to motstandene som skal sammenlignes. Den ene motstanden R_s er Tinsley presisjonsmotstand (9) som ligger i et eget bad (8). R_x er Pt-25 elementet. Den ene reguleres slik at spenningsfallet over begge motstandene blir like. Resistansforholdet kan da beregnes fra forholdet mellom strømmene.

I_x/I_s bestemmes ved å regulere antall aktive viklinger N_x , slik at magnetfeltene i trafokjernen kanselleres. Avlesningene benyttes så for å interpolere mellom heltallsverdiene N_x . Målingene blir også utført med strømretningen snudd for å eliminere virkningen av de termiske spenninger i målekretsen.

8.3 Fremgangsmåte

Koblet fysisk opp etter figur 8.1. Tastet så inn referansemotstand (9) på målebro(6.1).
 $I_x = 1,00 \text{ mA}$, $R_s = 99,9998594 \Omega$.

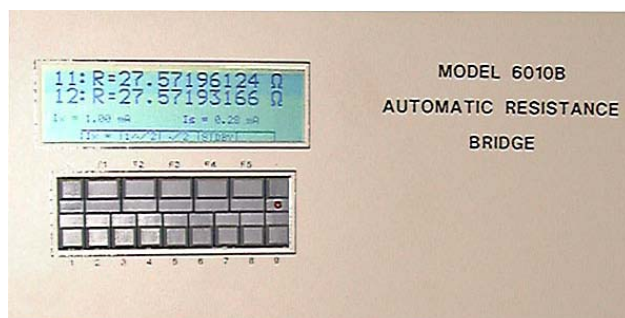


Fig 8-3 Bilde av målebroen.

Pt-25 elementet ble manuelt lest av displayet på målebroen i Ω . Når kalibreringsbadet er stabilt ($\pm 1 \text{ mK}$), så leser målebroen av 12 stk verdier fra Pt-25 elementet med 15 sekunders mellomrom og tar gjennomsnittet. Dette kaller vi R_x og måles i Ω . Målebroen rekner også ut et standardavvik i ppm (parts per million), som gir oss et mål på spredningen i badet. Resistansen fra LCD displayet på målebroen tastet vi inn i et Excel rekneark basert på den internasjonale temperaturskalaen ITS-90. Ut får vi den virkelige temperaturen. Denne temperaturen er referanse for berekning av Steinhart-Hart koeffisientene.

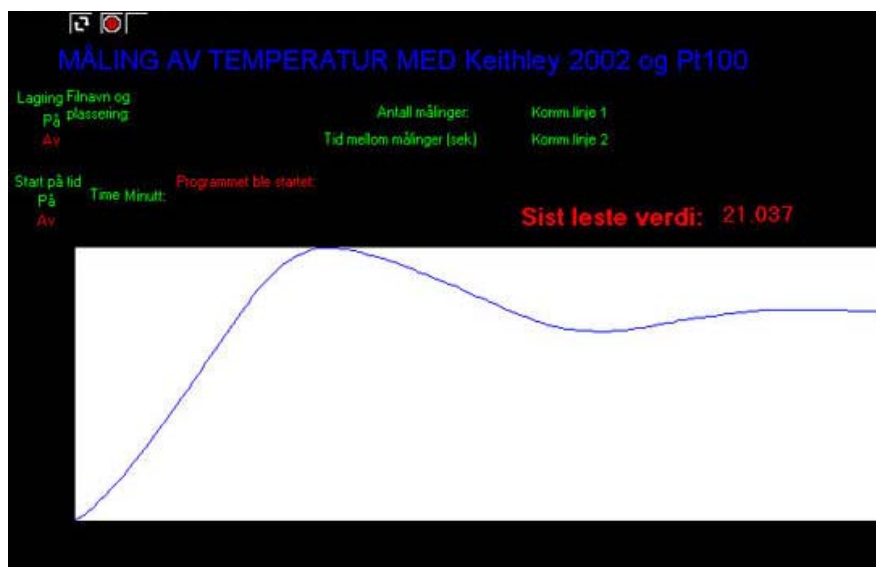


Fig 8-4 Temperatursprang i kalibreringsbad.

På figuren ovenfor ser vi et typisk bilde på et temperatursprang fra 20 til 21°C i kalibreringsbadet. Ca en time etter er temperaturen stabil. Da svinger temperaturen $\pm 1 \text{ mK}$. I tilfellet ovenfor svinger den mellom 21,036 og 21,038 °C. Da er kalibreringsbadet stabilt og en kan foreta avlesning av målebroen.

8.4 Første kalibrering

Dato: 03.02.2003

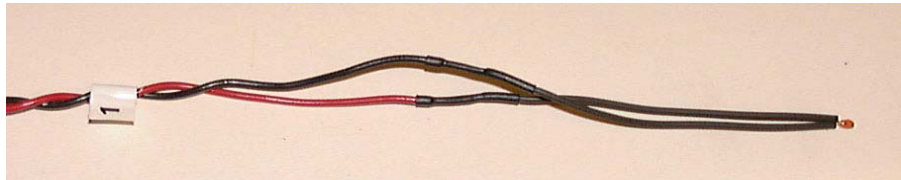


Fig 8-5 Termistor uten kapsling.

Monterte 10 stk termistorer til skannerkort på Keithley multimeteret. Kalibreringspunkter er 19.8 – 19.9 – 20.0 – 20.1 – 20.2 uten kapsling. Vi avleste manuelt verdiene fra multimeteret og plottet inn i et Excel diagram. Forsøkte Steinhart-Hart kurve, men fikk "error" fordi måleområdet var for snevert. Vi foretok også en rett linjetilpasning, men feilen ble veldig stor.

Se bilag A for loggefil

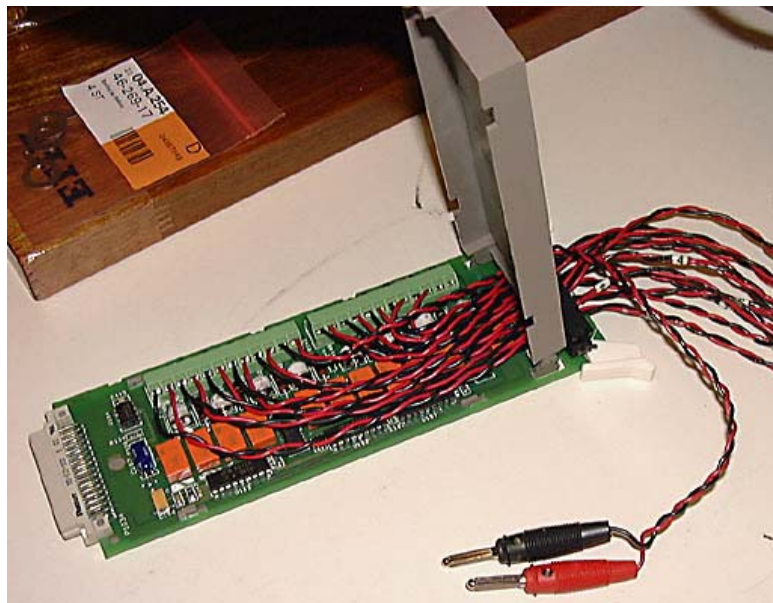


Fig 8-6 Skannerkort med termistorer.

8.5 Andre kalibrering

Dato: 04.02.2003

Vi utvidet målepunktene med 16.0 – 18.0 – 22.0 – 24.0. Når vi så tok en Steinhart-Hart tilpasning, fikk vi ingen feil. De manuelle avlesningene ble plottet inn i matlab, hvor man foretok en minste kvadraters kurvetilpasning med flere kurver vha matriseberegning. Disse kurvene var 1.orden lineær, 2 og 3 orden polynom og en Steinhart-Hart kurvetilpasning.

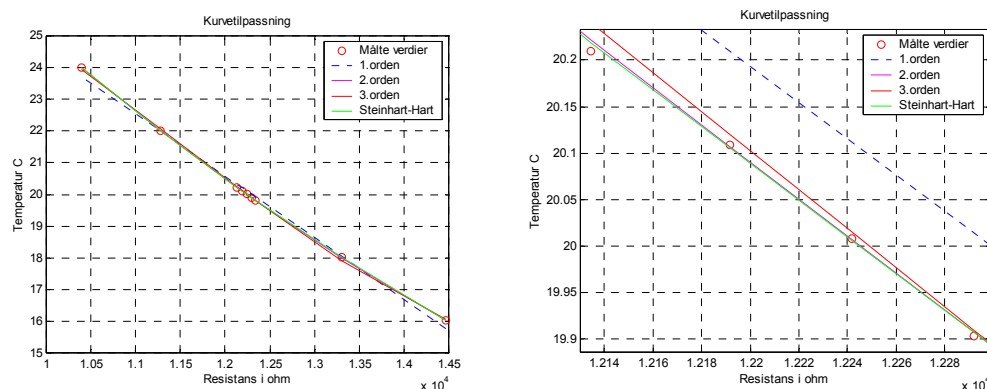


Fig 8-7 kurvetilpassning.

For å få et bilde på feilen plottet vi en prediksjonskurve over de forskjellige kurvene. Plottet viser hvor stor feilen er i forhold til registrerte målepunkter.

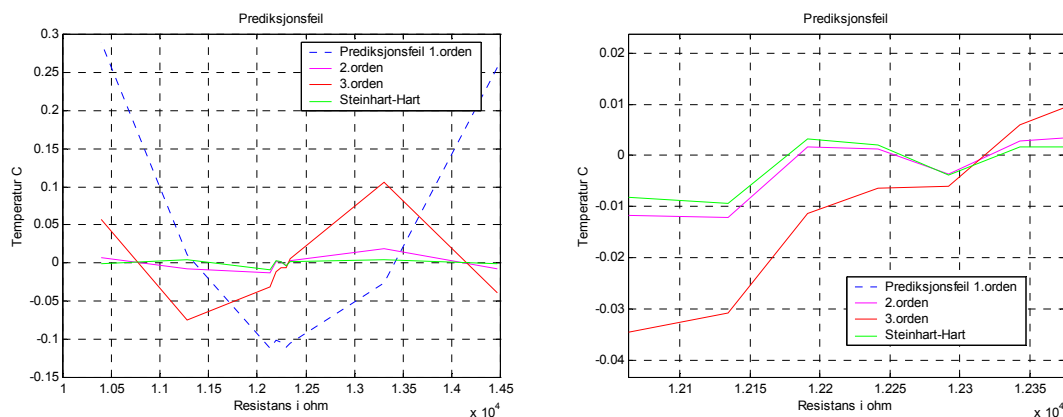


Fig 8-8 Prediksjonsfeil.

Vi ser tydelig at det er 2ordens og Steinhart-Hart kurven som skiller seg ut med minst tap.

Et annet mål på hvor stor feilen er, kalles gjerne tapsfunksjon. Den summerer de kvadratiske avvikene opp slik at vi får et mål på totalt avvik pr sensor.

Se Bilag B for scriptfil

8.6 Tredje kalibrering

Dato: 24-26.02.2003

8.6.1 Fremgangsmåte

Denne gangen har vi montert en aluminiumskapsling rundt kroppen til termistorene. Aluminiumshuset ble laget på mekanisk avdeling på Justervesenet. Huset ble fylt med støpemassen 3M Scotchcast 1471N. Dette er et spesial lim med meget god termisk ledningsevne. Termistoren ble så ført inn i huset og limt fast. Det viste seg å være en vanskelig oppgave som krevde stor fingerferdighet. Vi kan ikke garantere at kapslingen er frie for luftlommer. Så muligheten for individuelle forskjeller er absolutt til stede.



Fig 8-9 Termistor med kapsling.

Når badet var stabilt med ønsket temperatur, stilte vi inn målebroen til å måle 12 punkter med 14 sekunders intervall og statistisk avvik i ppm. Målebroen ble startet, så tok vi to logger med LabVIEW og fikk resultatet i tabellen under. Tidsrommet målebroen målte temperaturen i er: $12 \text{ punkter} \times 14 \text{ sek} = 168 \text{ sek} = 2 \text{ min } 38 \text{ sek}$.

De to loggingene med LabVIEW tok vi innenfor dette tidsrommet. Da vet vi allerede maksimal drift i kalibreringsbadet. Et skann fra Keithley multimeteret tar ca 3 sek. Vi tok 2x5 skann og reknet så ut gjennomsnittsverdien i Excel. Denne verdien danner grunnlaget for den matematiske modellen av termistorene. Standardavviket ble også reknet ut som et mål på drift/variasjon under loggingen av termistorene.

Se bilag A for Excel ark

8.6.2 Referansetemperatur

Ønsket temperatur[°C]	Avlest målebro [Ω]	Virkelig temperatur [°C] ITS-90
10,0	26,57654829 $\pm 0,7752$ ppm	9,996 4
16,0	27,18765785 $\pm 0,8626$ ppm	16,017 7
18,0	27,39068750 $\pm 0,6943$ ppm	18,020 7
19,0	27,49148991 $\pm 1,2180$ ppm	19,015 6
19,5	27,54219183 $\pm 0,6165$ ppm	19,516 1
19,8	27,57186830 $\pm 1,0336$ ppm	19,809 1
19,9	27,58225219 $\pm 0,3054$ ppm	19,911 6
20,0	27,59240037 $\pm 0,9873$ ppm	20,011 8
20,1	27,60251074 $\pm 1,2226$ ppm	20,111 7
20,2	27,61273239 $\pm 0,6029$ ppm	20,212 6
20,5	27,64300974 $\pm 0,5916$ ppm	20,511 6
21,0	27,69362352 $\pm 0,9191$ ppm	21,011 5
22,0	27,79438744 $\pm 0,9271$ ppm	22,006 9
24,0	27,99662646 $\pm 0,7054$ ppm	24,005 7
30,0	28,60608543 $\pm 0,8277$ ppm	30,036 5

Tabell 8-2 Temperatur kalibrering nr 3

8.6.3 Resistansverdier

ITS-90 temp	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	Kanal 5
9,9964	18763,9578	18771,09608	18759,41	18760,83	19250,98
16,0177	14467,81306	14472,48886	14465,19	14469,66	14951,15
18,0207	13294,82888	13299,0408	13293,85	13299,26	13777,71
19,0156	12753,40644	12757,08886	12752,7	12757,81	13235,49
19,5161	12489,35392	12493,26838	12489,71	12494,67	12971,25
19,8091	12338,1863	12342,27792	12338,44	12343,98	12820,55
19,9116	12285,02598	12290,32364	12286,17	12291,74	12768,62
20,0118	12235,33436	12238,92616	12235,53	12240,85	12717,64
20,1117	12185,8832	12188,34356	12185,05	12190,36	12666,69
20,2126	12134,78556	12137,62636	12134,15	12139,27	12615,88
20,5116	11983,31172	11987,75332	11984,52	11990	12461,91
21,0115	11738,2789	11743,34866	11740,45	11745,47	12220,85
22,0069	11268,77558	11272,05684	11269,26	11274,82	11750,05
24,0057	10386,07928	10387,84706	10386,55	10391,87	10862,9
30,0365	8164,0666	8165,49882	8166,172	8171,81	8638,643
	Kanal 6	Kanal 7	Kanal 8	Kanal 9	Kanal 10
9,9964	18777,71	18775,21	18789,63	18785,08	19249,88
16,0177	14478,75	14476,26	14484,81	14480,03	14952,36
18,0207	13306,19	13303,96	13311,17	13306	13780,04
19,0156	12764,35	12762,06	12768,43	12763,84	13238,16
19,5161	12500,82	12498,49	12504,7	12499,62	12974,03
19,8091	12349,82	12347,15	12353,51	12348,34	12822,63
19,9116	12297,76	12295,18	12301,28	12296,05	12771,31
20,0118	12246,89	12244,5	12250,32	12245,07	12720,26
20,1117	12196,35	12193,76	12199,86	12194,43	12669,19
20,2126	12145,36	12143,14	12148,87	12143,67	12618,9
20,5116	11995,68	11993,34	11998,86	11993,86	12466,06
21,0115	11751,23	11747,85	11754,13	11749,22	12223,44
22,0069	11279,55	11276,93	11282,03	11277,65	11752,63
24,0057	10396,32	10392,85	10397,63	10392,77	10867,65
30,0365	8173,301	8170,479	8172,53	8168,844	8644,238

Tabell 8-3 Resistans kalibrering nr 3

8.6.4 Standardavvik

Ønsket temp	RefTemp	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4	Kanal 5
10,0	9,9964	0,681585665	0,546440388	0,474001523	0,275809652	0,568470004
16,0	16,0177	0,428135897	0,192301002	0,149209974	0,049385551	0,398716324
18,0	18,0207	0,653406956	0,267404876	0,269379172	0,278356556	0,227555369
19,0	19,0156	0,276866718	0,246488648	0,179632012	0,364176887	0,35701637
19,5	19,5161	0,725291217	0,240292798	0,291222569	0,267736625	0,199223761
19,8	19,8091	0,902568789	0,146460671	0,234190614	0,234494115	0,111960506
19,9	19,9116	1,815009985	0,622394639	0,293717204	0,172629521	0,296857231
20,0	20,0118	0,770015177	0,543881507	0,13845163	0,315282451	0,406885933
20,1	20,1117	0,707997205	0,322820106	0,317840622	0,350287137	0,424122651
20,2	20,2126	0,876548232	0,471408553	0,261918348	0,209272881	0,303494686
20,5	20,5116	0,876548232	0,471408553	0,261918348	0,209272881	0,303494686
21,0	21,0115	1,640312001	0,450571362	0,203526467	0,345520359	0,295291391
22,0	22,0069	0,736134815	0,311956744	0,230494805	0,174740401	0,351678448
24,0	24,0057	1,029720053	0,238221396	0,263337326	0,326972117	0,321080427
30,0	30,0365	0,535015909	0,206892759	0,208836155	0,106838585	0,216780035
Sum avvik pr sensor		12,65515685	5,278944	3,777676768	3,680775719	4,782627821
		Kanal 6	Kanal 7	Kanal 8	Kanal 9	Kanal 10
10,0		1,143472905	0,274597867	0,152729427	0,91081561	1,185415748
16,0		0,318612308	0,117854699	0,185487196	0,108749783	0,1228891
18,0		0,161977783	0,070167392	0,162099907	0,155427005	0,307199588
19,0		0,24870717	0,110687958	0,108432249	0,116896969	0,160754227
19,5		0,100272867	0,124208328	0,126341299	0,17537957	0,362581173
19,8		0,178623449	0,397077558	0,11849928	0,392507328	0,943501164
19,9		0,190324725	0,189095386	0,324139321	0,258447962	0,22263316
20,0		0,061999462	0,245650483	0,242943353	0,301867123	0,357199094
20,1		0,118518141	0,25295066	0,089726579	0,355683314	0,4219165
20,2		0,164229626	0,042364203	0,171513263	0,1518643	0,394940381
20,5		0,164229626	0,042364203	0,171513263	0,1518643	0,394940381
21,0		0,141026031	0,354789882	0,121124018	0,245821909	0,407500433
22,0		0,121759614	0,077612723	0,219940082	0,155762101	0,734911763
24,0		0,178328893	0,520247317	0,158101933	0,448832802	0,22323987
30,0		0,062093966	0,276828825	0,098127753	0,317470386	0,256434835
Sum avvik pr sensor		3,354176567	3,096497482	2,450718923	4,247390461	6,496057418

Tabell 8-4 Standardavvik kalibrering nr 3

Kommentar:

Vi ser spesielt at kanal 1 skiller seg ut med et totalt standardavvik på 12,7. Kanal 10 har også et høyt avvik. Det kan bety at når vi har tatt kalibreringen/avlesningen har det vært drift i badet eller vært påvirket av støy. Disse punktene burde vært filtrert bort ved kurvetilpasning, da de kan gi større feil enn nødvendig.

Støy kan komme fra mennesker som er i nærheten og/eller fra selve Keithley multimeteret. Det kan være relé svitsjingen på skannerkortet som gir en overgangstøypuls. Er det dette vi

opplever her? Vi kan teste det ut med å bruke konstante resistansverdier på skannerinngangene.

Se Bilag A for loggefil og støytest (avsnitt 9.2) på skannerkort

Tabellen med resistansverdier ble lastet inn i matlab og koeffisientene til Steinhart-Hart kurven ble reknet ut vha minste kvadraters metode.

8.6.5 Steinhart-Hart koeffisienter

	Konstant A	Konstant B	Konstant C
Termistor 1	1,010491E-03	2,423811E-04	1,430682E-07
Termistor 2	1,015198E-03	2,416549E-04	1,455156E-07
Termistor 3	1,009709E-03	2,424166E-04	1,436021E-07
Termistor 4	1,012299E-03	2,418868E-04	1,463297E-07
Termistor 5	6,082188E-04	2,992167E-04	-2,953679E-08
Termistor 6	1,009519E-03	2,424235E-04	1,434418E-07
Termistor 7	1,013929E-03	2,417716E-04	1,455819E-07
Termistor 8	1,014114E-03	2,418033E-04	1,448355E-07
Termistor 9	1,008772E-03	2,427077E-04	1,411704E-07
Termistor 10	5,955301E-04	3,010880E-04	-3,553098E-08

Tabell 8-5 *Steinhart-Hart koeffisienter kalibrering nr 3*

Tabellen er utreknet ved hjelp av matlab og resistansverdier fra 15 punkts kalibrering.

Se Bilag C

8.7 Fjerde kalibrering

Dato: 13.05.2003

8.7.1 Innledning

Vi ønsket å ta en ny kalibrering fordi spredningen i termistorene var så store. Vi hadde registrert en spredning på mange hundre mK, og kunne ikke starte noen logging i kabinett med dette resultatet. Vi ville teste ut på nytt i "perfekte" omgivelser, og finne ut hvorfor vi fikk så stor spredning. Atter en gang flyttet vi utstyret inn i kalibreringslab'en, og utførte logginger og testing i området 20-22 °C.

8.7.1.1 Nytt siden tredje kalibrering:

Nykalibrert platinaelement fra 08.05.2003. Serienr: 10873.379. Fabrikat: Leeds & Northrup. Det forrige viste 3 mK for mye.

8.7.1.2 Om kalibrering av Platinaelement (hentet fra kalibreringsbevis):

Kalibrert i området 0-30 °C med fikspunktene for trippelpunktet for vann (0,01 °C) og smeltepunktet for Gallium (29,7646 °C). Dette gir en usikkerhet i mK på $\pm 0,4$ ved trippelpunktet til vann og $\pm 0,9$ °C ved smeltepunktet til Ga. Selvvarmingseffekten av 1,0 mA ved trippelpunktet er lik $1,3719 \cdot 10^{-4} \Omega$,

8.7.1.3 Temperaturstabilitet i kalibreringsbadet:

Etter 1.15 time er kalibreringsbadet stabilt. Vi leser av svingningene på Keithley multimeteret til kanal1 til $\pm 0,25 \Omega$ (med 5-punkts running-average filter for å filtrere bort stokastiske støypulser).

8.7.2 Fremgangsmåte:

Målebro ble innstilt på 20 målinger. Tar så statistikk over de 12 siste verdier. Egenoppvarming i Pt-25 (platinaelement) vil påvirke resultatet litt, så derfor må vi la målebroen komme inn i et stabilt arbeidspunkt. Vi får da et mål på drift i kalibreringsbadet i ppm (parts per million).

8.7.2.1 Eksempel på fremgangsmetode:

Kalibreringsbadet er stilt inn på 20,000 °C. Pt-25 elementet er basert på 4-leder prinsippet. 1mA strøm blir sendt ut fra målebroen til platinaelementet. Denne strømmen blir også reversert for å motvirke termiske spenninger. Spenningen på platinaelementet blir så målt av målebroen og sammenlignet med spenningen fra en referansemotstand i et annet kalibreringsbad. Etter en måling leser vi av på målebroen $27,55606115 \Omega$ og et standardavvik på $\pm 0,9220$ ppm. Det betyr at feilen er i størrelsesorden $\pm 10 \cdot 10^{-6} \Omega$ (en millionte dels Ohm). Resistansverdien taster vi manuelt inn i et Excel-ark basert på ITS-90 standarden (se Bilag A). I dette reknearket ligger konstantene til Pt-25 elementet fra kalibrering og ITS-90 temperaturskalaen. Vår resistanseksempel gir oss en eksakt temperaturverdi på 20,0034 °C. Dette er referansetemperatur for å beregne termistorenes kurver. Altså er kalibreringsbadet vi kalibrerer termistorene i 3,4 mK for mye.

8.7.2.2 Resultater fra kalibreringsbad:

Ønsket temp [°C]	Avlest målebro [Ω]	Std avvik [±ppm]	ITS-90 temp [°C]	Kommentar
20,0	27,55606115	0,9220	20,0034	<0,5 Ω svingebånd
21,0	27,65733580	0,7454	21,0047	1.15t <0,3 Ω svingebånd
22,0	27,75808293	1,3601	22,0012	<0,4 Ω svingebånd.

Tabell 8-6 Temperatur kalibrering nr 4

8.7.3 Forsøk på nye Steinhart-Hart koeffisienter:

1. Først prøvde vi med SH-kurve på punktene 20,21 og 22 °C. Men da ble koeffisientene veldig dårlige. Antagelig for lite område (som vi erfarte sist gang)
2. Tastet inn "Termistor Fabrikk data" i et Excel-ark. Prøvde først verdiene 18,20 og 22, og fikk et mye bedre resultat. Deretter tastet vi inn 16,20 og 24 og fikk et enda bedre resultat.
3. Fant frem de gamle loggingene fra kalibrering nr 3. Testet med 16, 20 og 24. Bra resultat. Så testet vi med 10,20 og 30. Veldig bra resultat. Men det er litt forskjell individuelt mellom kanalene. Ca 10 mK på det meste. Kanskje kan dette justeres bort med "offset" på resistansen på hver kanal? Testet med 18,0 °C. Svingebåndet er nå nede i ±1 mK. Det er bra.
4. Fjernet offset fra resistansavlesning, og laget en ny offset på temperaturberegning i LabVIEW
5. Lagde en offset manuelt på 20 °C i kalibreringsbadet slik at spredningen ble innenfor <±1 mK på alle kanalene.
6. Så ble det testet med og uten offset på temperaturene 20,0 20,5 og 21,0 °C. Skjermdump og logging ble tatt av alle forhold.
7. Analyse av resultatene

8.7.4 Resultat 3-punkts kalibrering

Fil: [Excel\SH eksperiment 13mai 2003.xls](#)

ITS-90 temp	Steinhart-Hart koeffisienter						
	9,9964	20,0118	30,0365		A	B	C
CH1	18763,9578	12235,3344	8164,0666		1,0128E-03	2,4201E-04	1,4443E-07
CH2	18771,0961	12238,9262	8165,4988		1,0151E-03	2,4168E-04	1,4541E-07
CH3	18759,4117	12235,5287	8166,1724		1,0116E-03	2,4212E-04	1,4467E-07
CH4	18760,8258	12240,8463	8171,8100		1,0141E-03	2,4160E-04	1,4737E-07
CH5	19250,9789	12717,6375	8638,6428		6,1384E-04	2,9830E-04	-2,5940E-08
CH6	18777,7148	12246,8949	8173,3014		1,0123E-03	2,4199E-04	1,4496E-07
CH7	18775,2051	12244,5002	8170,4787		1,0174E-03	2,4123E-04	1,4759E-07
CH8	18789,6269	12250,3174	8172,5300		1,0160E-03	2,4152E-04	1,4583E-07
CH9	18785,0844	12245,0719	8168,8441		1,0090E-03	2,4267E-04	1,4124E-07
CH10	19249,8844	12720,2559	8644,2381		6,0019E-04	3,0032E-04	-3,2513E-08

Tabell 8-7 Resultat med tre-punkts kalibrering

Vi ser at konstantene på kanal 5 og 10 avviker stort fra de andre.

8.7.4.1 Med offset på temperatur:

CH1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 mK	-1,0	-0,5	-2,0	3,0	-4,0	-3,0	-13,0	-8,5	1,0

Tabell 8-8 *Temperaturoffset ved 20,0 °C*

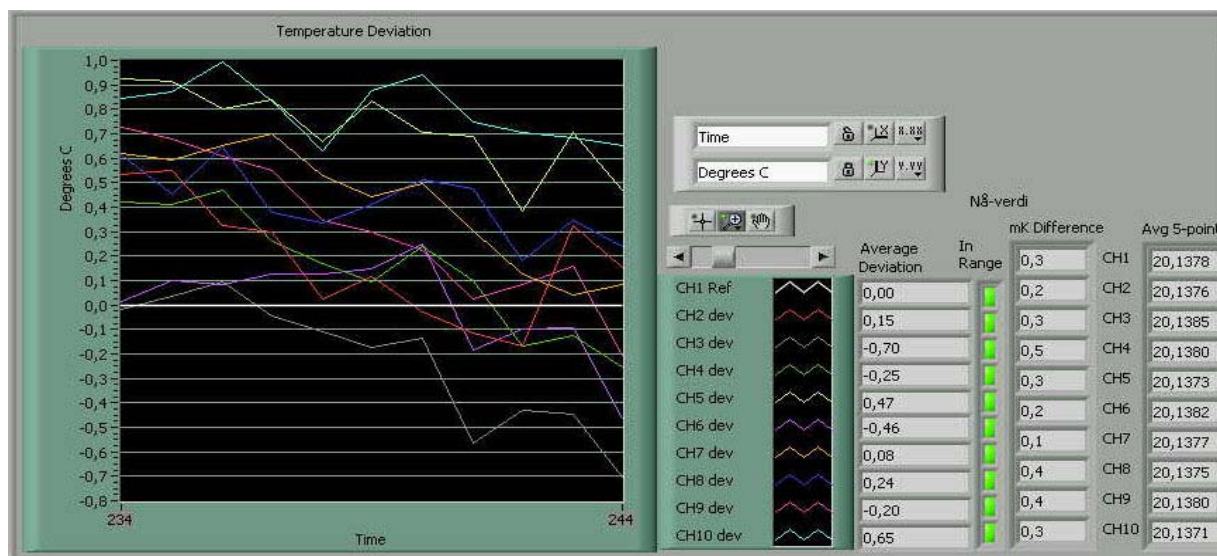


Fig 8-10 20,0 °C med offset, bånd innenfor 1 mK som ligger over CH1.

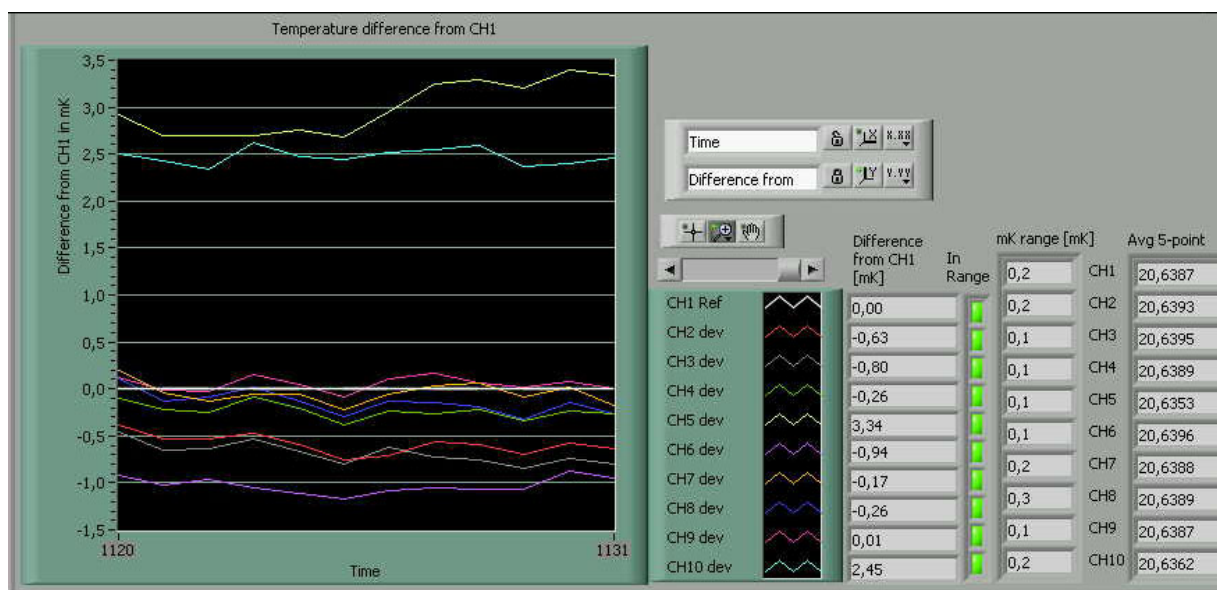


Fig 8-11 20,5 °C med offset, bånd innenfor 1 mK men under CH1. CH5 og CH10 avviker sterkt.

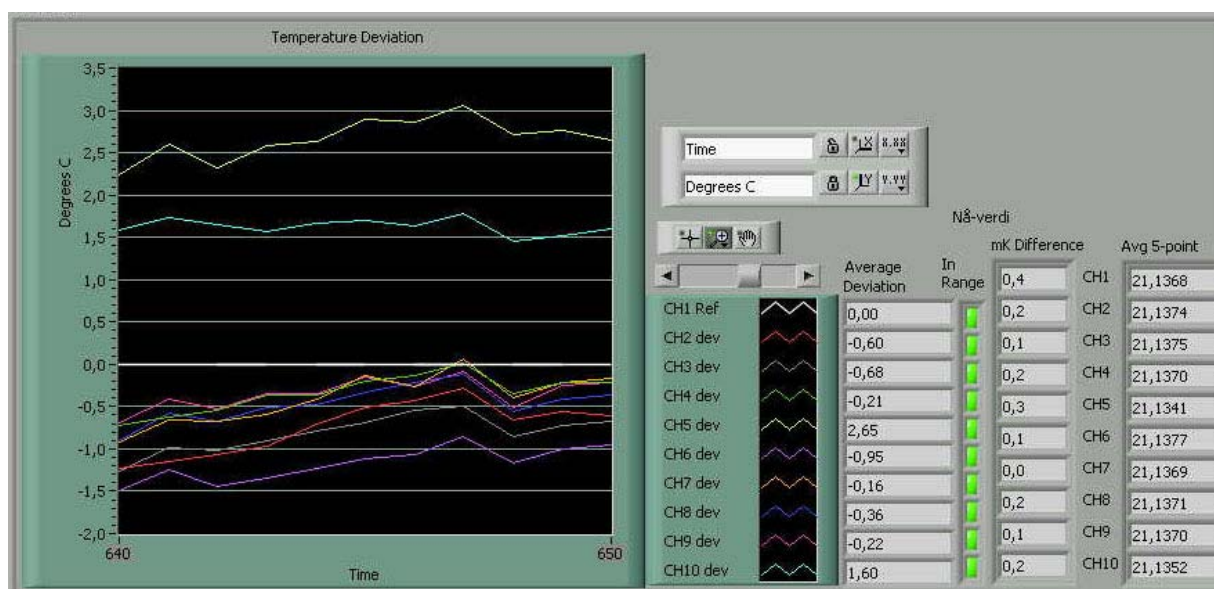


Fig 8-12 21,0 °C. Båndet har flyttet seg 0,5 mK lengre ned enn ved forrige.

8.7.4.2 Uten offset på temperatur:

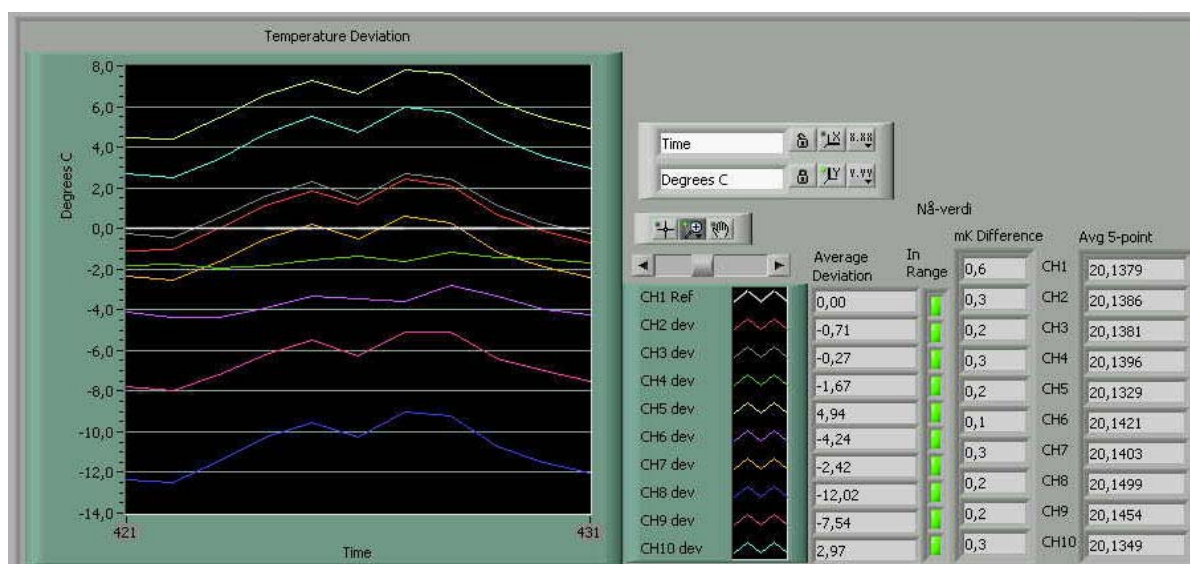


Fig 8-13 20,0 °C uten offset.

Referanse temperatur i kalibreringsbad, Pt-25: 20,0034 °C.

Termistorer viser ca 20,138 °C

Vi har et avvik på ca 140-3,4 mK = 137 mK

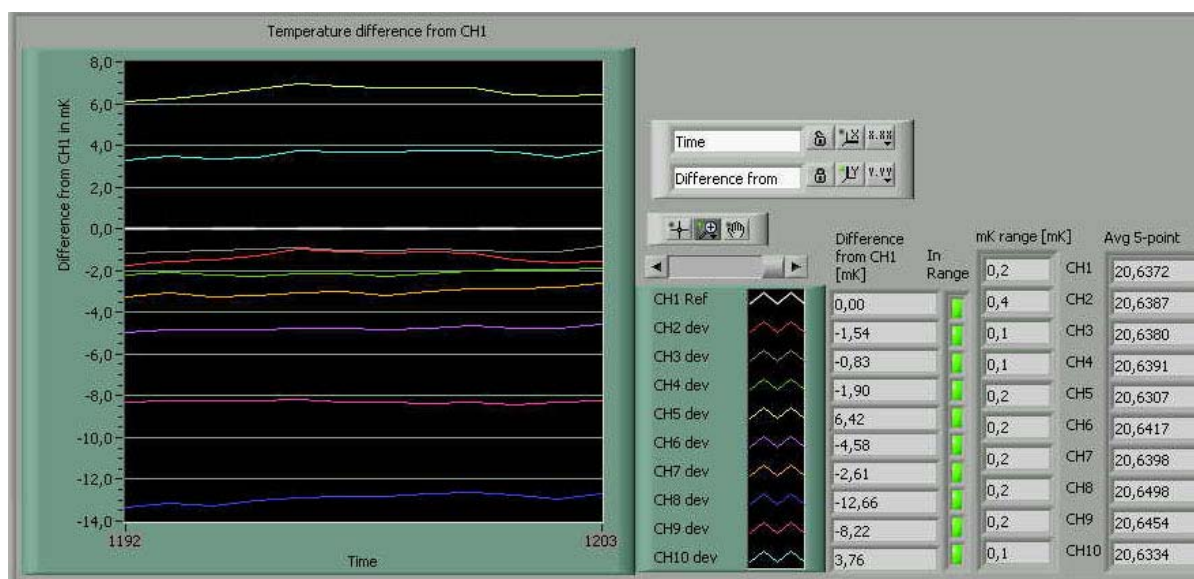


Fig 8-14 20,5 °C uten offset.

Ref temp i bad, Pt-25: 20,5060 °C

Termistorer: ca 20,6380 °C

Avvik på ca 638-506 mK = 132 mK

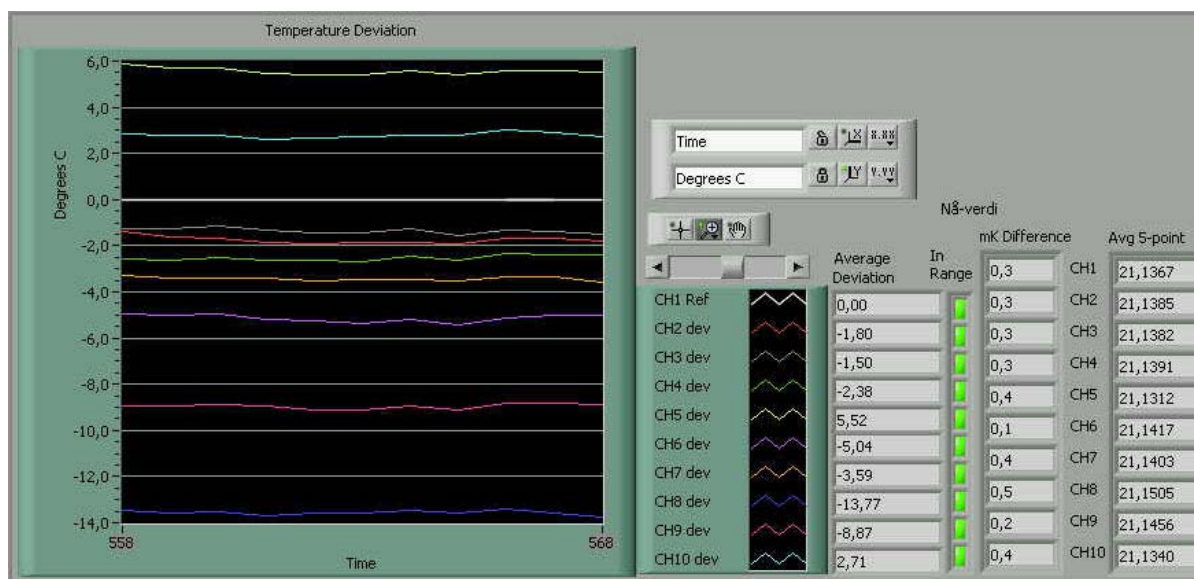


Fig 8-15 21,0 °C uten offset.

Ref temp i bad Pt-25: 21,0047 °C

Termistorer: ca 21,138 °C

Avvik på ca 138-5 mK = 133 mK

8.7.4.3 Resultat av offsetjustering:

Med offset:

Offsetjustering kan vi ikke bruke, da det ikke er lineært.

Uten offset:

Vi ser at Kanal 1,2,3,4 og 7 har et avvik på <4 mK individuelt.

Kanal 6 og 9 har avvik på >4 mK

Kanal 8 har avvik på <13 mK

Kanal 5 og 10 er ubrukelige.

Kanal 2 og 3 er de termistorene som ligger tettest.

Det vil si at termistorene oppfatter temperaturen ca $0,13$ °C over det den egentlig er.

8.8 Konklusjon av kalibrering og kurveoptimalisering

Vi endte opp med å bruke SH-koeffisientene fra fjerde kalibrering. Kalibreringspunktene er $10,20$ og 30 °C. Det er disse verdiene vi bruker til all logging av kabinettet tilkoblet NESLAB sirkulasjonsbad.

Vi ser også at termistorene måler ca 130 mK for mye.

9 Eksperimenter i matlab og LabVIEW

9.1 Kapslingens innvirkning

fil:[Matlab\pkt5_kapslingsammenlikning.m](#)

Vi skal studere forskjellen mellom kalibreringene med og uten kapsling. Påvirker kapslingen termistorenes termiske egenskaper? I første eksperiment plukker vi ut 5 punkter: 16 18 20 22 og 24 °C.

Resistansverdiene ble lest inn fra Keithley multimeteret, og vi fikk tabellen under:

Uten kapsling i kΩ

Ref temp	16.0165	18.0195	20.0084	22.0058	24.0047
Termistor 1	14.474	13.3021	12.2417	11.276	10.3932
2	14.4797	13.3067	12.2449	11.2774	10.3948
3	14.4715	13.2998	12.2387	11.2735	10.3916
4	14.475	13.3048	12.2456	11.2798	10.3989
5	14.959	13.7858	12.725	11.7572	10.8735
6	14.4847	13.312	12.2513	11.2844	10.4018
7	14.4823	13.3094	12.2483	11.2819	10.3989
8	14.4904	13.3164	12.253	11.2859	10.402
9	14.4889	13.3132	12.25	11.2826	10.3989
10	14.9597	13.7873	12.7264	11.7588	10.8769

Tabell 9-1 Resistans uten kapsling 5 punkter

Med kapsling i kΩ

Ref temp	16.01773462	18.02066417	20.01181785	22.00689271	24.00567528
Termistor1	14467.81306	13294.82888	12235.33436	11268.77558	10386.07928
2	14472.48886	13299.0408	12238.92616	11272.05684	10387.84706
3	14465.19238	13293.85372	12235.5287	11269.26408	10386.54844
4	14469.65918	13299.25724	12240.8463	11274.8207	10391.87362
5	14951.15352	13777.7119	12717.6375	11750.04902	10862.90136
6	14478.7502	13306.18788	12246.89492	11279.55214	10396.32014
7	14476.26232	13303.96034	12244.50018	11276.9334	10392.8537
8	14484.80528	13311.16896	12250.31738	11282.02558	10397.63028
9	14480.02578	13305.99572	12245.07188	11277.65292	10392.77248
10	14952.3631	13780.04318	12720.25586	11752.62948	10867.64608

Tabell 9-2 Resistans med kapsling 5 punkter

Vi tar for oss termistor nr 3 og finner en Steinhart-Hart kurve. Koeffisientene bereknes vha matlab og matriseberegning med 5-punkts kalibrering (se bilag A).

SH Koeffisienter	Uten Kapsling	Med Kapsling
A	9.3207e-004	0.0011
B	2.5473e-004	2.3568e-004
C	9.7616e-008	1.6921e-007

Tabell 9-3 SH-koeffisienter 5 punkts kalibrering

Formelen blir da slik for en kontinuerlig funksjon:

$$T = \frac{1}{A + B \ln(R) + C \ln(R)^3} - 273,15 = [^{\circ}\text{C}]$$

Denne plottes, og det er vanskelig å se avvikene på første figur. Den typiske SH-kurven er hentet fra databladet til termistorene. Se avsnitt om termistorer.

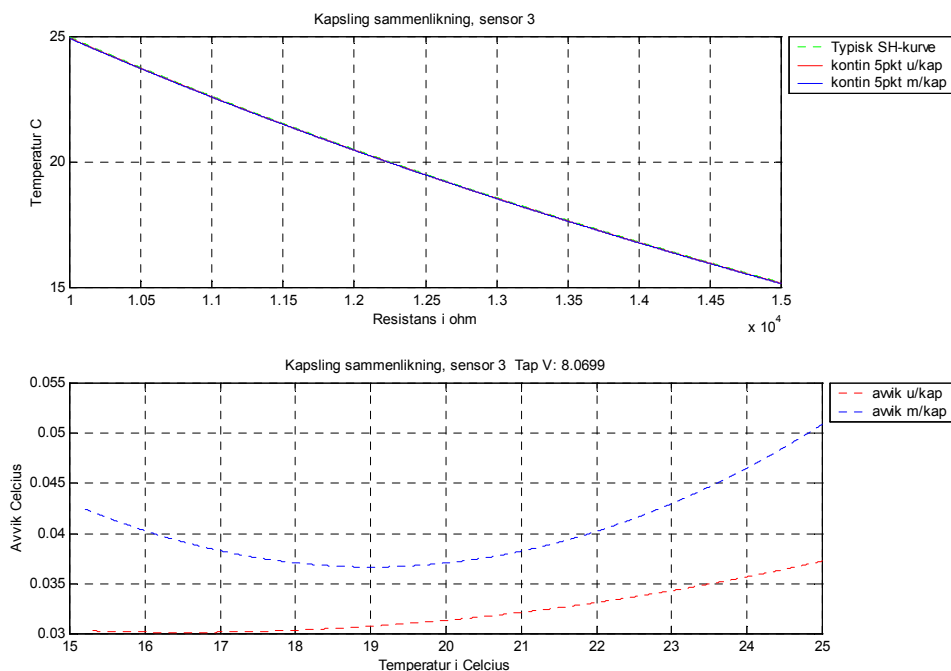


Fig 9-1 Plott av prediksjonsfeil.

Når vi ser på prediksjonsfeilen, som viser avviket mellom typisk kurve og de to andre, ser vi tydelig forskjell. Kurven uten kapsling er mye mer lineær enn med kapsling. Årsaken kan være at støpemassen har sørget for et mekanisk press på selve termistoren, som endrer de termiske egenskapene.

Når vi så plotter tapsfunksjonen for alle termistorene, ser vi tydelig at det er forskjell.

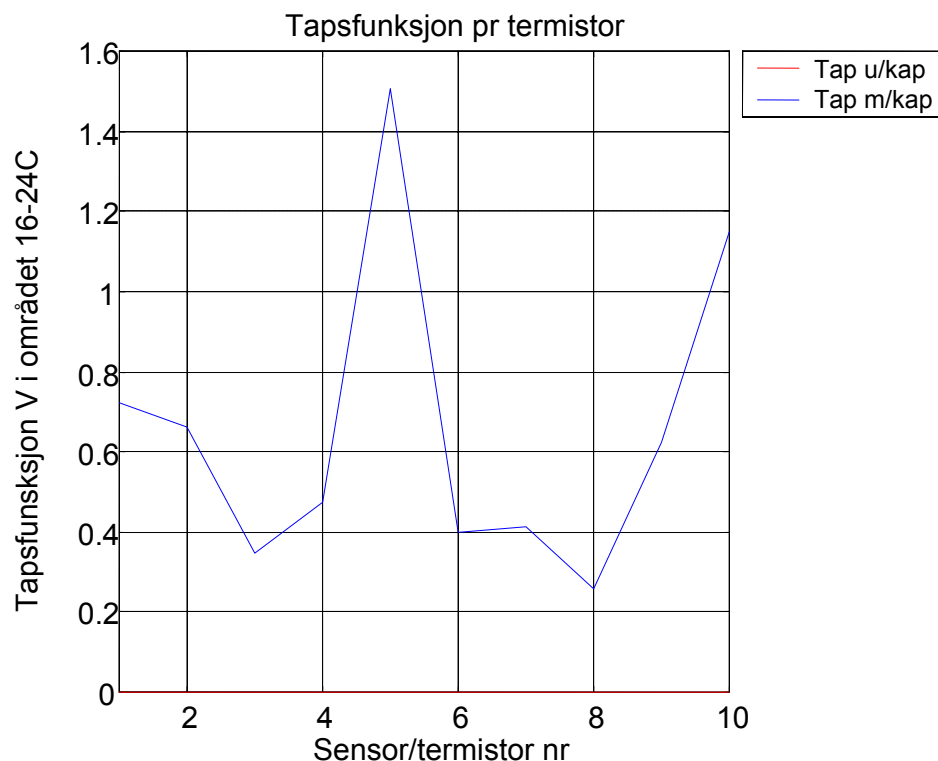


Fig 9-2 Plott av tapsfunksjon.

Vi ser at det er variasjoner. Kanal 5 og 10 bryr vi oss ikke om. Det er uten kapsling som er referansen her, og vi ser hvordan termistorene med kapsling varierer. Det kan se ut som termistor nr 3 og 8 har minst forskjell.

9.1.1 Hva skyldes avvikene?

Det kan være flere årsaker. Den første kalibreringen ble avlest manuelt med for få siffer, og bare det gir en stor usikkerhet. Det andre kan være selve Steinhart-Hart berekningen, som krever to ekstreme ytterpunkt i måleområdet.

Eks: 1 Ω oppløsning rundt 20,0 $^{\circ}\text{C}$ gir oss en feil i temperatur på:

$R1 = 12238,7 \Omega$ (hentet fra kalibrering uten kapsling termistor 3 ved 20,0084 $^{\circ}\text{C}$)

$R2 = 12239,7 \Omega$ ($\Delta R = 1 \Omega$)

$$\Delta T = \frac{1}{A + B \ln(R1) + C(\ln(R1))^3} - \frac{1}{A + B \ln(R2) + C(\ln(R2))^3}$$

$$= (293,1624 - 293,1604) K$$

$$= 0,00197 K$$

$$= 1,97 mK$$

Vi får altså en feil på 2 mK for hver Ω .

9.1.2 Konklusjon på kapslingstest:

Selv etter denne testen kan vi ikke si sikkert om termistorenes termiske egenskaper har endret seg etter innkapsling. Til det er det manuelle avlesningene for dårlige (fra kalibrering nr 1&2).

9.2 Støy på relékort/skannerkort?

Vi gjorde et lite eksperiment med en 10 k Ω presisjonsmotstand for å få en erfaring med hva er optimalt standardavvik og hvilke verdier vi minimalt kan oppnå. Måten vi gjorde det på var å parallellkoble presisjonsmotstanden til alle 10 kanalene og plassere motstanden i et stabilt kalibreringsbad. Feilkilden er da variasjon i lengde på tilkoblede ledinger mellom skanner og motstand.

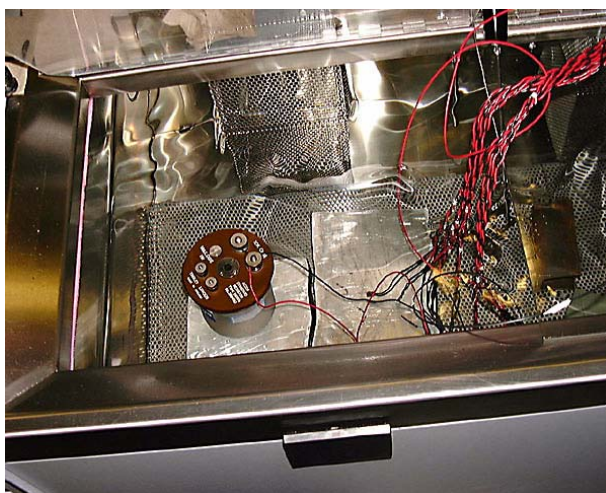


Fig 9-3 10 k Ω presisjonsmotstand i kalibreringsbad

En annen årsak til eksperimentet var at vi skulle bevise at kanal 1 og 10 hadde høyere standardavvik som er i tråd med våres egne logger. Men det er kun kanal 1 som utmerker seg med høyere standardavvik.

Vi ser også at kanal 5 og 10 har høyere avlest motstandsverdi. Det er fordi det er solid state innganger, som er bereknet på å tåle høyere strøm. Når vi kalibrerer hele instrumentet med termistorer tilkoblet håpet vi at feilen ville elimineres.

Link: [Excel\fastmotstand i bad_eksperiment.xls](#)

Loggefil: [Excel\fastmotstand i bad_eksperiment.dat](#)

Tabellen under er presisjonsmotstanden i romtemperatur. Ca 23 °C.

	Kanal 1	2	3	4	5
Average	10001,6443	10001,38388	10001,27876	10001,23326	10468,68
Standardavvik	0,10138106	0,129513008	0,097942547	0,125981594	0,10959
delta max og min	0,5352	0,6191	0,4238	0,6885	0,5811
	Kanal 6	7	8	9	10
Average	10001,5	10001,47	10001,45	10001,37	10471,2
Standardavvik	0,097089	0,101282	0,100163	0,085193	0,100834
delta max og min	0,4707	0,5137	0,3867	0,3984	0,5547

Tabell 9-4 Resultat av presisjonsmotstand i romtemperatur

I tabellen under er resistansen lagt i badet og manuell avlesning av kanal 1 er 10000,900. Svinger med ca 12 mΩ.

	Kanal 1	2	3	4	5
Average	10001,3659	10001,11318	10001,105	10001,09116	10470,95
Standardavvik	0,0668466	0,053604425	0,052178186	0,051958133	0,054661
delta max og min	0,3154	0,2364	0,2608	0,2363	0,2402
	Kanal 6	7	8	9	10
Average	10001,35	10001,31	10001,3	10001,28	10472,89
Standardavvik	0,049267	0,060173	0,0546	0,055584	0,057203
delta max og min	0,1924	0,2286	0,2675	0,2217	0,2207

Tabell 9-5 Resultat av presisjonsmotstand i kalibreringsbad

9.2.1 Konklusjon på støytest:

Vi ser at resistansen er mer stabil i badet enn i romtemperatur. Vi ser også at standardavviket er litt høyere på kanal 1 (i kalibreringsbad), enn de andre. Vi hadde forventet en høyere verdi på kanal 10.

Konklusjonen må bli at det er svært lite støy som spiller inn på avlesningene.

9.3 Matlab plot av 3-punkts SH-kurve

Hvor stor er den egentlige feilen på den matematiske modellen av termistorene?

Først analyserer vi området 19-21 °C. Fil: [pkt15_vs_3pktSHbegrenset.m](#)

Vi vil vise et plott hvor vi sammenlikner forskjellige beregninger av Steinhart-Hart kurver.

Graf nr1 (blå): SH kurve basert på kalibreringspunktene 10, 20 og 30 °C

Graf nr 2 (grønn): SH kurve med kalibreringspunkter på 16,20 og 24 °C

Graf nr 3 (rød): Temperaturpunkter fra kalibrering. Totalt 15stk i området 10-30 °C

Vi viser den samlede tapsfunksjonen i området 19,0-21,0 °C i et plott:

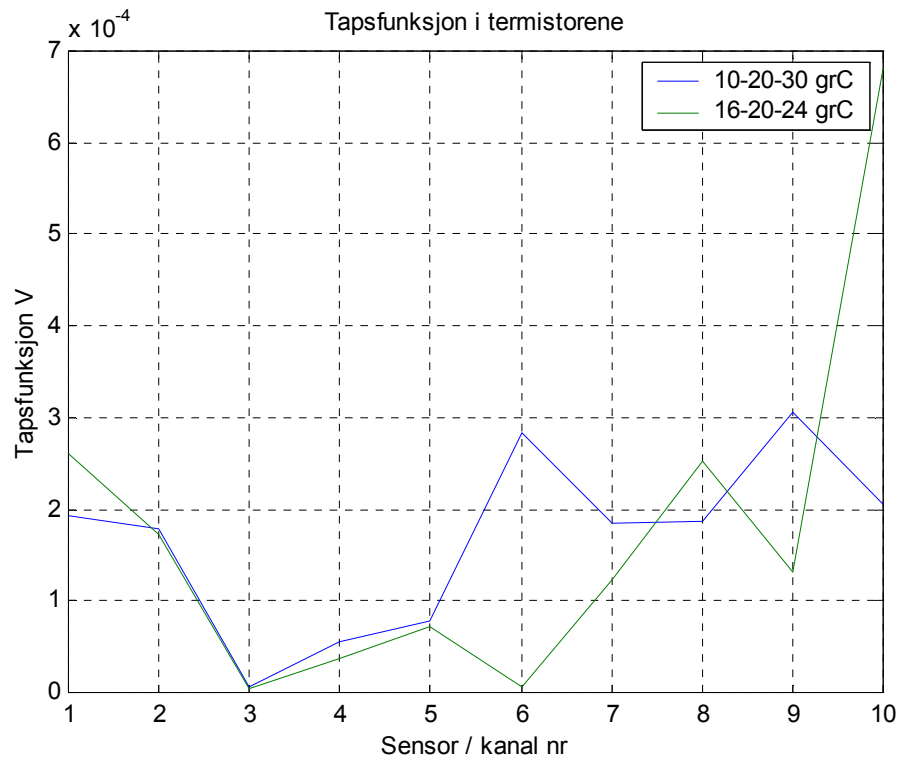


Fig 9-4 Plott av tapsfunksjon.

Det vi ser av plottet er at kanal nr 3 har minst tap, og kanal 6 har størst forskjell individuelt. Kanal 5 og 10 bryr vi oss ikke om, siden dette er kanaler med solid state inngang og har en annen impedans.

Vi ser først på kanal nr 3:

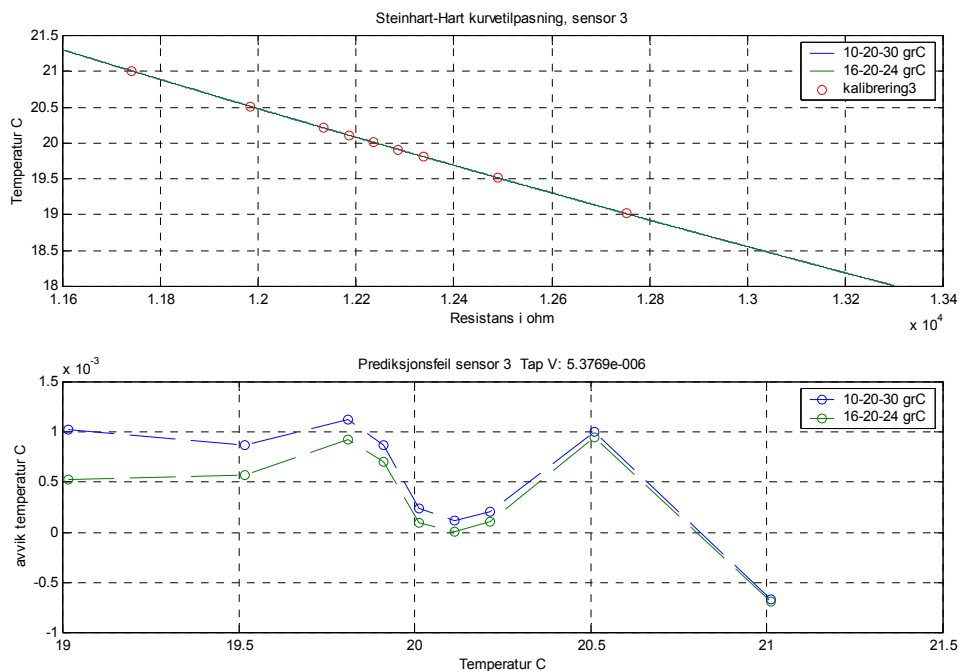


Fig 9-5 Plott av prediksjonsfeil.

Vi har plottet området 19-21 °C. Det er i dette området det er størst interesse av presisjon. Av prediksjonsfeilkurven ser vi på avviket i mK (eller i m°C) i forhold til en referansetemperatur som er gitt av kalibreringsbadet. Avviket i dette området varierer fra -0,5 mK til 1 mK. Dette er veldig bra. Her er det grønn kurve (16-20-24) som er best.

Så ser vi på kanal 6:

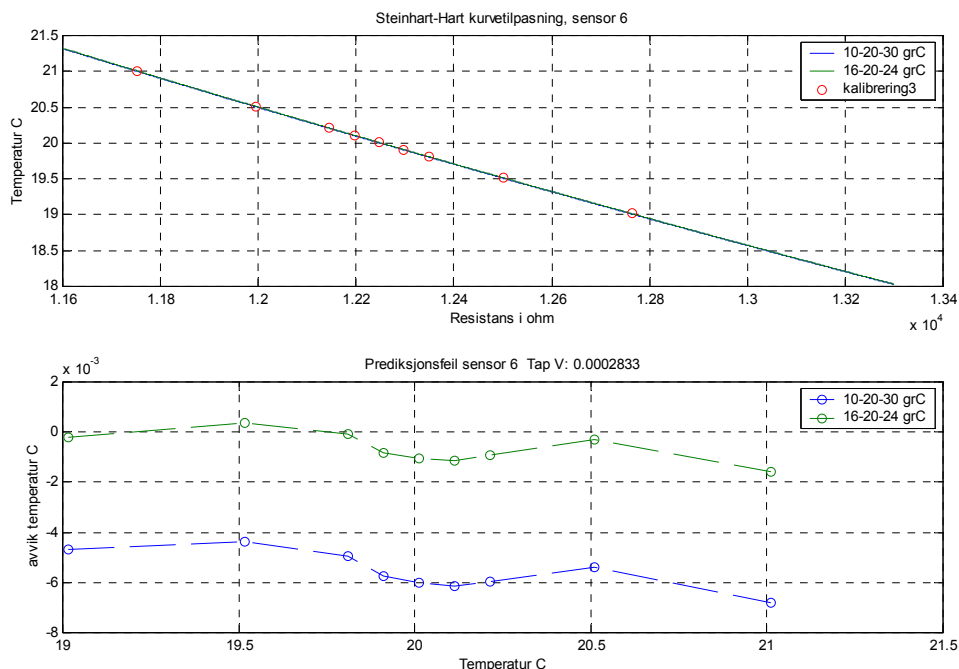


Fig 9-6 Plott av prediksjonsfeil.

Her ser vi at avviket på graf 1 (blå kurve) er -6 mK ved 20,0 °C og 7 mK ved 21,0 °C. Tilsvarende har graf nr 2 ca 1 mK avvik.

9.3.1 Konklusjon av 3-punkts SH-kurve:

Denne analysen forklarer oss litt om hvorfor spredningen i termistorene er så store. Hadde vi valgt en annen kurve, så hadde vi nok fått et bedre resultat. Hvis vi igjen ser på tapsfunksjonsplottet, så ser vi at vi kanskje burde velge forskjellig kurve for hver sensor. Steinhart-Hart beregninger fra 10-20-30 °C bør velges for 1, 8 og 10. I tillegg burde vi ha filtrert ut dårlige kalibreringspunkter.

9.4 Matlab plott av 15pkt Steinhart-Hart kurve

filnavn: [Matlab\pkt15_vs_3pktSH3begrenset.m](#)

SH-konstanter: [Matlab\SHkonstanter15pkt.txt](#)

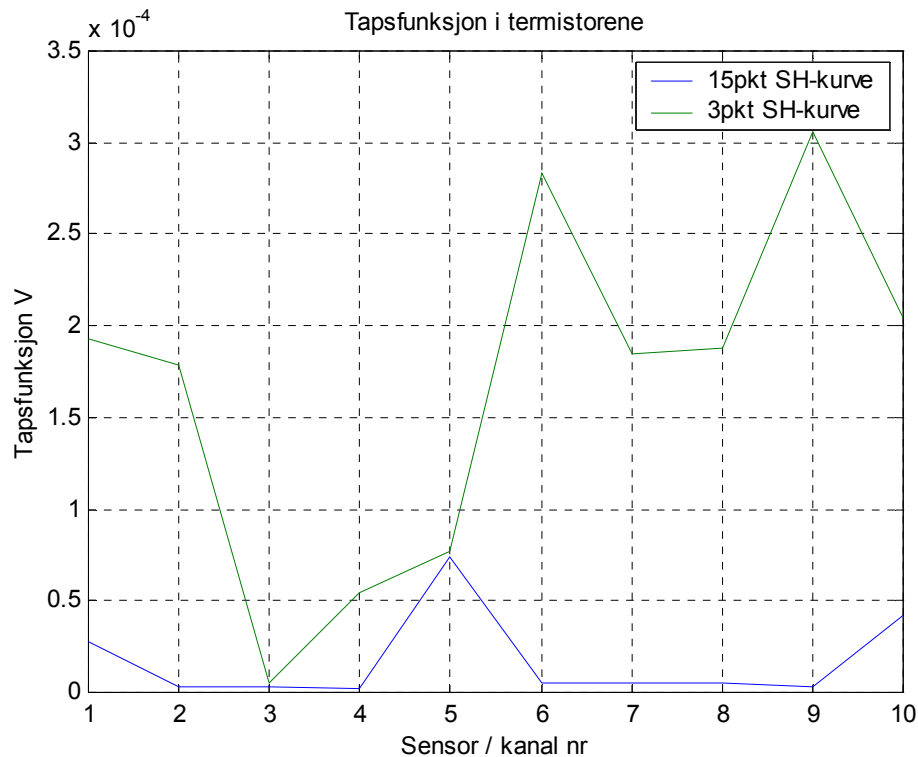


Fig 9-7 Plott av tapsfunksjon.

Dette plottet forteller oss at tapet er mye mindre i 15-punkts SH-kurven enn i 3-punkts SH-kurven. Vi bør derfor velge SH-koeffisientene fra 15-punkters kalibreringen.

Vi ser nærmere på kanal nr 2:

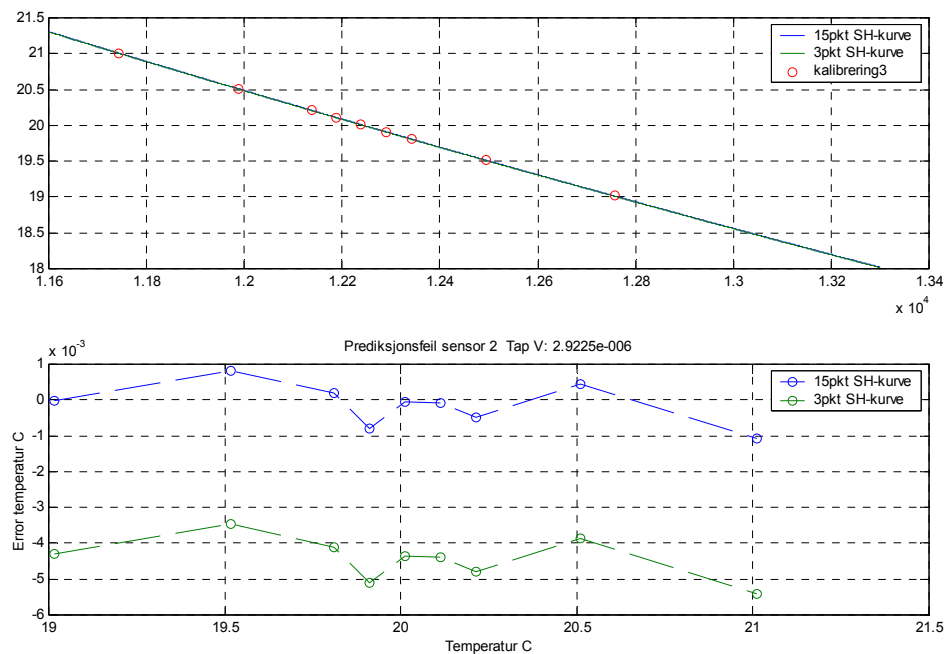


Fig 9-8 Plott av prediksjonsfeil.

Her ser vi at med 15-punkts kalibrering får vi et avvik på $< \pm 1$ mK, og 3-punkts kalibreringen er mellom 3-7 mK feil.

9.4.1 Konklusjon av 15pkt kalibrering:

15-punkts Steinhart-Hart kurve er bedre enn 3-punkts basert på 10-20-30 °C på kanal 2.

9.5 Matlab – kalibrering 4

Nå vil plote de nye referansetemperaturene hentet fra kalibrering nr 4 (13.05.03). Denne målingen er tatt ca 2,5 mnd etter kalibrering nr 3 (24-26.02.03) Da vil vi få en indikasjon på eventuell drift og hvor mye avviket er i punktene 20,21 og 22 °C.

Fil: [Matlab\pkt15_vs_4kalibSHbegrenset.m](#)

Sammenlikner 15-pkt SH-kurve med målinger fra kalibrering nr.4. Fra kalibrering nr 4 henter vi frem referansetemperaturene 20,21 og 22 °C. Disse plotter vi inn i eksisterende grafer.

Ref temp [°C]	ITS-90	20,0034	21,0047	22,0012
Keithley Multimeter [Ω]	CH1	12248,2431	11751,7035	11279,9799
	CH2	12251,4292	11754,3792	11282,1634
	CH3	12247,7351	11751,4796	11279,9524
	CH4	12252,7628	11756,5714	11285,0138
	CH5	12733,667	12236,4272	11763,9779
	CH6	12257,786	11760,6828	11288,4607
	CH7	12256,18	11759,2007	11287,0869
	CH8	12256,627	11759,3247	11286,876
	CH9	12253,3966	11756,1679	11283,8499
	CH10	12735,2556	12238,341	11766,2002

Tabell 9-6 Resistans fra kalibrering nr 4

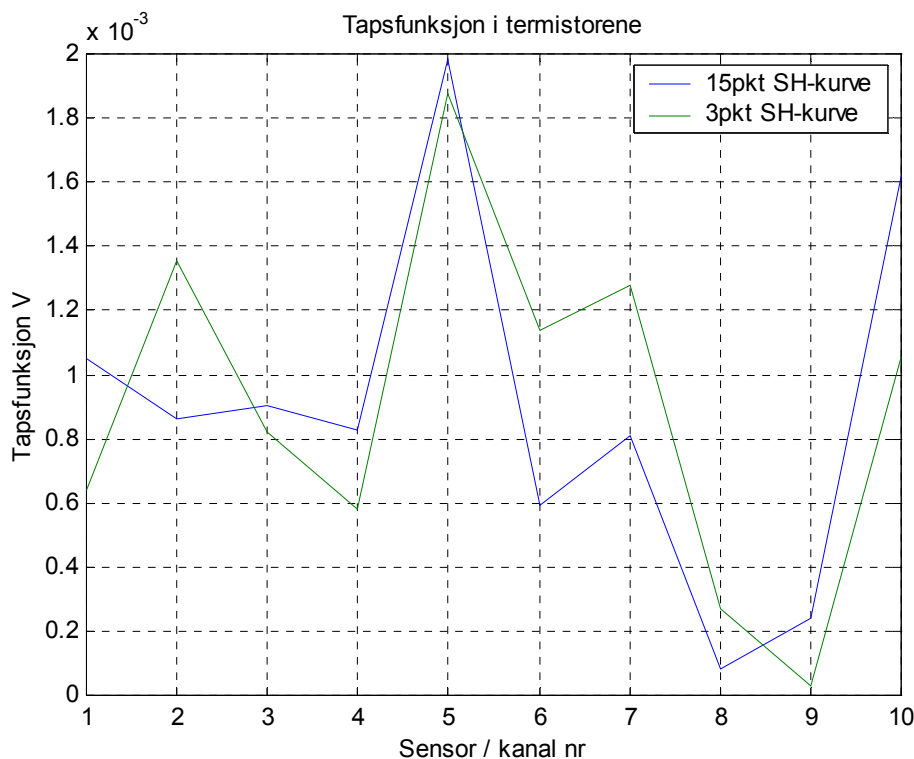


Fig 9-9 Plott av tapsfunksjon.

Referansen er de tre temperaturene fra kalibrering nr 4. Tapsfunksjonen er minst for 15-punkts SH-kurven, men likevel ikke for alle kanaler.

Vi plotter så kanal 2:

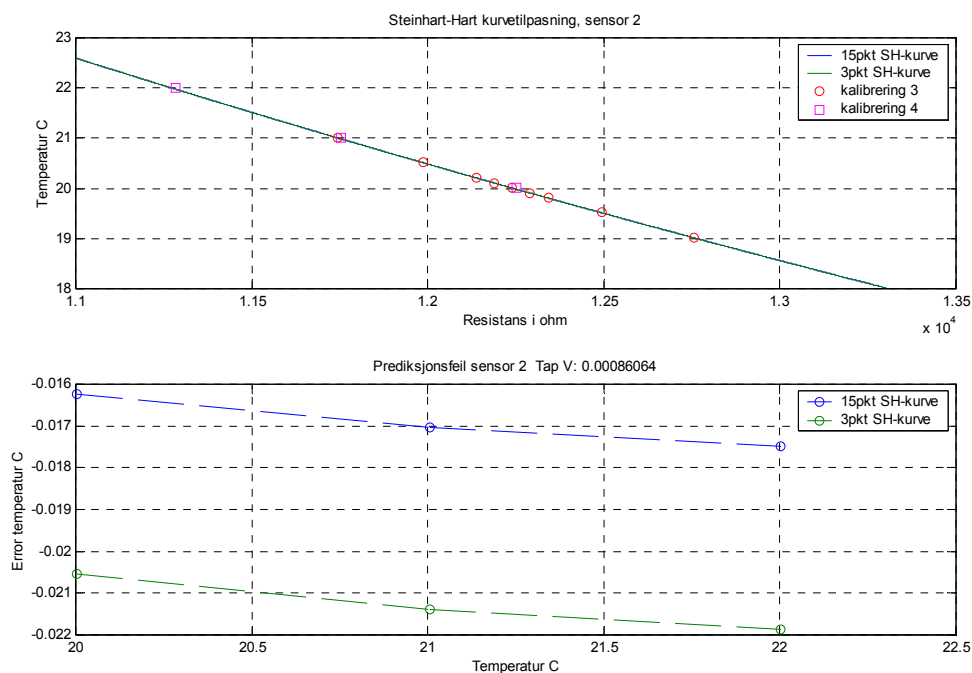


Fig 9-10 Plott av prediksjonsfeil.

Vi ser at vi har avvikene 16-17,5 mK på blå kurve og ca 20-22 mK på grønn kurve..

9.5.1 Konklusjon av fjerde kalibrering:

Avvikene varierer fra ca 2-18 mK når vi bruker 3-punkts kalibrering. Avvikene for 15-punkts kalibrering er ca 4 mK bedre. Dette kan alene ikke forklare hvorfor vi måler ca 130 mK for mye med termistorene.

9.6 Måleusikkerhet

Denne usikkerhetsberegningen er basert på rektangulærfordeling.

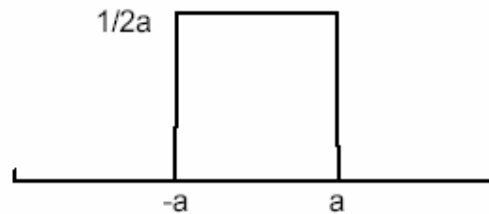


Fig 9-11 Rektangulærfordeling

-a og a er forventningsverdi og variansen i rektangulærfordelingen $[-a, +a]$.

Variansen kan skrives: $\frac{a^2}{3}$

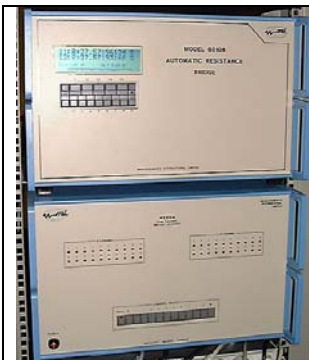
Og da blir standardavviket $\frac{a}{\sqrt{3}}$



Kalibreringsbad for referanseresistanser:

Selve badet har en usikkerhet på ± 2 mK, men dette utgjør bare en usikkerhet i resistansen på 6 ppm/°C.

$$U_r = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 10^{-9} \approx \underline{\underline{0}}$$



Målebro

Estimert usikkerhet

$$U_m = 0,1 - 0,2 \text{ ppm} \approx \underline{\underline{0}}$$



**Kalibreringsbad**

$$\text{Usikkerhet: } U_k = \frac{1mK}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{0,58mK}}$$

**Platina 25 element**

$$\text{Usikkerhet: } U_p = \frac{1mK}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{0,58mK}}$$

**Keithley Multimeter med Scanner card**

Tall er hentet fra datablad. Se Bilag A.
Usikkerhet $U_s = 15 + 2$ ppm ved $23\text{ }^{\circ}\text{C}$

Vi vet at 1Ω gir en feil på ca $2mK$ ved $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$U_R = 17 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 34,4 \cdot 10^{-9} \approx \underline{\underline{0}}$$

**Matematisk termistormodell**

Interpolering i Steinhart-Hart kurve gir en estimert maksimal usikkerhet på $U_{sh} < \pm 6\text{ mK}$ ved bruk av 3-punkts kalibrering i punktene $10, 20$ og $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$T_c = \frac{1}{A + B \cdot (\ln R) + C \cdot (\ln R)^3} - 273,15$$

$$U_{sh} = \frac{6mK}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{3,5mK}}$$

Vi bruker en dekningsfaktor $k = 1,65$ for å få et 95 % konfidensintervall.

Utvidet usikkerhet blir da:

$$U = 1,65 \cdot \sqrt{U_K^2 + U_P^2 + U_{SH}^2} = 1,65 \cdot \sqrt{(0,58 \cdot 10^{-3})^2 + (0,58 \cdot 10^{-3})^2 + (3,5 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$U = 1,65 \cdot \sqrt{12,9 \cdot 10^{-6}}$$

$$U = \underline{\underline{5,93 \cdot 10^{-3}}}$$

Usikkerhet i meter:

Dersom usikkerheten er 6 mK og lengden av en passbit er 100 mm, så blir usikkerheten i meter:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 11,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K} \cdot 0,1m \cdot 6mK = \underline{\underline{7,02nm}}$$

10 Logging av kabinett



Fig 10-1 Oppsett med interferometeret

10.1 Logging nr.1- Kabinettets homogenitet

Beskrivelse av resultater fra første logging av kabinett med vilkårlig plasserte termistorer i kabinettet. CH1-5 var plassert i bunnen og CH6-10 plassert omtrent midt i kabinettet i et luftsstrekk.



Fig 10-2 Termistorer plassert i kabinettet

Dato og tid: 19.05.2003 start: 15:47

Logging hvert 60 sekund. Logget 3 filer.

Filnavn	Beskrivelse
kabtestTemp2.dat	Logging av nåverdi temperatur fra termistorene
kabtestRes2.dat	Logging av resistansverdien fra termistorene
kabtestAvgTemp2.dat	Logging av temperatur gjennom 5-punkts running average filter
kabtestAvgTemp2.xls	Bearbeidet Excel-fil

Tabell 10-1 Filer fra logging nr 1

10.1.1 Testforløp:

Fase1: kl 15.47 Start av logging. Temperaturstøy som folk i laboratoriet, start/stopp av Neslab osv

Fase2: kl 23.00 Start av Neslab med sirkulasjon på 20,0 °C

Fase3: kl 05.00 Stopp av Neslab

ca kl 15:15 Temperaturstøy fra personer i lab.

Kl 15:45 Stopp av logging

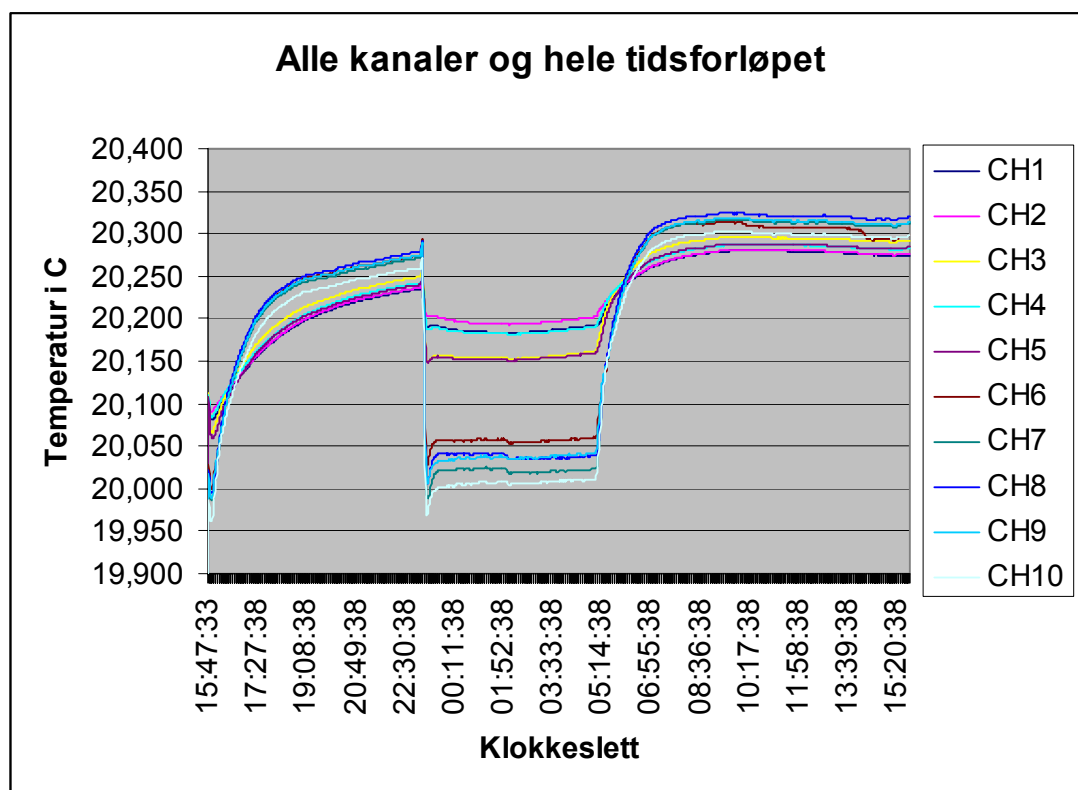
10.1.2 Analyse i Excel

Fig 10-3 Oversiktsplott av logging nr 1

10.1.2.1 Fase 1: 15.46-23.00

Denne fasen er ganske uinteressant. Differanseplottet gir oss en forskjell mellom CH1,2,4 på <7,5 mK og tar vi med CH3 er differansen <15 mK.

10.1.2.2 Fase 2: Kl 23.00-0500.

Vi plukker ut tidsrommet ca 00.00-04.00. For å finne stabiliteten over denne perioden, finner vi maks, min, gj.snitt og standardavvik av hver kanal vha den filtrerte loggefila "kabtestAvgTemp2.dat" og Excel.

Vi får resultatet:

[°C]	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
Max-Min	0,0056	0,0061	0,0049	0,0053	0,0050
Max	20,1886	20,1992	20,1572	20,1867	20,1554
Min	20,1830	20,1931	20,1523	20,1814	20,1504
Std avvik	0,0014	0,0016	0,0011	0,0013	0,0011
Gj.snitt	20,1851	20,1950	20,1546	20,1835	20,1526
[°C]	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
Max-Min	0,0055	0,0070	0,0084	0,0072	0,0078
Max	20,0590	20,0252	20,0426	20,0398	20,0098
Min	20,0535	20,0182	20,0342	20,0326	20,0020
Std avvik	0,0014	0,0021	0,0027	0,0015	0,0017
Gj.snitt	20,0564	20,0216	20,0384	20,0365	20,0066

Tabell 10-2 Resultat logging nr 1 – fase 2

Vi ser at variasjonen i dette tidsrommet ligger på ca 5-6 mK.

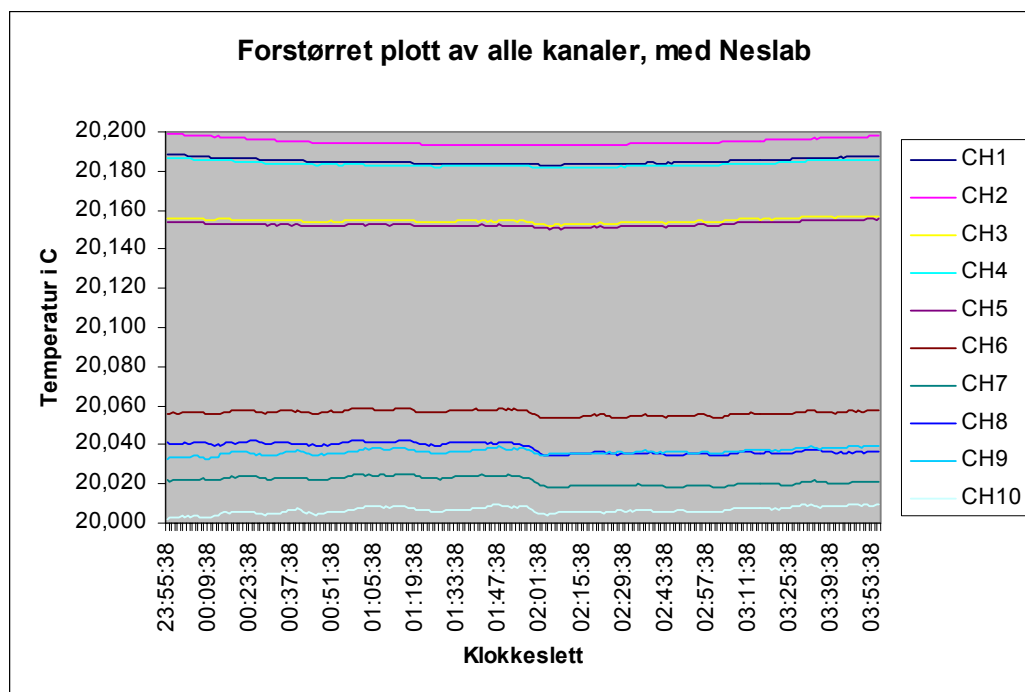


Fig 10-4 Plott av logging nr 1 fase 2.

10.1.2.3 Fase 3: 05.00-15.46

Vi plukker ut det stabile tidsrommet ca 11.00-15.00.

Resultatet blir som følger:

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
Max-Min	0,0054	0,0055	0,0045	0,0053	0,0045
Max	20,2798	20,2811	20,295	20,287	20,2871
Min	20,2744	20,2756	20,2905	20,2817	20,2826

Std avvik	0,001694	0,001685	0,001509	0,00166	0,001453
Gj.snitt	20,27757	20,27876	20,29323	20,28481	20,28528
	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
Max-Min	0,0152	0,005	0,005	0,0049	0,0049
Max	20,3078	20,3136	20,3215	20,3153	20,2998
Min	20,2926	20,3086	20,3165	20,3104	20,2949
Std avvik	0,005272	0,001595	0,001582	0,00164	0,001637
Gj.snitt	20,304	20,3116	20,31959	20,31363	20,2979

Tabell 10-3 Resultat fra logging nr 1 – fase 3

Her ser vi at variasjonene (max-min) også ligger ved ca 5-6 mK.

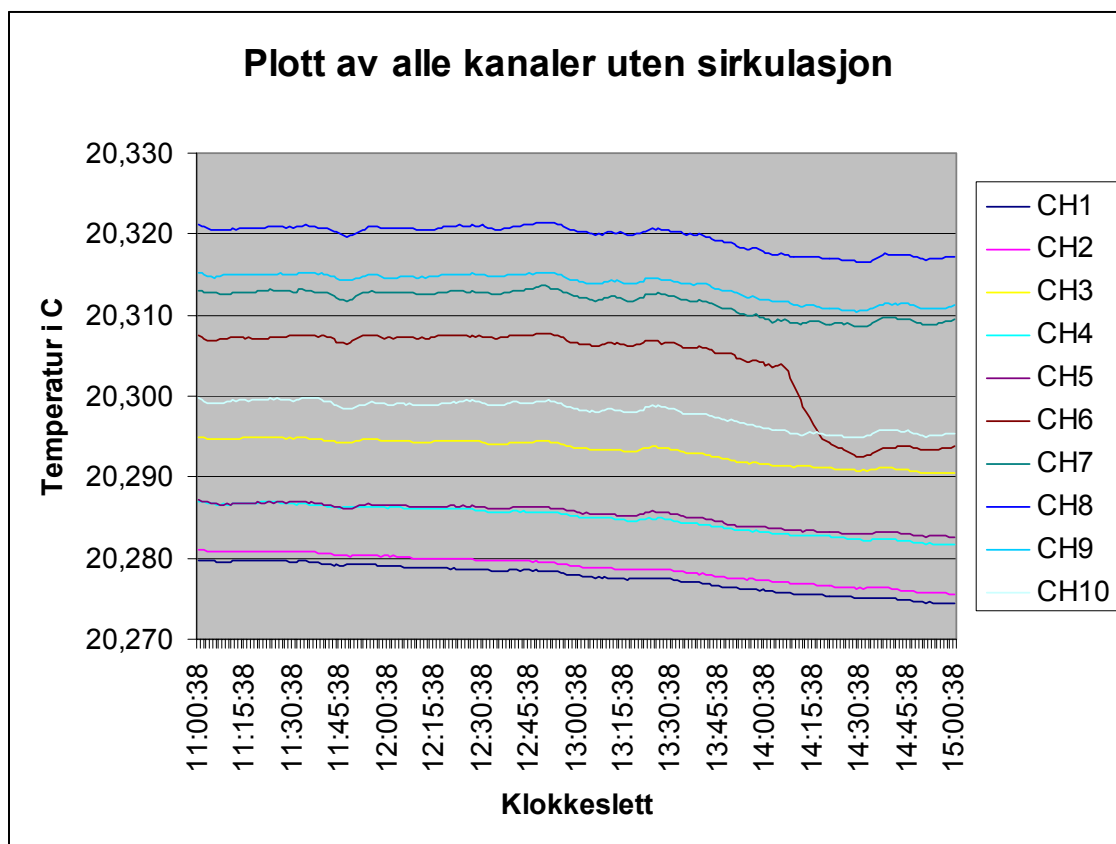


Fig 10-5 Plott av logging nr 1 fase 3

10.1.3 Resultat av logging nr.1:

Vi ser at stabiliteten til hver enkel termistor ikke blir bedre med sirkulasjon. Derimot ser vi at kabinettet påvirker homogeniteten i måleområdet. Uten sirkulasjon er differansen mellom kanalene ca $(20,330 - 20,280) = 50$ mK. Med sirkulasjon er differansen nesten 200 mK. Det kan se ut som om varme påvirkningen er størst midt i kabinettet ved CH6-10.

10.2 Logging nr.2- Kabinettets homogenitet

Termistorene er plassert på samme måte som ved logging nr 1. Denne gang skal vi teste hva som skjer nå Neslab er innstilt på 21,0 °C. Vi tester kun med sirkulasjon denne gang.

Dato og tid: 20.05.2003 start: 19:28

Logging hvert 60 sekund. Logget 3 filer.

Filnavn	Beskrivelse
kabtestTemp3.dat	Logging av nåverdi temperatur fra termistorene
kabtestRes3.dat	Logging av resistansverdien fra termistorene
kabtestAvgTemp3.dat	Logging av temperatur gjennom 5-punkts running average filter
kabtestAvgTemp3.xls	Bearbeidet Excel-fil

Tabell 10-4 Filer fra logging nr 2

10.2.1 Analyse i Excel:

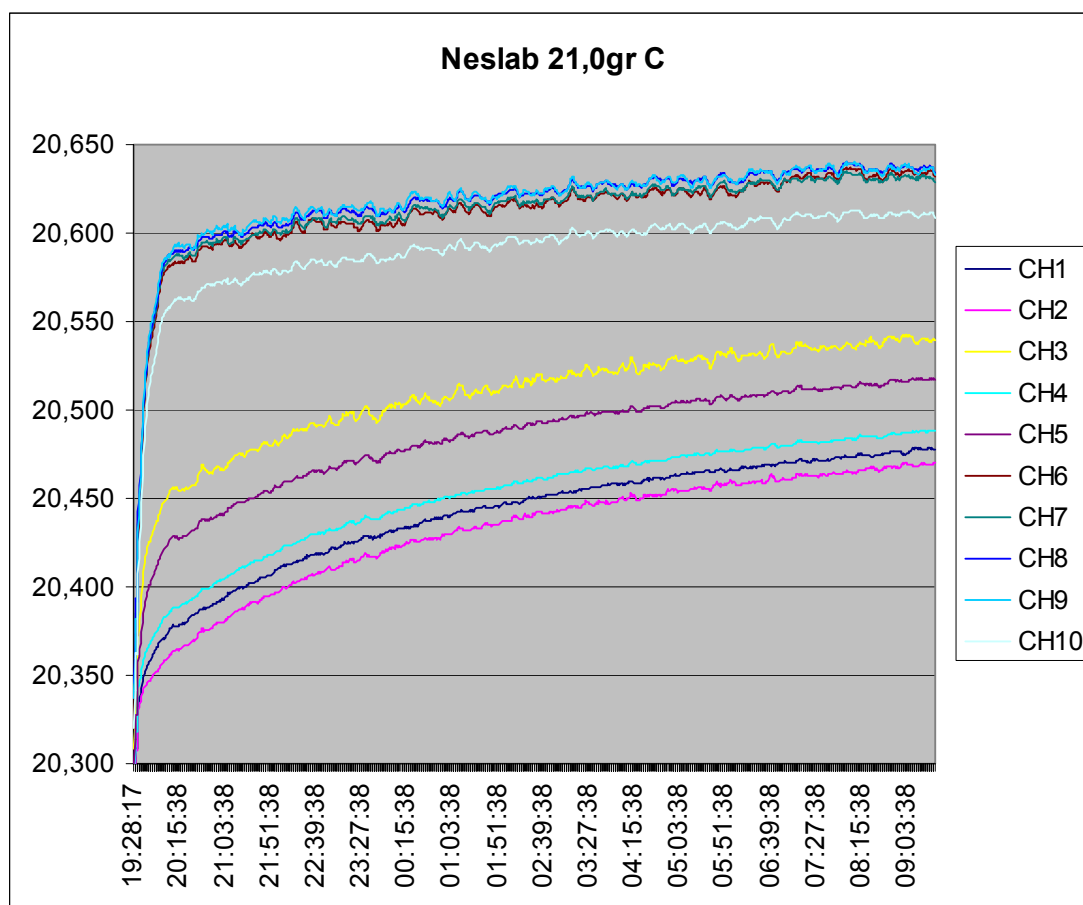


Fig 10-6 Oversiktsplott av logging nr 2

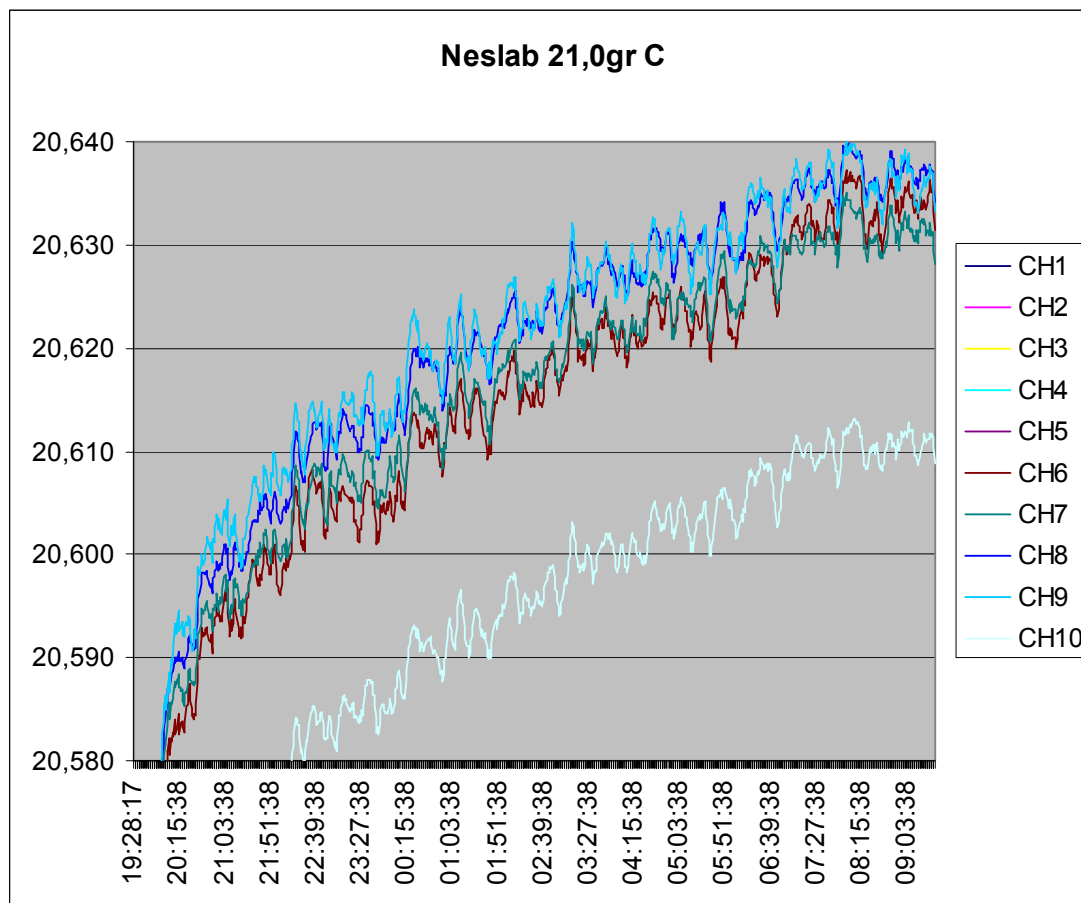


Fig 10-7 Forstørret plott av CH6-10

10.2.2 Resultat av logging nr.2:

Som vi ser av plottet over, så klarer ikke temperaturen innvendig i kabinettet å nå den ønskede temperaturen på 21,0 °C. Temperaturen blir heller aldri stabil. En grunn kan være at tilført varme er mindre enn tapt varme, det vil si at varmetapet er for stort i kabinettet. Sirkulasjonen er på hele tiden. Loggetiden er 13 timer. Vi ser også her at det er markant skille mellom CH1-5 (Som ligger på bunnen) og CH6-10. Temperaturpåvirkningen er størst midt i kabinettet, og ser vi på spredningen av CH6-9 (CH10 kan vi ikke stole på), så er den veldig liten sammenlignet med de som ligger på bunnen. Det betyr at varmen er mer stabil midt i kabinettet.

10.3 Logging nr.3- Kabinettets homogenitet

Denne gang tester vi om et lokk over kabinettet gir noen innvirkninger. Termistorene er plassert som før. Neslab referanse temperatur er nå 20,5 °C. I tillegg har vi plassert tre stk platina-100 element som veileder normalt bruker for å overvåke temperaturen i interferometer kabinettet. Avlesningene av disse skjer manuelt ved hjelp av en monitor tilknyttet måleutstyret. Her kan vi bl a lese av trykk og temperatur.



Fig 10-8 Nærbilde av monitor til interferometeret.

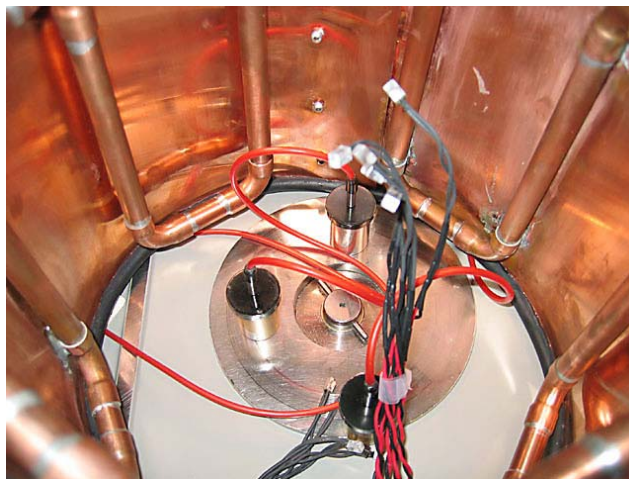


Fig 10-9 Plassering av termistorer og Pt-100



Fig 10-10 Lukk over kabinett

Dato og tid: 21.05.2003 start: ca 16:00
Logging hvert 60 sekund. Logget 3 filer.

Filnavn	Beskrivelse
kabtestTemp4.dat	Logging av nåverdi temperatur fra termistorene
kabtestRes4.dat	Logging av resistansverdien fra termistorene
kabtestAvgTemp4.dat	Logging av temperatur gjennom 5-punkts running average filter
kabtestAvgTemp4.xls	Bearbeidet Excel-fil

Tabell 10-5 Filer fra logging nr 3

10.3.1 Analyse i Excel:

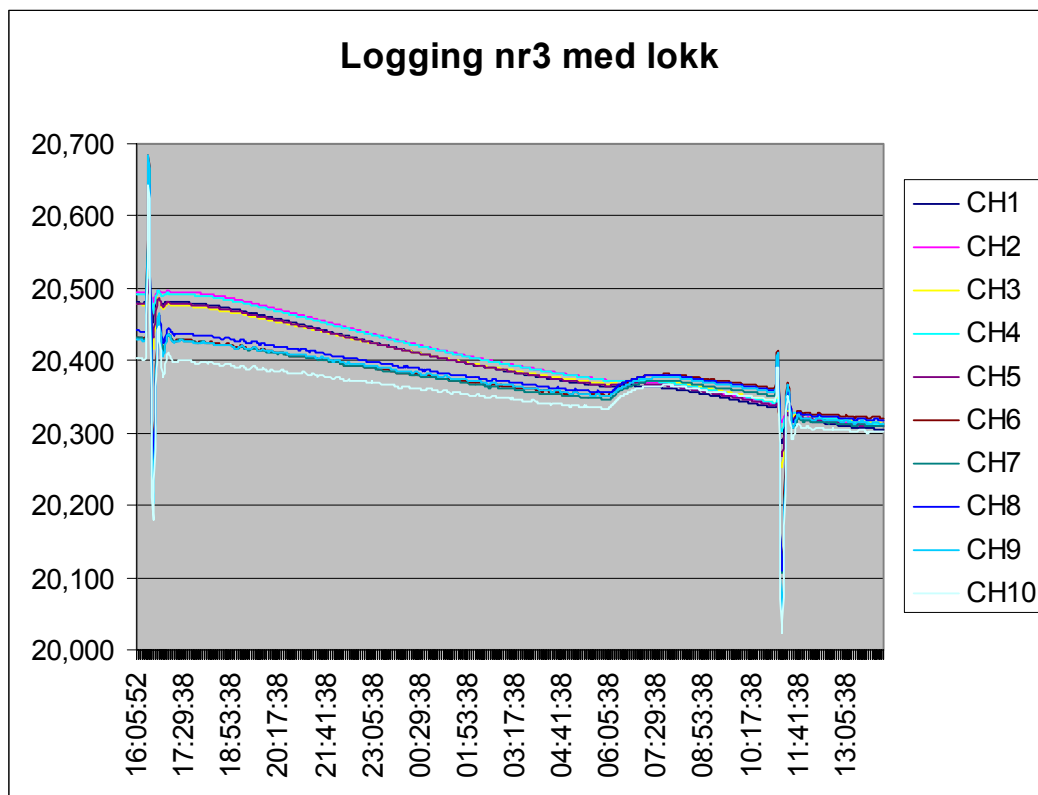


Fig 10-11 Oversiktsplott av logging nr 3.

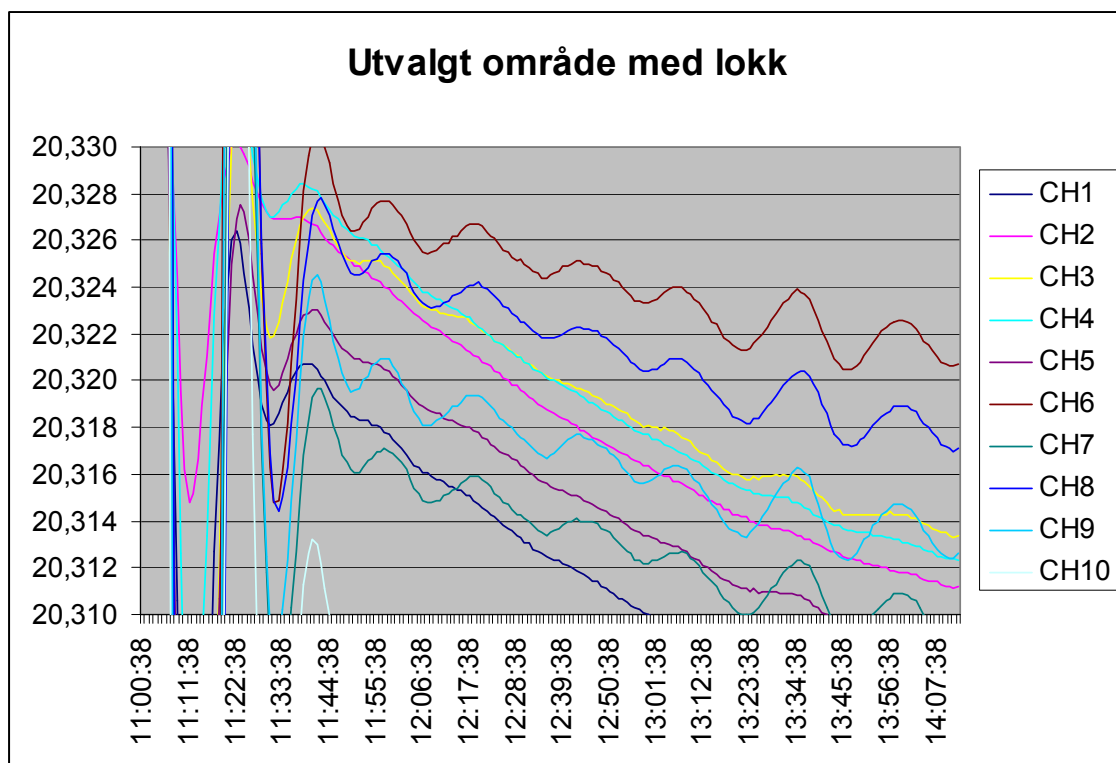


Fig 10-12 Forstørret plott av logging med lokk.

10.3.2 Resultat av logging nr.3:

Neslab = 20,5 °C

Sirkulasjon i tidsrommet 16.00-06.00 og 11.00-14.00

Temperaturen er mest stabil i tidsrommet 11.00-14.00. CH1-5 som ligger i bunnen av kabinettet er mest stabile, dvs termistorene svinger lite. Den andre gruppen CH6-10 svinger mye mer. Det kan se ut som et lokk over kabinettet gjør temperaturen midt i kabinettet mer ustabil. Kanskje det er en form for turbulens vi opplever her?

Avlesningen av interferometerets Pt-100 elementene stemmer godt overens med våre målinger av termistorene. De viser nemlig 130-140 mK for mye.

11 Programmering

11.1 Bruksanvisning

11.1.1 Hoved Frontpanel - KEITHLEY Control

Hovedpanelet er delt inn i 5 "skille ark" eller som det kalles i LabView, "Tab Control". Dette er et objekt som på diagrammet blir seendes slik ut  og ved oppkobling til en indikator gir ut et tall som representerer skillearket som blir vist frem i frontpanelet, f. eks valget på skjermbildet under er "KEITHLEY Control" som ut av Tab Control gir verdien "0".

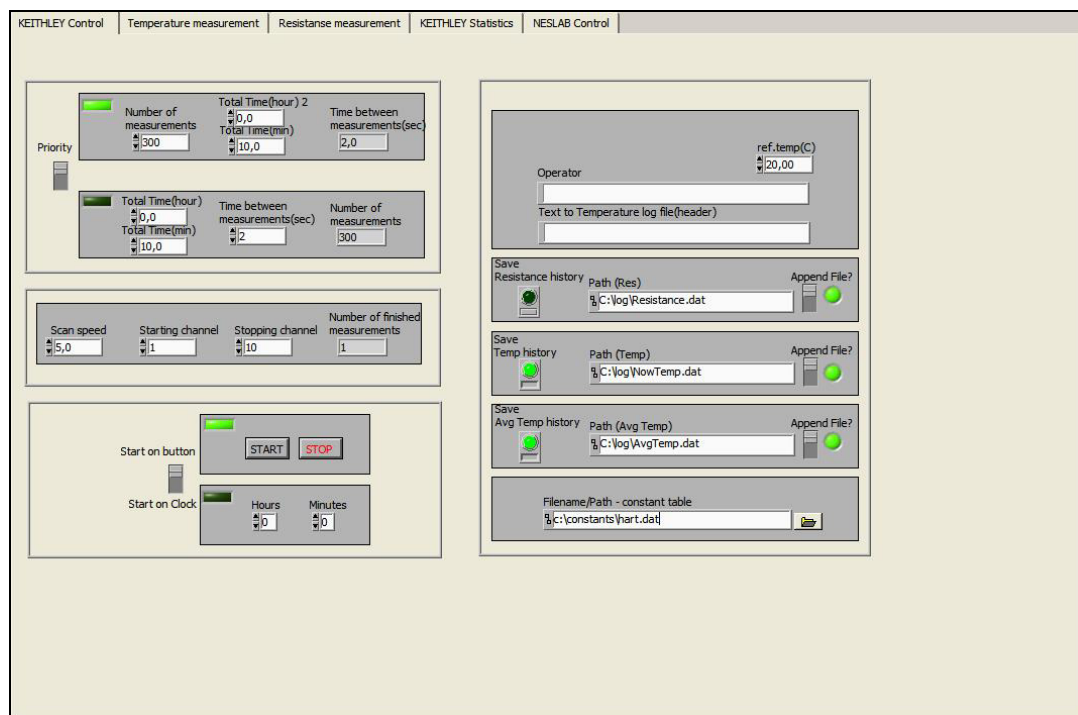


Fig 11-1 Skjermbilde fra "KEITHLEY Control" ("MainFront.vi").

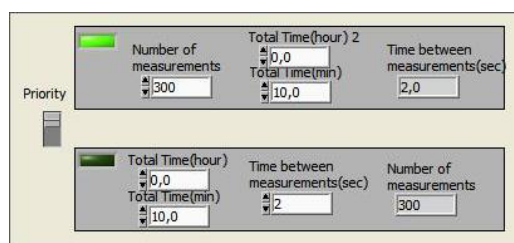


Fig 11-2 Utsnitt av startprioritet.

Øverst til venstre ser vi et avgrenset område, her forstørret i figuren ovenfor, som inneholder en prioritets-skyvebryter ved navnet "Priority". Denne bryteren indikerer hvilke målingsalternativer du kan stille inn. I øverste posisjon (indikert også med en lysdiode) kan du stille inn antall skanninger ("Number of measurements") du vil utføre i løpet av innstilt tid ("Total time"). I nederste posisjon kan du stille inn den totale tiden ("Total time") i forhold til tid mellom skanninger ("Time between measurements").

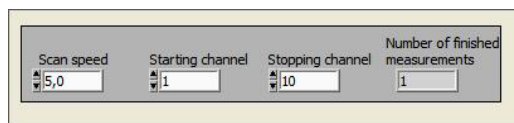


Fig 11-3 Utsnitt av avlesnings alternativer.

Neste avgrensede område inneholder alternativer for avlesningshastighet ("Scan speed") og i mellom hvilke av Keithley'ens ti kanaler det skal måles ("Starting channel" og "Stopping channel"). Avlesningshastigheten er en relativ størrelse som bestemmer hastigheten på skiftet av kanal (relé multiplekseren). Dette er i utgangspunktet en størrelse mellom 0,1 og 5,0 der 0,1 er raskest. Vi har valgt og avgrenset avlesningshastigheten mellom 0,6 og 5,0 grunnet unøyaktighet i avlesningene ved større hastighet.

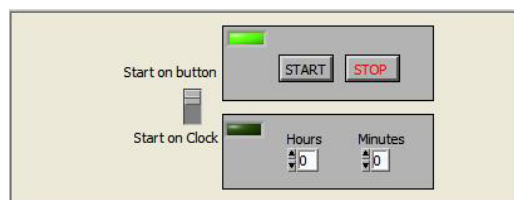


Fig 11-4 Utsnitt av startvalg.

Nederst til venstre befinner det seg nok en skyvebryter. Denne velger hvordan programmet skal startes; med "START" knappen eller på et gitt tidspunkt ("Start on Clock"). Hvis man velger å starte på et gitt tidspunkt trenger man ikke å trykke startknappen for å starte.

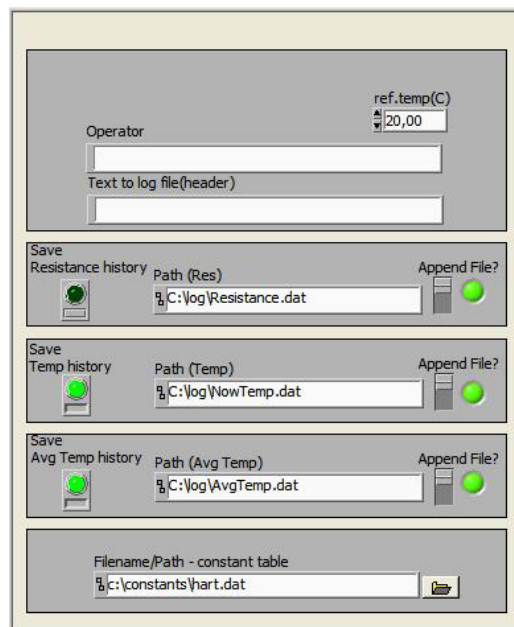


Fig 11-5 Utsnitt av lagringsvalg.

Høyre kolonne på frontpanelet inneholder øverst (utsnittet over) tre valg som vil bli gjengitt som tekst i de eventuelle loggefilene. Her kan du velge en referanse temperatur ("ref.temp(C)"), du kan taste inn operatørnavn ("Operator") og en selvvalgt generell tekst ("Text to log files(header)").

Her befinner det seg også tre trykk knapper som bestemmer om du vil lagre resistans, temperatur eller gjennomsnitts temperaturen til loggefil. Filnavnet må skrives inn "Path" feltet

manuelt. Her er det også tre skyvebrytere som er beskrevet med teksten "Append File", dette velger om du vil fortsette å lagre data til en eksisterende fil eller om du vil skrive over data som ligger lagret i filen fra før.

8,51E-04	2,68E-04	4,87E-08
8,93E-04	2,61E-04	7,29E-08
8,44E-04	2,69E-04	4,46E-08
8,96E-04	2,60E-04	7,82E-08
4,73E-04	3,21E-04	-1,09E-07
9,09E-04	2,58E-04	8,45E-08
8,95E-04	2,61E-04	7,56E-08
9,14E-04	2,58E-04	8,56E-08
8,67E-04	2,65E-04	5,66E-08
4,56E-04	3,23E-04	-1,18E-07

Eksempel på Steinhart-Hart tabell.

Nederst må du bestemme hvor Steinhart-Hart konstantene er lagret. Denne skal inneholde en tabell med tre kolonner (A, B, C) og ti rader (én pr. kanal) som vist i figuren over.

11.1.2 Hoved Frontpanel - Temperature measurement

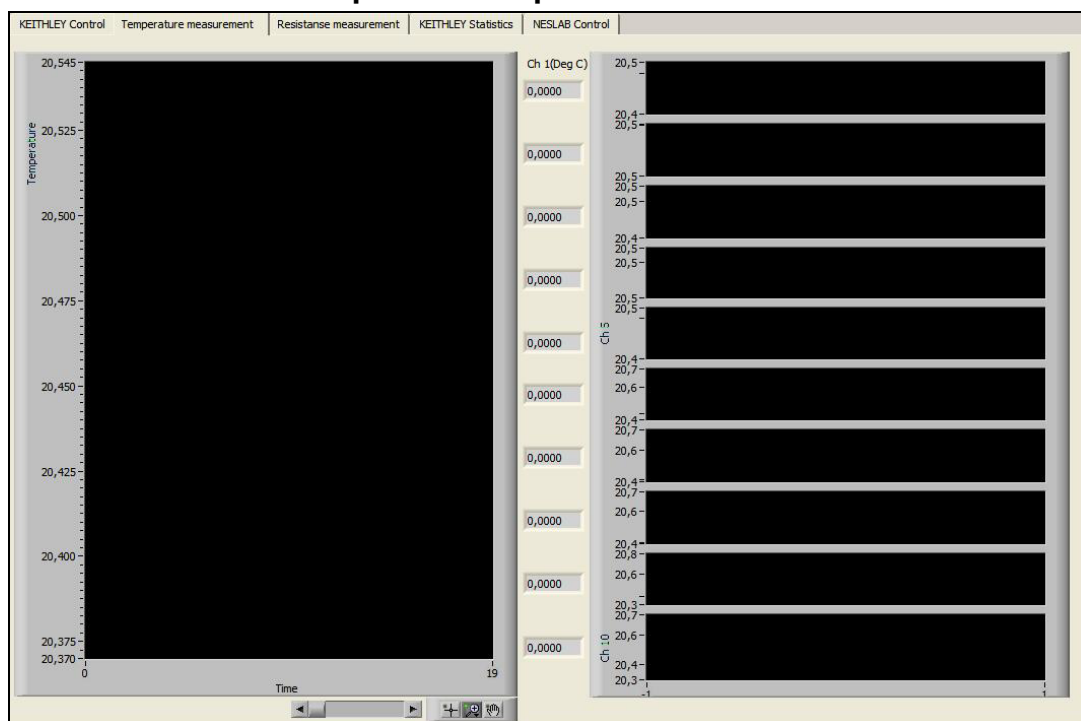


Fig 11-6 Skjerm bilde fra "Temperature measurements" ("MainFront.vi").

Figuren over viser skilleark nummer to, dette inneholder et historieplott av temperaturmålinger. Helt til venstre vises alle i samme plott mens til høyre vises de individuelle kanalene separat. I midten finner du indikatorer som viser siste avleste temperatur. Det er disse dataene som lagres i "Temp history".

11.1.3 Hoved Frontpanel - Resistance measurement

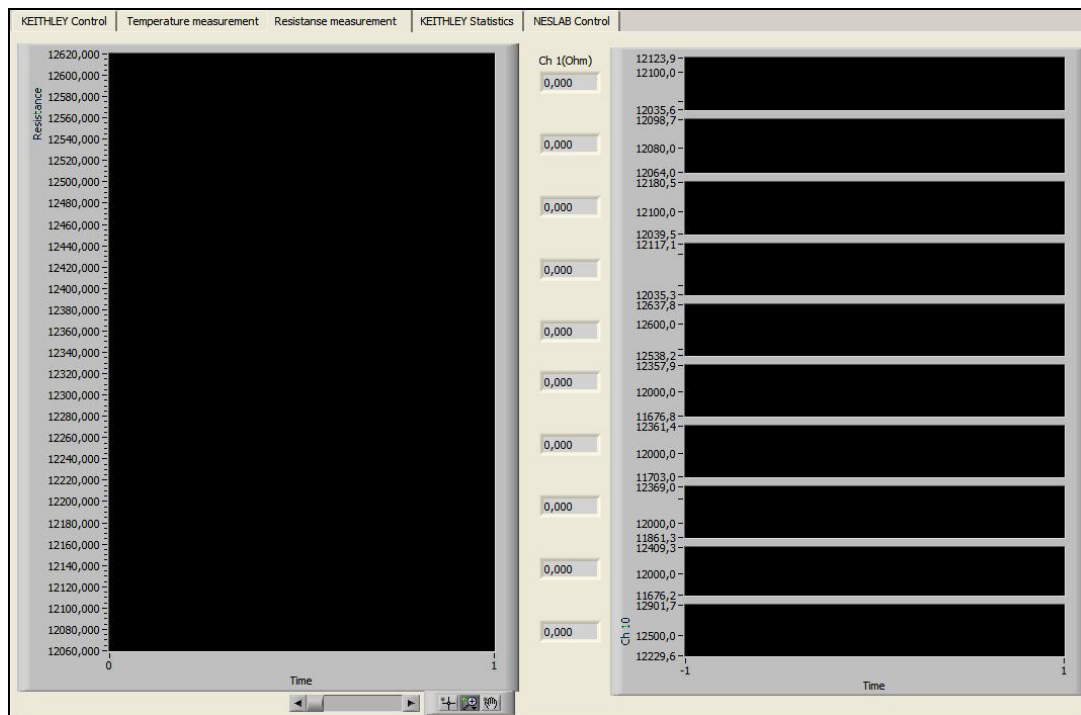


Fig 11-7 Skjerm bilde fra "Resistance measurements" ("MainFront.vi").

Figuren over viser skilleark nummer tre som inneholder et historieplott av resistansmålinger. Helt til venstre vises alle i samme plott mens til høyre vises de individuelle kanalene separat. I midten finner du indikatorer som viser nøyaktig utregnet temperaturverdi i nåtid, det er disse dataene som lagres i "Resistance history"

11.1.4 Hoved Frontpanel - KEITHLEY Statistics

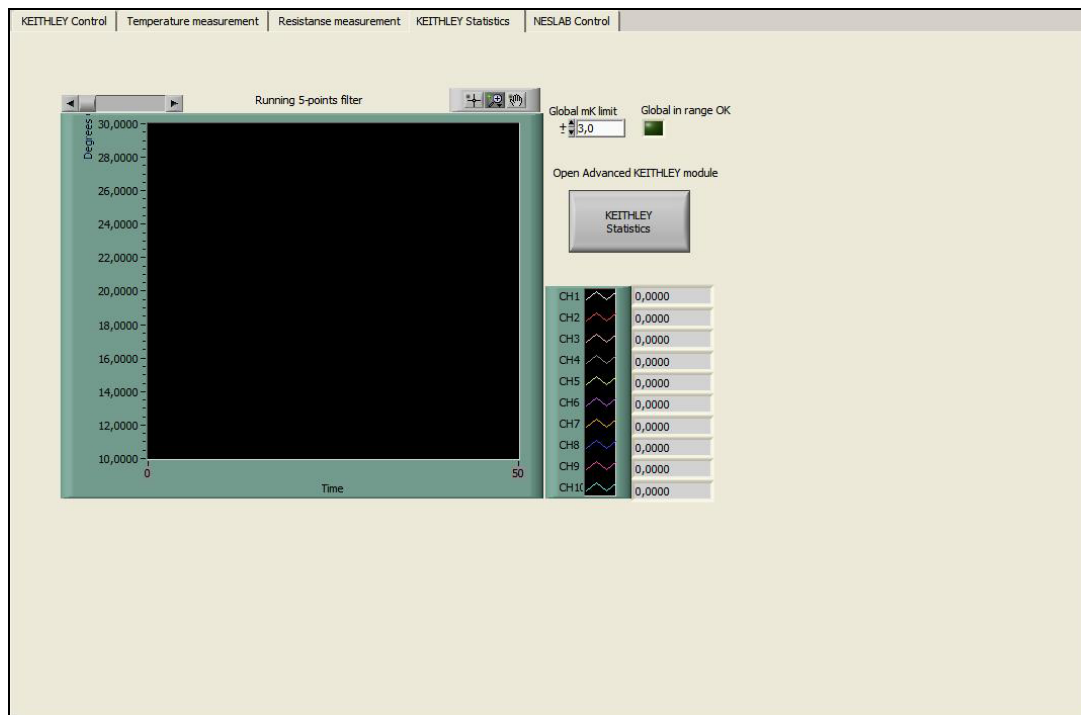


Fig 11-8 Skjerm bilde fra "KEITHLEY Statistics" ("MainFront.vi").

På figuren over ser du skilleark nummer fire der du finner noen statistiske data. Programmet viser her gjennomsnittet av de fem siste temperaturmålingene som plott ("Running 5-points filter") til venstre og som tallvis representasjon til høyre. Øverst til høyre finnes en kontroll for stabiliseringskriterie ("Global mK limit"). Denne sjekker om alle de individuelle signalene svinger innenfor en gitt verdi, lysdioden ("Global in range OK") vil lyse om dette er tilfellet. Hvis flere statistiske data ønskes er det bare å trykke på knappen "Open Advanced KEITHLEY module", denne åpner frontpanelet til "Running average.vi".

11.1.5 Hoved Frontpanel - NESLAB Control

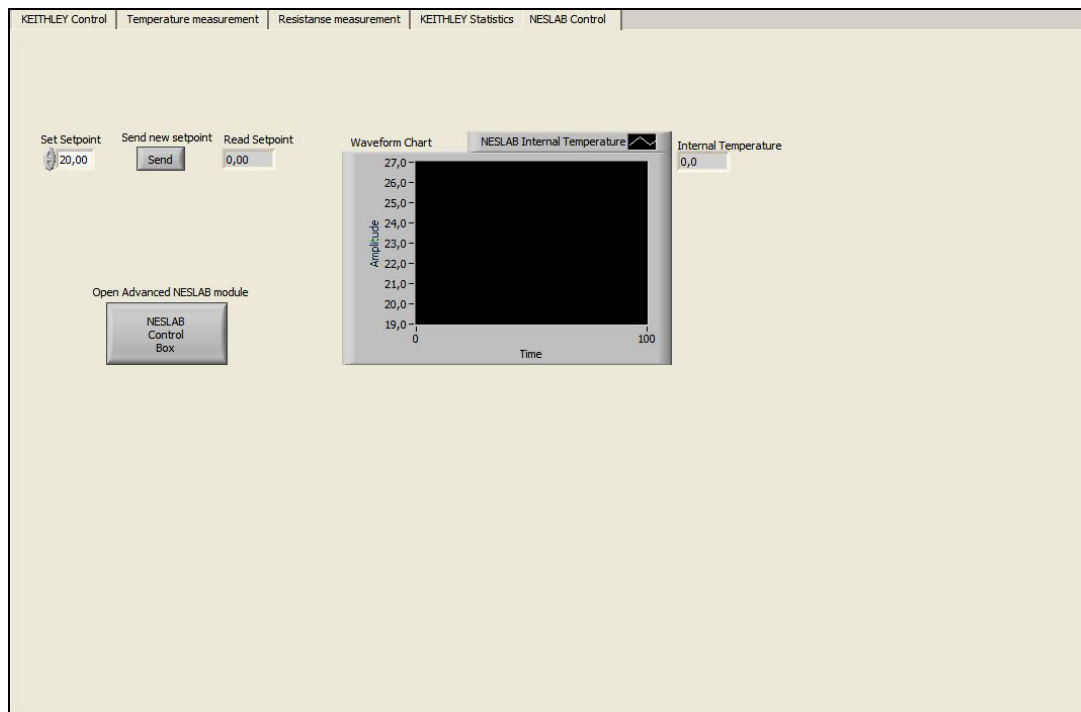


Fig 11-9 Skjerm bilde fra "NESLAB Control" ("MainFront.vi").

Skilleark nummer fem viser en forenklet kontrollmodul av NESLAB sirkulasjonsbadet. Her kan du velge deg et settpunkt med "Set Setpoint" og dermed trykke på "Send"-knappen for å utføre kommandoen, du kan dermed lese av ditt nye settpunkt på indikatoren "Read Setpoint". Plottet til høyre er fremstilt av data fra en kontinuerlig avlesning av intern-temperaturen i sirkulasjonsbadet med tilsvarende indikert nåverdi. For å sette eller studere data fra NESLAB sirkulasjonsbad bedre, kan en klikke på "Open Advanced NESLAB module" dermed åpnes frontpanelet til "Neslab Controlbox.vi".

11.1.6 Running average.vi - Frontpanel

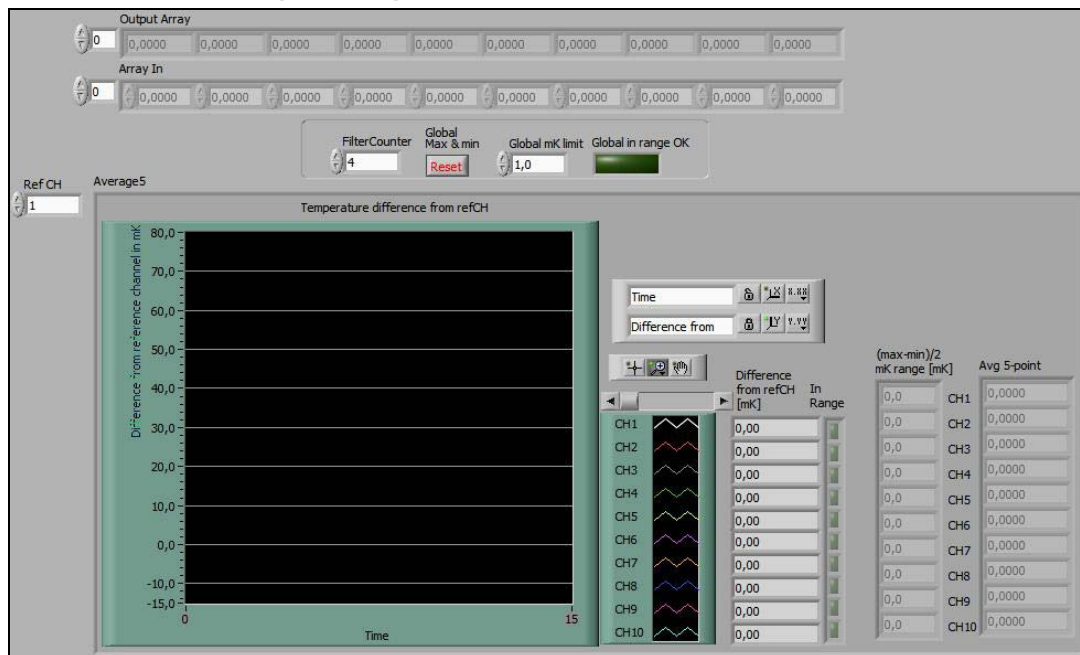


Fig 11-10 Utsnitt fra "Running average.vi"

Del 1 av frontpanelet til "Running average.vi" som er vist på figuren over inneholder hovedsaklig et plott av avviket i temperatur ifh til en valgt referansekanal ("Ref CH") og tilhørende representerte nåverdier ("Difference from refCH [mK]"). Lysdiodene som ligger vertikalt ved siden av tallrepresentasjonen viser om de ulike kanalene svinger innenfor det globalt satte området ("Global mK limit").

Nederst til høyre finner du to indikatortabeller der det vises $\pm$ svingningen på hver separate kanal i mK (" $(\text{max}-\text{min})/2$ mK range [mK]"), og gjennomsnitts temperaturen på hver kanal ("Avg 5-point").

Øverst finner vi to tabeller der den øverste ("Output Array") inneholder av programmeringsårsaker den samme informasjonen som "Avg 5-point" mens den nederste av de to "Array In" rett og slett viser temperaturmålingene inn til vi'en.

"Filter Counter" er en teller som viser hvor mange skanninger som er gjennomført, "Reset" er global og nullstiller alle maks/min-verdier på neste figur, mens vi kjenner igjen "Global in range OK"-lysdioden fra hovedfrontpanelet.

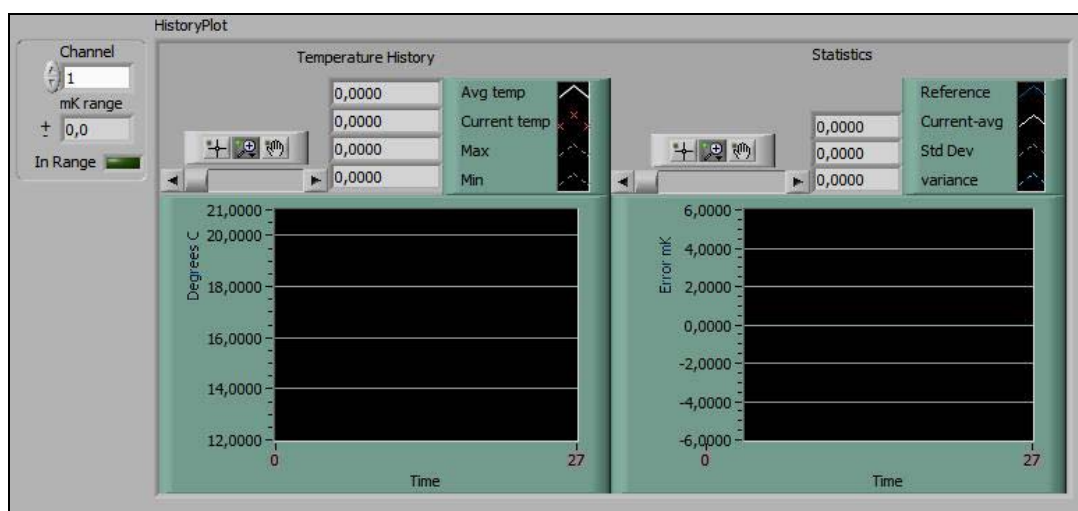


Fig 11-11 Utsnitt fra "Running Average".

Denne delen av frontpanelet til "Running average.vi" finnes det tre stk av, slik at det er mulig å studere flere plott samtidig. Øverst til venstre finner vi et lite avgrenset område som inneholder et kanalvalg ("Channel"), en indikator på signalsvingning ("mK range") og en lysdiode ("In Range") som viser om signalet svinger innenfor den gitte globale verdien (stabiliseringskriteriet).

Vi finner også to grafer med tallverdier, der den venstre viser gjennomsnittstemperaturen, nåtemperaturen og maks/min-verdi av nåtemperaturen, mens den til høyre viser en null-linje, gjennomsnittet, standardavviket og variansen av de fem siste målingene på gjeldende kanal.

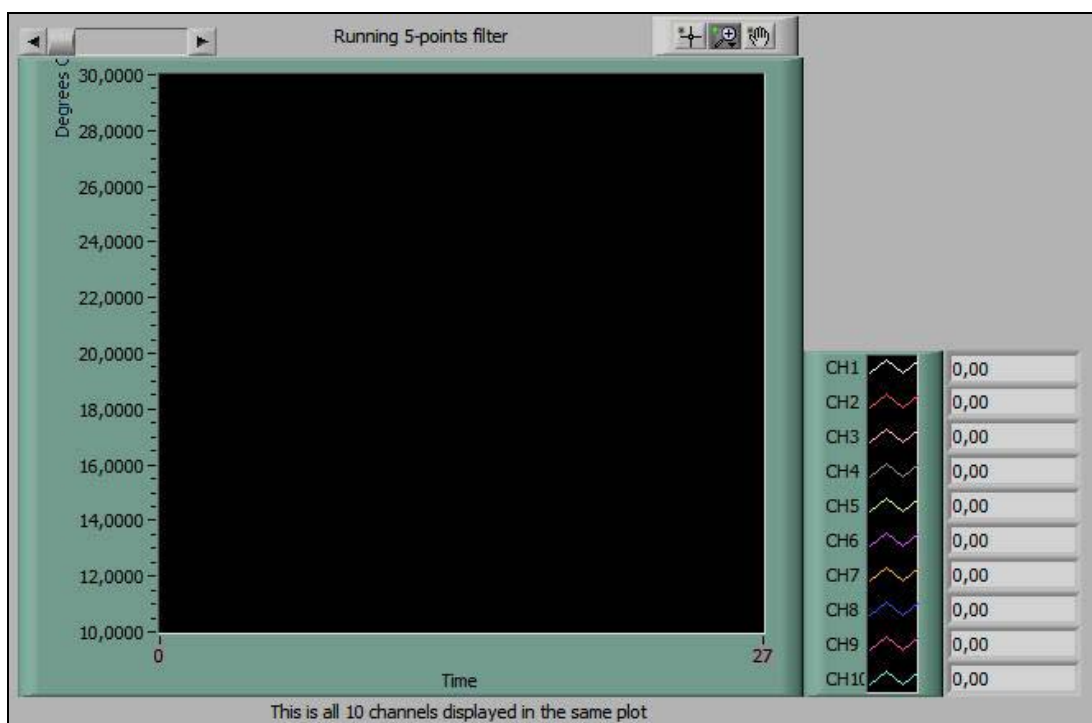


Fig 11-12 Utsnitt fra "Running average.vi".

Denne grafen inneholder et løpende fem punkts gjennomsnitt for alle kanalene. Vi finner den også igjen på hovedfrontpanelet.

11.1.7 NESLAB Advanced Control - Frontpanel

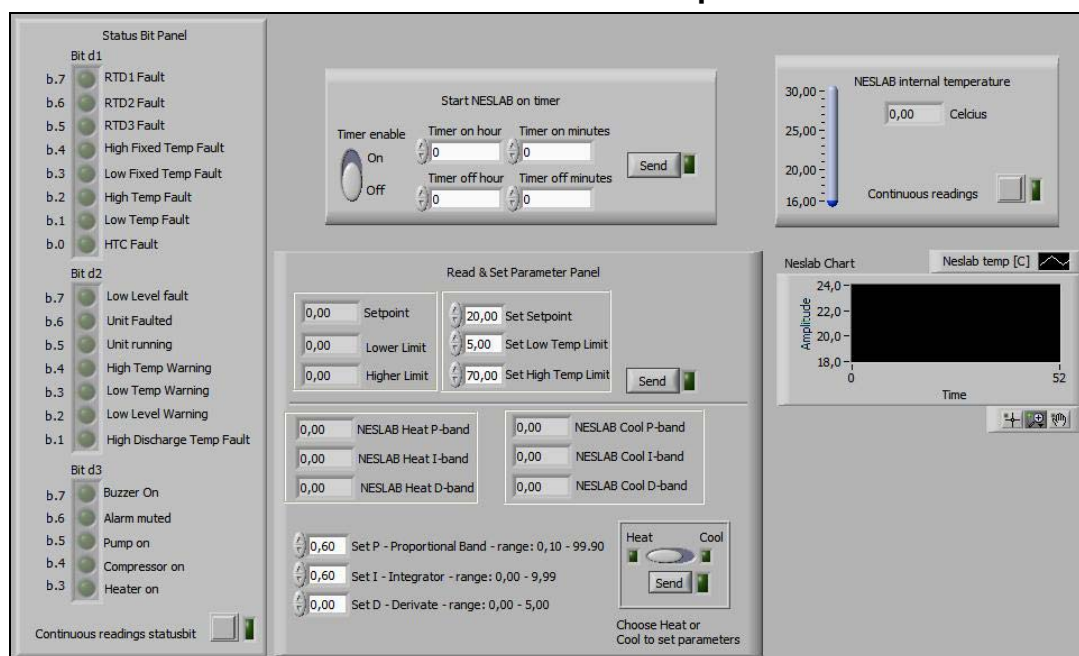


Fig 11-13 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Neslab ControlBox.vi".

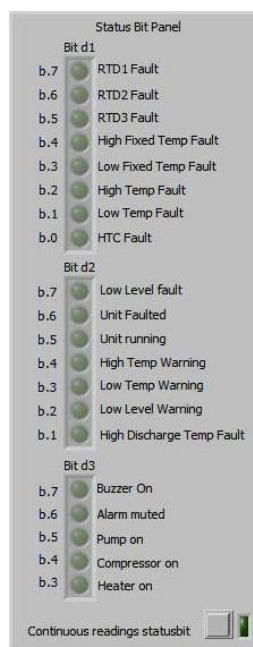


Fig 11-14 Utsnitt av parameterfremstilling

Dette er SubVi'en som åpnes når man i hovedfrontpanelet trykker på "Open Advanced NESLAB module". Dette frontpanelet inneholder styring av alle parametere som det er mulig å sette eller lese fra Neslab sirkulasjonsbadet. Til venstre på frontpanelet finnes et område

(figuren over) med en rekke lysdioder som indikerer status hos Neslab sirkulasjonsbad. Disse blir kontinuerlig avlest hvis "Continuous readings statusbit" er valgt.

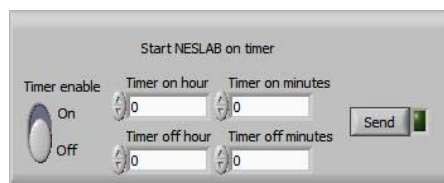


Fig 11-15 Utsnitt av start.

Øverst i midten finner vi et avgrenset område der man kan velge å starte og stoppe sirkulasjonsbadet ved gitte tidspunkt. Man skrur da på skyvebryteren "Timer enable" og velger klokketidspunkt for start og stopp av modulen og trykker deretter på "Send". Dette er eneste mulighet for å starte eller stoppe sirkulasjonsbadet ved fjernstyring.

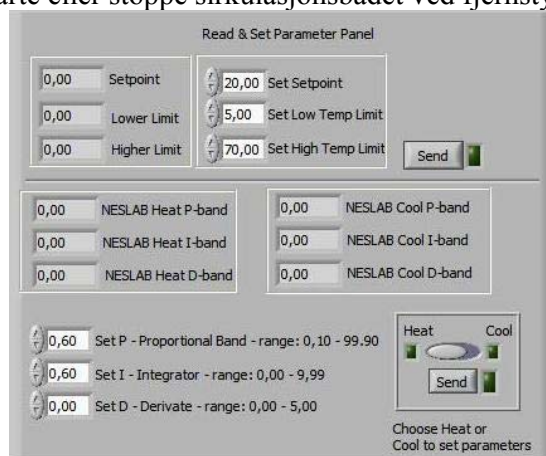


Fig 11-16 Utsnitt av parametersetting.

Nederst i midten finner vi nok et avgrenset område som er delt i to der man i del 1 kan velge temperatur settpunkt ("Set setpoint"), alarmgrense for temperaturen i badet ("Set Low temp limit og Set High temp limit") for deretter sende innstillingene ved å trykke på "Send". I Del 2 kan man sette og lese av innstillingene til PID-regulatoren i sirkulasjonsbadet. Den har separate PID innstillinger for varming og avkjøling og man må dermed passe på at skyvebryteren "Heat/Cool" står i riktig posisjon i forhold til hvilke konstanter man vil endre. Som vanlig sender du de nye dataene ved å trykke "Send", de nye dataene leses av og vises i indikatorboksene over. Fabrikkinnstillingene er "defaults" i kontrollboksene for PID konstantene.

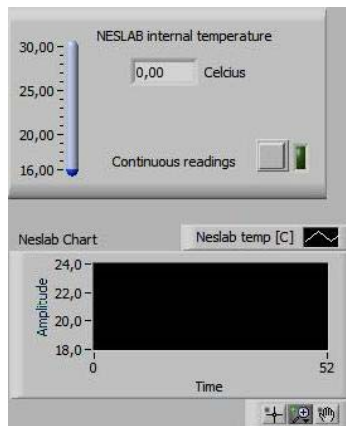


Fig 11-17 Utsnitt av Neslab internavlesning.

Til høre i "NESLAB Advanced Control" frontpanelet finner vi et område for avlesning (tallverdi og graf) av intern-temperaturen i sirkulasjonsbadet tilsvarende som vi finner i hovedfrontpanelet. Det eneste tillegg er en liten gradestokk med område fra 16-30 grader Celsius.

11.2 Programforklaring

11.2.1 Hierarkisk oppbygning

Dette avsnittet tar for seg det øverste laget av programmeringen, videre vil de selvlagde SubVi'ene bli beskrevet separat. Under følger en navnebeskrivelse på de selvlagde SubVi'ene illustrert i hierarkiet i figuren under.

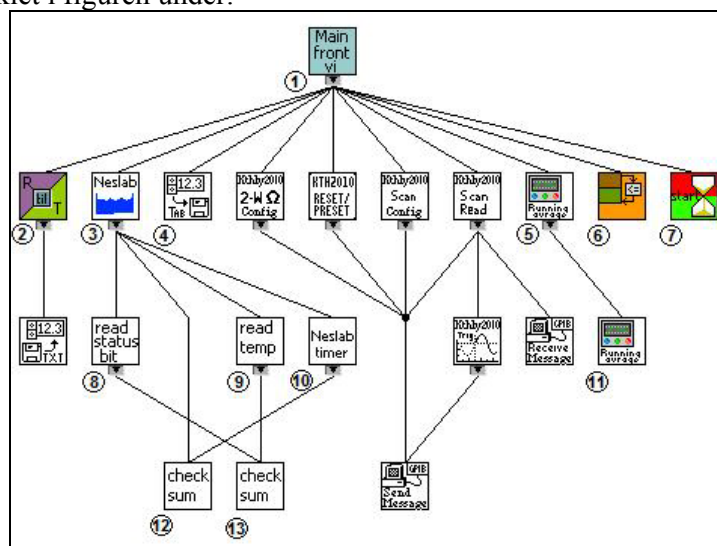


Fig 11-18 Grafisk fremstilling av hierarkisk oppbygning.

- 1.MainFront.vi
- 2.HartFilter.vi
- 3.Neslab ControlBox.vi
- 4.Save measurement.vi
- 5.Running average.vi
- 6.Start Criteria.vi
- 7.Start module.vi
- 8.NESLAB read statusbit.vi
- 9.NESLAB read temperature module.vi
- 10.Neslab Timer.vi
- 11.Temperature History.vi
- 12.Checksum calculator.vi

11.2.2 MainFront.vi - Diagram

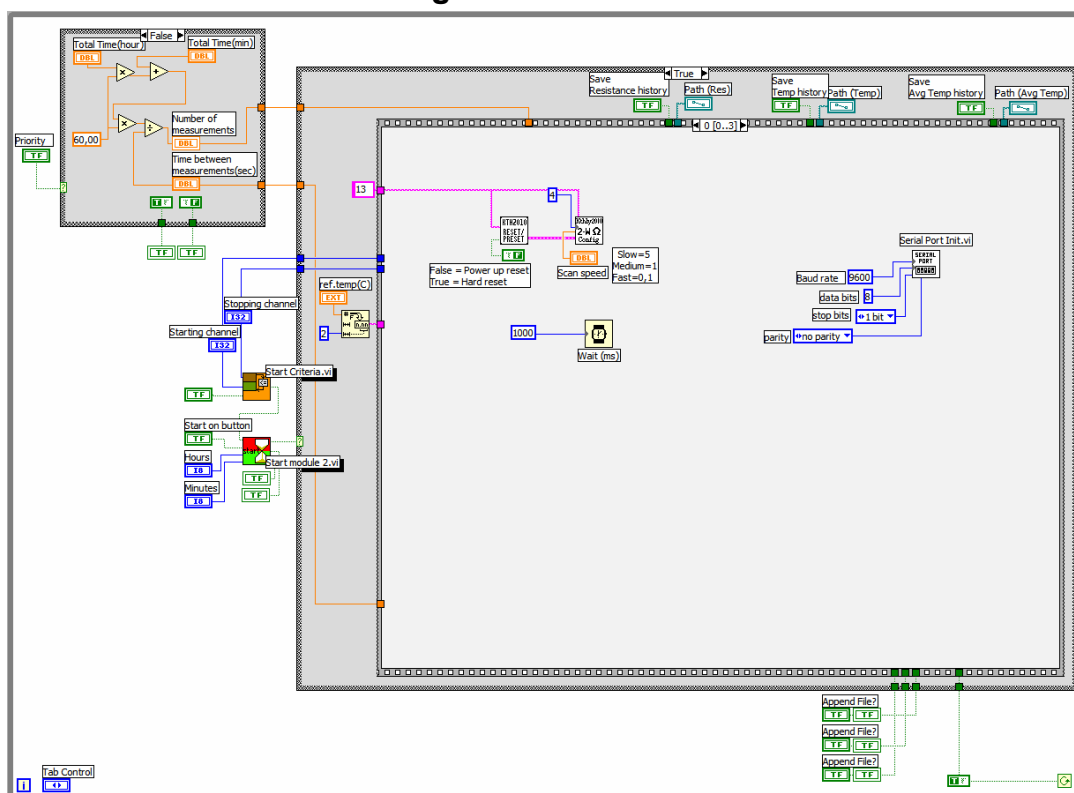


Fig 11-19 Skjerm bilde fra diagram

Her er et oversikts bilde av øverste lag i programmet. Rammen rundt er en "while loop" som sørger for at programmet kjøres kontinuerlig etter trykk på "Run" (↻) i LabVIEW. Siden "Start" knappen(1) til programmet er "false" settes ingen prosesser i gang.

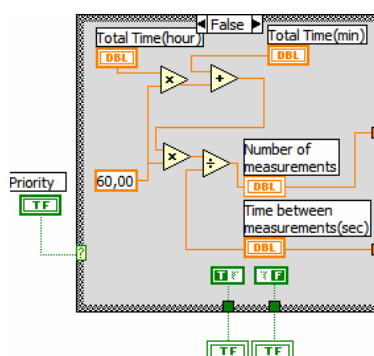


Fig 11-20 Utsnitt av prioritetsvalg "false".

Øverst til venstre befinner koden for Startprioritet seg. I figuren over ser vi "false" valget som regner ut antall skanninger ("number of measurements") på grunnlag av inntastet tidsforbruk ("Total Time") og tiden mellom skanninger ("Time between measurements"). Vi ser at denne kun viderefører antall skanninger, tid mellom skanninger og signal til lysdiodene som indikasjon på hvilken posisjon "Priority" skyvebryteren står i.

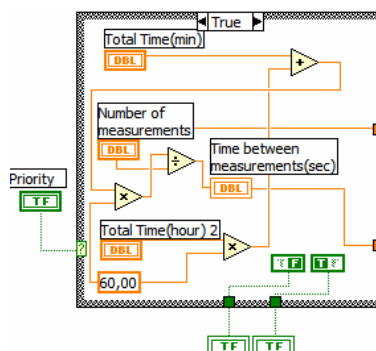


Fig 11-21 Utsnitt av prioritetsvalg "true".

I figuren over ser vi "true" valget til "Priority" der det er tiden mellom skanningene som regnes ut på grunnlag av inntastet totaltid ("Total Time") og antall skanninger ("Number of measurements"). Vi ser her at de samme signalene som over videreføres. Det er derfor "Priority" bryteren som bestemmer hvilke verdier som brukes og hvilke som indikeres.

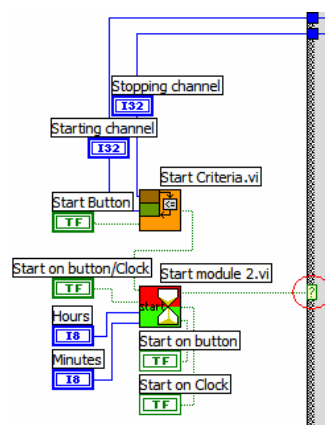


Fig 11-22 Utsnitt av startkontroll.

Dette utsnittet fra det øverste laget inneholder to SubVi'ene. "Start Criteria" sjekker om start kanalen ("Starting Channel") er lik eller større enn stopp kanalen ("Stop Channel") i det "Start Button" trykkes. Start/Stop kanalvalget omtaler mellom hvilke av Keithley'ens 10 kanaler som skal avleses. Hvis de er innstilt feil vil det komme en "PopUp" som forteller om konflikten. "Start module 2" tar for seg valget "Start on button" eller "Start on Clock". Hvis "Start on button/clock" er "true" kobles "Start Button" direkte til en "case" som starter skanningen. Hvis "Start on button/clock" er "false" sammenlignes det inntastede klokkeslettet med datamaskinens eget klokkeslett og gir "true" til "case"-strukturen hvis de er like.

11.2.2.1 Sekvens 0

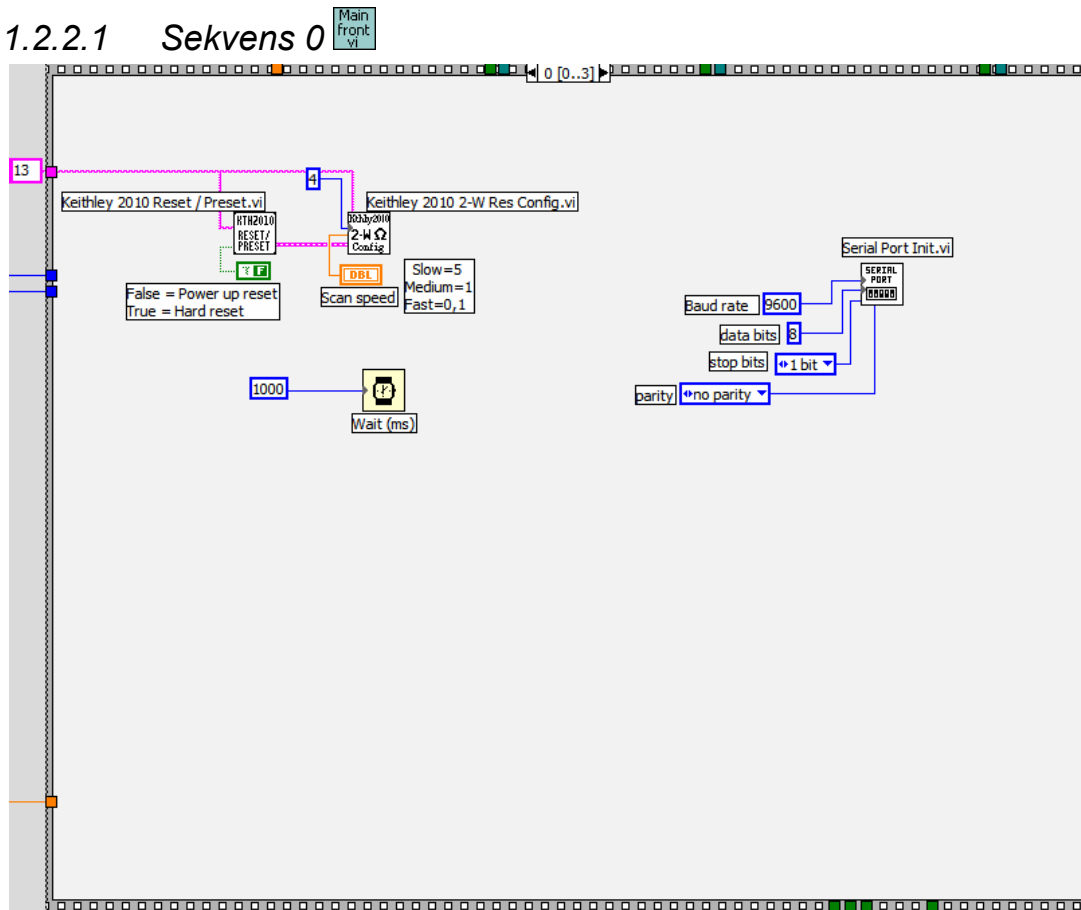


Fig 11-23 Utsnitt av sekvens "0"

Innenfor "true" valget i "case" strukturen befinner det seg en "sequence". Her i sekvens nummer 0 finner vi en tidskonstant på ett sekund, en Keithley driverfil for "reset/preset", en Keithley driverfil for konfigurasjon av resistansmåling og en standard "vi" for initialisering av serieporten for kommunikasjon med Neslab.

11.2.2.2 Sekvens 1

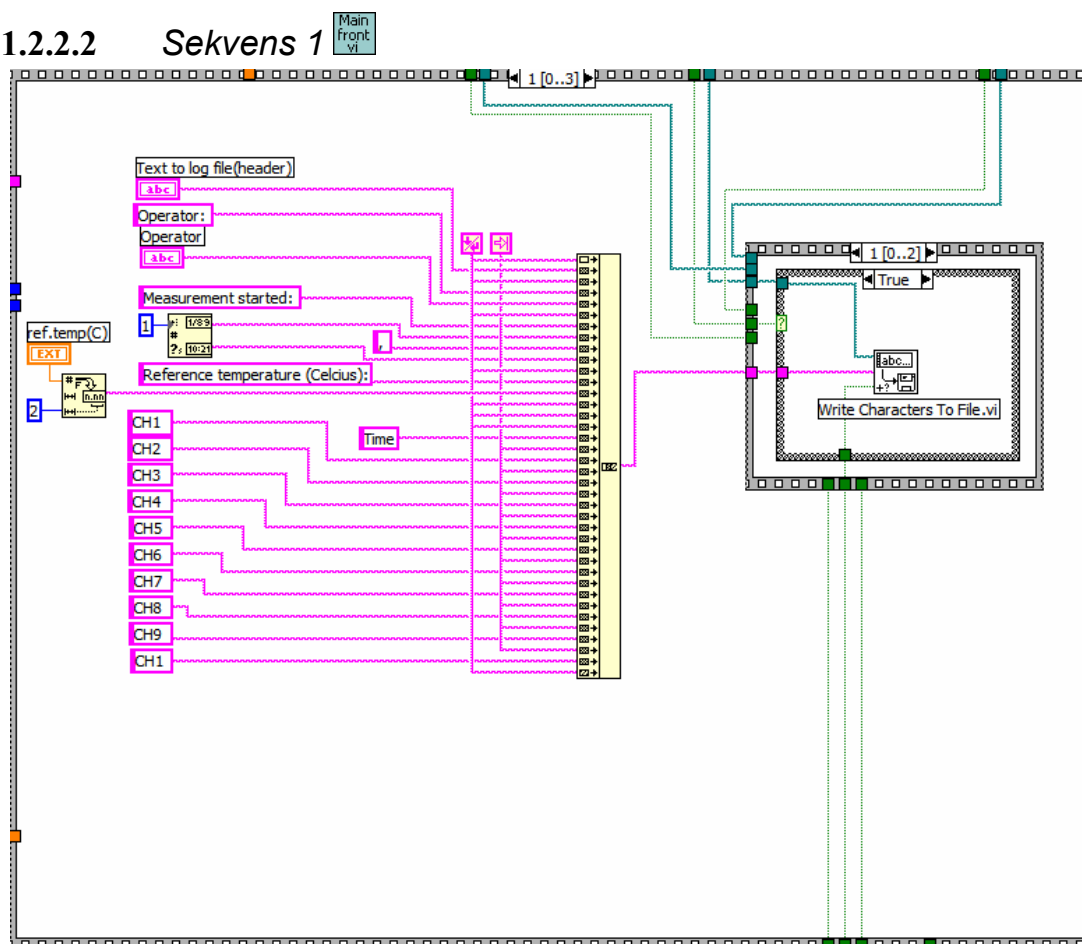


Fig 11-24 Utsnitt av sekvens "1"

Sekvens nummer 1 inneholder programmering for skrijving til fil. Hvis vi begynner øverst til venstre kjenner vi fra frontpanelet "Text to log file(header)" og "Operator", mens "ref.temp(C)" befinner seg litt nedenfor. Alle karakterene på venstre side blir slått sammen til ett tekstoppssett igjennom "Concatenate Strings". I overskriften som skives til fil finnes det: valgfri tekst, operatør, starttid for måling, referanse temperatur og kanalindeks. Selve lagringen av dette skjer til tre filer (resistans, temperatur, gjennomsnittlig temperatur) i sekvensen til høyre (hvis det er valgt i frontpanelet). Kontrollknappene for lagring, filnavn og overskriving ligger utenfor sekvensen ettersom disse dataene også er brukt i selve loggesekvensen.

"her kommer den valgfrie teksten
Operator: "navnet på operatøren"
Measurement started: 24. mai 2003, 09:24
Reference temperature (Celcius):20,00

Time/Channel	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
09:24:22										

Eksempel på hva denne sekvensen skriver til fil

11.2.2.3 Sekvens 2

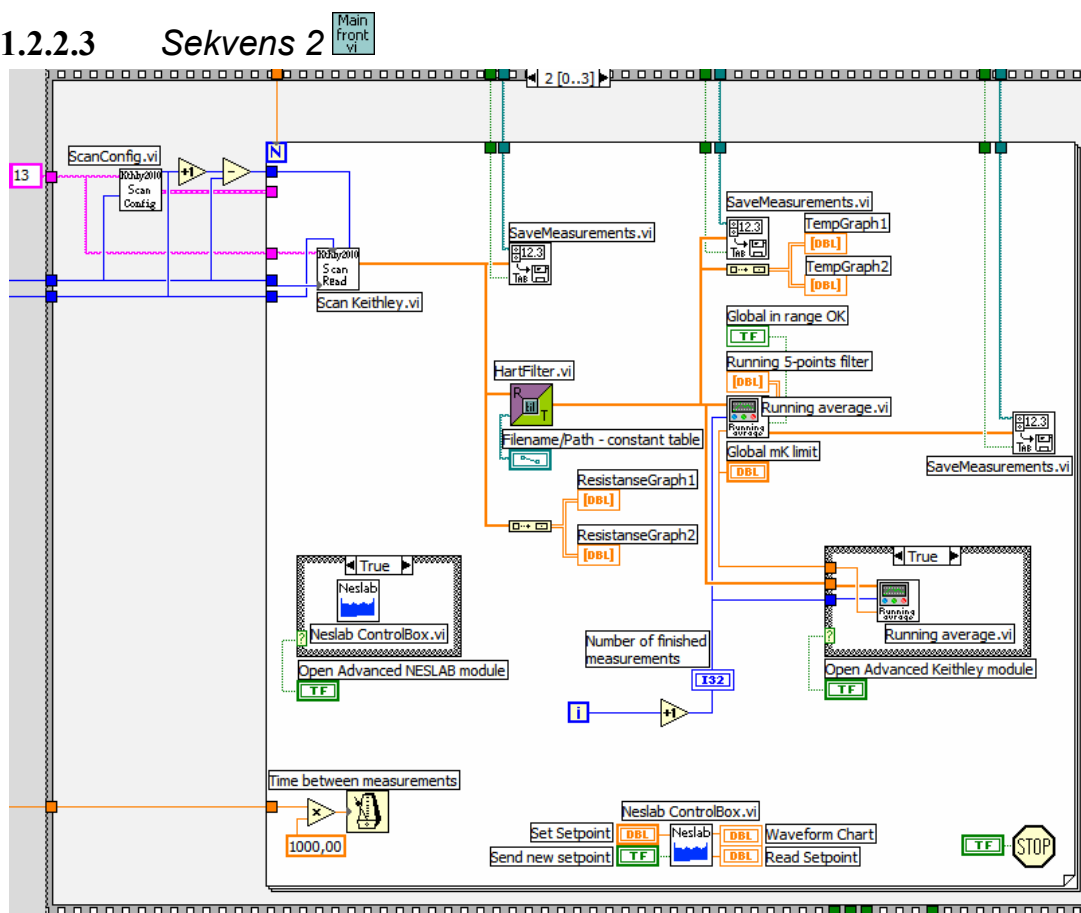


Fig 11-25 Utsnitt av sekvens "2"

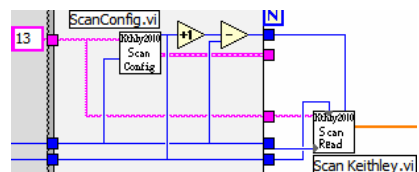


Fig 11-26 Utsnitt av initialisering.

I sekvens nummer 2 finner vi øverst til venstre nok en Keithley driver ("ScanConfig.vi"). Denne sender informasjon til Keithley multimeteret om hvilken kanal skanningen skal starte og stoppe på. Start og stopp informasjonen ser vi fortsetter videre inn i en "for loop" og videre til "Scan Keithley.vi", vi ser også en utregning som forteller "Scan Keithley" hvor mange kanaler den skal telle til ("count value"). En "for loop" gjentar sine handlinger n-ganger, i vårt tilfelle er denne en funksjonen representert på hovedfrontpanelet.

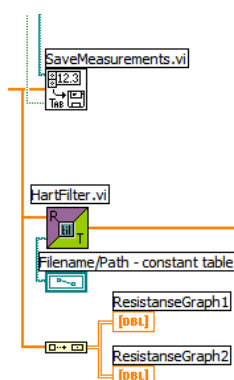


Fig 11-27 Utsnitt av resistans lagring/fremstilling.

Resultatet ut fra "Scan Keithley" er ti resistansmålinger i tabellform som vises på "ResistanceGraph1" og "ResistanceGraph2" og oppdateres med nye målinger i henhold til hvor stor "Time between measurements" er, og lagres vha "SaveMeasurements.vi" hvis igjen dette er valgt. Hvis vi følger gangen til den en-dimesjonelle tabellen kommer vi til "HartFilter.vi". Rent funksjonsmessig kommer det en mer inngående beskrivelse av denne SubVi'en senere, men i utgangspunktet konverterer den resistansverdiene fra termistorene om til temperaturdata vha kurvetilpasnings konstantene som ligger lagret i en 3x10 tabell på angitt lokasjon ("Filename/Path – constant table").

Tabellen som da passerer videre er i samme format men har byttet resistansverdier til temperaturverdier. Disse vises på "TempGraph1" og "TempGraph2" og, hvis valgt, lagres på samme måte som resistansverdiene i angitt filbane.

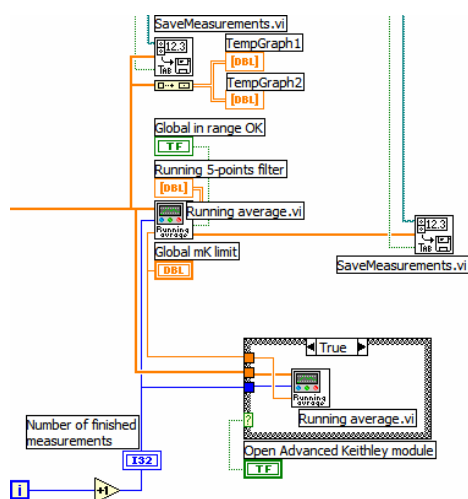


Fig 11-28 Utsnitt av temperatur lagring/fremstilling.

Vi følger nå temperaturverdiene videre inn i "Running average.vi", en SubVi som inneholder kode for utregning av statistikk. Som vi kan se er også "Number of finished measurements" også en inngang på "Running average.vi" som vi kommer tilbake til i beskrivelsen av denne SubVi'en. Statistikken vi får på frontpanelet fra denne er kun et løpende gjennomsnitt av de fem siste målingene og et signal på om temperaturen svinger innenfor det gitte nivået som settes med "Global mK limit". Gjennomsnittsverdiene kan også lagres i en egen angitt filbane.

Litt nedenfor finnes det nok en "Running average.vi" modul, målet med denne er kun å få laget et "PopUp" vindu av SubVi'en hvis "Open Advanced Keithley module" trykkes.

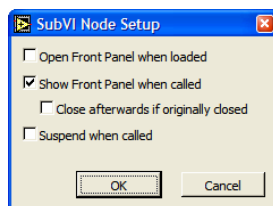


Fig 11-29 SubVi Node Setup.

Måten vi gjorde var å gå inn i "SubVi Node Setup" ved å høyreklikke på den aktuelle SubVi'en og huke av "Show Front Panel when called". Vi la deretter denne SubVi'en i en "Case" med en knapp ("Open Advanced Keithley module"). Dette fungerer slik at hvis knappen trykkes til "true" vil "Running average.vi" bli kalt opp og dermed vil frontpanelet sprette opp på skjermen.

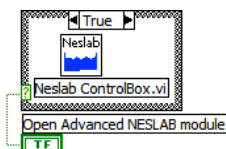
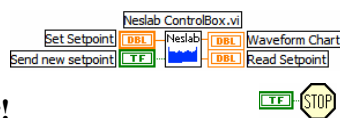


Fig 11-30 Utsnitt av PopUp koding

Den samme prosedyren er fulgt med SubVi'en "Neslab ControlBox.vi", her heter initialiseringsknappen "Open Advanced NESLAB module". Denne SubVi'en inneholder styringen av alle settpunkter og parametere som er mulig å fjernstyre på Neslab Sirkulasjonsbadet.



Error!

Fig 11-31 Utsnitt av Neslab setting/fremstilling og hovedstopp.

På hovedfrontpanelet finnes for oversiktens skyld kun mulighet for å styre temperatur settpunktet til Neslab. Ut av SubVi'en indikeres temperaturverdien som blir lest av internt i sirkulasjonsbadet. Programmet blir stående i denne "for loop'en" så lenge det finnes uferdige målinger eller til "STOP" knappen nederst til høyre blir trykket "true".

11.2.2.4 Sekvens 3

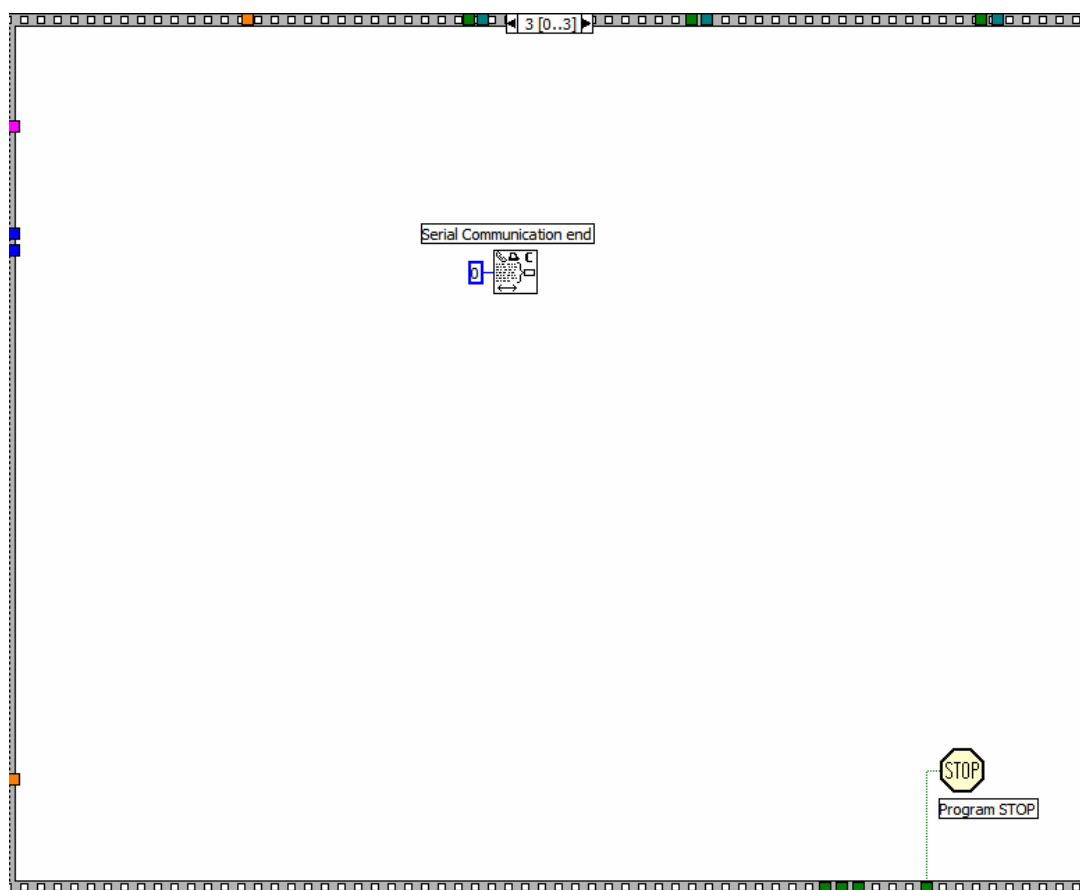


Fig 11-32 Utsnitt av sekvens "3".

Denne enkle sekvensen inneholder bare en standard SubVi som avslutter kommunikasjonen på serieporten som i vårt tilfelle er satt til "Comport 1" med konstanten "0" som er tabellnummeret for denne. Etter dette stopper LabVIEW "run mode" (kjør modus) ved at "Program STOP" kobles til "true" konstanten ytterst i "while" løkken.

11.2.3 SubVi "Start Criteria.vi"

Skjermbildet på figuren under viser alt som befinner seg i frontpanelet i "Start Criteria.vi". Som forklart i forrige avsnitt er dette en sjekk på om start kanalen har mindre eller lik verdi som stopp knappen. Hvis dette er tilfelle spretter det opp et dialogvindu som forklarer situasjonen. Det hele fungerer ganske enkelt; bare logikk som styrer en "case" som igjen aktiverer en standard "One button dialog" som inneholder teksten "Stopping channel must be bigger than starting channel".

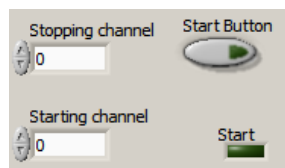


Fig 11-33 Skjermbilde av frontpanelet tilhørende "Start Criteria.vi".

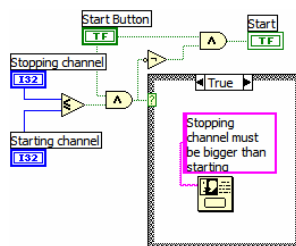


Fig 11-34 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Start Criteria.vi".

11.2.4 SubVi "Start module.vi"

Denne modulen er tilegnet valget mellom å starte skanningen med "Start" knappen eller å starte skanningen på et gitt tidspunkt der lysdiodene indikerer valget. Bortsett fra sekundvalget ligger alle disse elementene på hovedfrontpanelet.

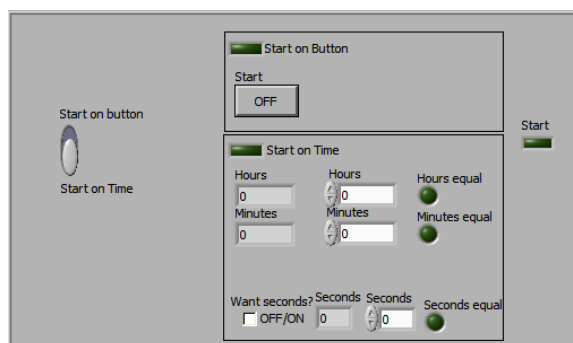


Fig 11-35 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Start module.vi".

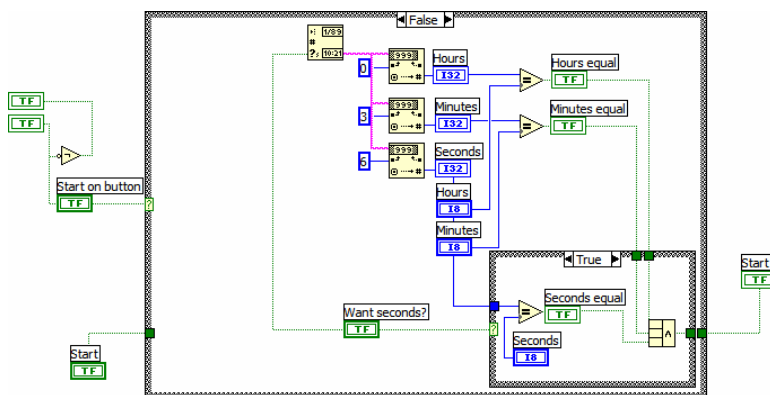


Fig 11-36 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Start module.vi".

I figuren over ser vi "false" valget i "case'n", dette skjer hvis det er valgt å starte på et gitt klokkeslett. Programmet sammenligner da det inntastede klokkeslettet med verdiene som er tastet inn i "Hours" og "Minutes" og sender, hvis tilfelle, en "true" videre ut til "start"-indikatoren. Dette signalet hentes så ut av SubVi'en og starter skanningene. Hvis skyvebryteren ("Start on button") er "true" vil programmet ignorere klokkesignalet og sende start signal kun hvis "Start" knappen trykkes og blir "true".

11.2.5 SubVi "HartFilter.vi"



Fig 11-37 Skjerm bilde av frontpanel tilhørende "HartFilter.vi".

Dette er SubVi'en som vha kurvetilpassing regner om resistansverdiene til temperaturverdier. Frontpanelet viser tabell lengde, resistanstabellen, temperaturtabellen, filbane for konstanttabellen som hentes fra fil og vises som "Constant Table". Tabell lengden "Table length" kjører en "for loop" ti ganger slik at alle verdiene i resistans tabellen "Resistance table" blir regnet om til temperaturverdier og vist i "Temperature Table". Utenfor "for loop'en" hentes konstanttabellen fra fil på angitt plassering. Etter hvert som "for loop'en" kjøres plukker den ut ett og ett element fra resistans- tabellen, tre konstanter for hver kanal og kjører disse verdiene igjennom Steinhart-Hart formelen der A, B og C er konstanter mens R er den aktuelle resistansverdien.

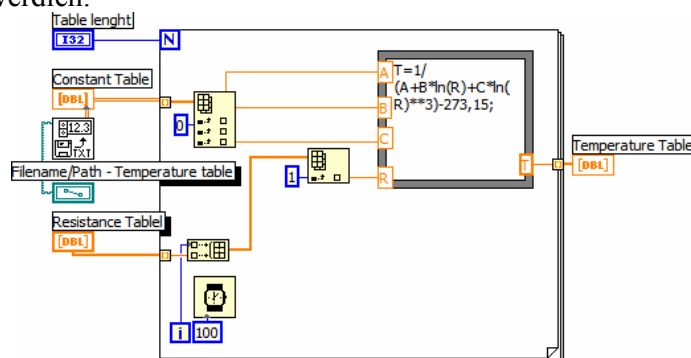


Fig 11-38 Skjerm bilde av diagram tilhørende "HartFilter.vi"

11.2.6 SubVi "Save measurements.vi"



Fig 11-39 Skjerm bilde av frontpanelet tilhørende "Save measurements.vi".

For å lagre logger underveis i programmet er "Save table" nødt til å være inntrykket før skanningene startes. Denne knappen ligger fremme på hoved-frontpanelet. Hvis denne er "true" henter programmet først dato og tid, vha "Get Date/ Time String", som deretter legges helt til venstre i loggefilen med påfølgende målerverdier for gjeldene skanning. Dato og tid strengen lagres vha "Write Characters to File" mens de numeriske målingene lagres vha "Write to Spreadsheet File".

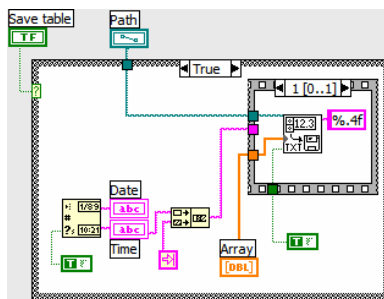


Fig 11-40 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Save measurements.vi".

11.2.7

SubVi "Neslab ControlBox.vi" - Sekvens 0

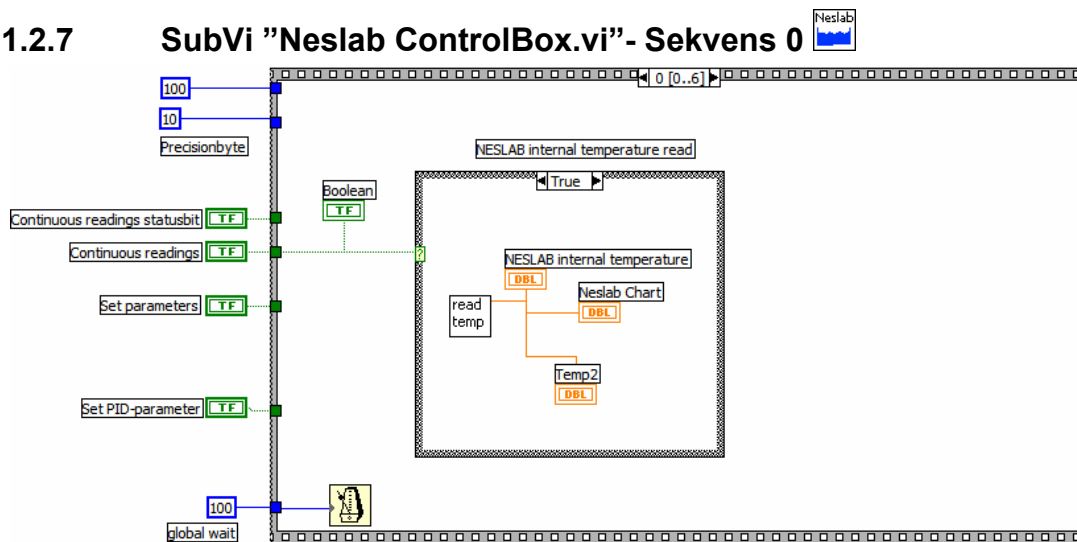


Fig 11-41 Utsnitt av sekvens "0".

Dette er sekvens nummer 0 i Neslab module. Denne inneholder kontrollen for kontinuerlig avlesning av intern-temperaturen i Neslab sirkulasjonsbadet. Selve programmeringen for serie kommunikasjonen ligger inne i "NESLAB read temperature module.vi" (figuren over). I sekvens nummer 0 i SubVi'en for avlesning av intern-temperatur, ligger kun en standard "Serial Port Write" som sender kommandoen for avlesning: "CA00 0120 00DE" i hex format.

I sekvens nummer 1 mottar den en "string" fra sirkulasjonsbadet som i bit 6 og 7 inneholder temperatur- verdien. Den sjekker presisjonsformatet og presenterer resultatet som tallverdi og som plott. I programnivået under dette igjen ligger det en SubVi for sammenligning av "checksum", denne er kalt "chescksum_calculation.vi".

Se bilag D for kommandoer i hex til Neslab.

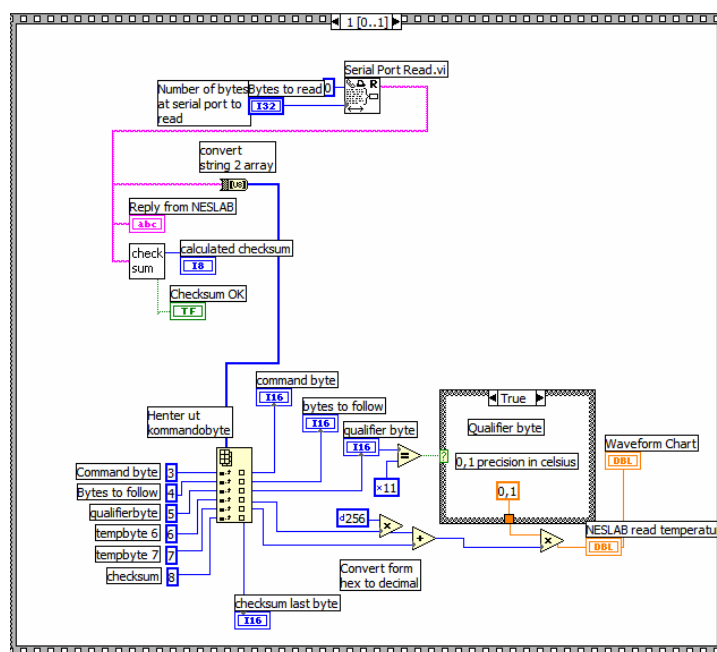


Fig 11-42 Skjerm bilde av diagram tilhørende "NESLAB read temperature module.vi".

11.2.7.1 Sekvens 1

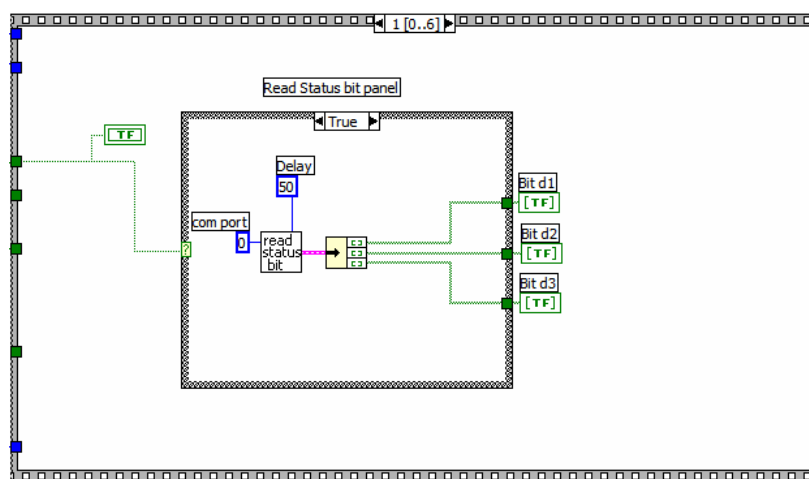


Fig 11-43 Utsnitt av sekvens "1".

Sekvens nummer 1 tar for seg valget om kontinuerlig avlesning av status parametrene. For å få statusrapport fra sirkulasjonsbadet sendes kommandoen: "CA00 0109 00F5" og en streng blir returnert med statusinformasjonen som blir fremstilt i statuspanelet i "Neslab ControlBox.vi".

11.2.7.2 Sekvens 2

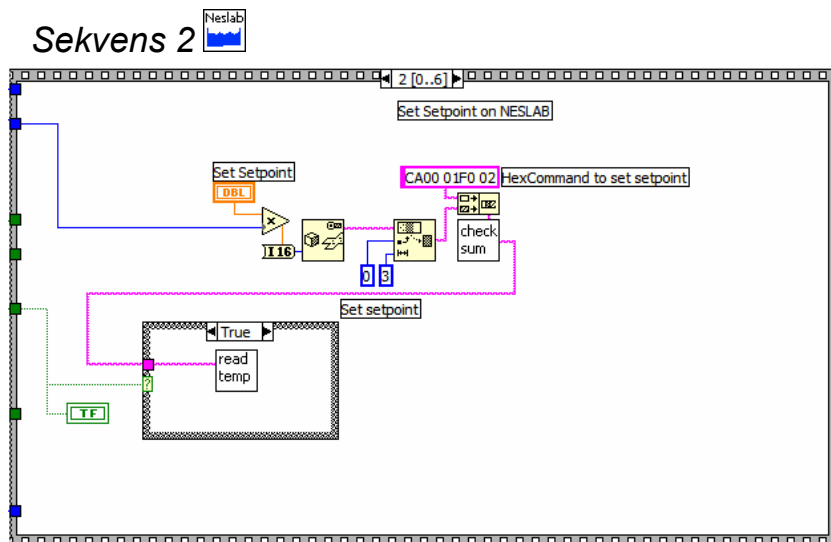


Fig 11-44 Utsnitt av sekvens "2".

I Sekvens nummer 2 sendes det nytt temperatur settpunkt hvis "Set parameters" er "true". Det nye settpunktet (fra "Set Setpoint") formateres for først å bli satt sammen med kommandoen for nytt settpunkt ("CA00 01F0 02"), og legges til en "checksum" inne i "checksum_calculator.vi".

11.2.7.3 Sekvens 3

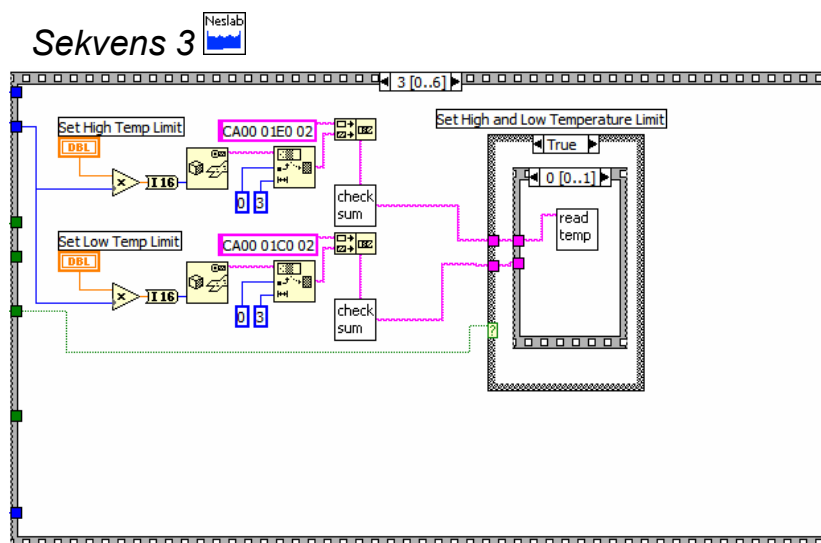


Fig 11-45 Utsnitt av sekvens "3".

Av den samme "Set parameters" knappen styres maks/min temperaturgrensen som befinner seg i sekvens nummer 3. Selve kodingen for å sette disse er helt lik kodingen for å sette temperaturu settpunkt, bortsett fra selve kommandoen. Kommandoen for "Set High Temperature Limit" er "CA00 01E0 02", mens kommandoen for "Set Low Temperature Limit" er "CA00 01C0 02".

11.2.7.4 Sekvens 4

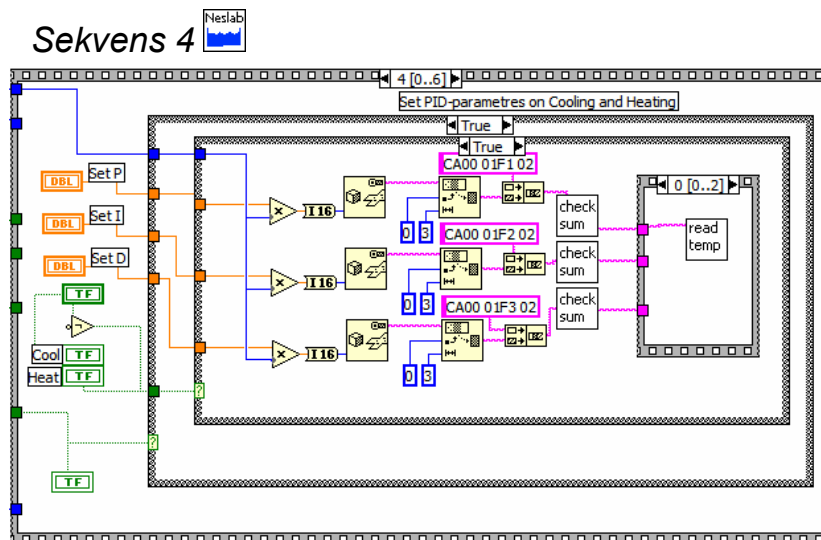


Fig 11-46 Utsnitt av sekvens "4".

Sekvens nummer 4 inneholder koding for å sette PID parameterene til sirkulasjonsbadet. Enkel logikk styrer valget mellom å sette konstantene for kjøling eller oppvarming mens koden for selve settingen kun er en trippel versjon av temperatur settingen.

Koder for PID setting:

- Varming P - CA00 01F4 02
- Varming I - CA00 01F5 02
- Varming D - CA00 01F6 02
- Kjøling P - CA00 01F1 02
- Kjøling I - CA00 01F2 02
- Kjøling D - CA00 01F3 02

11.2.7.5 Sekvens 5

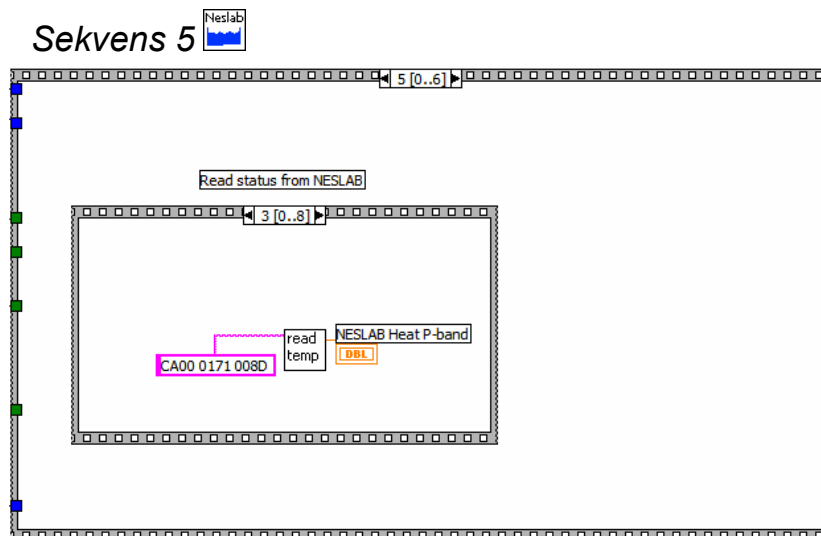


Fig 11-47 Utsnitt av sekvens "5".

I sekvens nummer 5 avleses Neslab verdiene for settpunkt, maks/min temperaturgrense og varme/kjøle regulatorskonstantene. Den går da i nok en sekvens som sender spørringer for de enkelte parametrene. Kodene for de individuelle spørringene er:

- Settpunkt - CA00 0170 008E

- min tempgrense - CA00 0140 00BE
- maks tempgrense - CA00 0160 009E
- Varming P - CA00 0171 008D
- Varming I - CA00 0172 008C
- Varming D - CA00 0173 008B
- Kjøling P - CA00 0174 008A
- Kjøling I - CA00 0175 0089
- Kjøling D - CA00 0176 0088

11.2.7.6 Sekvens 6

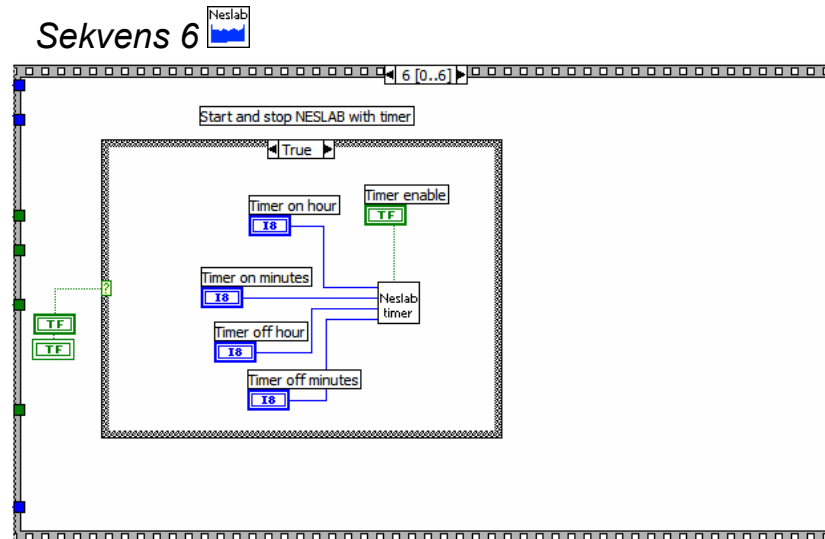


Fig 11-48 Utsnitt av sekvens "6".

Som nevnt i bruksanvisningen er eneste mulighet for å starte/stoppe sirkulasjonsbadet å velge tidspunkt for dette. Inne i SubVi'en "Neslab Timer.vi" gjøres de numeriske klokke- verdiene om til string og sendes sammen med en klokke og en "Timer enable". Denne styrer om fjernstyringen i det hele tatt skal tas hensyn til og leverer "1" i bit nummer 12 hvis den skal være aktivert. På-tid ligger i bit 16,17 og 18 mens av-tid ligger i bit 20,21 og 22.

Et eksempel på en aktiverings-string sendt kl 14:00 der på-tid er kl 14:30 og av-tid er kl 15:00 er "CA00 0183 0801 0103 6603 C003 48FA".

11.2.8 Neslab Timer.vi

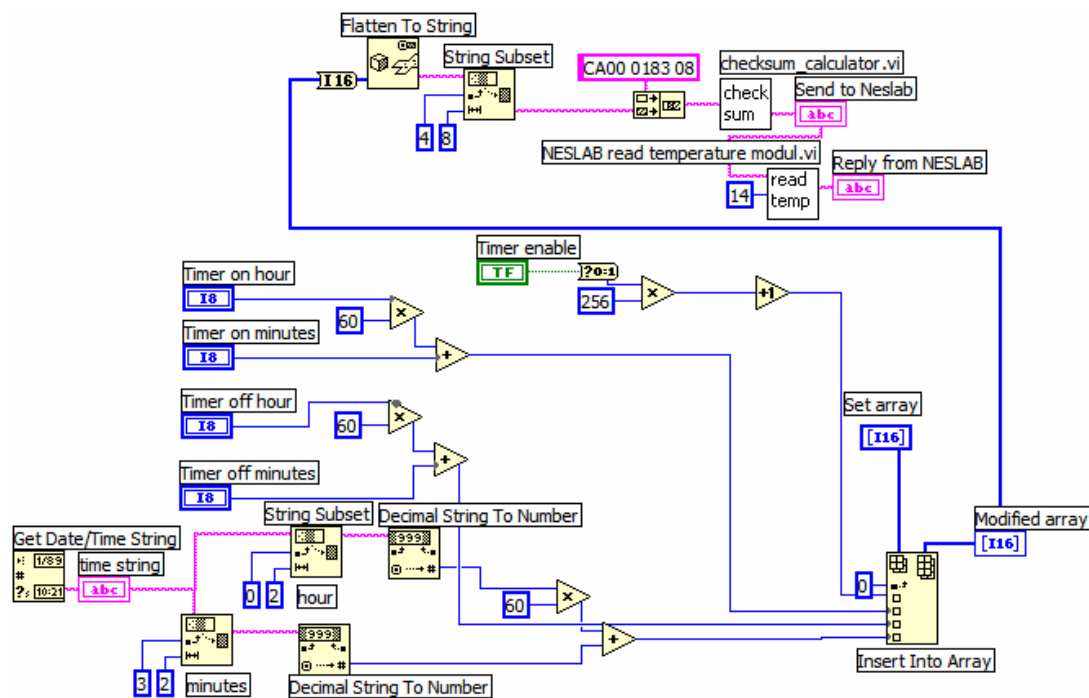


Fig 11-49 Diagram "Neslab timer.vi"

Skjermbildet over viser diagrammet til "Neslab Timer.vi". Denne SubVi'en konverterer først klokkenstrengen fra datamaskinen om til en numerisk verdi som sammen med Av/På –tid og "Timer enable" gjøres om til tabellform. Denne konverteres til riktig format, legges sammen med selve kommandoen for dette ("CA00 0183 08") mens "checksum_calculator" legger til en sjekksum.

11.2.9 SubVi "Running average.vi"

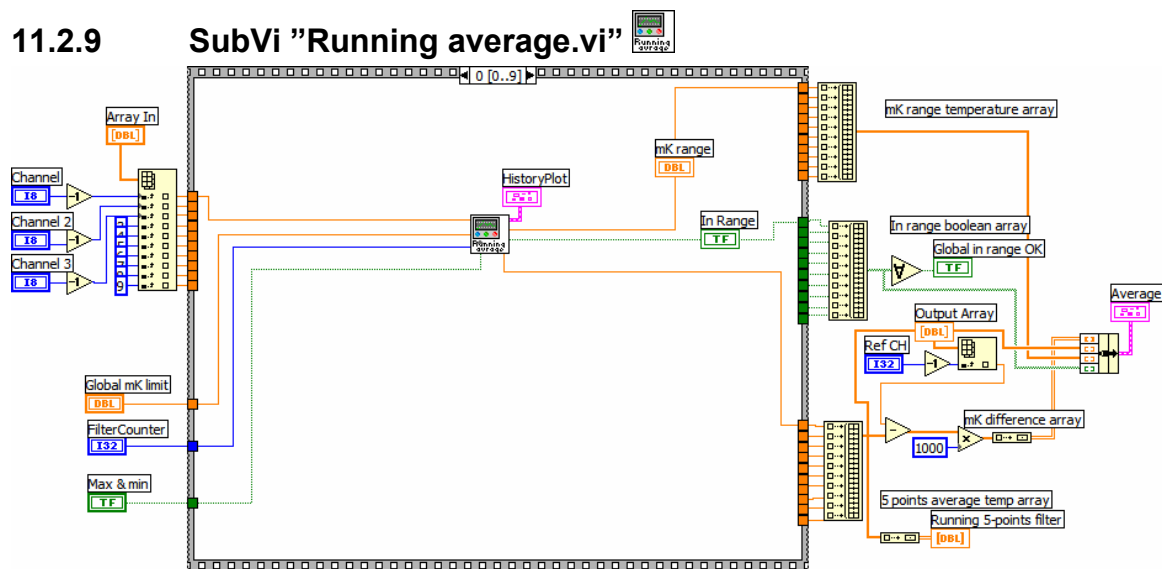


Fig 11-50 Utsnitt av første sekvens i "Running average.vi".

Hovedoppgaven til SubVi'en "Running Average.vi" er å plukke ut en og en verdi av temperaturtabellen for deretter å sende disse videre til SubVi'en "Temperature History.vi". Denne SubVi'en returnerer verdier for svingning, at svingekriteriet er oppfylt og gjennomsnittresultatet av de fem siste skanningene. Disse verdiene i tabellform blir sammenstilt vha en "bundle" og vist i frontpanelet i en gruppe under navnet "Average".

11.2.10 SubVi "Temperature History.vi"

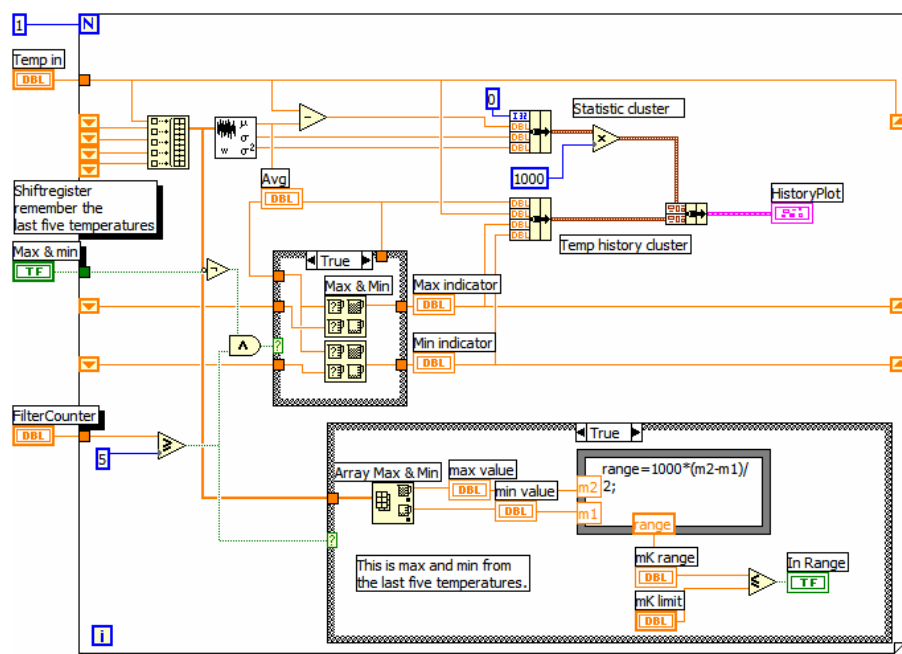


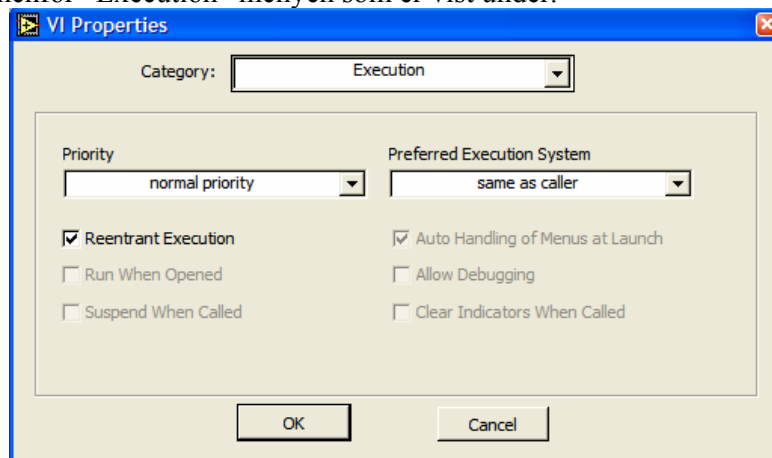
Fig 11-51 Skjerm bilde av diagram tilhørende "Temperature History.vi".

Denne SubVi'en kjøres i ti uavhengige tråder slike at hver kanal har sine verdier lagret i shift-registeret som danner en temperatur historie. Verdiene fra shift-registeret legges inn i en tabell og kobles til en standardVi ved navnet "standard deviation and variance.vi". Denne gir ut standardavviket, variansen og gjennomsnittet av de fem siste målingene. Disse verdiene sammenføres vha en "bundle" og multipliseres med tusen (gjøres til milliKelvin). Knappen "Max & min" utenfor "for loop'en" er en "reset" knapp som sletter de opparbeidede maks og min verdiene på hver individuelle kanal. Nederst finner vi en "case" som først finner maks og min av de fem siste verdiene for så å regne ut hvor mye signalet svinger innenfor dette tidsvinduet. På frontpanelet kan det velges en maks størrelse på dette ("mK limit") i mK og det indikeres når signalet svinger innenfor dette ("In Range"). I begynnelsen av skanningen vil programmet ikke ha opparbeidet seg noen historie slik at vi vha logikk starter plottingen først etter fem skanninger.



Fig 11-52 Skjerm bilde av frontpanel tilhørende "Temperature History.vi".

Denne SubVi'en kjøres i ti uavhengige tråder slik at verdiene for de enkelte kanalene blir beholdt i historien. Fremgangsmåten for dette er at en i "Vi properties.." velger "Reentrant Execution" innenfor "Execution" menyen som er vist under.



11.3 Problemer ved programutvikling

11.3.1 Nullpunktsavlesning

Siden erfaringen med bruk av LabVIEW begrenset seg til det vi hadde vært innom på skolen og på innføringskurset, var det her den største utfordringen lå innenfor programmeringen. Vi lærte oss raskt å ta i bruk løkkestrukturer for å skape oversikt og for å gjøre programmet strukturert i forhold til selve kjøringen av dette. Et stort landskap å dekke lå også innenfor området som inneholdt tabelloppbygging og ferdige funksjoner som fantes i LabVIEW. Likevel måtte vi rydde opp i en del konfigureringer i de ferdige Keithley driverene. Disse gikk mest på konverteringsfeil som resulterte i feilmeldinger på Keithley multimeteret i form av error koder. Disse påvirket ikke selve målingene men var en usikkerhet i forhold til ressurskrav og driftsstabiliteten til programmet. Likevel var det spesielt ett problem som var gjennomgående og som skapte problemer ved loggering. Dette problemet var at Keithley instrumentet med ugjevne mellomrom leverte nullavlesninger til programvaren. Selv etter mye konfigurering av de originale Keithley driverene ble vi ikke kvitt dette problemet. Vi løste likevel dette problemet på en relativt kreativ måte. Denne løsningen befinner seg i diagrammet til "Scan Keithley.vi".

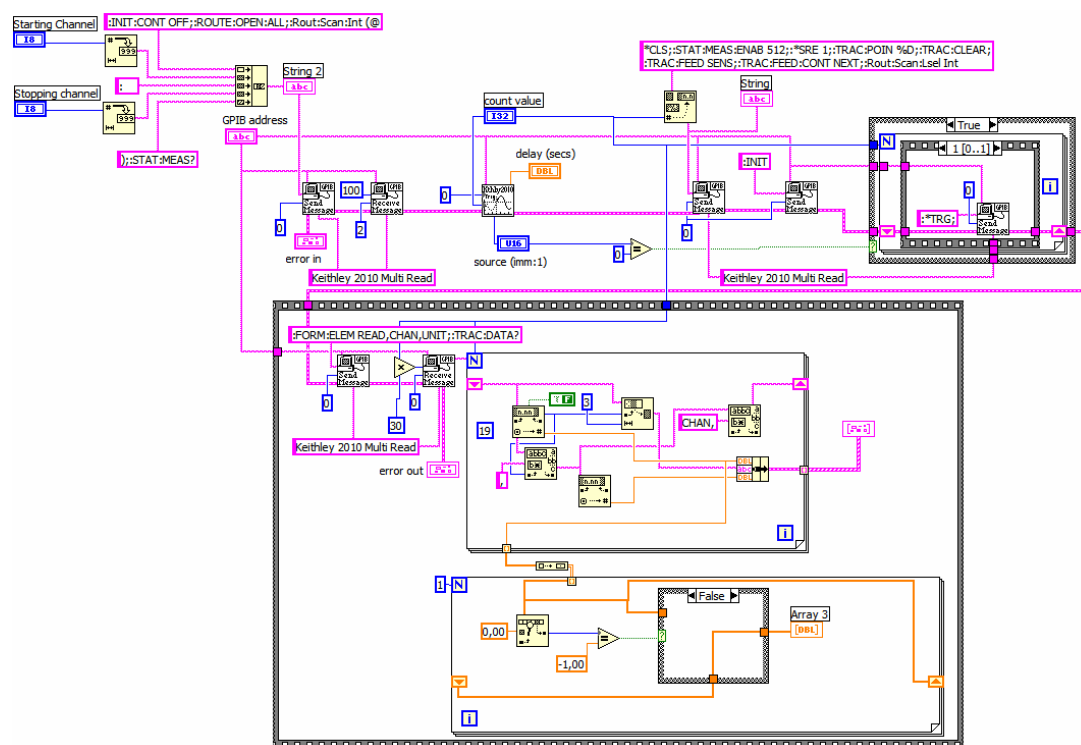


Fig 11-53 Diagram "Scan Keithley.vi"

Nederst i sekvensen befinner det seg en "for loop", inn i denne sendes verdiene fra multimeteret etter å ha blitt konvertert til numeriske verdier i tabellform. Her sjekkes hvert skann for null avlesninger da det i tilfellet blir gitt en "false" til "case" strukturen. Hvis det da skulle intrefte en nullavlesning vil den utgående tabellen beholde sine forrige verdier som ligger lagret i "shift register" som finnes i venstre kant av for "loop'en".

11.3.2 Feil i formelnode

Til slutt fant vi også en løsning på problemene med 130mK feil avlesning. Årsaken var et komma som skulle skiftes ut i formelnode som berekner Steinhart-Hart kurven i matlab. Den finnes i subvi'en HartFilter.vi.

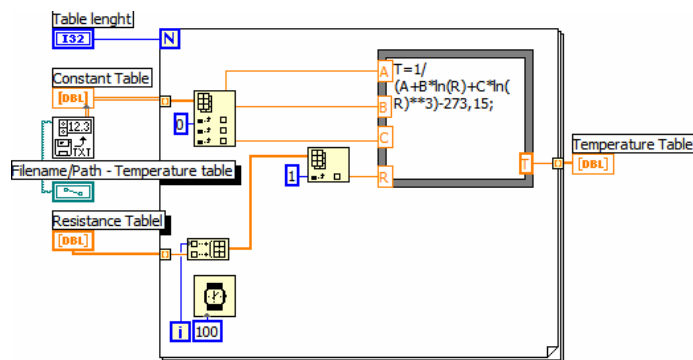


Fig 11-54 Kommafeil i formelnode

Formelen skal se slik ut. Man bytter ut komma med punktum i -273,15.

$$T = 1 / (A + B * \ln(R) + C * \ln(R)^3 - 273.15)$$

Resultatet var at labview ikke tok med “,15” i berekningene. Dermed viste alle termistoravlesningene 150 mK for mye. Når vi også vet at 3-punkts kalibreringen fra kalibrering nr 4 viste ca 20 mK feil, så forklarer dette avviket på 130 mK.

Konklusjon på prosjektet

Hovedmålet med å detektere temperaturforskjell på passbiter i interferometerkabinett ble ikke nådd. Grunnen er at termistorene ikke er nøyaktige nok. Vi tror at den mekaniske belastningen som ble påført termistorene under kapslingen førte til en endret termisk egenskap. Spredningen til termistorene individuelt varierer fra ca 1-17 mK. Vi burde ha plukket bort de ”dårlige” kanalene, muligens filtrert ut dårlige kalibreringspunkter og funnet frem til andre kurver og konstanter som tilfredstiller kravene bedre. Men dette er veldig tidkrevende. Neste skritt er å foreta en helt ny kalibrering f.eks i punktene 10, 20 og 30 °C. Da kan en gjøre de samme beregninger som vi har gjort og finne driften til termistorene.

Årsaken til at termistorene viste 130 mK for mye, var en kommafeil i formelnoden som berekner Steinhart-Hart kurven (se 11.3.2). Denne feilen var på 150 mK for mye, og vi vet fra kalibrering nr 4 at vi har 20 mK for lite. Dermed forklarer det avviket på 130 mK i alle våre avlesninger.

Når det gjelder sirkulasjonsbadet Neslab og Justervesenets egenutviklet varmekabinett, så har vi bevist at temperaturen er mer homogen enn uten bruk av kabinettet. Nøyaktig hvor homogen temperaturen er som funksjon av plassering vet vi ikke pga unøyaktige termistorer. Derimot vet vi at temperaturen midt i kabinettet og på bunnen er forskjellig, selv når sirkulasjonsvannet er svært nær romtemperatur. Vi skulle ønske vi kunne plassere en referansetermistor i kabinettet som ga pådrag til Neslab, slik at kabinettet fikk den temperaturen vi ønsket. Det er ikke mulig i dag. Vi kan bare styre, ikke regulere kabinettets temperatur. Ved bruk av offset-funksjonen i Neslab kan en eksperimentere seg frem til kabinettets ønskede temperatur.

Grunnlaget for videre eksperimentering er i hvertfall veldig bra. Vi har gjort en solid jobb med programmeringen av Keithley multimeter og Neslab sirkulasjonsbad. Programmet er rimelig enkelt å bruke, og har samtidig avanserte funksjoner som kan være av interesse. Man kan logge både temperatur og resistansverdier. Disse kan lagres til fil og analyseres i flere rekneprogrammer. Det er veldig enkelt å legge inn nye konstanter til kurveberegning. Vi laget også helt nye drivere fra bunnen av til Neslab med seriekommunikasjon RS-232. Vi hadde store problemer med kommunikasjon til både Keithley og Neslab, men klarte å løse alle problemene til slutt på en ordentlig måte.

Til slutt så kan vi si at dette prosjektet har lært oss utrolig mye om temperaturmålinger, kurvetilpasning, kalibrering og en god del om grafisk programmering. Det har vært utrolig interessant å få lov til å jobbe i omgivelsene og ekspertisen til Justervesenet, som er det høyeste organ i Norge innen måling av masse, temperatur, trykk, lengde og har spesielle oppdrag som kalibrering av lottokuler.

Igen vil vi takke vår eksterne veileder, Senioringeniør Helge Karlsson, som har lagt alt til rette for oss. Han ordnet egen kontor plass, laboratorium, kalibreringsbad og til og med vårt eget skilt på kontoret.

12 Kilder

- LabView bok av Finn Haugen
- Kursmateriale fra LabVIEW
- AWG tabell: <http://www.hardwarebook.net/table/AWG.html>
- LabVIEW Basics 1, Hands-on Course, National Instruments
- LabVIEW User Manual
- NTC termistorer <http://www.thermometrics.com/assets/images/ntcnodes.pdf>
- ITS-90 internasjonal temperaturskala <http://www.its-90.com/>
- Temperaturmåling <http://ri.hive.no/fag/met60/temperaturmaling.ppt> Roy Rasmussen
- Kalibreringsbevis for Platinaelement under kalibrering av termistorer
Kalibreringsbevis 03/398 dato: 08.05.2003
- EMC problematikk <http://www.iu.hio.no/~veslemot/Kybernetikk1/EMCprob.ppt>
- Usenet: comp.lang.labview
- Steinhart-Hart likningen
http://www.crrel.usace.army.mil/erd/steinhart_hart.html
- Yellow Springs Instrument (termistorer) – www.ysi.com
Excel-ark: <http://tinyurl.com/cpnj>
- Plansjer på veggen hos Justervesenet
- Måleusikkerhet: <http://www.justervesenet.no/na/dokumenter/p4.pdf>

Oversikt over bilag

A-	Oversikt over viktige filer	2
B-	Matlab scriptfiler – Ulike kurvemodeller	3
C-	Matlab script og Steinhart-Hart berekning fra tredje kalibrering	6
D-	Neslab kommandoer	8
E-	FDS	12
F-	Gant diagram	22
G-	Prosjektbeskrivelse	23
H-	Timeliste	24

A-Oversikt over viktige filer

Excel:

Steinhart-Hart berekning i Excel [Excel\Steinhart-Hart-3N.xls](#)

Rett linje tilpasning i Excel [Excel\Rett linje.xls](#)

ITS-90 skalaen i Excel [Excel\ITS-90A2.XLS](#)

Kalibrering 1 og 2: [Excel\Kalibrering nr1 og 2.XLS](#)

Støyttest: [Excel\fastmotstand i bad_eksperiment.xls](#)

[Excel\fastmotstand i bad_eksperiment.dat](#)

3-punkts kalibrering [Excel\SH eksperiment 13mai 2003.xls](#)

Logging nr1 av kabinett, [logg\kabtestAvgTemp2.xls](#)

Logging nr2 av kabinett, [logg\kabtestAvgTemp3.xls](#)

Logging nr3 av kabinett, [logg\kabtestAvgTemp4.xls](#)

Matlab:

Ulike kurvemodeller, [Matlab\Justervesenet2.m](#)

15-punkts kalibrering, [Matlab\pkt15_kalib_kaps.m](#)

Kapslingens innvirkning, [Matlab\pkt5_kapslingsammenlikning.m](#)

15pkt vs 3pkt SH-kurve, [Matlab\pkt15_vs_3pktSH3begrenset.m](#)

Kalibrering nr 4, [Matlab\pkt15_vs_4kalibSHbegrenset.m](#)

Datablad:

Keithley 2010 Multimeter, [Datablad\Keithley 2010 Multimeter\Manual K2010.pdf](#)

Neslab RTE-10 sirkulasjonsbad, [Datablad\NESLAB RTE-10 Plus\new_manual.pdf](#)

Termistorer, [Datablad\Thermistor44031\44005500.pdf](#)

Labview:

Keithley & Neslab Control, [MainFront.vi](#)

Steinhart-Hart konstanter:

15 punkts kalibrering, [Labview SHkoeffisienter\hart15.dat](#)

13 punkts kalibrering, [Labview SHkoeffisienter\hart13.dat](#)

3 punkts kalibrering, [Labview SHkoeffisienter\hart3.dat](#)

B-Matlab scriptfiler – Ulike kurvemodeller

Filnavn: [Matlab\Justervesenet2.m](#)

```
%Justervesenet
clear all;

%resistans i ohm
x=[14474.0 13302.1 12342.5 12292.0 12241.7 12191.5 12134.5 11276.0
    10393.2];
%grader i C
y=[16.0165 18.0195 19.8104 19.9036 20.0084 20.1088 20.2093 22.0058
    24.0047];

%DETTE ER TABELL FRA 3.KALIBRERING M/KAPSLING
x3=[14467.81306 13294.82888 12753.40644 12489.35392 12338.1863
    12285.02598 12235.33436 12185.8832 12134.78556 11983.31172 11738.2789
    11268.77558 10386.07928]
yK3=[16.01773462 18.02066418 19.01555632 19.51608469 19.80908574
    19.91161392 20.01181785 20.1116515 20.21258707 20.51158461 21.01147124
    22.00689271 24.00567528]

% 1.orden y1=ax+b
phi1=[x' ones(9,1)];
theta1=phi1\y';
a1=theta1(1)
b1=theta1(2)

y1=phi1*theta1;

%Kontinuerlig modell
y1k=a1*x+b1;

% 2.orden y2=ax^2+bx+c
phi2=[x'.^2 x' ones(9,1)];
theta2=phi2\y';
a2=theta2(1)
b2=theta2(2)
c2=theta2(3)

y2=phi2*theta2;

%Kontinuerlig modell
y2k=a2*x.^2+b2*x+c2;

% 3.orden y3=ax^3+bx^2+cx+d
phi3=[x'.^3 x'.^2 x' ones(9,1)];
theta3=phi3\y';
a3=theta3(1);
b3=theta3(2);
c3=theta3(3);
d3=theta3(4);

y3=phi3*theta3;

%Kontinuerlig modell
y3k=a3*x'.^3+b3*x'.^2+c3*x'+d3;

%Steinhart-Hart kurve
```

```

%A=0.0008505245;
%B=0.0002677323;
%C=0.00000004873853;
%ys=1/(A+B*log(12000)+C*(log(12000)^3))-273.15

phiSH=(log(x')).^3 log(x') ones(9,1);
invphiSH=phiSH.^-1;
thetaSH=phiSH\ (1./(y+273.15)');
C=thetaSH(1);
B=thetaSH(2);
A=thetaSH(3);

ySH=1./(phiSH*thetaSH)-273.15;
ySK=(A+B*log(x')+C*(log(x').^3)).^-1-273.15

%Steinhart-Hart med kapsling, 13 punkter
phiSH3=(log(x3')).^3 log(x3') ones(13,1);
invphiSH3=phiSH3.^-1;
thetaSH3=phiSH3\ (1./(yK3+273.15)');
C3=thetaSH3(1);
B3=thetaSH3(2);
A3=thetaSH3(3);

ySH3=1./(phiSH3*thetaSH3)-273.15;

%Dette er figur som sammenlikner sensor 1 med og uten kapsling.
%Steinhart-Hart
figure(1);
plot(x,y,'ro',x,ySH,'g-',x3,ySH3,'r-'); grid;
legend('Målte verdier','Steinhart uten kapsling','Steinhart m/kapsling',1);
xlabel('Resistans i ohm');
ylabel('Temperatur C');
title('Sammenlikning med og uten kapsling');

figure(2);
plot(x,y,'ro',x,y1,':',x,y2,'m-',x,y3,'r-',x,ySH,'g-'); grid;
legend('Målte verdier','1.orden','2.orden','3.orden','Steinhart-Hart',1);
xlabel('Resistans i ohm');
ylabel('Temperatur C');
title('Kurvetilpassning');

% prediksjonsfeil
e1=y'-y1; %1.orden
e2=y'-y2; %2.orden
e3=y'-y3; %3.orden
eSH=y'-ySH; %Steinhart-Hart
eSH3=yK3'

%tapsfunksjon
E1=y'-phi1*theta1; V1=E1'*E1
E2=y'-phi2*theta2; V2=E2'*E2
E3=y'-phi3*theta3; V3=E3'*E3
ESH=y'-phiSH*thetaSH; VSH=ESH'*ESH %denne må være feil

figure(3);
plot(x,e1,':',x,e2,'m-',x,e3,'r-',x,eSH,'g-'); grid;
legend('Prediksjonsfeil 1.orden','2.orden','3.orden','Steinhart-Hart',0);
xlabel('Resistans i ohm');

```

```
ylabel('Temperatur C');  
title('Prediksjonsfeil');
```

C-Matlab script og Steinhart-Hart berekning fra tredje kalibrering

Filnavn: [Matlab\pkt15_kalib_kaps.m](#)

```
%Justervesenet; dette er kalibrering nr 3 med kapsling
clear all; clf;

load kalib1.ext %Tabell 9pkt kalibrering uten kapsling
load kalib3.ext %Tabell 13pkt kalibrering med kapsling
load kalib15.ext.txt %Tabell 15pkt kalibrering med kapsling
%load kalib2.txt %Tabell 9pkt med kapsling
%load pkt5_med.txt %5punkters tabell
%load pkt5_uten.txt

%Typsik SH-kurve (basert på data fra produsent), kontinuerlig 5pkt
A=8.919172E-04;
B=2.610042E-04;
C=7.452927E-08;
R=[10000:1:15000]; %51 punkter global
[r,k]=size(R); %størrelsen på kontinuerlig matrise
y_typisk=(A+B*log(R)+C*((log(R)).^3)).^-1-273.15;

for i=2:11 %10 sensorer

%Henter frem punkter fra kalibreringen, 13 punkter
fil=kalib15;
%Steinhart-Hart uten kapsling
[r1,k3]=size(fil); %størrelse på matrise
x13m=fil(i,1:k3); %resistansverdier
y13m=fil(1,1:k3); %referansetemperatur

x=x13m; y=y13m;
phi=[(log(x')).^3 log(x') ones(k3,1)];
invphi=phi.^-1;
theta=phi\ (1./(y+273.15)');
C13m(i-1)=theta(1);
B13m(i-1)=theta(2);
A13m(i-1)=theta(3);

ySH13m=1./(phi*theta)-273.15;

%kontinuerlig 13pkt m/kapsling
y13mkont=(A13m(i-1)+B13m(i-1)*log(R)+C13m(i-1)*(log(R).^3)).^-1-273.15;

%Henter frem punkter fra kalibreringen uten kapsling, 9 punkter
fil=kalib1;
%Steinhart-Hart uten kapsling
[r1,k1]=size(fil); %størrelse på matrise
x9u=fil(i,1:k1); %resistansverdier
y9u=fil(1,1:k1); %referansetemperatur

x=x9u*1000; y=y9u;
phi=[(log(x')).^3 log(x') ones(k1,1)];
invphi=phi.^-1;
theta=phi\ (1./(y+273.15)');
C9u(i-1)=theta(1);
B9u(i-1)=theta(2);
```

```

    A9u(i-1)=theta(3);

    ySH9u=1./(phi*theta)-273.15;    %matrise
    y9ukont=(A9u(i-1)+B9u(i-1)*log(R)+C9u(i-1)*(log(R).^3)).^-1-273.15;
%kontinuerlig

figure(i-1); %
subplot(2,1,1);
plot(R,y13mkont,'r-',x13m,ySH13m','b-',R,y_typisk,'c:'); grid;
legend('kont 13pkt m/kap','matr 13pkt m/kap','typisk kurve',-1);
xlabel('Resistans i ohm');
ylabel('Temperatur C');
title(['Steinhart-Hart kurvetilpassning, sensor ',int2str(i-1)]);

%Predikasjonsfeil
e1=y_typisk'-y13mkont'; % MED kapsling
e2=y_typisk'-y9ukont'; % UTEN kapsling
e3=y13mkont'-y9ukont';

%Tapsfunksjon V
V1(i-1)=e1*e1;
V2(i-1)=e2*e2;
V3(i-1)=e3*e3;

subplot(2,1,2);
plot(y_typisk,e1','-',y_typisk,e2',''); grid;
%plot(y13mkont,e1','-',y9ukont,e2',''); grid;
legend('m/kapsling','u/kapsling',-1);
xlabel('Temperatur C');
ylabel('Error temperatur C');
title(['Prediksjonsfeil sensor ',int2str(i-1),' Tap V:
',sprintf('%0.5g',V3(i-1))]);

end

%lagrer konstanter til fil
%A13m=A13m'; B13m=B13m'; C13m=C13m';
save ('F:\Hovedprosjekt\Matlab\SHkonstanter15pkt.txt', 'A13m', 'B13m',
'C13m','-ascii', '-double');

%lager et plott over tapsfunksjonen for å få en oversikt
figure(11);
t=1:10;
%plot(t,V1,t,V2,''); grid;
plot(t,V3,t,V3,''); grid;
legend('m/kapsling','u/kapsling',1);
xlabel('Sensor / kanal nr');
ylabel('Tapsfunksjon V');
title('Tapsfunksjon i termistorene');

```

D-Neslab kommandoer

Appendix B Serial Communications Protocol

(Digital Plus Only)

NOTE: This appendix assumes you have a basic understanding of serial communications protocols.

All data is sent and received in binary form, do not use ASCII. In the following pages the binary data is represented in hexadecimal (hex) format.

The NESLAB Serial Communications Protocol, NC, is based on a master-slave model. The master is a host computer, while the slave is the bath's controller. Only the master can initiate a communications transaction (half-duplex). The bath ends the transaction by responding to the master's query. The protocol uses either an RS-232 or RS-485 serial interface with the default parameters: 19200 baud, 1 start bit, 8 data bits, 1 stop bit, no parity, and for RS-485 a selectable address from 1 to 100.

NOTE: Before the unit will communicate, serial communication must be turned on using the controller's Computer button.

The unit can be controlled through your computer's serial port by using the unit's standard female 9-pin connections.

	RS-232	RS-485
1	No Connection	1-7 No Connection
2	TX	8 T+
3	RX	9 T-
4	No Connection	
5	Signal Ground	
6 - 9	No Connection	

To connect the bath to your computer, a M/F 9 pin D-Subminiature extension cable will be required. See page 31 for cables available from Thermo NESLAB.

All commands must be entered in the exact format shown in the tables on the following pages. The tables on the last page of this Appendix show all commands available, their format and responses. Controller responses are either the requested data or an error message. The controller response must be received before the host sends the next command.

The host sends a command embedded in a single communications packet, then waits for the controller's response. If the command is not understood or the checksums do not agree, the controller responds with an error command. Otherwise, the controller responds with the requested data. If the controller fails to respond within 1 second, the host should re-send the command.

During RS-485 operation the bath will wait at least 5 milliseconds after receiving the checksum byte before asserting its transmitter for the purpose of replying to the host. Therefore, when the host is done sending a command, it must disable its transmitter in less than 5 milliseconds. When the bath is done sending its reply, it will disable its transmitter in less than 5 milliseconds.

Fig D-1

NC Serial Communications Protocol

NOTE: All byte values are shown in hex, hex represents the binary values that must be sent to the bath. **Do not use ASCII.**

The framing of the communications packet in both directions is:

	Checksum region							
Lead char CA or CC	Add-MSB 00	Add-LSB	Command	n d-bytes	d-byte 1	...	d-byte n	Checksum
Lead char	RS-232 = CA (hex) RS-485 = CC (hex).							
Add-msb	Device address is 1 - 64 hex (1 - 100 decimal)							
Add-lsb	Most significant byte of device address is 00 hex.							
Command	Least significant byte of device address is 01 - 64 hex (1 - 100 decimal) for RS-485, 01 for RS-232.							
n d-bytes	Command byte (see Table 1).							
d-byte 1	Number of data bytes to follow (00 to 08 hex).							
...	1 st data byte (the qualifier byte is considered a data byte).							
d-byte n	...							
Checksum	n th data byte.							
	Bitwise inversion of the 1 byte sum of bytes beginning with the most significant address byte and ending with the byte preceding the checksum. (To perform a bitwise inversion, "exclusive OR" the one byte sum with FF hex.)							

The master requests information by sending one of the Read Functions as shown in Table 1 on page 30. Since no data is sent to the bath during a read request, the master uses 00 for the number of data bytes following the command byte.

The bath will respond to a Read Function by echoing the lead character, address, and command byte, followed by the requested data and checksum. When the bath sends data, a qualifier byte is sent first, followed by a two byte signed integer (16 bit, MSB sent first). The qualifier byte indicates the precision and units of measure for the requested data as detailed in Table 2.

As an RS-232 example, the master requests to read internal temperature by sending:

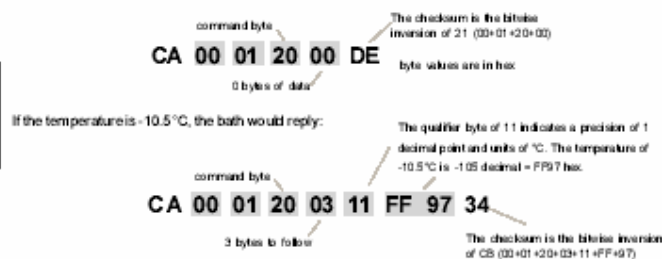


Fig D-2

The master sets parameters in the bath by sending one of the Set Functions as shown in Table 1. The master does not send a qualifier byte in the data field. The master should be pre-programmed to send the correct precision and units (it could also read the parameter of interest first to decode the correct precision and units needed).

As an RS-485 example, if the master wants to set the setpoint to 30°C, it would send:

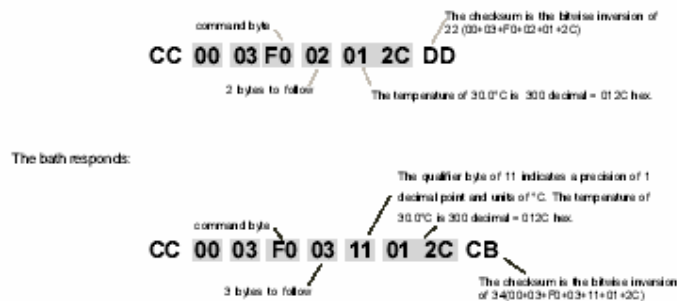


Fig D-3

Table 1 (All bytes are in hex)

RS-232. For RS-485 substitute CC for CA as the lead character.

FUNCTION	MASTERSENDS	BATHRESPONDS
READ		
Read Acknowledge	CA 00 01 00 00 FE	CA 00 01 00 02 v1 v2 cs
Read Status*	CA 00 01 09 00 F5	CA 00 01 09 04 d1 d2 cs
Read Internal Temperature	CA 00 01 20 00 DE	CA 00 01 20 03 qb d1 d2 cs
Read External Sensor	CA 00 01 21 00 DD	CA 00 01 21 03 qb d1 d2 cs
Read Setpoint (control point)	CA 00 01 70 00 8E	CA 00 01 70 03 qb d1 d2 cs
Read Low Temperature Limit	CA 00 01 40 00 BE	CA 00 01 40 03 qb d1 d2 cs
Read High Temperature Limit	CA 00 01 60 00 9E	CA 00 01 60 03 qb d1 d2 cs
Read Heat Proportional Band (P)	CA 00 01 71 00 8D	CA 00 01 71 03 qb d1 d2 cs
Read Heat Integral (I)	CA 00 01 72 00 8C	CA 00 01 72 03 qb d1 d2 cs
Read Heat Derivative (D)	CA 00 01 73 00 8B	CA 00 01 73 03 qb d1 d2 cs
Read Cool Proportional Band (P)	CA 00 01 74 00 84	CA 00 01 74 03 qb d1 d2 cs
Read Cool Integral (I)	CA 00 01 75 00 89	CA 00 01 75 03 qb d1 d2 cs
Read Cool Derivative (D)	CA 00 01 76 00 88	CA 00 01 76 03 qb d1 d2 cs
SET		
Set Setpoint (control point)**	CA 00 01 F0 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F0 03 qb d1 d2 cs
Set Low Temperature Limit**	CA 00 01 C0 02 d1 d2 cs	CA 00 01 C0 03 qb d1 d2 cs
Set High Temperature Limit**	CA 00 01 E0 02 d1 d2 cs	CA 00 01 E0 03 qb d1 d2 cs
Set Heat Proportional Band (P = 0.1-99.9)	CA 00 01 F1 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F1 03 qb d1 d2 cs
Set Heat Integral (I = 0-9.99)	CA 00 01 F2 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F2 03 qb d1 d2 cs
Set Heat Derivative (D = 0-5.0)	CA 00 01 F3 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F3 03 qb d1 d2 cs
Set Cool Proportional Band (P = 0.1-99.9)	CA 00 01 F4 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F4 03 qb d1 d2 cs
Set Cool Integral (I = 0-9.99)	CA 00 01 F5 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F5 03 qb d1 d2 cs
Set Cool Derivative (D = 0-5.0)	CA 00 01 F6 02 d1 d2 cs	CA 00 01 F6 03 qb d1 d2 cs
Set On/Off Array	CA 00 01 81 05 d1...d8 cs	CA 00 01 81 05 qb d1...d8 cs
d1 = unit on/off, d2 = sensor enable, d3 = faults enabled, d4 = mute, d5 = auto restart, d6 = 0.01°C enable, d7 = full range cool enable, d8 = serial comm enable (d1: 0 = off, 1 = on, 2 = no change)		
For example, to turn the unit on send CA 00 01 81 05 01 02 02 02 02 02 02 cs		
BATHERRORRESPONSES		
Bad Command	N/A	CA 00 01 0F 02 01 ed cs
Bad Checksum	N/A	CA 00 01 0F 02 03 ed cs
Command bytes shown in bold qb = qualifier byte, see Table 3 d1, d2 = 16 bit signed integer of the value being sent or received cs = the checksum of the string (see text)		
ed = echo back of the command byte as received v1, v2 = protocol version * See Read Status, Table 2 ** limited to the range of the bath		

Fig D-4

Table 2 Read Status

BIT	d1	d2	d3
b.7 = 1	RTD1 Open Fault	RTD2 Open Fault	High Fixed Temp Fault
b.6 = 1	RTD1 Shorted Fault	RTD2 Shorted Fault	Low Fixed Temp Fault
b.5 = 1	RTD1 Open	RTD2 Open Warn	High Temp Fault
b.4 = 1	RTD1 Shorted	RTD2 Shorted	Low Temp Fault
b.3 = 1	RTD3 Open Fault	RTD2 Open	Low Level Fault
b.2 = 1	RTD3 Shorted Fault	RTD2 Shorted	High Temp Warn
b.1 = 1	RTD3 Open	Refrig High Temp	Low Temp Warn
b.0 = 1	RTD3 Shorted Fault	HTC Fault	Low Level Warn

BIT	d4	d5
b.7 = 1	Buzzer On	RTD2 Controlling
b.6 = 1	Alarm Muted	Heat LED Flashing**
b.5 = 1	Unit Faulted	Heat LED On**
b.4 = 1	Unit Stopping	Cool LED Flashing**
b.3 = 1	Unit On	Cool LED On**
b.2 = 1	Pump On	0
b.1 = 1	Compressor On	0
b.0 = 1	Heater On	0

**LED bits in REQ STATUS1 byte d5

LED State	LED Flashing	LED On
OFF	0	0
ON	0	1
FLASHING	1	1
Invalid	1	0

b.7 = most significant bit

b.0 = least significant bit

Table 3 Qualifier Byte

10 hex	0.1 precision, no units of measure
20 hex	0.01 precision, no units of measure
11 hex	0.1 precision, °C units
21 hex	0.01 precision, °C units

Example: The temperature of 45.6 °C would be represented by the qualifier 11 hex, followed by the 2 bytes 01 C8 hex (456 decimal).

Fig D-5

E-FDS

Functional Design Spesification

Hovedprosjekt vår 2003

Temperaturregulert kabinett

Marius Brenden
Frode Efteland
3EY

1. Innledning.....	14
2. Funksjonsbeskrivelse	15
2.1 Temperaturavvik	10
2.2 Temperaturregulering.....	10
3. Hardware	11
4. Software	12
4.1 Betjening	12
5. Aktivitetsplan	19
5.1 Estimert tidsforbruk.....	19
5.2 Aktivitetsliste	19

1. Innledning

Vi er to studenter fra ingeniørutdanning ved Høgskolen i Oslo, som fikk i oppgave å temperaturregulere et kabinett ved hjelp av det grafiske utviklingsmiljøet LabView. Vi skal logge temperaturer fra termistorer påmontert en stålplate og passbiter. Hensikten er å finne ut om det er temperaturforskjell i dette området.

Dette dokumentet beskriver prosjektets spesifikasjoner og de tekniske løsninger vi har valgt. Vi har også laget en prosjektplan over aktiviteter og estimerte tider.

2. Funksjonsbeskrivelse

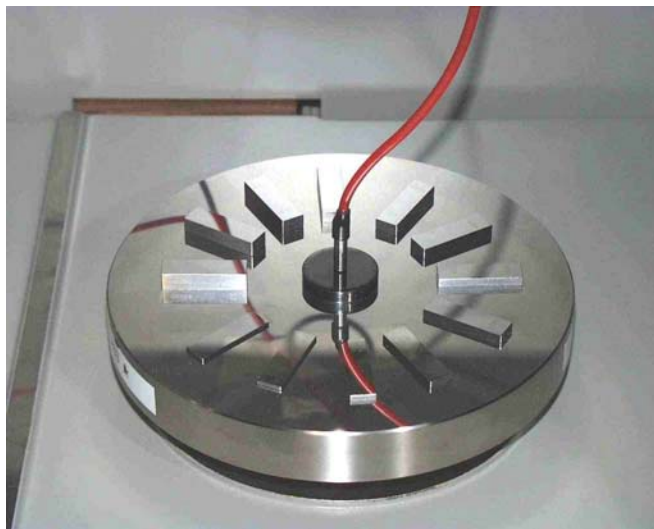


Fig 2: Stålplate og passbiter med et PT-100 element som referansetemperatur

I mekanisk verkstedindustri benyttes det i stor grad passbiter som hovednormaler for mange typer kalibreringer av lengdeskalaer. Måleprinsippet er interferometri. Passbitene heftes til en referanseplate som utgjør den ene reflekterende flaten i interferometeret. Interferensmønsteret over passbit og referanseplate måles for to laser bølglengder, rød og grønn, og analyseres. Lengden av passbiten bestemmes med en oppløsning på 1 nm.

Veileder Helge Karlsson oppdaget et systematisk avvik i målingene i henhold til internasjonale standarder. Jo lenger passbiten er, jo større har feilmålingen hans blitt pga metallens temperaturutvidelsesfaktor. Han har en teori om at det finnes temperaturforskjeller i måleområdet ut fra tidligere historiske målinger. Målingene ligger fortsatt innenfor de fastsatte normene, men veileder ønsker bedre nøyaktighet.

Oppgaven er dermed delt i to hoveddeler. Én del studerer nærmere hvor stor temperaturavvik det er i forhold til avstand/høyde i måleområdet 19.8-20.2 °C. Den andre delen tar sikte på å finne ut temperaturutvidelsesfaktoren til et metall. Måleområdet her er mellom 15-25 °C.

2.1 Temperaturavvik

Denne oppgaven realiseres slik at vi systematisk plasserer et antall presisjonstermistorer (YSI 44031), på både underlagsplate og passbit. Vi logger måledata fra disse vha LabVIEW. Veileder kan usikkert si noe om kravet av nøyaktighet, men det ultimate og ideelle vil være en måleusikkerhet på typisk 10mK. Termistorene skal være kalibrert i måleområdet 19,8°C til 20,2°C.

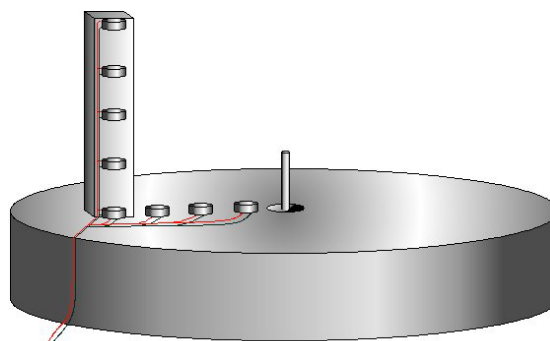


Fig 2.1: Påmonterte termistorer på objektet

2.2 Temperaturregulering

Her blir oppgaven å kunne styre omgivelsestemperaturen rundt passbitene, slik at veileder kan studere påvirkningen av disse. Det er viktig med en homogen temperatur i området. For å effektivt kunne påvirke denne, tar vi i bruk et åpent kabinett som produseres spesielt til dette prosjektet av Justervesenets verkstedsansatt Ole Christian.

Regulering av temperatur vil bli styrt fra LabVIEW som vil kommunisere med et varmebad (RTE 10 Digital Pluss fra NESLAB). Varmebadet vil pumpe temperert vann som vil sirkulere tett inntil temperaturkabinettet. Reguleringen av temperaturen i kabinettet er påkrevet å kunne svinge fra 15°C til 25°C. Målinger av temperaturen i kabinettet gjøres vha presisjonstermistorene.

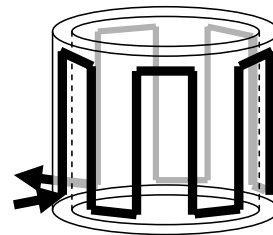


Fig 2.2: Temperatur-regulert kabinett

3. Hardware

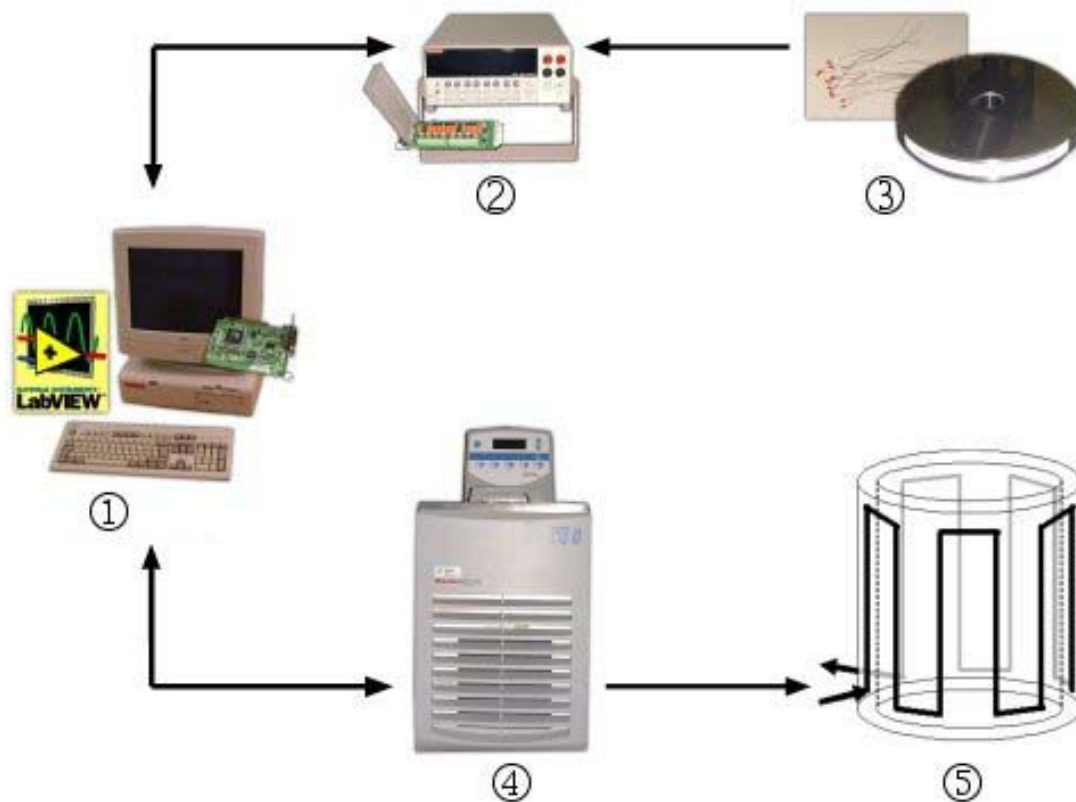


Fig 3: Hardwareoppsett

6. Dell PC, Pentium II og GPIB PCI kort til PC + kabel, KPCI-488.2
7. Keithley 2010 digitalt multimeter med 10 kanals scanner-kort, 2001-SCAN
8. 10 stk presisjonstermistorer, YSI 44031
9. Thermo NESLAB varmebad, RTE-10 series Digital Plus
10. Kabinett bygget hos Justervesenet

4. Software

Med software menes den delen av prosjektet som inneholder programmering i LabVIEW.

4.1 Betjening

LabVIEW programmet skal være enkelt i bruk med grafiske knapper og avlesing av temperaturer. Programmeringsteknikken skal være strukturert, modulbasert og forståelig, slik at andre lett kan sette seg inn i programmeringen. Manuell styring av Neslab varmebad skal være mulig. Programmet skal tilrettelegges slik at det er lett å gjøre endringer som ny/endret hardware og andre oppdateringer.

5. Aktivitetsplan

Aktivitetsplanen følger som eget vedlegg.

5.1 Estimert tidsforbruk

17 uker med 3 dager i uka og 7t pr dag gir 357 timer totalt pr student. Dette inkluderer fri i påsken og eksamensperioden i slutten av april.

Et hovedprosjekt skal normalt være mellom 300-350 pr student.

5.2 Aktivitetsliste

Navn på aktivitet:	Forberedelse
Beskrivelse:	-Planlegging og estimering av aktiviteter. (7) -Sette seg inn i dokumentasjon, datablader og hardware. (7) -Få Dell PC fra it-avd. Installasjon av LabVIEW 6i. (7)
Forutsetninger / Input:	At alle delene er på plass
Resultat / Output:	Klar til programmering i LabVIEW
Ressursbruk:	21t

Navn på aktivitet:	Montering sensorer
Beskrivelse:	-Bestille deler til termistor (3) -Lodde ledning med krympestrømpe til termistor (4) -Finne en løsning på innkapsling av termistoren og en passende lim, samt utføre selve kapslingen. (7)
Forutsetninger / Input:	At alle delene er på plass
Resultat / Output:	10 stk temperatursensorer.
Ressursbruk:	14t

Navn på aktivitet:	Kalibrering
Beskrivelse:	-Sette opp kalibreringsbad. (7) -Kalibrerer termistorer i to forskjellige måleområder: Range1: 19,8-20,2 grader. 5 kalibreringspunkter. Et punkt tar ca 1 time for å stabilisere temperaturen. Range2: 15-25 grader, for bruk til å måle temperaturutvidelsesfaktor på et legeme. -Termistorene kalibreres først uten kapsling. Verdiene brukes til å beregne en matematisk modell av termistorene. (11)

	Deretter kalibreres de med kapsling og sammenlignes med forrige måling for å dokumentere kapslingens påvirkningsgrad. (11)
Forutsetninger / Input:	Termistorer ferdigstilt og kalibreringsbad klart til bruk.
Resultat / Output:	10 stk ferdig kalibrerte temperatursensorer i to måleområder.
Ressursbruk:	29t

Navn på aktivitet:	Kabinett og Neslab varmebad
Beskrivelse:	-Oppstart av Neslab varmebad, test av vannsirkulasjon, sørge for at alle slangekoblinger stemmer. (3) -Når kabinettet er ferdig konstruert fra verkstedet, foretas en trykktest for å sjekke tettheten. (3) -Varmebadet kobles sammen med kabinettet og utfører en manuell sirkulasjonstest. (4)
Forutsetninger / Input:	Kabinett ferdig produsert.
Resultat / Output:	Klart til programmering av reguleringsløyfe.
Ressursbruk:	10t

Navn på aktivitet:	Programmering termistorer
Beskrivelse:	-Opprette kommunikasjon mellom LabVIEW og scannerkortet til Keithley multimeter. (7) -Testprogram med grafisk avlesning av termistorene i LabVIEW (7) -Etter kalibrering av termistorer, finnes en tilnærmet kurve som passer best mulig (minste kvadraters metode). Det kan være 1 ordens, 2 ordens eller Steinhart-Hart likningen. Denne matematiske formelen danner grunnlaget for omregning av resistive verdier til temperatur (matematisk modell). (11+7) -Videreutvikling av testloggprogrammet etter at all kalibrering er gjort, termistorer ferdig kapslet og kurve funnet. (8+4+7)
Forutsetninger / Input:	LabVIEW installert og termistorer ferdig loddet.
Resultat / Output:	Måleresultat fremstilt i LabVIEW.
Ressursbruk:	51t

Navn på aktivitet:	Programmering Neslab varmebad.
Beskrivelse:	-Opprette kommunikasjon mellom Neslab varmebad og LabVIEW. Pr. dags dato vet vi ikke om det er mulig, men vi regner med vi kan styre enheten ved hjelp av RS232. F.eks. sette referanse temperatur, regulere temperatursløyfe og motta alarmer. (7) -Målet er å lage en enkel men effektiv reguleringssløyfe i LabVIEW. Skal også ha en manuell modus hvor en kan styre pådrag til temperaturen i kabinettet (7) -Testprogram med logging av temperatur i kabinett og regulering av Neslab varmebad. (11)
Forutsetninger / Input:	LabVIEW installert og kabinett ferdig.
Resultat / Output:	Mulighet for å regulere temperaturen i kabinettet ved bruk av LabVIEW.
Ressursbruk:	25t

Navn på aktivitet:	Sluttprogrammering
Beskrivelse:	-Sette sammen testmodulene og lage en brukervennlig pakke.
Forutsetninger / Input:	Testprogram operativt.
Resultat / Output:	Ferdig program.
Ressursbruk:	72t

Navn på aktivitet:	FDS
Beskrivelse:	-Functional Design Spesification (14t + 7) -Aktivitetsplan med beskrivelser.
Forutsetninger / Input:	
Resultat / Output:	En plan til å styre prosjektet med
Ressursbruk:	21t

Navn på aktivitet:	Underveisdokumentasjon
Beskrivelse:	-Utarbeidelse av endelig rapport (30) -Føre prosjektdagbok og timelister (7)
Forutsetninger / Input:	At vi har datamaskin og word tilgjengelig
Resultat / Output:	Dokumenter til bruk i endelig rapport.
Ressursbruk:	37t.

Navn på aktivitet:	Sluttrapport
Beskrivelse:	-Siste finish (63) -Trykking (14)
Forutsetninger / Input:	Alt klart.
Resultat / Output:	Ferdig hovedprosjekt.
Ressursbruk:	77t

F- Gant diagram

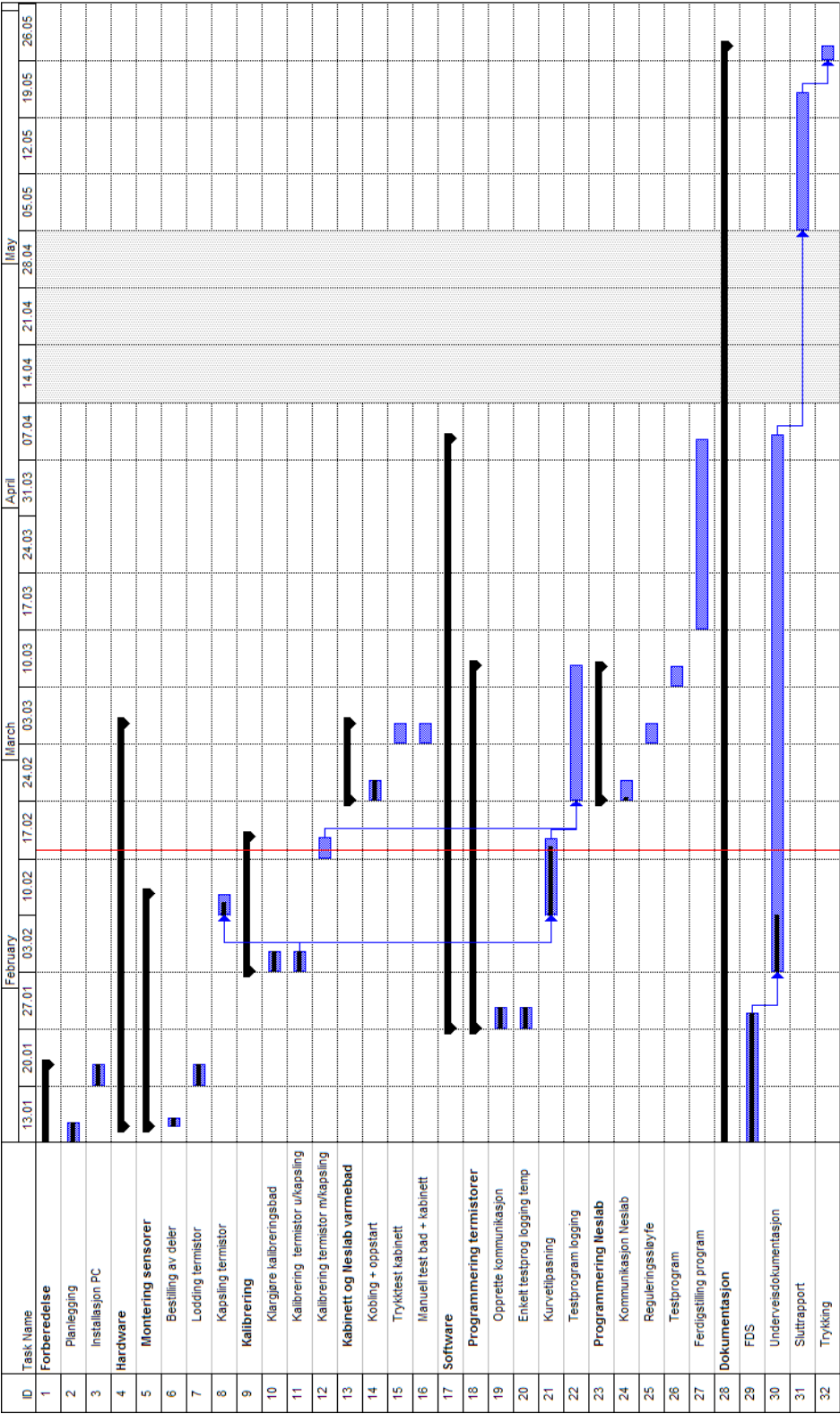


Fig F-1

G-Prosjektbeskrivelse

Tittel: Temperaturregulert kabinett

Navn: Marius Brenden, marius.brenden@iu.hio.no, tlf: 90992571, HiO
Frode Efteland, frode.efteland@iu.hio.no, tlf: 92819991, HiO

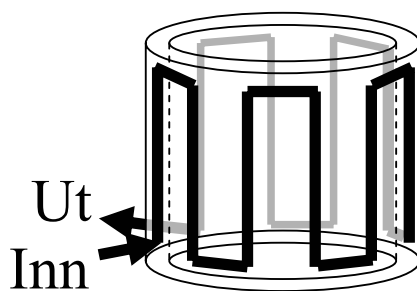
Ekstern veileder:

Senioringeniør Helge Karlsson
Laboratoriet for nasjonale normaler, Justervesenet
Fetveien 99, 2007 Kjeller
Tlf: 64 84 84 46 (direkte)
e-post: helge.karlsson@justervesenet.no
website: <http://www.justervesenet.no>

Prosjektbeskrivelse

Oppgaven går ut på å regulere og måle temperaturen i et lite kabinett. Kabinettets temperatur reguleres ved hjelp av sirkulerende væske via et reservoar der temperaturen til væsken stilles inn. Det er viktig å oppnå god stabilitet og homogenitet for temperaturen på måleobjektet som skal plasseres i kabinettet, og det er dette som skal måles og logges over tid.

Utformingen av selve kabinettet, valget av typen bad, og også av typen måleutstyr vil gjøres av veileder ved laboratoriet. Vår utfordring ligger i å sette sammen måleutstyret, og lage en brukervennlig programkode i LabView som gir en god oversikt over temperaturen i kabinettet som funksjon av posisjoner i kabinettet så vel som over tid. Temperatursensorene vil kunne kalibreres i laboratoriet hos Justervesenet slik at det oppnåes en usikkerhet i målingene på typisk ± 5 mK (95 % konfidens) og det ønskes å oppnå en stabilitet over $\frac{1}{2}$ time på ± 5 mK (ytterverdier). Det legges vekt på brukervennlighet i programmet, lesbarhet for måleresultatene og en god integrering av måleoppsettet til det eksisterende måleutstyret. Kabinettet og presentasjonen av måledata må tilpasses eksisterende måleutstyr i laboratoriet på Kjeller.



Figuren viser en skisse av kabinettet med kobberrør for transport av temperaturregulerende væske.

Ikke vist på figuren: Temperaturbad med pumpe, måleobjektet i kabinettet, termistorer plassert på objektet, multimeter med 10 kanaler, pc med GPIB grensesnitt.

Dato/sted:

Frode Efteland
HiO

Marius Brenden
HiO

H-Timeliste

Totalt:

Estimert	Sum tim pr aktivitet	Id	Konto
21	8,00	1	Forberedelse
14	3,00	5	Montering sensorer
29	35,50	9	Kalibrering
10	10,00	13	Kabinett og Neslab
51	128,00	18	Programmering Keithley
39	49,00	23	Programmering Neslab
72	47,50	27	Ferdigstilling program
128	103,00	28	Dokumentasjon
364	384		

	Mnd	Jan								
	Uke	3			4			5		
Id		13	14	15	20	21	22	27	28	29
1		4			4					
5					3					
9										
13										
18							7	7	7	7
23										
27										
28		3	7	7		7				
	Sum pr dag	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Sum pr uke	21			21			21		
	Sum pr mnd	63								

	Mnd	Feb								
	Uke	6			7			8		
Id		3	4	5	10	11	12	17	18	19
1										
5										
9		8	4							
13										
18			2	7	7	7	7	2	3	7
23								5	4	
27										
28			1							
	Sum pr dag	8	7	7	7	7	7	7	7	7
	Sum pr uke	22			21			21		
	Sum pr mnd	64								

	Mnd	Mar								
	Uke	10			11			12		
Id		3	4	5	10	11	12	17	18	19
1										
5										

9					3,5		3,5			
13										
18		7	7	7	3,5		3,5			
23								6	3	6
27										
28						7				
	Sum pr dag	7	7	7	7	7	7	6	3	6
	Sum pr uke	21			21			15		
	Sum pr mnd	57								

	Mnd	Apr								
	Uke	15			16					17
Id		7	8	9	14	15	16	19	20	21
1										
5										
9										
13		5	5							
18										
23										
27				6				7		
28		5	5						6	
	Sum pr dag	10	10	6	0	0	0	7	6	0
	Sum pr uke	26			0					0
	Sum pr mnd	39								

	Mnd	Mai															
	Uke	19				20				21					22		
Id		5	7	8	9	12	13	14	16	19	20	21	22	25	26	27	28
1																	
5																	
9						3	10,5	3									
13																	
18		3	6			3											
23									5								
27				4,5	5			3		7						2	
28											6	13	7	5	10	7	4
	Sum pr dag	3	6	4,5	5	6	10,5	6	5	7	6	13	7	5	10	9	4
	Sum pr uke	13,5				23				26							
	Sum pr mnd	53															



AVTALE OM HOVEDPROSJEKT VED HØGSKOLEN I OSLO, AVDELING FOR INGENIØRUTDANNING – ELEKTROLINJEN VÅREN 2003

Ingeniørstudiet ved Høgskolen i Oslo (**HiO**), Avdeling for ingeniørutdanning (**IU**) avsluttes med et hovedprosjekt med et omfang på 15 studiepoeng. Dette svarer til et halvt semesters arbeid.

Prosjektet utføres ofte i samarbeid med ekstern bedrift, bransjeorganisasjon, offentlig institusjon o.l., heretter kalt **samarbeidspartner**. Denne avtalen definerer HiOs og samarbeidspartners plikter og rettigheter i forbindelse med hovedprosjektet.

1. SAMARBEIDSPARTNER Justervesenet ved Senioringeniør Helge Karlsson

2. TITTEL PÅ PROSJEKTET Temperaturregulert kabinett

Prosjektet er beskrevet i vedlagte prosjektskisse. Prosjektperioden er fra begynnelsen av januar til slutten av mai.

3. RETTIGHETER

HiO kan, hvis ingenting annet er avtalt, bruke prosjektets resultater i sin interne virksomhet og ha prosjektets sluttdokumenter i sitt bibliotek.

4. STUDENTGRUPPE

Prosjektet kan utføres av en studentgruppe. Studentgrupperingen kan gå på tvers av linjene. Arbeidet med prosjektet er en del av utdanningen, og studentene er derfor underlagt HiO og HiOs reglement under prosjektarbeidet. Det forventes at studenten/studentgruppen arbeider med prosjektet etter beste evne. Studentene skal ikke motta noen godtgjørelse for arbeidet med prosjektet.

Navn på studenten (e)	Linje / studieretning
1. Marius Brenden	automatisering
2. Frode Efteland	automatisering

5. TAUSHETSPLIKT

Både HiO og studentene har taushetsplikt med hensyn på all informasjon de måtte få hos samarbeidspartner i forbindelse med prosjektarbeidet og som samarbeidspartner krever hemmeligholdt.

6. VEILEDNING/EVALUERING

Samarbeidspartner skal til enhver tid ha oppnevnt minst en veileder/kontaktperson for studentgruppen. Vedkommende skal hjelpe studentene med tilrettelegging og med alle nødvendige avgrensninger, presiseringer og krav til prosjektets resultater.

HiO oppnevner en av sine ansatte som intern veileder for studentgruppen.

En person hos samarbeidspartner kan bli bedt om å evaluere oppgaven som sensor, der dette er hensiktsmessig for HiO.

7. UTSTYR

Alt utstyr og all programvare som HiO disponerer og som er tilgjengelig for dette bruket, stilles til studentenes disposisjon. Dersom HiOs programvare inngår i en løsning som skal brukes senere, må samarbeidspartner skaffe sin egen versjon av programvaren.

Alt spesialutstyr og all spesialprogramvare som HiO ikke disponerer og som er nødvendig for å løse prosjektet, må i tide av samarbeidspartner stilles til studentenes disposisjon.

Nødvendig kontorplass må stilles til disposisjon hvis prosjektet krever regelmessig tilstedeværelse hos samarbeidspartner. Utstyr som lånes av samarbeidspartner, må samarbeidspartner selv sørge for er dekket med nødvendige forsikringer. Det forutsettes at alt utstyr er tilfredsstillende merket, slik at det tydelig framgår hvilket utstyr som tilhører HiO og hvilket utstyr som tilhører samarbeidspartner.

Alt bruk av HiOs utstyr, som er tilgjengelig for dette bruket, skjer vederlagsfritt. Samarbeidspartner dekker selv sine utgifter i forbindelse med prosjektet. Eventuelle utgifter ut over dette og utgiftenes fordeling, må avtales.

8. GJENYTELSER FRA SAMARBEIDSPARTNER

I forbindelse med at studentene utfører et hovedprosjektarbeid for samarbeidspartner kan det gjøres avtale om å (kryss av):

- ☐ dekke sensurutgiftene for hovedprosjektoppgaven/være med på presentasjon.
- ☐ gi en/flere gjesteforelesninger
- ☐ bidra med å skaffe timelærere
- ☐ bidra med utstyr
- ☐ samarbeide innen FoU-prosjekter
- ☐ publisere resultatene
- ☐ Annet. Spesifiser:

9. ANSVAR

Samarbeidspartner er klar over at hovedprosjektarbeidet er et ledd i studentenes utdanning. HiO og studentene har derfor ikke ansvar for prosjektets resultat. HiO har heller ikke ansvar for eventuelle skader som måtte påføres samarbeidspartners utstyr. Samarbeidspartner sørger for nødvendige forsikringer, også for studentene for det tidsrom de arbeider på prosjektet i samarbeidspartners lokaler.

Samarbeidspartner er innforstått med at HiO som statsinstitusjon er selvassurandør.

10. HENVENDELSER

Kontaktperson ved IU: tlf:

Samarbeidspartners kontaktperson: tlf:

11. ENDRINGER OG UNDERTEGNING

Eventuelle endringer/tillegg til denne standardavtalen må dokumenteres i eget vedlegg. Avtalen er undertegnet i to eksemplarer hvorav IU og oppdragsgiver har hvert sitt eksemplar.

Oslo, den /

For IU

For samarbeidspartner

Studieleder ved

Navn på samarbeidspartner

Samarbeidspartners representant (navn og tittel)

Studielederm/avtalepr2./wms 28.10.98

Kjære Prosjektdagbok

- Besøk justervesenet
- Kurs Lab-view

Onsdag 8/1-03

Planlegging av prosjekt: Kort gjennomgang for å få oversikt over de forskjellige fasene i prosjektet. Kladd av avtale og prosjektbeskrivelse. Mail om status til HK og avtalt 0.5t møte med VT i morgen 13.45.

9/1-03

Møte med VT. Gjennomgang av avtale og prosjektbeskrivelse. Vi skal møtes hver 14 dag, torsdager etter med.instr 13.50-14.40.

13/1-03

Første dag på Justervesenet. Arbeid med kladd av FDS, ordne dok i permer, se på løsning når det gjelder thermistor. Hvilken lim og kapsling skal vi bruke? Vanlig lodding? Krav til ledning? Diskutere med HK i morgen. Tok bilder av utstyr.

14/1 2003

arbeid med FDS, Microsoft Project 98 og tidsplan, fikk datablad over lim 1471N. Diskuterte krav til oppgaven med HK. To typer måleområder: 19.8-20.2 med 10 punkter for temperaturforskjell, og et måleområde fra 15-25 for å finne temperaturkoeffisienter/utvidelseskoeffisienter (10 målepunkter spredt rundt på skalaen). En temperatur tar ca en time for å bli stabil ved kalibrering. Målet er å nå 10milliKelvin måleusikkerhet på oppgaven vår. Gikk gjennom type kapsling som Ole Christian skal lage i aluminium, bestemte at vi skal gjøre kalibrering selv i varmebad (temperaturfolka var opptatt til ut mars). Først uten kapsling, så med kapsling senere. Vi var på elektroverksted og så på krympestrømper og ledninger til termistorene. Ikke bra nok, så vi må bestille fra Elfa eller Jacob Hatteland. Termistor er 32 AWG og anbefalt 22 AWG til Keithley-kort.

15/1 2003

Hjemme. Jobb med termistorløsning. Bestilt krympestrømpe og ledning til termistorbein fra Elfa. Videre jobbing med FDS.

20/1 2003

Fikk deler fra Elfa. (MB)Loddet 10 stk termistorer med 2,5m tvunnet ledning (for å motvirke støy). (FE)Koblet en termistor til Keithley scannerkort og lest av verdi på multimeteret. Fikk endelig en pc på kontoret, men fikk ikke logget oss inn på nettet for å installere LabVIEW. Installerte derimot GPIB PCI-kort i PC, og testet kommunikasjon.

- Mangler 2stk bananplugger (lodding/skrutilkobling)
- Mangler en 9pins seriekabel til kommunikasjon Nesbad – PC.
- Få IT (Aksel) til å fikse brukernavn til PC i morgen.
- Finne ut om vi kan/bør kalibrere Nesbad.

21/1 2003

Hjemme. Jobb med FDS.

22/1 2003

PC fikset av Aksel fra IT. Jobbet med å få kommunikasjon mellom LabVIEW og Keithley multimeter hele dagen. Vi kunne ikke bruke "MAX explorer" til hardware konfigurasjon. Den støtter bare NI egne hardwarekort. Problemet var at vi hadde tre ulike leverandører/merker, 1-CEC PCI 488 – GPIB interfacekort til pc, 2-Keithley scannerkort 2001, 3-National Instruments LabVIEW.

Vi lastet ned VI'er fra www.cec488.com og fant ut at man bruker disse for å sette opp kommunikasjon. Det fikk vi ikke til fordi vi ikke kan LabVIEW enda. En god del vanskeligere enn hva vi trodde og har opplevd tidligere. Brukte en del tid på å leke med LabVIEW og titte i manualer.

Vi leverte også den bærbare pc'en min til reparasjon hos A Novo.

27/1 2003

Vi har lekt med LabVIEW. Vi har sett på lagring til fil, loggedata. Grafisk fremstilling av simulert digital termometer. Kikket i bok.

28/1 2003

Problem med data og internett. Marius jobber med testinterface til termistorer og Neslab. Frode jobber med å opprette kommunikasjon med Keithley. Ringte først Svein Hermansen (teleinstrument), men han kunne ikke hjelpe. Så Kristoffer Hermansson 00 46 8509 04 679 hos Keithley i Sverige. Hjelpsom, men hadde ikke noen eksempler på kommunikasjon. Begynt en dypere studie av vi'ene til Keithley ned til tekststreng nivå.

29/1 2003

Marius hjemme. Jobbet med testloggeprogram.

Frode Kjeller. Laget et program som scanner alle kanalene, men klarer ikke å få frem riktig format på avlesning. Prøver å finne ut hvordan avlesningene blir lagret (1d-array, cluster, osv) og å få de frem på en leselig måte. Det virker helt sykt. Brukte modulene *2w-config*, *scan-config* og *internal scanner read.vi* i en sekvensstruktur.

03/02 2003

Først merket vi alle termistorene med tall og klar krympestrømpe. Satt opp kalibreringsbad sammen med Tore Sørsdal. Foretok kalibrering fra 19.8 til 20.2 i fem punkter med 0.1 step. Resultatet ble litt for snevert måleområde. Termistorene varierte ikke mer enn fra ca (12,342 – 12,134)Kohm. Dette var litt lite. Så vi bør nok ha et større område. Muligens har veileder bommet litt på følsomheten på termistorene. I det temperaturområdet vi skal logge, så burde sensorene vært enda mer følsomme. Fikk en del erfaring med kalibreringsinstrumentene. Brukte et PT25 element koblet inn på en bro, med en sinnsyk nøyaktighet. Denne ohmske verdien ble lest av og verdi tastet inn i et Excelark (ITS-90A2.xls) som reknert ut temperaturen. Logget også fra et PT100 element som var koblet til Keithley 2002 multimeter og LabVIEW. Vi fant ut at når temperaturen svirret +/- 1mK så var badet rimelig stabilt og termistorresistanser kunne leses av. Anbefaler at vi leser av høyeste verdi i svingningen når badet er stabilt. Vi noterte manuelt alle 10 termistorene i et Excel ark. Et avvik (høyere resistans) på kanal 5 og 10 ble oppdaget. Kanskje har dette noe med at disse inngangene er spesielle. Måler strøm?? (→nei, det er en shunt-motstand på kanal 1 og 6.) Kapslingenevi fikk fra Ole Chr passet ikke. Øket lengden fra 5 til 7 mm lang og hullstørrelse fra 2.1 til 2.4mm.

04/02 2003

I dag logget vi temperaturer i et større område. 16-18-20-22-24. Vi testet rett linje og steinhart-hart tilpassning. Vi har ikke analysert resultatene, men vi tror at usikkerheten er større enn antatt. Vi fikk også opprettet kontakt med LabVIEW (ver 5) og K2010 ved hjelp av vi'ene GBIP send og GPIB receive. Vi sendte tekststrenger og fikk lest av ønsket kanal. Fikk 6 kapslinger av Ole Chr. De så bedre ut.

05/02 2003

Kapslet inn 6stk. Må bestille mer lim. Også bestilt RS-232 kabel og bananplugger. Resten av dagen brukte vi på kommunikasjon.

10/02 2003

Vi klarte å konvertere tekststrenger fra Keithley og lagre dem i tabell og til fil. Fila kan åpnes i Excel. Uregelmessig avlesninger. Prøver ut ny kode for bedre løsninger. Fikk resten av kapslingene. Og bestilt fra ELFA og lim.

- Lime resten av kapslingene + en spare
- Ferdig kalibreringsmodul

11/02 2003

Marius snakket med lim-mann og fikk bestilt lim til i morgen formiddag. Videre jobb med kalibreringsmodul. Fikk til forsinket lesing. Jobber med statistisk analyse i LabVIEW. Kalibreringsmetode i neste uke blir å logge hver kanal 10x og ta gjennomsnittet av målingene. Frode så litt på kurvetilpassning og tegnet opp linear og steinhart kurve i Excel. Også et gjennombrudd i arbeidet med å bruke de originale driverne. Feilen var at stringverdien fra instrumentet konverterte feil. (boolean false på String to Exp/sci converter i Scan read.vi).

- Lagre verdier på fil
- Bruk "header" fra TEMPMAAL til fil.

12/02 2003

Vi fikk ikke limet i dag, og må gjøre kapslingen ferdig på mandag. Marius fikk ferdig kalibreringsmodulen med skikkelig skriving til fil. Frode laget en kurvetilpassning i matlab. Nå er alt SW klart til den "store" kalibreringen.

13/02 2003

Møte med VT. Hun hjalp oss med å finne Steinhart-Hart-koeffisientene i matlab. Vi fikk det samme som Excel-arket til Tore S. Bra.

17/02 2003

- Finne ut hvordan en lager tabell. Les i manual.

Forbanna. Vi fikk ikke lim i dag heller. EILAG hadde gjort en feil, og lovte oss varen i morgen. Det betyr at vi ikke får kalibrert denne uken. Vi startet med Neslab varmebad. Satte opp en test for seriekommunikasjon i LabVIEW, og fikk det delvis til å virke. Kommandoene blir sendt i hex, og vi må finne en metode å oversette dette på. Koblet så opp varmebadet og fikk det til å virke. Hurra.

18/02 2003

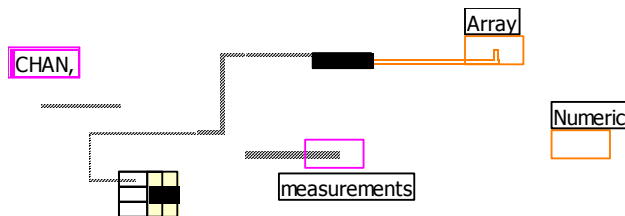
Jobbet hjemme. Marius jobbet med formel resistans-grader Steinhart-Hart. Frode med RS-232.

19/02 2003

Fikk støpemasse i dag, og limet de fire siste termistorene + en ekstra. Det er en mulighet for luftboble inne i kapslingen, (vanskelig å lime) og det vil i så fall påvirke de termiske egenskapene. Dette vil vi se ved neste kalibrering (sammenlikner med første kalibr). Ellers jobbet vi med tabeller, arrays og slikt til kontinuerlig logging av temperatur.

Ide:

- Plukke ut dbl (måleverdi) fra *internal scanner read.vi*. og lage en *build array*. Denne nye tabellen brukes til å lagre avleste resistansverdier. 1D/2D array? Vanrett eller loddrett?
- Sett *source = 0* (bus triggering) og sett et tall i *delay between bus triggers*. Se om scannehastigheten blir forandret.



24/02 2003

Kalibreringslab. Kalibrert 9 punkter. 4 punkter gjenstår.

Marius jobbet med logging av termistorer, og Frode med dokumentasjon om kalibrering og generelt om temperatur.

25/02 2003

Tok de fire siste kalibreringspunkter i dag. Har også lyst til å prøve en punkt på 30°C og et på 10°C. MB jobbet med kontinuerlig logging og FE med rekneark for kalibreringsdataene. Noen punkter må nok filtreres bort, da standardavviket var stort. Spesielt sensor1 og kanal1 så litt rar ut.

26/02 2003

Tok et kalibreringspunkt på 30°C. Jobbet med å bygge inn tabellstruktur i loggeprogram. (modul_2). Helge så på arbeidet vårt. Han virket rimelig fornøyd. Har forandret på prosjektp planen pga forsinkelser med kabinett og at termistorprogrammering tar lengre tid enn planlagt.

3/3 2003

Marius fortsatte med loggeprogram. Vi fant ut hva "error -121" i 2w-config modul. En skrivefeil. En funksjon som konverterer double til string var feil (rettet fra %e til %d). Vi har samme feil i "internal scanner read.vi". Her er det langt vanskeligere å finne ut hva som skjer. Frode jobbet litt med matlab og steinhart. Lese excel fil inn i matlab og berekne koeffisientene. Vi fikk rare konstanter på kanal 2,3,4. "Trigger config.vi" (i scan modul) har samme feil.

4/3 og 5/3 2003

Hjemme. Marius loggeprogram og Frode matlab.

Begge var dessuten syke.

10/3 2003

- Ta en manuell avlesning ved 20,0°C. Finn ut hvor stor svingningen er i Ohm ved slow rate på multimeteret. Noter ned.
→ Den svinger omkring 1Ω ved manuell avlesning.
- Ta en ”ny” kalibrering på punktet. Start målebro (45sek) og ta to logger i denne perioden. Sammenlikne dette med 3 kalibrering.
→ klarte ikke å se noen forskjeller / forbedringer

Fant ut av errorbeskjed nr 222 (parameter data out of range) som lå i Trigger Config.vi.
Løsning: fjernet Timer value.

Loggeprogram (erfaringer så langt):

Vi lastet inn nye kalibreringskonstanter fra 15punkts kalibrering. Badet er konstant innstilt på 20,0 °C. Da skal vi i teorien ha like kurver på alle kanaler. Dessverre er det ikke slik. Fra laveste til høyeste temperaturkurve (kanal) er det ca 20mK i forskjell. Det som er verre er at temperaturene varierer ganske mye. Noen kanaler er mer stabile enn andre. Kanal 3 og 4 hadde stygge kurver. Vi varierte også avlesningshastigheten ved å sette integrasjonstiden fra 1 til 10 (NPLC) via *2w-config.vi*. Det ble ikke bedre av det.

Vi får også tilfeldige nullpunktsavlesninger på samtlige kanaler. Vi vet ikke hva det skyldes. Scanningen stopper opp, og en verdi på null blir lest av. Det er jo mulig å filtrere dette bort. Marius jobber med det.

En mulighet til å teste relestøy er å bytte ut termistorene med faste motstandsverdier. Da SKAL vi ha konstante resistansavlesninger. Vi kan også finne ut om kanal 5 og 10 har konstant avvik (eller høyere inngangsimpedans siden det er solid state rele). Og om det er forskjell på inngangene.

11/3 2003

Hjemme. Dokumentasjon.

12/3 2003

- Foreta et eksperiment med faste motstandere på scannerkortet.
Sjekk om vi får samme symptomer som med termistorer. (høyere standardavvik på kanal 1 og 10).

Resultater av test: Vi brukte en 10kΩ presisjonsmotstand, og parallellkoblet denne til inngangene på scannerkortet. Varmebad = 20,0°C.

”Manuelt arbeid”

- Resistans u/varmebad: variasjon på ca 60mΩ på kanal 1.
- Kanal 10 ble avlest med ca 0,4Ω svingning
- Vi avleste ca 470Ω høyere verdier på kanal 5 og 10 (solid state innganger)
- Resistans i varmebad: variasjon på ca 12mΩ på kanal 1 (NPLC: slow) Det betyr en mye mer stabil avlesning med konstant temperatur. Avlesning: 10 000,894-10 000,906

”Logging og excel” Vi foretok logging til fil, bruker Excel og analyserer dataene.

- Her skal det stå noe data

17/3 2003

Vi fikk temperaturkabinett i dag. OK har trykktestet med 8bar luft. Vi koblet slanger og bad til kabinettet og fikk sirkulasjon. Ingen lekkasje. Vi fortsatte litt med seriekommunikasjon med badet. HK fikk et utkast av ”arbeidsrapporten” og ga kommentarer i en mail.

18/3 2003

Jobbet hjemme. Marius med loggeprogram og statistikk. Frode med seriekomm, som å plukke ut bytes, konvertere mellom string hex og numeriske verdier.

19/3 2003

Begge jobbet videre med RS-232 til badet. Marius laget ”send til port” del og frode ”motta fra port”. Laget også sub-vi av Read Internal Temperature.vi og Read Internal Setpoint.vi. Det ser ut til at vi ikke kan sende to kommandoer på samme tid. Vi får finne på noe lurt.

Neste uke:

- Koble sammen våre moduler.
- Få til simultan lesing av kommandoer

24/3 2003

Vi fortsatte på NESLAB. Fikk til litt til. Bla å kontrollere setpunkt og lese av temp.

- Vi må finne ut av responstiden til NESLAB. Hvor lenge går det fra vi sender til vi får svar? Hva med kollisjon? Stor trafikk?

25/3 2003

jobbet hjemme. Marius tegnet skisse. Frode lagde modul for å lese og sette diverse parametre (on/off bad osv).

- Teste ny modul
- Lage en ”Read Status” modul som leser av bla alarmer, RTD, pumpe av på, heater av på, og mer.

26/3 2003

jobbet videre med NESLAB og seriekommunikasjon. Feilsøking. Marius fortsatte med PID parametre, og frode fikk ikke til noen ting i dag.

Har problem med sikker kommunikasjon. Vi får ikke garantert svar, og tilfeldige svar kommer.

31/3 2003 10.00-17.00

- Teste NESLAB Read Temperature modul3.vi
- Teste NESLAB Read Status4.vi
- Bygge disse to inn i NESLAB Control til Marius
- Hvordan få stabil temp i kabinettet? Teste dette
- Test med termistor i kabinett og varier setpkt. Hvor mye avvik er det?
- Umulig å styre eksernt pådrag til Neslab? (JA)

7/3 2003 0900-1600.

Fortsatte fra sist gang. Laget NESLAB ControlBox. Fikk i orden kommunikasjonsproblem. Løsningen var sekvens. (Får error 45? Som er asynkron comm error – kanskje på grunn av kollisjon?).

Marius ordnet på TermistorLOG. Slet med noen problemer.

- 3 kommandoer til NESLAB gjenstår.
- Fortsette testing på kabinett

5/5-03 Mandag 0900-1330

Justervesenet. Planlegge arbeidet og dele opp oppgaver.

1. Stabilitetskriterium. Lage en boks i Labview for få en tilbakemelding når temperaturen er stabil.
2. Teste stabilitet og se på variasjonene mhp termistorene. Hvorfor avvik? Hvorfor forskjell på termistorer? Har kal.verd. endret seg etter liming? Hvorfor?
3. Hva er usikkerheten i instrumentet + kalibrering?
Formel: $U = 2 \cdot \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots}$
4. Homogenitet i kabinett. Lokk? Plassere term i kabinett og logge med og uten sirkulasjon. Resultat?
5. Test med passbit, pasta osv med og uten kabinett. Sannsynligvis uke 19.
6. Rapport! Mangler beskrivelse av kalibreringsprosess og prosedyre.

Jobbet hele dagen med oppgave1. HistoriePlott av termistorene med skiftregister på ca 10. Marius laget en slags løsning på shift-register-problemet.

5/5-03

Hjemme. 1100-1400

Smarte ting å ha med i programmet:

- Key assignment s8-13
- Load inn en loggfil for studie i labview?
- Mekanisk lås på enable loop?
- Pop-up vinduer s8-9

Laget en slags løsning på problem 1 (simulert). Temperature Monitor2.vi

Problem 2: Hmmm..

7/5-03 J 0900-1500

Oppdaget hvit gugge på termistorene etter at de har ligget i varmebadet siden før påske (ca 1 mnd). Kan være saltpartikler (ville ikke smake på dem). Vi jobbet med å implementere historieplott i hovedprogrammet (Front4.vi).

- Legge inn en offset? For manuelt å justere lik temperatur i termistorene? Legge til offset til resistansmåling?
- Plot over avvik fra sensor1.
- Stabilitetsvindu
- Max og min som nå? Eller som knapp?
- Flytte konstantfil til init-sekvens 0.
- Bytte ut klokke i sekv2 med "ms to wait"-metronom

8/5-03 J 0900-1330

Nå fikk vi til historieplott. Marius sitter å "rydder" i koden, og fikser opp. Det gjør frode også i "Temperature History1.vi"

9/5-03 J 1000-1500

jobbet videre med "temp history". Flyttet utstyr inn på lab124.

12/5-03 J 0900-1500

"Temp History". Problemet nå er at det er så stort avvik i temperatur mellom sensorene. Ca 350mK forskjell på det verste i fri luft. Vi må nok innom kalibreringslab'en og

logge/kalibrere på nytt. Vi må i hvertfall finne årsaken til avviket. Ved å kalibrere på nytt, så kan vi sammenlikne med forrige (kalibrering nr3).

1. Sette opp kalibreringsutstyr på lab → OK
2. Flytte pc og scanner opp → OK
3. stille bad inn på 20°C. Bruke loggeprogram. → OK
Hva er resistansverdier? Avvik? Ja, men er det like mye avvik med 19 og 21°C? Er det en konstant offset på kanal 5 og 10?
Sammenlikne de målingene vi har gjort med Neslab.
4. Lage et "Plot-Avvik" for bruk i hovedprogram. CH1 er f.eks referanse (valgfritt?). CHreferanse-CHn. Da får vi et avvik pr kanal i forhold til CH1. Skal dette være "average" eller nå-verdi? → average

Kalibrering:

- Finne ut STD.DEV på hvert ledd i kalibreringen. (usikkerheten)
- Målebro: Tidsintervall litt større enn loggeintervallet

13/5-03 J 0900-1930

Frode var på kalibreringslab hele dagen. Kalibrerte på nytt punktene 20,21 og 22 gr, men fant ut at de gamle kalibreringene fra kalibrering nr 3 var gode nok. Problemet var at en SH-kurve krever stort spenn i temperaturområdet. Jeg forsøkte 16,20,24 og fikk et bra resultat, men 10,20,30 var enda bedre. Valget fant tilslutt på det siste. Laget så SH-koeffisienter med 10,20,30 kalibrering.

14/5-03 J 0900-1500

FE testet de nye konstantene med temperatur i badet på 20,20.5 og 21°C. Logget og tok skjermdump med og uten offset på temperatur. (Fjernet Resistans-offset). Resultatet er at vi ikke kan bruke kanal 5 og 10, pga solid state inngangen. SH-konstantene er helt rare. Disse kanalene kan kun brukes ved å eksakt måle 10,20,30°C. Kanskje kan en annen kurve finnes på disse?

MB jobbet med timerstart, og andre ting i TermoLogg

15/5-03 J 0900-1630

Analyse av eksperimentene fra kalibreringsbad. Oppdaget også brudd i termistor/kanal 8. Snakket med HK om resultatene.

I morgen

- ~~Pusse på program slik at det virker knirkefritt.~~
- ~~Fikse reset max/min → OK FE~~
- ~~Logge 20,0°C i Neslab~~
- ~~Teste at Neslab virker med seriekommunikasjon~~
- ~~Bytte om kanal 8 og (5?). Rele eller termistor i stykker? → OK MB loddet på nytt~~

16/5-03 J 0930-1500

Forbedret program. FE filter og MB andre ting i TermLog. FE også Neslab.

19/5-03 J 0900-1600

- ~~Logge 20,0 20,5 og 21,0°C i neslab → OK~~
- ~~Feste termistorer til passbit → ons/tors~~
- ~~Logg uten kabinett → OK~~
- ~~Logg med kabinett → OK~~

FE jobbet med neslab og fikk den til å funke uten feilmeldinger. Feilen var at serieporten ble initialisert hver gang en kommando ble sendt. Så laget jeg en Timer for å skru av og på neslab. MB fikset mange ting i TermistorLogg. Til slutt satte vi termistorer og kabinett inn i HK's kabinett og logger temperaturen over natten.

1540: start logging med intervall på 60s uten sirkulasjon

2300: start av neslab med ref 20,0°C

0500: neslab blir slått av.

20/5-03 J 1500-2100

Ønskede målinger:

- hvor stabil (over tid) temperaturen blir i et slikt kabinett
- hvor homogen (som funksjon av sted) temperaturfordelingen inne i kabinettet blir.

Matlab:

- Plott som viser forskjellen mellom kalibreringspunkter og SH-kurve (3pkt).
 - a) område 10-30°C
 - b) område 19,8-20,2°C
- Gå igjennom de gamle plottene med ny SH-kurve. Forskjell mellom rett linje, første/andre ordens kurver og ny SH-kurve?
- Plott over homogenitet i kabinett/ evt passbit
- Hvorfor avvik på ca 130mK? Er dette drift? Mekanisk påkjenning ved at limet har ekspandert og "stresset" termistorene? Sammenlikn 20,0°C fra alle kalibreringene og se etter avvik.

Jobbet med analyse av måleresultatet.

- Heve ref tempen i Nesbad med 0,1°C og så sjekke variasjonene (max-min).

21/5-03 J 0900-2200

HK så på sakene våres. Jobbet ferdig programvare. Logging av kabinett med lokk.

22/5-03 Hjemme

MB lagde bruksanvisning

25/5-03 Hjemme

MB jobbet med programforklaring

26/5-03 Hjemme

FE tolker avvik på 130 mK, forsøker å finne ut om usikkerhet.

MB gjorde ferdig programforklaring.

27/5-02 Hjemme

Jobbet med å ferdigstille rapporten, undersøke ferdig angående innbinding, vedlegg og utseende.

28/5-02