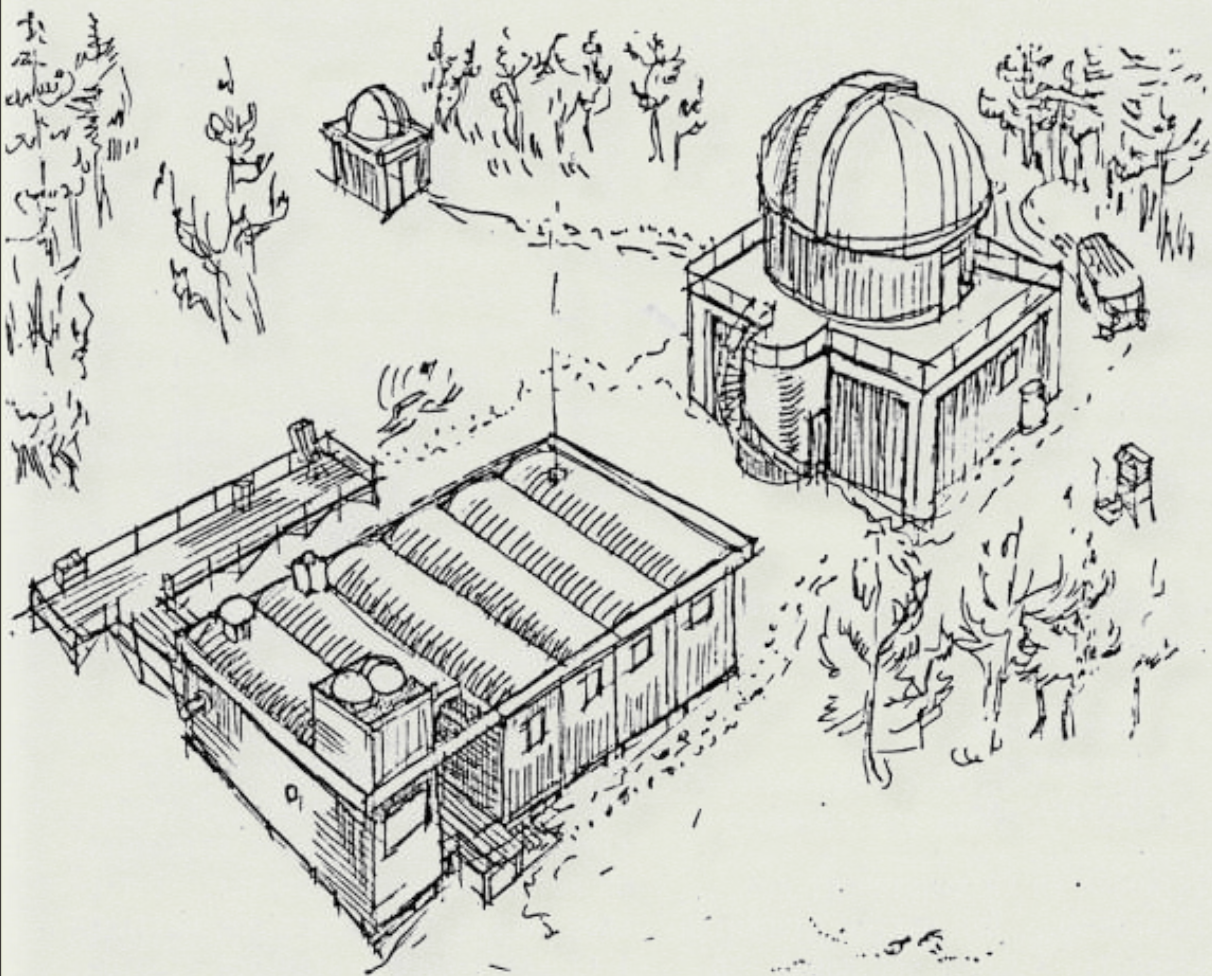


SKIBOTN ASTROFYSISKE OBSERVATORIUM



**Et forsøk på å innføre observasjonsastrofysikk i Norge 1971–2002
Og hvordan det gikk etterpå.**

Samlet og redigert av Jan-Erik Solheim
2019–2024

Versjon 1 – oktober 2024

Omslaget er tegnet av Ove Harang og viser observatoriet i 1982 da teleskop og Nordlysobservatorium var på plass og de to første hofedfagsoppgavene var gjennomført. Tillatelse til bruk av tegningen er gitt av Ove Harangs døtre. Den er forsiden på en brosjyre som er vist på side 78.

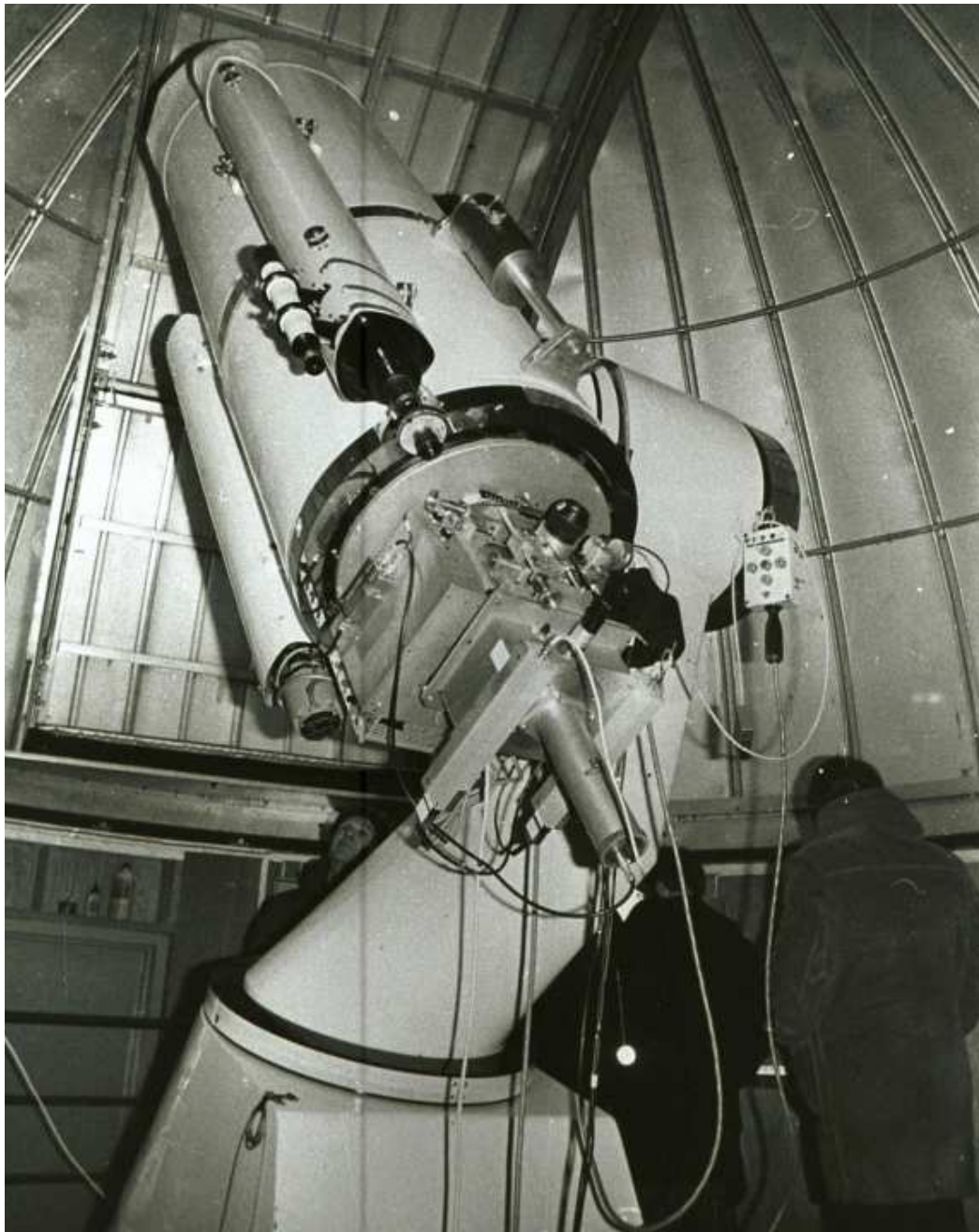
Dette heftet tilegnes Ove Harang som ble min nærmeste kollega ved Skibotn Observatorium. Han støttet prosjektet i alle faser og var en dyktig og entusiastisk observatør og instrumentdesigner.

Jan-Erik Solheim

*1362 Hosle
janesol@online.no*



Skibotn Astrofysiske Observatorium



Skibotn teleskopet.

Optisk design: 50 cm Cassegrain, $f/10$ Modified Ritchey-Cretien system.

Primærspeil: $f/5.9$ hyperboloid, ULE vitrous ceramics.

Sekundærspeil: samme brennvidde og type.

Mekanisk design: Assymetric split fork.

Styring: Et av verdens første komplett datastyrt teleskop.

I Cassegrain fokus er montert tokanals Texas-Tromsø fotometer med ekstremt følsomme forforsterkere (de lange, flate boksene nederst på fotometeret).

Forord

I 1971 ble en ung astrofysiker ansatt ved Universitetet i Tromsø. Han hadde studert ved Institutt for Teoretisk Astrofysikk ved Universitet i Oslo. Han hadde en drøm om å kunne observere stjerner og galakser, og etter avlagt embetseksamen og noen år som vitenskapelig assistent, fikk han et stipendiatopphold ved University of Texas i Austin 1966-67, hvor han hadde adgang til å McDonald Observatoriet i Davis Mountains i Vest Texas. Her lærte han å gjøre fotometri med Harold Johnson's opprinnelige fotometer som ble brukt til å definere UBV-systemet for observasjon og klassifikasjon av stjerner. Han ble også introdusert til krevende blender-fotometri av galakser av professor Gerard de Vaucouleurs. En meget streng og erfaren observatør. I denne sammenheng fikk han i oppgave å utvikle et fotometrisk smalbåndsystem som kunne brukes til å bestemme rødforskyvning for galakser uten markante kjerner. Dette prosjektet ble fullført ved hans andre forskningsopphold i Texas 1975-76.

McDonaldobservatoriet var kjent for sine store stjernespektrografer. Under oppholdet i Texas 1966-67 delte han kontor med Robert G. Tull, som var ansvarlig for den største spektrografen som skulle monteres i et nytt teleskop med diameter 107 tommer (2.7 m). Dette teleskopet skulle brukes til å skyte en laserstråle til månen og treffe en retroreflektor som ble plassert der som del av Apolloprogrammet. Konstruksjon av dette teleskopet startet i april 1966 og det var ferdig i oktober 1968. Det stod klart for månelandingen i juli 1969. Det var meget spennende når laserstrålen ble sendt mot månen første gang. En bjelle ringte over hele observatoriet hvis laserstrålen traff og noen fotoner kom tilbake. Ansvarlig for instrumenter til det nye teleskopet var Charles Jenkins. Han ble en verdifull rådgiver for bygging og instrumentering av observatoriet i Skibotn.

Mot alle odds ble det et astrofysisk observatorium i Skibotn, med et 50 cm profesjonelt teleskop. Her kunne vi lære oss observasjons- og instrumenteringsteknikker, og vi fikk være med en teknologisk reise fra avbildning på fotografiske plater til støysvak og følsom CCD-detektor. Kompetansen som ble opparbeidet med Skibotn teleskopet gjorde at Norge ble akseptert som fullverdig partner i det Nordiske Optiske Teleskopet, som resulterte i et 2.56 m teleskop av avansert design på et av de beste observasjonsstedene i verden: Roque de los Muchachos på La Palma, Kanariøyene.

Grunnlaget ble lagt for Observasjonsastrofysikk i Norge.

Jeg vil rette en takk til alle medhjelpere: vitenskapelig personale, studenter, teknikere og ingeniører, hjelpemannskaper under forprosjektet og driftspersonale på Skibotn Feltstasjon, samt kollegaer ved andre fagområder som gjorde Skibotn Feltstasjon til en tverrfaglig og spennende arbeidsplass. En særlig takk til dyktige og dedikerte studenter, som trosset dårlig vær og instrumenter som slo seg vrang, men lærte å løse problemer og bidra til utvikling av observatoriet og observasjonsastrofysikken i Norge.

Dette arbeidet ble påbegynt ved en samling på Skibotn Feltstasjon i januar 2019 i forbindelse med min 80-årsdag. Dessverre har det tatt mer enn 5 år å fullføre dette heftet. Jeg håper det kan gi et innblikk i en av de mange pionerprosjektene ved Universitetet i Tromsø.

Bærum, oktober 2024

Jan-Erik Solheim



80-års seminaret på Skibotn Feltstasjon 11 – 13 januar 2019.

Første rekke: Gunvor Solheim, Jan-Erik Solheim, Stefan Larsson og Anne Solheim.
Andre rekke: Liv Torill Kjeldsen, Inger Solheim, Ingvild Harang og Tanja Nymark.
Tredje rekke: Svein Sivertsen, Lennart Berger, Anne Bruvold, Knut Henriksen, Odd Fjordheim,
Torbjørn Bremnes, Stein Høydalsvik, Martin Bratfos, Birgitta Larsson, Steinar Thorvaldsen,
Roy Østensen, Magnar Gullikstad Johnsen og Ragnar Kalleberg. Foto: Øistein Hanssen

Observatorieområdet slik det så ut i august 2019



Dronebilde av Observatoriet med tilstøtende bygninger. Amøtrastronomene (TRAF) som nå står for den astronomiske observasjonsvirksomheten, holder til i brakkene til høyre for kuppelbygget med teleskopet. Rester av Ove Harangs Nordlysbobservatorium er til venstre. Observatoriebygget som ble flyttet fra Olderbakken er øverst i bildet. Det er nå utstyrt med to kupler og brukes av Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO) eller besøkende grupper. Siden 2019 er Nordlysbrakkene revet, og flere små instrumentbygg er satt opp mellom Observatoriet og TGO bygget (se side 168 og kap. 13). Foto: Pål Tengedal

Innholdsfortegnelse	side
1. Forprosjekt IR-Observatorium, Jan-Erik Solheim og Svein Sivertsen	1
2. Nordlys- og Astrofysikkgruppa i Tromsø og Skibotn: Jan-Erik Solheim og Ragnar B Kalleberg	15
3. Teleskop og observatoriebygg: Jan-Erik Solheim (red), Svein Sivertsen, Lennart Berger og Bjørn R. Pettersen	29
4. De første instrumenter: Ragnar B. Kalleberg, Lennart Berger og Jan-Erik Solheim (red).....	47
5. Stjerneokkultasjonar ved måneranda: Stein Høydalsvik	55
6. Fotometri av kontaktbinærstjerner: Karl Emil Egge	69
7. Infrarød og mikrobølge bakgrunnsstråling: Jan-Erik Solheim (red). Svein Sivertsen og Lennart Berger	79
8. Instrumenter og bygg i 1980-åra: Bjørn R. Pettersen, Ragnar Kalleberg, Lennart Berger og Jan-Erik Solheim (red)	87
9. Observasjoner i 1980-åra: Bjørn R. Pettersen, Knut Henriksen og Jan-Erik Solheim (red).....	99
10. Mange studenter og internasjonalisering: Jan-Erik Solheim (red), Edmund Meistas og Tommy Thomassen (nå Voie)	115
11. Ny måleteknikk og avslutning. Jan-Erik Solheim	137
12. Tromsø astronomiforening overtar: Steinar Thorvaldsen.....	159
13. Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO) og framtiden: Magnar Gullikstad Johnsen.....	169
15. Lenker.....	177
15. Hovedfagsoppgaver og doktorgradsavhandlinger ved Astrofysikkgruppa.....	178
16. Personer i Astrofysikkgruppa og forprosjektet	180

1. Forprosjekt IR-Observatorium

Jan-Erik Solheim og Svein Sivertsen

Kulde og mørketid synes å kunne gi gode observasjonsforhold for lange måleserier og observasjoner i den infrarøde del av spektret. Med tørr og kald luft er det lite vanndamp som kan stoppe IR-stråling fra verdensrommet. Men hva med skyer? Og hva med ising og ankomst til mulige fjelltoppobservatorier. Dette kunne vi ikke finne ut ved skrivebordet eller ved å snakke lokale meteorologer. Målestasjonene var i dalene eller ved kysten der folk bodde eller trengte værmeldinger for sin virksomhet. Vi måtte prøve å finne ut selv. Det ble et treårig feltprosjekt – hvor vi lærte mye om astroklima i indre Troms.

1.1 Innledning

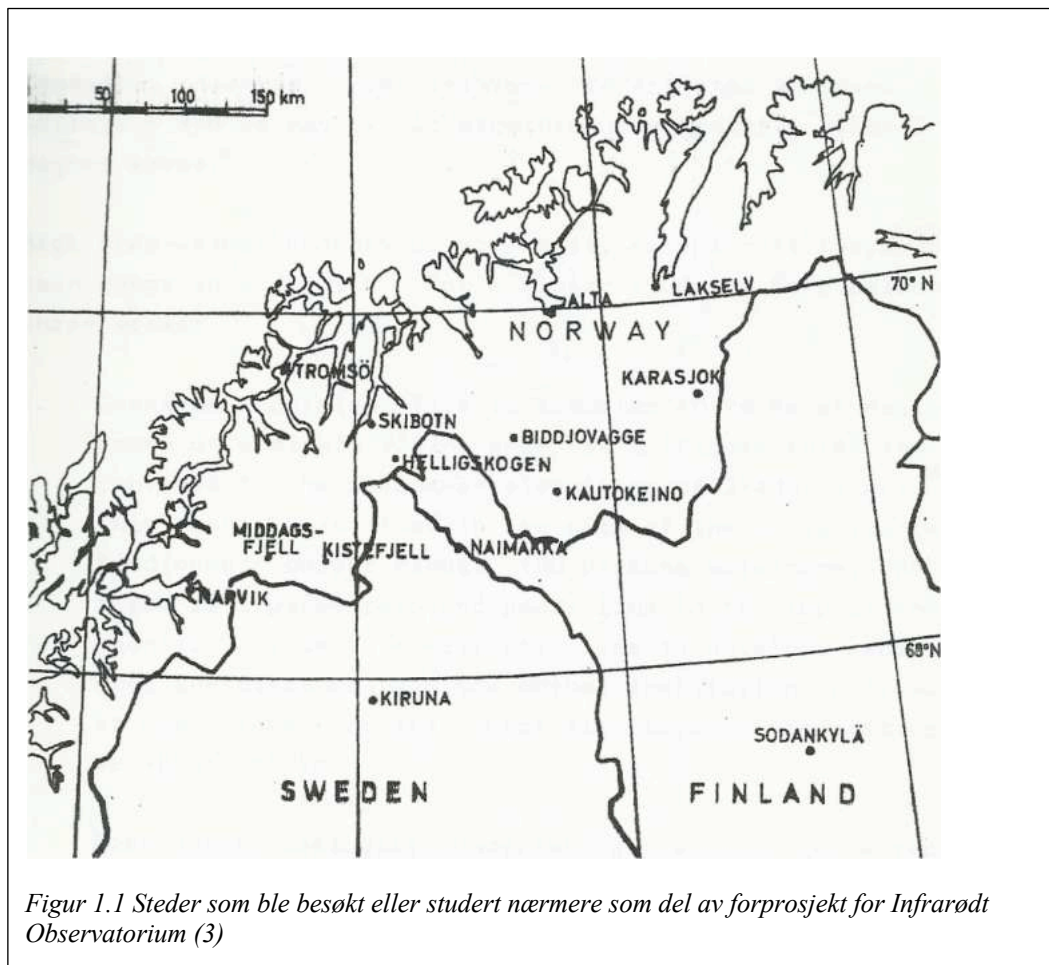
Universitetet i Tromsø ble grunnlagt ved stortingsvedtak i 28.mars 1968. Virksomheten i fysikk skulle bygge på Nordlysobservatoriets forskning på nordlys og den øvre atmosfæres fysikk. Sammenhengen mellom sola og nordlyset var etablert ved Kristian Birkelands eksperimenter og magnetiske målinger, og studiet av ionosfæren hadde en sentral plass.

I 1970/71 startet utbyggingen av fysikk fra alvor, og det ble besluttet å utrede mulighetene for virksomhet i astrofysikk, med utgangspunkt i hvilke spesielle muligheter landsdelen kunne tilby som supplement til virksomheten i Oslo, som var det eneste stedet i Norge med vitenskapelig astrofysikkundervisning med hovedvekt på teoretisk astrofysikk (1). Det var naturlig i Tromsø å satse på observasjonsvirksomhet: avbildning, fotometri og spektroskopi, hvor det allerede fantes stor kompetanse ved Nordlysobservatoriet. Og ikke minst et stort elektronikk-laboratorium med topp kompetanse i instrumentutvikling og et mekanisk verksted med den beste finmekaniske kompetanse i Nord Norge.

Det astronomiske observatoriet i Oslo ble nedlagt i 1924. Isteden ble det bygget et solobservatorium på Harestua, ca. 35 km nord for Oslo. Der ble det også installert en liten kikkert, den såkalte «Bullkikkerten» med speildiameter 30 cm og brennvidde på 450 cm. Dette var da den eneste muligheten for stjerneobservasjoner ved et Universitetsinstitutt i Norge. Et naturlig supplement til Solobservatoriet på Harestua ville derfor være et stjernet teleskop i nærheten av Tromsø. En spesiell fordel i Nord Norge er at ved observasjoner i mørketiden er det mulig å få ekstra lange observasjonsserier fra samme stjerne, noe som er viktig for mange variable stjerner. Men den grunnleggende betingelsen for et observatorium som arbeider med synlig lys, er at det er lange nok perioder med klarvær. Det er ikke tilfelle i kystnære strøk i Nord Norge. Vi måtte finne et sted inne i landet – skjermet fra skyer fra havet. Det burde ligge så høyt at det kommer over lave skyer som ofte oppstår på kalde dager uten vind. Ut fra kartstudier og reise i landsdelen identifiserte vi mulige steder for observasjoner (se figur 1). Det fantes ikke værobservasjoner på noen fjelltopper i Nord Norge, så vi besluttet å sette opp egne målestasjoner på utvalgte steder. Disse er beskrevet i neste avsnitt.

En annen egenskap ved klimaet i Indre Troms og Finnmark er lave temperaturer om vinteren i innlandet. Det betyr at vi har en tørr atmosfære som muliggjør observasjoner i den infrarøde delen av spektret. I begynnelsen av 1970-årene var dette et nytt forskningsområde. Man så behovet for observasjoner i IR fra verdensrommet, men det skulle ta mer enn 50 år før et IR-spesialisert romteleskop ble skutt opp 25. desember 2021. I mellomtiden var det viktig å undersøke muligheter og begrensninger for IR-observasjoner fra bakken. Grupper som utførte astronomiske observasjoner i Norden og andre deler av Europa ble kontaktet, og vi deltok både i feltarbeid og mottok utenlandske grupper som utførte observasjoner sammen med oss. Vi inngikk en avtale med en forskningsgruppe i Firenze som studerte atmosfærisk støy og bakgrunnsstråling fra atmosfæren for å finne ut om betingelsene for å observere astronomiske objekter i infrarødt. Det førte til et stipendiatopphold for Svein Sivertsen i Firenze i første halvdel av 1973 og flere besøk av italienske grupper i Tromsø med eget observasjonsutstyr. I 1964 ble

den kosmiske mikrobølge bakgrunnstrålingen (CMB) oppdaget ved en tilfeldighet, og vi prøvde også om det var mulig å observere denne fra stasjoner i Indre Troms. Dette er beskrevet i kapittel 7 av denne observatoriehistorien.



I motsetning til synlig lys fra stjerner som ikke kan observeres i dagslys, er det mulig å observere infrarøde kilder også om dagen. Den største hindringen for deteksjon av infrarød stråling er vanndamp i luften. Vi konstruerte derfor et instrument for å måle vanndamp i luft (2). Dette er presentert i Vedlegg 2.

1.2 Klarværstatistikk

Det ble samlet inn data fra værstasjoner i Troms og Finnmark, samt Naimakka og Kattuvuoma på svensk side av grensen (3). For vintersesongene 1931-60 fra september til april, fant vi at det var klart eller delvis klart 20% av tiden i Tromsø, mens det var 40% i Skibotn og noe i mellom på de andre stedene vi undersøkte, f.eks. Alta 35%, Bardufoss 33% og Kautokeino 24%. Vi undersøkte også lengden av klarværsperioder og fant at det var en klar overvekt av lange klarværsperioder i Skibotn (figur 2). Denne figuren referer til dagobservasjoner.

Det ble også undersøkt klarvær om natten eller tidlig morgen gjennom Skibotn og stasjoner ved riksgrensen i Troms og Finnmark. Skibotn viste 30-35% klarvær mens de andre stasjonene betydelig lavere. En analyse av klarværsdagens fordeling gjennom observasjonsperioden gjengitt i figur 2 (3), viser at klarværsfrekvensen i Skibotn øker fra ca. 10% i september til ca. 40% i desember, og deretter minker til 20% i slutten av februar, for å gå opp til 25% i mars-april. Igjen vesentlig bedre enn Dividalen og Karasjok som viste under 10% klarvær frem til begynnelsen av mars.

Klarværsfrekvensen er bekreftet i nyere tid ved målinger utført av forskere fra Universidad Complutense i Madrid fra 2017. De fant for året 2021 dagklarvær 31% og nattklarvær 53% for Skibotn, mens Tromsø hadde 27% dagklarvær og 34% nattklarvær (se figur 13.6)

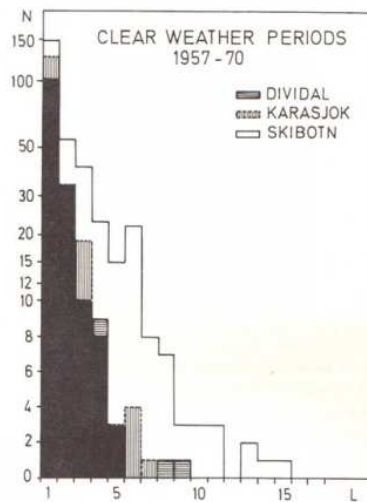
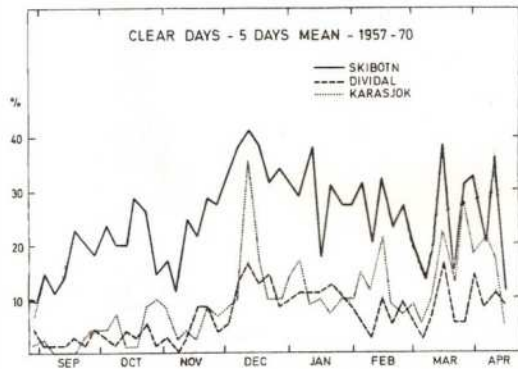
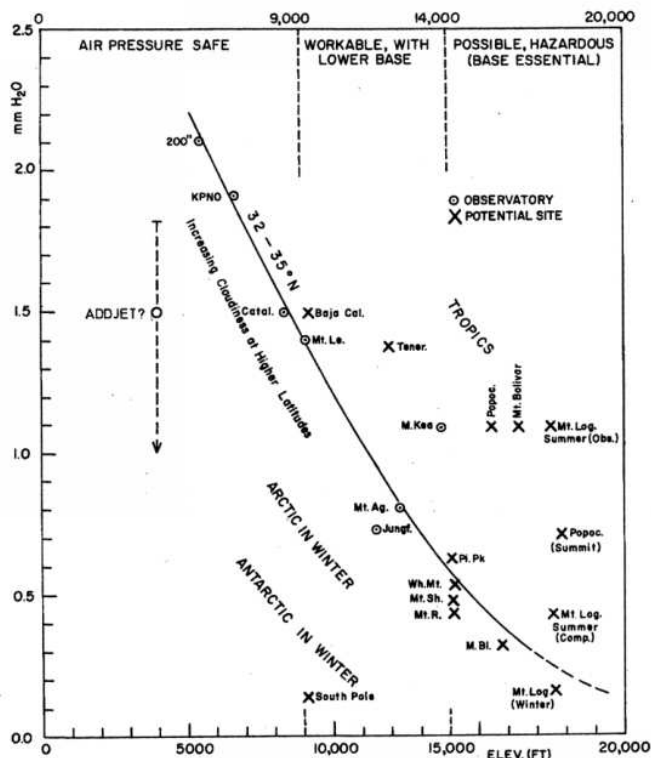


Figure 4.3 Clear days - 5 days mean for the winter periods 1957 to 1970 for 3 meteorological stations.

Figur 1.2. Klarværstatistikk september-april for 3 meteorologiske stasjoner til venstre og antall klarværsperioder av en viss lengde for de samme stasjoner til høyre.

1.3 Vanndamp

Vanndampmengden i atmosfæren er foruten klarvær, den viktigste lokaliseringsfaktoren for et infrarødt observatorium. Vanndampmengden oppgis som den totale vanndampmengde i mm vi ville få hvis all vanndamp i luften kondenseres til vann.



Figur 1.3. Oversikt over beregnet vanndampmengde (kvartil) for eksisterende (o) og planlagte (x) IR-observatorier (4)

Et sted for IR-målinger bør ha mindre enn 2 mm vanndamp, i alle fall enkelte dager i året. En undersøkelse av Kuiper (4) viser beregnet eller observert vanndampmengde for eksisterende og planlagte IR-observatorier. Den er vist i figur 3, hvor også vårt valgte sted Addjet (1240 m.o.h.) er tegnet inn med stor usikkerhet. Denne figuren viser laveste vanndampmengde 25% av tiden for de 2/3 av årets tørreste måneder. Vi ser at observatoriene ligger i klarværsbeltet 32-35° N. Lavest vanndampmengde er beregnet for Mt. Jungfrauoch (3468 m.o.h) i Alpene med et kvartil på 0.7 mm og Sydpolen med en kvartil på 0.1 mm.

Fra Vervarslinga i Nord Norge fikk vi data fra to daglige værballog slipp i Sodankylä, Finland og beregnet et vanndampkvartil på 1.3 mm for perioden 22.1-10.3 1972 og 2.3 mm for perioden 1.9.72 – 30.4.1973 for høyde



Figur 1.4. Vanndampmeter konstruert ved Sintef.

over 1400 m (5). Siden det ikke fantes vanndampmålinger i atmosfæren i Indre Troms og heller ikke informasjon om klarvær på fjelltopper besluttet vi å undersøke dette ved egne stasjoner. Til dett fikk vi en bevilgning fra Interimstyret ved Universitetet i Tromsø. For disse midlene konstruerte vi også et vanndampmeter (2) som vi fikk laget ved Sintef i Trondheim (Figur 1.4). Dette er beskrevet i vedlegg 2. Ulempen med dette instrumentet var at det brukte solen som lyskilde og at vi derfor ikke fikk observasjoner i mørketiden.

raskere ved opp stigning langs fjellsiden i Skibotn enn ved oppstigning lenger inn i landet til samme høyde ved

grensen. Vi fant det sannsynlig at vanndampmengden over en fjelltopp på 12-1400 m høyde vil være lavere enn en tilsvarende topp ved Helligskogen og enda lavere enn over Sodankylä i Finland.

1.4 Feltstasjoner i Indre Troms

Etter et kartstudium for å finne mulige fjelltopper som kunne tenkes å ligge over det atmosfæriske inversjonslaget, planla vi å opprette målestasjoner på noen av disse for å undersøke forekomsten av klarvær, ising, og logistikk i tillegg til vanndampmålinger. Sommeren 1971 ble Svein Sivertsen ansatt som vitenskapelig assistent. Han var med på de fleste turene til våre etter hvert fem feltstasjoner.

Vi konkluderte med at vanndampmengden reduseres

Mars 1972	Sodankylä	kvartil, bakken :	3.2 mm
"	"	" 900 m :	2.8 mm
Mars 1973	Skibotn	middel av 7 obs.:	4.5 mm
"	"	550 m, 1 obs. :	2.1 mm
"	Grensen	middel av 3 obs.:	1.4 mm
"	Skibotn (1150 m)	1 obs. :	0.65 mm
"	" (1350 m)	1 obs. :	<0.5 mm
April 1972	Sodankylä	kvartil, bakken :	5.5 mm
"	"	" 900 m :	4.1 mm
April 1973	Skibotn	kvartil :	3.8 mm
"	" (550 m)	middel av 5 obs.:	2.2 mm
"	Helligskogen (340 m)	middel av 6 obs.:	3.5 mm
"	Grensen (550 m)	middel av 6 obs.:	2.7 mm

Figur 1.5. Noen vanndampobservasjoner ved Skibotn og Helligskogen sammenlignet med ballongmålinger over Sodankylä (5).

Vi førte logg fra turene våre. De er nå transkribert av Svein Sivertsen og tilgjengelig på nett (6).

1.4.1. Kistefjell



Figur 1.6. Kistefjell i Indre Troms: Lett, men lang adkomst fra Vuomahytta. Første besøk i mars 1971. Foto Odd Fjordheim

Kistefjell (1633m.o.h) som ligger ved den indre enden av Altevann i Bardu, ble valgt som første kandidat til sted for et observatorium. Første besøk fant sted allerede i.mars 1971 av Jan-Erik Solheim og hovedfagstudentene Sturla Pedersen og Odd Fjordheim. Vi nådde toppen etter en grei oppstigning fra Vuomahytta den 21. mars, og fant det var et brukbart område for en stasjon



Figur. 1.7. Jan-Erik Solheim og Sturla Pedersen på vei innover Altevann for å sette opp bolter til meteorologibur på Kistefjell. Foto: Odd Fjordheim.

Sommeren 1971 leide vi båt og dro innover Altevann med sement og sand. På toppen støpte vi ned bolter for et meteorologisk observasjonsbur som vi fikk låne fra Vervarslinga i Nord Norge. Etter flere avbrutte forsøk ble observasjonsburet fløyet inn av 339 skvadronen på Bardufoss som fløy regelmessig forbi til sin stasjon Maissa litt nærmere grensen til Sverige. Først i oktober var det brukbare forhold for landing på toppen en kort periode. I det meteorologiske buret ble det montert en termohydrograf som kunne gå i flere uker med batteri. Men det viste seg at den fort iset ned og ikke ga fornuftige målinger. Observasjonsburet ble demontert i august 1972 og hentet ned i juni 1973.



Figur 1.8 Kraftig ising gjorde at vi ikke fikk fornuftige temperaturdata fra Kistefjell – her ser vi Svein Sivertsen hogge ut temperaturskriveren fra meteorologiburet. Foto: Odd Fjordheim

1.4.2 Middagsfjell

Vi fikk bygget en helikopterhytte, dvs. ei hytte i tre deler som kunne fraktes med helikopter. Den skulle etter planen settes opp på Kistefjelli fraktet den inn til Altevann og hadde den klart til helikoptertransport den 15. oktober 1971. Men etter de mange forsøk med avbrutte flyvninger til Kistefjell på grunn av skyer rundt toppen, tok vi en rask avgjørelse at vi måtte finne et lettere tilgjengelig sted for helikopterhytta - et sted vi kunne nå raskt fra veien til Altevann.



Figur 1.9. Hytta på Middagsfjell med kamerahus

Vi fant i løpet av dagen en ny plass for hytta på Middagsfjell (1250 m.o.h), 6 km sørvest for demningen ved Altevann. Det var en brukbar plass på toppen og vi fikk hytta fraktet opp med helikopter to dager senere. På hytta monterte vi en spesiallaget kasse med glasskuppel og kamera inne i for å ta bilder av himmelen for bestemmelse av klarvær. Vi

monterte en gassovn som skulle gi jevn varme i hytta. Varmen ble ledet opp i fotoboksen gjennom et rør. På denne måten skulle vi unngå ising. En klokke sørget for at kameraet tok et bilde hver time.

Til å føre tilsyn med hytta og skifte film i kamera engasjerte vi Per Hanstad fra Bardu. Stasjonen ble nedlagt i juni 1973 og hytta ble så fraktet til Skibotn og satt opp på Favresvarre. Vår konklusjon var at Skibotn området ga mer klarvær og var lettere tilgjengelig. I alt gjorde vi 35 turer til Kistefjell og Middagsfjell 1971-73.

1.4.3 Gardebårvarre



Figur 1.10. Veivesenets stasjon ved Helligskogen med Gardebårvarri i bakgrunnen

Dette er en lav fjellrygg rett bak Veivesenets stasjon ved Helligskogen i nærheten av den gamle tollstasjonen. I Veivesenets store gule brakke fikk vi låne et rom til utstyr og overnatting. Stasjonen ble opprettet høsten 1971 og bestod av en hvilehytte utlånt av Forsvarets Forskings-institutt (FFI) samt utstyr for måling av trykk, temperatur, fuktighet og vind. Vi fikk et tilbud fra et sivilt helikopterselskap på minimum 1500 kr for frakt av hvilehytta opp til toppen. Da sa vår mekaniker ToreNergård at

hundeklubben kunne gjøre det for 1000 kr. Slik ble det. Tore lagde en slede til hytta og etter toforsøk av hundeklubben var den på plass.

Vi engasjerte Margit Pedersen som bodde på den gamle tollstasjonen, til å gjennomføre regelmessige besøk for å skifte papir på skriver som registrerte temperatur, vind og fuktighet. I tillegg foretok hun daglige skyobservasjoner.

Vi utførte også seeing-observasjoner, først med et Questar-teleskop, senere med 21cm teleskopet montert på en søyle. Vi målte også variasjon av temperatur med høyden langs en mast satt opp for vindmåling, for å bestemme eventuelle konveksjonsstrømmer fra bakken. Vi fant ut at lufttemperaturen var ganske stabil når det var is og snø på bakken. Vi driftet stasjonen til sommeren 1973. Deretter finansierte Institutt for Biologi stasjonen som klimastasjon til sommeren 1974.

I tillegg til turbulensmålinger ved bakken gjorde vi to serier med temperaturmålinger fra fly i variabel høyde. Disse viste en sirkulasjon av fuktig luft fra Lyngenfjorden, som ikke er frosset om vinteren, til en høyde av 5-600 m over bakken fra dalmunningen og ca. 6 km innover dalen. I det nedre luftlaget var det områder med mye turbulens og tendens til inversjonsskikt nede ved bakken. Disse målingene ble gjort i samarbeid med meteorolog Reinhard Mook ved Universitetet i Tromsø

1.4.4 Addjet



Figur 1.11. Addjet sett fra Skibotndalen. Bildet er tatt i 2017 og viser ferske rasområder. Foto: Jan-Erik Solheim

Skibotndalen går mot sørøst fra tettstedet Skibotn med høye og bratte fjell på begge sider. Fjellet på østsiden heter Addjet og har en skarp rygg med en topp på 1405 m.o.h. Fjellet er ganske dårlig, og det går årlige ras i fjellsiden. En geolog fant at under det store rasområdet på vestsiden av fjellryggen, ligger det en isbre (steinbre). Det er svært vanskelig å lage vei opp til toppen, men en taubane fra dalen ville fungere fint. Det går an å nå toppen både fra dalsiden (bratt) rett fram i bildet, og fra baksiden opp fra Skibotn tettsted.



Figur 1.12: Hvilehytte og meteorologisk observasjonsbur fløyet opp på Addjets høyeste topp medhelikopter i oktober 1972, Begge ble festet med stålwire til bakken som bestod av løse steinblokker.

Vi opprettet en målestasjon på Addjet i oktober 1972. Den bestod av en hvilehytte lånt fra FFI og et meteorologisk observasjonsbur. I løpet av vinteren ble det forsøkt målt vind, temperatur og fuktighet ved hjelp av mekaniske måle-instrumenter.

Vindmåleren iste ned og brakk. Temperaturmåleren fungerte ikke da det meteorologiske observasjonsburet ble fylt med snø. Den ble i stedet satt inn i hvilehytta. Neste vinter forsvant hvilehytta i en 4 meter dyp snøfonn, så vi flyttet utstyret over til Favresvarre, et litt lavere fjell på baksiden av Addjet.



Figur 1.13. Nedsnødd hvilehytte og observasjonsbur på Addjet. Svein Sivertsen står på taket av hvilehytta.

1.4.5 Favresvarre

Denne stasjonen ble opprettet i august 1973 etter befaringer for å finne et lettere tilgjengelig sted enn Adjet. Favresvarre er toppen av et lett skrående fjellparti øst for Addjet. Det er relativt lett adkomst fra Skibotn, langs Skibotnelva som renner ned til Skibotn fra dalsøkket øst for Addjet. En følger Addjet-dalen oppover og går opp på selve fjellryggen øverst i dalen.

Helikopterhytta som stod på Middagsfjell ble fløyet opp til Favresvarre ved hjelp av helikopter. Siden det var sterk turbulens langs de bratte sidene av Addjet, måtte en av lastene slippes, så en del av hytta ble fullstendig knust i steinura. En ny del ble i all hast bygget på Nordlysobservatoriets verksted og fløyet opp et par dager senere. I tillegg ble det fløyet opp en liten uisolert hytte som ble brukt som uthus.

På stasjonen ble utstyret fra Middagsfjell montert, i tillegg til en klimamast med vindmåler og fuktighetsmåler. Det ble også satt opp en mast med vindgenerator for å lade batterier for å gi strøm til instrumenter og varme i foto-boksen. Men også her var det ising som gjorde at vindgeneratormasten brakk og de andre instrumentene stoppet. En ingeniør som hjalp oss med instrumenteringen kom med et navneskilt til stedet: «Mt. Fiasco».



Figur 1.14. Glimt fra Favresstasjonen. Øverst til venstre: nattstemning. Til høyre instrumentmast og vindgenerator. Neders til venstret: Ising og brukket mast. Til høyre: Morgen med is – kun døra er isfri.

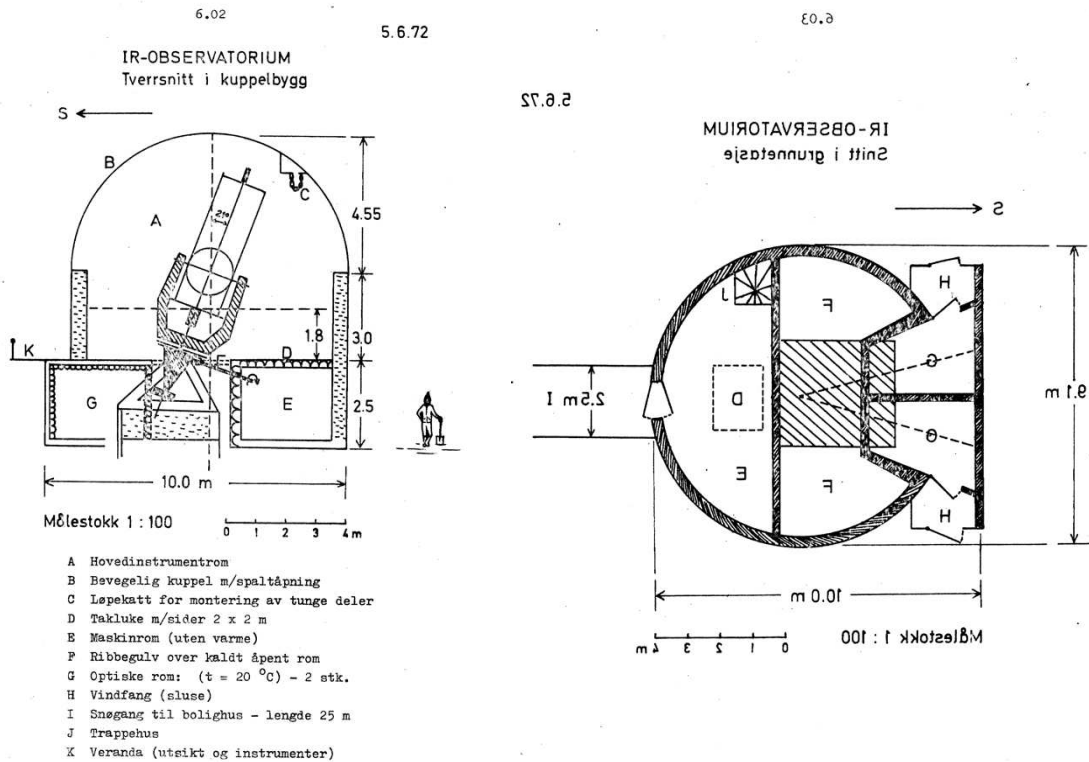
Det ble konstruert et system med elektriske klimasensorer og telemetri ned til stasjonen på Olderbakken. Det skulle settes i drift sommeren 1974, men da var det vedtatt at det ikke ble midler til et fjellobservatorium og stasjonen på Favresvarre ble nedlagt. Utstyret ble fraktet ned med helikopter sommeren 1975.

1.4.6 Konklusjon vedrørende fjellstasjonene

Vi lærte fort at det var svært vanskelig å samle data fra fjellstasjoner i Troms om vinteren. Hovedproblemet var nedising av instrumenter som følge av sterk vind med fukt fra havet. Vi fikk være med Televerket på befaring på noen av deres stasjoner (Arnøya og Joppolbakken) og så hvordan de konstruerte tårn for antenner for overføring av mikrobølgesignaler for kommunikasjon og TV. Vi fant at med vind fra øst og sør-øst kunne vi ha perioder med lav vanddampmengde. Vi fikk ikke god statistikk på klarvær, men opplevde noen ganger klart og fint observasjonsvær.

Men vi fikk nok data til at vi tok sjansen på å foreslå et infrarødt observatorium i Nord-Norge.

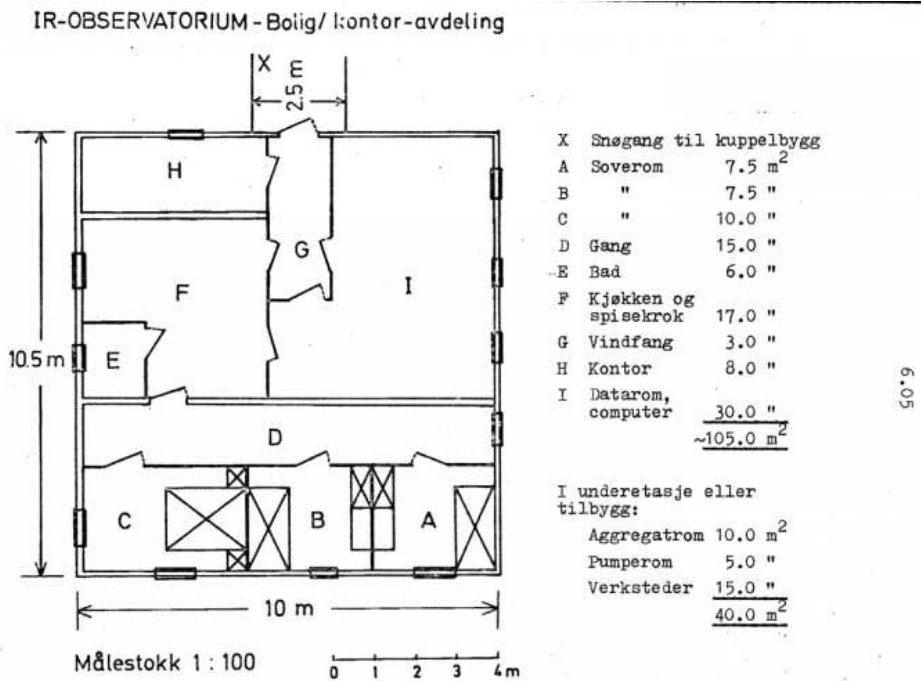
1.5. Infrarødt observatorium med 1.5 m teleskop



Figur 6.1 Prinsippsskisse for teleskopbygg.

Figur 6.2 Prinsippsskisse for teleskopbygg. Bokstaver som på figur 6.1.

Figur 1.15. Prinsippsskisser for teleskop med instrumentrom under observasjonsbygget (CMI 1972)



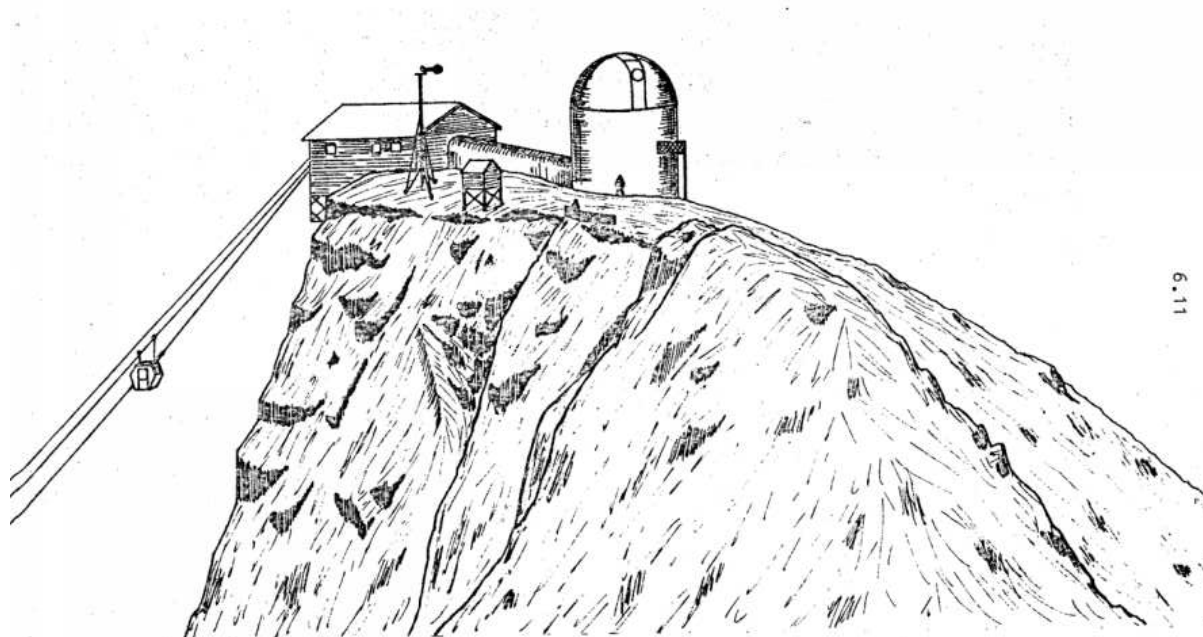
Figur 1.16. Grunnplan for hus til opphold og styring /datasentral (CMI)

Samtidig med etablering og drift av våre 5 feltstasjoner samlet vi informasjon om eksisterende og planlagte IR-teleskoper i Europa. Solheim tok kontakt med nordiske observatorier som hadde IR-observasjoner på programmet (Stockholm, Helsinki og København) og deltok på et møte i ESO-komiteen for IR observasjoner i Paris. Der kom han blant annet i kontakt med professor John Ring, som hadde konstruert et IR-teleskop som ble satt opp på observatoriet på Tenerife i 1972.

Vi kontaktet også Christian Michelsen Institutt (CMI) i Bergen for et prosjektstudium av et 1.5 m teleskop på toppen av Addjet. Deres forslag er vist i figur 1.15. Vi diskuterte også om det skulle være mulig å også ha et Coudefokus for høyoppløsnings spektroskopi, og chopping-sekundærspeil for å redusere støy fra himmelbakgrunn. Begge deler ble frarådet av professor Ring.

I teleskopbygget bør det ikke være noe som utvikler varme. Det ble derfor foreslått et separat hus for opphold, styring og kontroll av teleskopet (figur 1.16). Dette skulle forbindes med teleskophuset med en tunell. Det var planlagt soveplass for seks personer. Etter vår oppfatning var datarommet for lite med tanke på at observatoriet også kunne være et sted for nordlysobservasjoner.

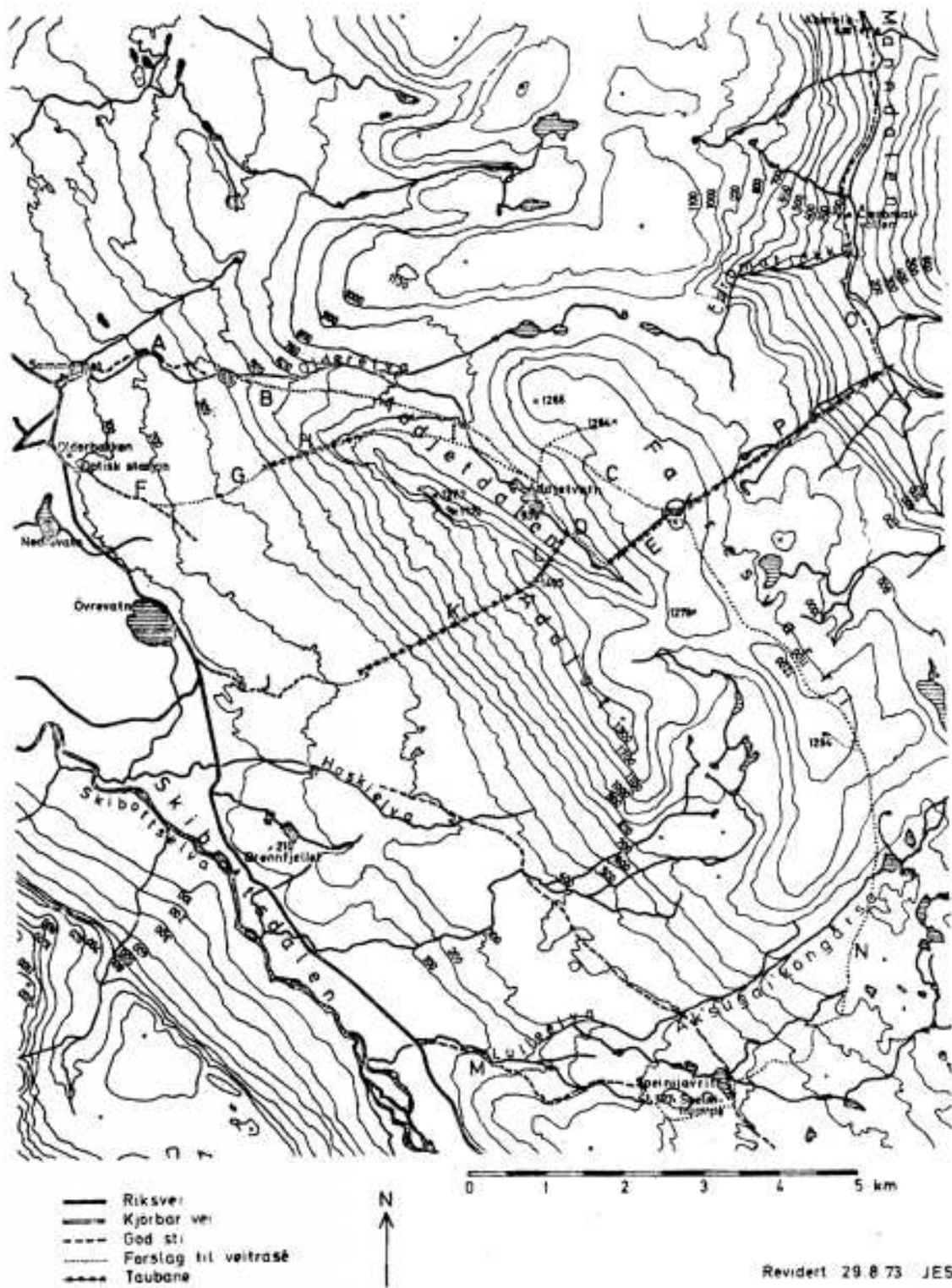
Vi foreslo ankomst til observatoriet med taubane fra vestsiden av Addjet. Traseen for taubane ble prosjektert av Hordaland mek. Verksted. En taubane kunne vi overta etter kraftutbygging i nabokommunen Kåfjord. Vi fikk også utarbeidet prospekt for vei til Favresvarre av siv. Ing. Jørgen Lysholm, dersom Addjet plasseringen ikke ble valgt. I vårt endelige forslag kombinerte vi hus for heis med driftsbygningen som vist nedenfor:



Figur 6.6 Forslag til et første byggetrinn på Addjet.

Figur 1.17. Skisseforslag til IR-observatorium på Addjet. (skisse av Liv Larsen)

Forslaget om IR-observatorium ble beskrevet sammen med en rekke uttalelser og oversendt Institutt for matematiske realfag for behandling i begynnelsen av 1974 (5). Hensikten var å fremskaffe midler til ytterligere prosjektering sommeren 1974 for detaljplanlegging og evt. byggevirkosomhet fra 1976 og ferdigstillelse i 1978.



Figur 1.18. Adkomstmuligheter til Addjet(1435) og Favresvarre (1303) med forslag til taubane- og veitraseer.

1.6 Konklusjon

Etter konkurranse med et annet kapitalkrevende prosjekt (EISCAT) ble teleskopprosjektet redusert til et undervisnings- og kompetanseutviklingsprosjekt som skulle lokaliseres på en feltstasjon felles med

andre institutter med lett adkomst i Skibotndalen. Det ble vedtatt å anskaffe et optisk teleskop med 50 cm speildiameter med observasjonsbygg på en kolle med veiforbindelse til hovedveien gjennom Skibotndalen i nærheten av Øvrevann. Bygging og drift av dette observatoriet er beskrevet i følgende kapitler.

Erfaringer med hensyn til astroklima og krav til observasjonssted viste seg meget nyttig ved senere planlegging og bygging av det Nordiske Optiske Teleskopet på La Palma (Kanariøyene) og i forbindelse med plassering av det internasjonale forskningprosjektet EISCAT 3D som ble plassert i Skibotndalen (se kapittel 13).

En takk til alle hjelpere med forprosjektet. Uten deres fantastiske hjelp og støtte hadde vi ikke fått til dette prosjektet:

Turdeltakere: Sturla Pedersen, Odd Fjordheim, Martin Bratfos, Tore Nergaard, Gunnar Kvifte, Øyvind Worum, Odd Gropen, Andreas Fredlund, Reidar Persen, Ove Harang, Gunvor Solheim, Helge Pettersen, Arvid Øvergård, Reinhard Mook, Anti Overelv, Karl Egil Aubert, Ben Johnsen, Leif Patterson, Karstein Sandvik, Ove Bratteng, Inger Marie Østby, Ingvild Broch, Fred Klokkervoll, Eva Paaske, Trond Brattli, Ragnar Kalleberg, Hans Kristian Myrabø og Roy Johansen.

Lokale hjelpere: Per L. Hanstad, Anti Overelv, Margit Pedersen

Teknisk, faglig og administrativ støtte: Ove Harang, Reinhardt Mook, Karl Dag Vorren, Tore Nergaard, Øyvind Worum, Andreas Fredlund, Reidar Persen, Dagfinn Leiulfsrud, Reidar Larsen, Steinar Berger, Arvid Øvergård, Karstein Sandvik, Fred Klokkervoll og noen fler.

Og mange andre eksterne hjelpere: 339-skvadronen på Bardufoss, Helilift, Kjøpmann Rasmus Georgsen i Skibotn, Televerket, Vervarslinga i Nord Norge, Christian Michelsens Institutt, SINTEF, Trondheim m.fl.

Referanser

1. *Utbygging av fagene matematikk, fysikk, kjemi og databehandling ved Universitetet i Tromsø*, innstilling og vedtak av interimsstyret for matematiske realfag, mars 1971¹.
2. Svein Sivertsen og Jan-Erik Solheim 1975 *A field instrument for water vapour measurements*, *Infrared Physics* 1975, vol. 15, pp. 79-182
3. Jan-Erik Solheim 1972, *Conditions for Infrared Astronomy in North-Norway I. General Study*, Report from Auroral Observatory, Feb. 23.
4. G Kuiper 1971, *High Altitudes Sites and IR-Astronomy II*, *Communications of the Lunar and Planetary laboratory*, no. 156.
5. Jan-Erik Solheim 1974, *Forslag om Infrarødt astrofysisk observatorium i Nord-Norge, The Auroral Observatory*, Rapport 02-74.

¹ Pkt 2.2.1 Fysikk: " Det kan være grunnlag for på lengre sikt, å utvide virksomheten til å omfatte deler av astrofysikken..." og Pkt 3.2.1 Undervisning: «... En vil også i noen grad ta opp laboratorievirksomheten innen plasmafysikk og spektroskopi, og en vil legge vekt på å utnytte den øvre atmosfære som et laboratorium for disse disipliner. Astrofysikk drives i Norge i dag bare ved Universitetet i Oslo. Det kan være ønskelig å spre denne virksomheten noe, og dette kan på lengre sikt være en naturlig ekspansjonsretning for fysikkmiljøet i Tromsø.»

6. Nettadresse for logger fra feltstasjonsturene:
https://drive.google.com/drive/folders/1OicJwjyxc-XThKbcQTrN_T_L9ZN7Emnq
7. Svein Sivertsen og Jan-Erik Solheim 1975, *Atmospheric water vapour measurements in Norway from 1972 to 1974*, *Infrared Physics*, 15, 83-85.
8. Jan-Erik Solheim 1972, *Et infrarødt observatorium i Norden*, *Astronomisk Tidsskrift*, Årg 5, nr 3, s101-106.

Vedlegg: Vanndampmeteret Svein Sivertsen

I forbindelse med valg av sted for infrarødt teleskop ved UIT, fikk astronomigruppen bevilget penger til bygging av et lite instrument for måling av vanndampinnholdet i atmosfæren.

Mengden av vanndamp i atmosfæren her helt avgjørende for observasjonsforholdene i det infrarøde bølgelengdeområdet. Jo mindre vanndamp, desto mer stråling kommer gjennom atmosfæren, og da kan flere objekter på himmelen observeres.

Målemetoden som ble benyttet bygger på det faktum at vanndampmengden i atmosfæren påvirker strålingen i ulike bølgelengdeområder forskjellig.

Hvis vi kunne finne et bølgelengdeområde som nesten ikke blir påvirket av vanndampmengden og et annet som påvirkes mye, så ville det være mulig å bestemme atmosfærens relative vanndampinnhold. Dette kunne da gjøres ved å måle strålingen fra sola samtidig i disse to områdene. For videre å kunne finne den absolutte mengden av vanndamp, måtte instrumentet kalibreres mot kjente absoluttverdier.

I det nære infrarøde (IR) bølgeområdet ble 1.65 μm og 1.91 μm valgt. Stråling påvirkes nesten ikke i 1.65 μm området, mens den påvirkes ganske mye i 1.91 μm området.

Instrumentet skulle måle samtidig i de to bølgeområdene ved at en chopper roterte slik at strålingen fra sola vekselvis gikk gjennom den ene kanalen og så den andre. Strålingen gjennom 1.65 μm kanalen, som ikke ble påvirket av vanndampen, skulle under målingene gradvis justeres ved hjelp av et filter til den ble lik strålingen fra 1.91 μm kanalen. Filterets justering ville da være et mål for vanndampmengden mellom sola og observatøren.

Instrumentet som skulle bygges måtte være lite, lett og letthåndterlig ettersom det skulle fraktes med til fots og til ulike observasjonssteder.

SINTEF i Trondheim konstruerte og bygget vandampmeteret, som det ble kalt, i samarbeid med astronomigruppen i Tromsø. Bilde av vandampmeteret og teknisk prinsipp er vist nedenfor.

Det veide 2.5 kg og hadde en lengde på 23.5 cm.

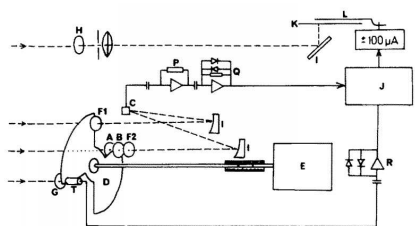


Fig. 2. Main components and operating principle of the water vapour meter. The different symbols mean: F1, filter 1.91 μm ; F2, filter 1.65 μm ; A, turnable polarizer; B, fixed polarizer; C, PbS detector; D, chopper; E, chopper engine; G, and H, gelatine filters; I, mirrors; J, synchronous rectifier; K, focusing screen; L, finder/null indicator; P, preamplifier; Q, amplitude limited amplifier; R, synchronization amplifier with amplitude limit; and T, phototransistor.

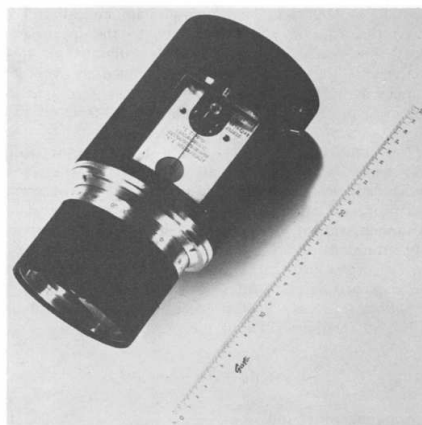


Fig. 1. This photograph shows the dimensions of the instrument.

Vanndampmeteret ble kalibrert på Solobservatoriet, Harestua, i 1972. Kitt Peak observatoriet i USA hadde tidligere funnet en relasjon mellom en bølgelengde (6943.80 Å) og den absolutte vannmengde i atmosfæren. Denne relasjonen var senere blitt overført til spektrografen på Solobservatoriet, og det var den som ble benyttet i kalibreringen av vanndampmeteret.

Etter hvert ble det foretatt målinger av atmosfærens vanndampmengde fra flere av våre feltstasjoner (Middagsfjell 1972, Kistefjell 1972, Helligskogen 1972-1973, Skibotn 1972-1974, Joppolbakken 1974, og fra Tromsø 1972-1974).

Beskrivelse av instrumentet og resultatene av vanndampmålingene ble utgitt i to publikasjoner.

2. Nordlys- og Astrofysikkgruppa i Tromsø og Skibotn

Jan-Erik Solheim og Ragnar Kalleberg

Da jeg kom til Universitetet i Tromsø som en av de første ansatte i faget fysikk i januar 1971, var det ingen universitetsbygg på universitetstomta i Breivika.. Faget fysikk fikk, naturlig nok, plass ved Nordlysobservatoriet hvor det allerede fantes fysikere som tilhørte Det Norske Institutt for Kosmisk Fysikk (NIKF). Det hadde avdelinger i Oslo, Bergen og Tromsø. Et nybygg var under oppføring og det ble ferdig i 1972.

Ved Nordlysobservatoriet møtte jeg nordlysforskeren Ove Harang. Han var interessert i å utvikle instrumenter og hjalp til med våre observasjonsprosjekter. Nordlysobservasjonene i Tromsø var plaget av dårlig vær og mye lys fra byen. Ove var straks klar til å flytte virksomheten til Skibotn da han fikk vite at dette var stedet med mest klarvær om vinteren i Norge. Vår virksomhet ble slått sammen i en Nordlys og Astrofysikkgruppe. Da nybygget på Nordlysobservatoriet var ferdig, fikk vi etter en stund overta det gamle Nordlysobservatoriebygget, eller Gamlebygget som vi kalte det. I dett kapitlet forteller vi om Nordlys- og Astrofysikkgruppa i Tromsø. Deretter om observatoriet på Olderbakken i Skibotn som fungerte både for nordlys og astrofysikk. Virksomheten ved Nordlysobservatoriet i Tromsø og i Skibotn er beskrevet i et spesialnummer av Ottar utgitt i forbindelse med Nordlysobservatorets 50-års jubileum (Solheim 1980).

2.1 Nordlys- og Astrofysikkgruppa i Gamlebygget på Nordlysobservatoriet.



Figur 2.1. Nordlysobservatoriet i Tromsø ble bygget i 1928, da observatoriet ble flyttet fra Haldetoppen i Kåffjord ved Alta. Dette ble base for Nordlys- og Astrofysikkgruppa som var ansvarlig for observatoriene i Skibotn.

Det opprinnelige Nordlysobservatoriet i inneholdt kontor for bestyrer, assistent og sekretær. Dessuten var det bibliotek og et rom for besøkende forskere. Det var også et kjøkken, slik at besøkende kunne bo på observatoriet og stelle seg sjøl. I tillegg var det et stort felles arbeidsrom og et tilbygg ut fra hovedkroppen med vinduer mot nord og vest. Dette var nordlysvaktrommet. Det hadde direkte utgang til plassen utenfor. I dette rommet stod det instrumenter som ble båret eller trillet ut på plassen når det skulle observeres. I kjelleren var det verksted for tilsyn med instrumenter og lagring av komponenter.

Da Nordlys- og Astrofysikkgruppa overtok bygget innredet vi et auditorium i det største rommet, mens studentene fikk arbeidsplass i vaktrommet som fikk inngang fra auditoriet. De to fast ansatte fikk kontor i hjørnerommet (Harang) og kjøkkenet (Solheim). Det siste kontoret ble brukt av midlertidige ansatte og besøkende. Vi innredet også kjelleren med en kosekrok for våre kaffepauser, plass til å arbeide med instrumenter, optisk lab og lager for komponenter til våre mange instrumenter. Da studentene i 1990-årene fikk arbeidsstasjoner for data, ble disse plassert i kjelleren – som nå fungerte som vårt datasenter.

Vi brukte også taket på Optikkbygget som lå på den andre siden av plassen på nordsiden av Gamlebygget. Her kunne vi sette opp teleskop og observerte solformørkelser og andre himmelfenomen. Vi kjøpte en liten Ash Dome for våre små teleskop. Da T21 ble overflødig i Skibotn ble det montert her. Da Norlysplanetariet ble bygget i på universitetstomta i Breivika ble kuppelen flyttet dit. Den inneholder et teleskop som kan fjernstyres fra Vitensenteret under planetariet.



Figur 2.2. Optikkbygget rett overfor Gamlebygget. Det hadde flatt tak for oppstilling av instrumenter og en hes for å frakte disse opp på taket. I bakgrunnen ser vi noen av antennene til Tromsø Satellittstasjon som ligger til høyre utenfor bildet. Helt til høyre kuppelen til Holmboeteleskopet.

Da jeg kom til Nordlysobservatoriet i 1971 oppdaget jeg at det stod en astronomisk kuppel ved observatoriet. Den var ulåst og inne i kuppelen hang fisk til tørk. I kuppelen var det også et teleskop, en refraktor som ble gitt til Geofysen som ligger på den andre siden av Prestvannet av konsul Holmboe. Teleskopet hadde en linse med diameter 125 mm og brennvidde på 2125 mm. Det ble satt opp på et fundament utenfor Geofysen (nå Vervarslinga i Nord Norge) og ble brukt til observasjonskvelder for publikum.

Da Nordlysobservatoriet fikk sine bygninger i 1928 ble teleskopet satt opp i en kuppel der. Men i 1971 var kuppelen i meget dårlig stand. Den var gjennomrustet ved golvet og døra var vanskelig å låse. Men Ragnar Kalleberg og Stein Høydalsvik fikk teleskopet til å virke ved å restaurere det mekaniske drivverket – og de observerte med teleskopet og tok imot besøkende. Men en sommer, mens alle var på ferie, forsvant hovedlinsen til teleskopet. Vi innhentet tilbud på en ny akromatisk linse men hadde ikke penger til å kjøpe en slik. Teleskopet ble derfor demontert og lagret på Tromsø Museum. Vi fikk oss en ny kuppel på Optikkbygget (figur 2.2) og den gamle kuppelen ble etter hvert fjernet for å gi plass til utvidelse av Tromsø Satellittstasjon.

Med fullstending rådighet over Gamlebygget og adgang til taket på Optikkbygget, og god støtte fra Mekanisk Verksted og Elektronikklaboratorium som holdt til i det nye hovedbygget, var vi godt rustet til vår feltvirksomhet i Indre Troms og observasjonsvirksomheten i Skibotn.

2.2 Nordlysobservatorium på Olderbakken i Skibotn

Skibotn har lenge vært kjent som et sted med gode observasjonsforhold av himmelen pga. sitt tørre klima og forholdsvis gode skydekke-statistikk. Allerede på 60-tallet ble det etablert observasjoner av himmelen der i regi av Nordlysobservatoriet i Tromsø og grupper som bedrev rakettoppskytninger fra Andøya.

Mitt første besøk i Skibotndalen var påsken 1971. Jeg hadde sett meg ut noen fjelltopper som kunne passe for observatorium i området rundt grensen til Finland, ved Helligskogen. Her var det en nedlagt fjellstue som ble brukt som ungdomsherberge (nå vandrehjem) om sommeren. Den var også brukt av påsketurister fra Tromsø, men da uten betjening. Jeg fikk låne et rom til meg og familien, men måtte «ta med en sekk kull til oppvarmingen.» Så jeg bunkret kull fra kullkrana i Tromsø og dro til Helligskogen på påskeferie. Stedet var fullt av påsketurister fra Tromsø som var faste gjester. Men da jeg spurte om fjelltopper det kunne bygges observatorium på fikk jeg til svar at de gikk aldri på toppene. Det var isfiske på vannene i nærheten som var deres påskeferie. Jeg gikk på toppturer for å finne plass til observatorium mens familien holdt seg rundt Fjellstua.

Imidlertid overbeviste klarværsstatistikken at forholdene var bedre nederst i Skibotn dalen, så vi besluttet å se oss om etter en plass for midlertidig observatorium nede i dalen, mens vi utforsket fjellområdene rundt, slik som beskrevet i kapittel 1.

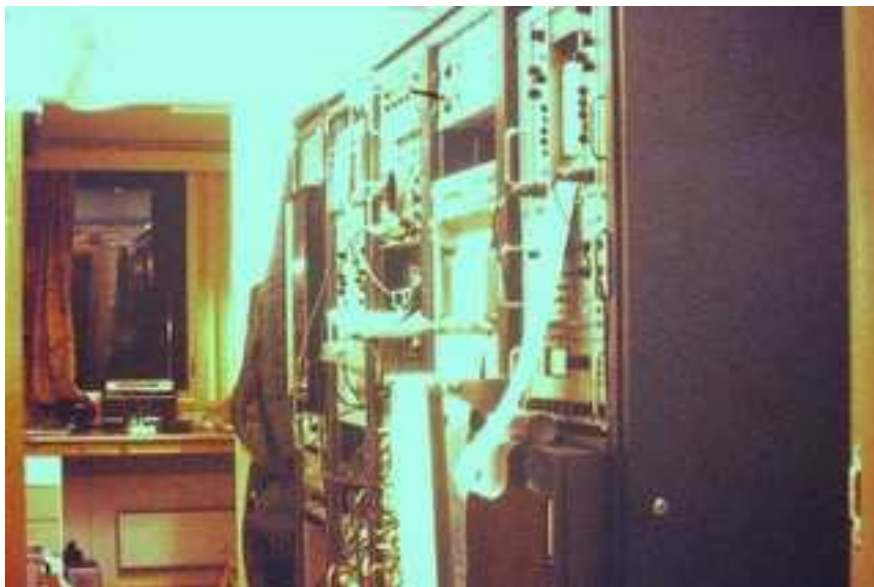
Den 18. mai 1971 dro vi på befaring til Skibotn for å finne plass til et observatorium. Det hadde snødd om natten så vi måtte skifte til vinterdekk før vi kjørte fra Tromsø. Men i Skibotn skinte sola og vi fant en fin plass til et midlertidig observatorium på Olderbakken. Det lå ved riksveien til Finland ovenfor tettbebyggelsen. Det var en skytebane og et skytterhus i nærheten. Dit var det strøm, men det var ingen bolighus og ingen gatelykter i nærheten. Lys fra riksveien ble til en viss grad skjermet av små furutrær.

Av eier fikk vil lov til å sette opp midlertidig bebyggelse og vi engasjerte en lokal altnuligmann, Antti Overelv til å hjelpe oss med det praktiske. Ove Harang hadde allerede laget en tegning av et nordlysobservatorium som han fikk bygget på Furuflaten. Det var en brakke med et overbygg i den ene enden, hvor det ble montert to kupler for all-sky kamera til overvåkning av himmelen. Ove la en madrass på golvet under den ene kuppelen og brukte den som soveplass. Etter hvert ble observatoriet befolket med transportable hytter og meteorologibur som ble benyttet på fjellstasjonene beskrevet i kapittel 1. Det kom også besøkende grupper med instrumenter som ble plassert rundt nordlysbrakka. Vi bygget også et stjerneobservatorium, dvs. et bygg hvor taket kunne skyves av. Det er beskrevet i kapittel 2.3.



Figur 2.3. Nordlysobservatoriet på Olderbakken. Vi ser en rekke instrumenter plassert i terrenget og en av de transportable hyttene og meteorologiburet som ble brukt på fjellstasjonene. I på taket av den høye delen ble det montert kupler for all-sky kamera. Ove hadde soveplass under en av kuppene.

Inne i Nordlysbrakka var det rack (hyller) med instrumenter. Data ble registret med papirskrivere som stadig måtte forsynes med blekk og papir. Det var et stort arbeid å måle instrumentutslag på påairrullene og overføre disse til dataserier som kunne tegnes ut og gjøres beregninger på.



Figur 2.4 Interiør i Nordlysbrakka. Det var rack til elektronikk til instrumentene som stod utenfor og skrivere som registrerte data med blekk og penn på ruller av papir.

På Olderbakken kom det i løpet av sommeren 1972 et astronomisk observasjonsbygg. Det var et bygg med flatt tak som kunne skyves vekk. Vi ser det i forgrunnen på figur 2.5. Virksomheten på dette observatoriet er beskrevet i neste avsnitt.



Figur 2.5. Observatoriet på Olderbakken. Vi ser det astronomiske observasjonsbygget med flatt tak i forgrunnen og lenger nede Nordlysbrakka som nå har fått kuppel også i den andre enden.

2.2 Astronomiske instrumenter og observasjoner

Ragnar Kalleberg

Rundt 1972 ønsket Astrofysikkgruppa ved IMR (Institutt for Matematiske Real FAG) å finne ut hvordan den nedre delen av Skibotndalen egnert seg til fotometriske observasjoner av stjerner, og om det var mulig å utvikle observasjonsteknikker som kunne redusere nordlyssets forventede negative påvirkning på målingene. Derfor ble det satt opp et lite observatorium på Olderbakken med et 21 cm Cassegrain teleskop. Hovedfagstudent Hans Kristian Myrabø tok på seg å gjennomføre undersøkelsen, og brukte innledningsvis et nyutviklet optisk / IR-fotometer som ga skuffende resultater fordi ingen standard astrofotometriske systemer unngikk nordlysemisjonen. Han konstruerte deretter et nytt fotometer som i høy grad fjernet nordlyssets påvirkning ved hjelp av en optisk choppingteknikk.

2.2.1 Observatoriet på Olderbakken

Observatoriebrakka ble snekret sammen av Antti Overelv, som i mange år var deltidsansatt som vaktmester på feltstasjonen. Det sto ferdig høsten 1972, senere ble et teleskop med 21 cm diameter speil (T21) installert. Observatoriet hadde et flatt tak med svakt fall, og et stort firkantet hull, opprinnelig med et løst tak oppå som kunne fjernes. Tak, vegger (og formodentlig gulvet) var med hensikt uisolert.



Figur 2.6. Skyvetaksobservatoriet på Olderbakken i september 1976. Hans Kristian Myrabø demonstrerer bruken av teleskopet T21..
Foto: Fra A-magasinet 25/9-76

Under den delen av observatoriet som fortsatt hadde et halvtak, var det en fastmontert bordplate og et skap. Mellom denne «kontor»delen og observatoriedelen var det et forheng som dempet eventuelt lys fra «kontoret» og gjorde det litt lunere.

Midt under hullet i taket var det et (litt mindre) hull i gulvet hvor betongfundamentet til kikkertsøylen kom opp. Under observatoriet var det støpt et betongfundament på over en kubikkmeter, en solid basis for kikkertsøylen. Det var ingen kontakt mellom bygningen og fundamentet, for å unngå at vibrasjoner fra bygningen ble overført til fundamentet og teleskopet. Øverst på kikkertsøylen hadde Nordlysobservatoriets mekanikk-verksted produsert en mekanisme til å feste kikkertmonteringen med fininnstilling av polaksens azimut-retning, nødvendig ved opplinjering av monteringen.

Før observatoriet ble satt i drift høsten 1974, ble det montert hjul med spor på taket og skinner av vinkeljern under disse slik at taket lett kunne skyves av og teleskopet raskt tas i bruk. Dessverre viste det seg at taket ikke var tungt nok til å stå imot sterk vind, så det blåste rett og slett av og landet i skogen ved ett tilfelle. Etter den episoden ble skyvetaket sikret med innvendige stropper.

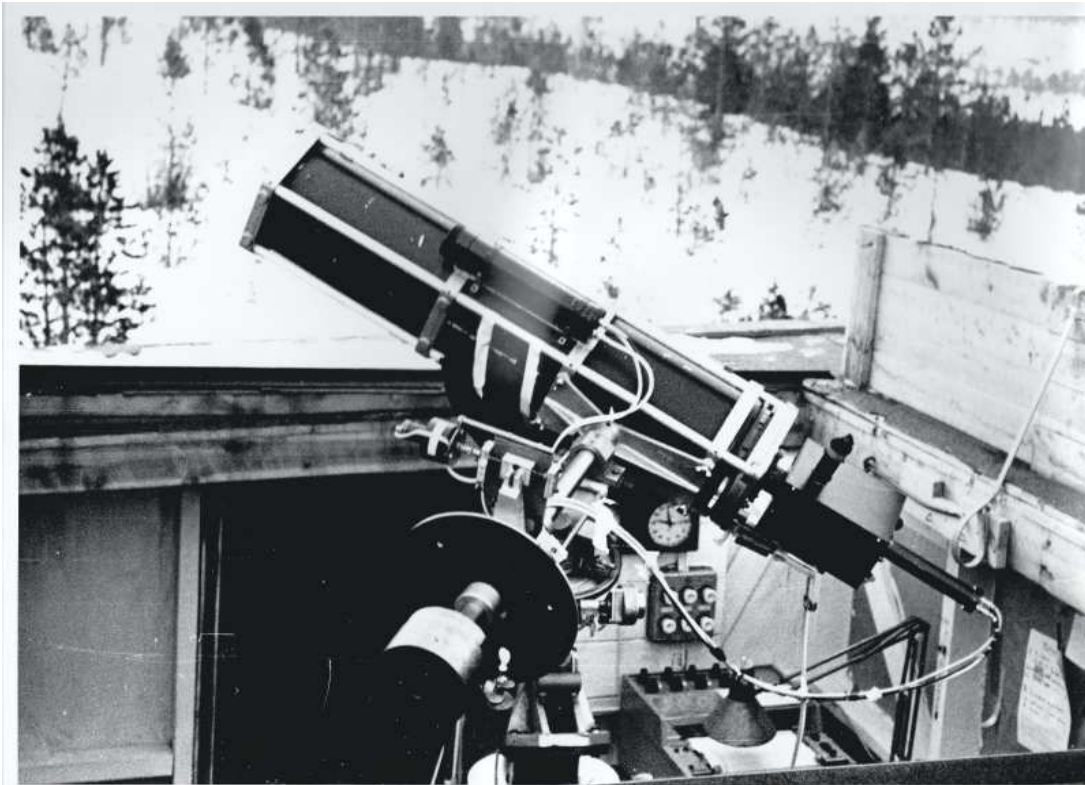
Hans Kristian Myrabø gjorde alle observasjonene til sin hovedfagsoppgave i dette enkle observatoriet (1974-76). Senere ble bygningen flyttet opp til det nye observatoriet (se figur 3.25) og et 30 cm Newton teleskop satt inn. Det ble laget en plattform rundt søylen slik at teleskopet skulle kunne brukes uten å stå på stige.

I nyere tid har Tromsø Geofysiske Observatorium tatt observatoriebygningen i bruk til sine formål (se kapittel 13).



Figur 2.7. Observatoriet fra Olderbakken i 2018 da det var plassert et stykke nord for den store observatoriebygningen (kap. 3) og fungerte som observatorium for TGO (se kap. 13). Taket kan ikke lenger skyves av. Foto: Jan-Erik Solheim

2.2.2 21 cm teleskopet (T21)



Figur 2.8. 21 cm teleskopet klar til bruk med lysttett rør, originalversjonen av chopperfotometeret i Cassegrainfokus og nordlysfotometeret festet midt på tubus. Papirskriveren i bunnen av bildet var en helt sentral del av måleutstyret (pluss en hårføner for å tine blekket). Antakelig 1976. Foto: Myrabø eller Kalleberg.

Teleskopet fra Astronomical Equipment i England ble innkjøpt i januar 1972 for å gjøre forundersøkelser av observasjonsforholdene nederst i Skibotndalen, jfr. Myrabøs hovedfagsoppgave.

Optikken var av Cassegrain-typen, med et konkavt hovedspeil og et konvekst sekundærspeil. Diameteren på primærspeilet var 21 cm, og den totale brennvidden i systemet var ca 438 cm. Kikkertrøret var en sekskantet åpen konstruksjon av langsgående stålrør og tversgående spant, solid og lett å feste tilleggsutstyr på. Fokuseringsmekanismen i Cassegrainfokus var av typen tannstang og tannhjul (rack and pinion). Den var festet på speilcellen til primærspeilet og kunne lett demonteres. Foran på mekanismen var det festet et rør for intern lysskjerming (baffle).

Monteringen var av såkalt tysk type hvor teleskopet henger på den ene enden av deklinasjonsaksen, balansert av en motvekt i den andre enden. Polaksens elevasjon kunne justeres med en mekanisme, men ikke asimut. Mekanismen for asmutjustering var integrert i den permanente søylen som ble laget på Nordlysobservatoriets verksted. På polaksen var det et stort snekkedrev som ble styrt av en synkronmotor med mulighet for fininnstilling av hastighet for å følge stjernene, samt sentrering ved hjelp av brytere på en håndkontroll. Deklinasjonsaksen hadde også et motorstyrt snekkedrev, men det var mindre. Farten på deklinasjonsmotoren og retning kunne også styres med en håndkontroller. Begge aksene hadde friksjonsclutch slik at grovinnstillingen mot målet kunne gjøres ved å flytte teleskopet manuelt.

På kikkertrøret ble det montert et lite søkerteleskop for grovinnstilling samt et guideteleskop for fininnstilling og sentrering av målet og visuell guiding under målingene. Et standard nordlysfotometer ble også festet på røret. Teleskopet ble permanent montert i skyvetaksobservatoriet på Olderbakken i januar 1974.

Innledende testing gjort av Myrabø avslørte at det var for mye slark i snekkeutvekslingen i deklinasjonsbevegelsen. Snekkets inngrep kunne ikke justeres, og derfor ble snekket erstattet av en mekanisme med tangentarm. Deklinasjonsmotoren ble gjenbrukt på tangentarmen.

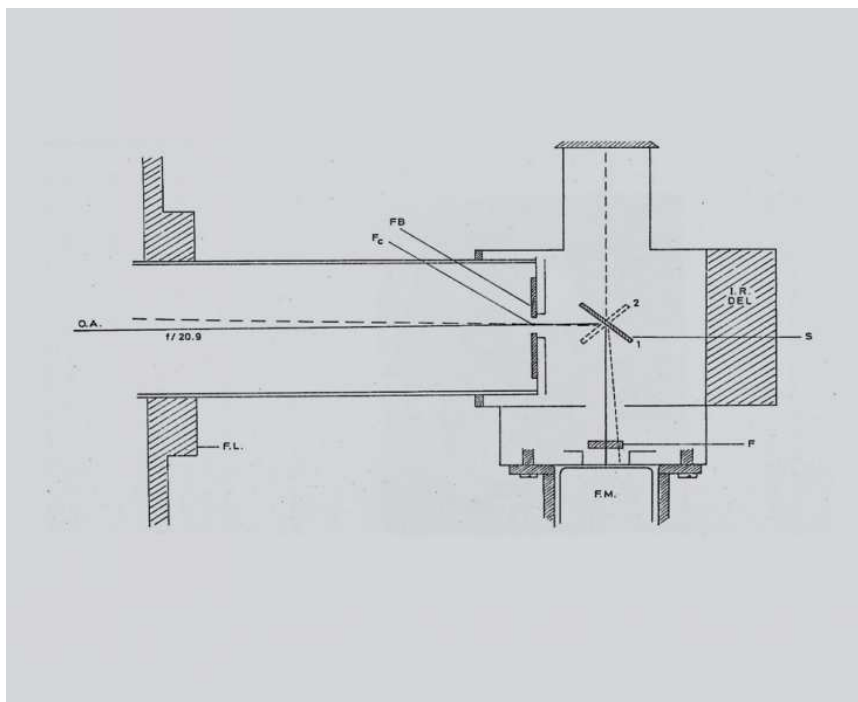
Dessuten var fokuseringen ikke bra nok, så holderen til sekundærspeilet ble ombygget slik at fokuseringen kunne gjøres ved å bevege sekundærspeilet oppover og nedover langs den optiske akse ved å manuelt rotere et ratt fra observatørens posisjon bak primærspeilet. Denne løsningen gjorde det mulig å bolte fast observasjonsutstyret (fotometeret) til primærspeilholderen, og teleskopet tålte nå utstyr med større vekt.

Samtidig ble den indre lysskjermen (bafflen) endret. Men strølys var fortsatt et problem, og det skyldtes det åpne teleskoprøret. Et tynt aluminiumsrør ble tredd på innsiden av spantene for å lukke røret.

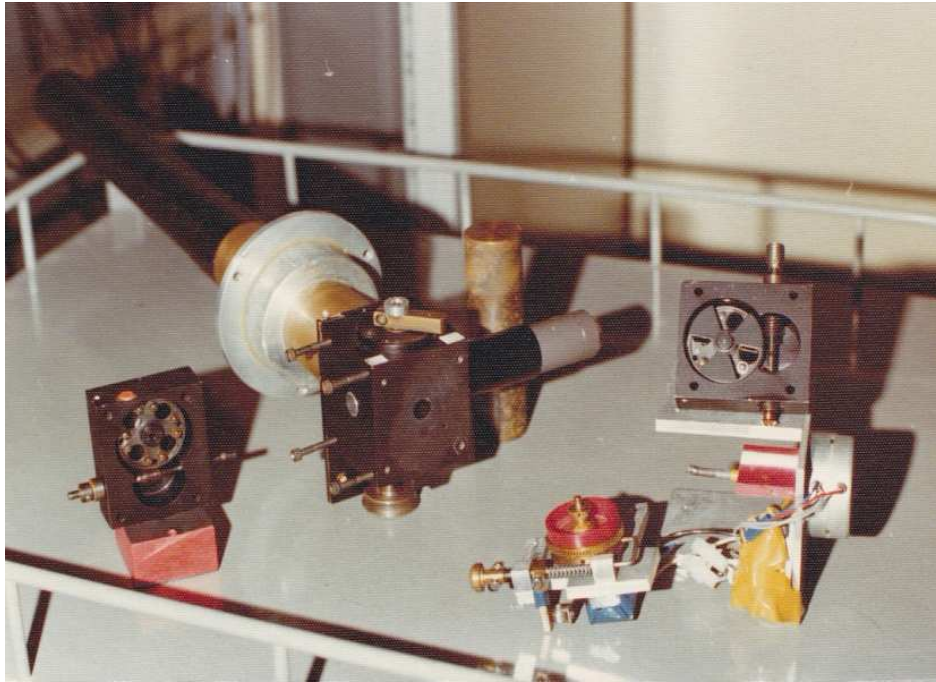
En stund etter at forundersøkelsene var ferdig i Skibotn, ble 21 cm teleskopet flyttet til et nytt kuppelobservatorium på taket av Optikk-bygget i Tromsø (figur 2.2). Den originale elektronikken som styrte synkronmotoren på polaksen var dårlig og hadde gitt masse problemer i flere år. Den ble byttet ut med en motorstyring av et annet merke. Dessuten ble det montert bolter i metallrørene som utgjorde kikkertrøret slik at den forlengede versjonen av chopperfotometeret kunne monteres på 21 cm teleskopet.

2.2.3 Optisk / IR-fotometer

Det første fotometeret som ble brukt på 21 cm teleskopet i observatoriet på Olderbakken var et kombinert optisk / infrarødt fotometer, designet av vit. ass. Gunnar Birkeland og bygget av mekanikkverkstedet på Nordlysobservatoriet. Det ble ferdig i april 1973 og ble testet på 21 cm teleskopet først av Birkeland og senere av Svein Sivertsen fram til høsten 1974.



Figur 2.9. Prinsippkisse av optisk/IR-fotometeret. O.A. er teleskopets og instrumentets felles optiske akse. Øverst okularet som ble brukt til å sentrere stjernen som skulle måles i feltblenderen. Fra «Brukerbeskrivelse for T-21».



Figur 2.10: Optisk/IR fotometeret i sine enkelte faktorer. Øverst hovedhuset med blendersleden og vippemekanismen for speilet og okulalet, med monteringsplaten til å feste på teleskopet samt «baffelen» som sjermer for strølys inne i kikkertrøret. Til venstre filterhjulet til den optiske delen. Foran ser man filterskiftmekanismen med tilhørende motor. Bak til høyre er den infrarøde delen med filterhjul og et trebladete chopperhjul. Fra «Brukerbeskrivelse for T-21»

Instrumentet var kompakt. Helt foran på instrumentet var det en forskyvbar metallplate med et antall blendere som hadde forskjellige diametre. Teleskopet måtte innstilles og fokuseres av observatøren slik at målet var plassert midt i blanderen og i fokus. I midten av fotometeret var det et såkalt dikroisk speil, som slapp gjennom infrarød stråling, men reflekterte synlig og ultrafiolett lys. Speilet kunne stå i to posisjoner, begge med 45 graders helning i forhold til den optiske aksens.

I den ene posisjonen ble synlig lys sendt ut til et okular som kunne inspisere den valgte blanderen. I den andre posisjonen gikk det synlige lyset først gjennom et filter før det traff detektoren, en fotomultiplikator av type EMI 9601A.

I den infrarøde delen av fotometeret var det også et filter, samt en IR-detektor av typen blysvulfid. IR-systemet ble ikke brukt under forundersøkelsene på Oolderbakken.

De to deteksjonskanalene hadde hvert sitt filterhjul med fire filtre hver. Filterhjulene var i praksis to snekkehjul, drevet av hver sin snekke. På den optiske kanalen ble det montert en enkel elektromekanisk mekanisme som gjorde det mulig for observatøren å velge manuelt hvilket filter som skulle brukes.

Til å registrere signalet fra fotomultiplikatoren (den optiske detektoren) ble det brukt samme lavlysteknologi som forskerne i optisk nordlysfysikk brukte, en velkjent fotontellingsteknikk med solid støtte fra nordlysforskerne og elektronikk-lab'en på Nordlysobservat

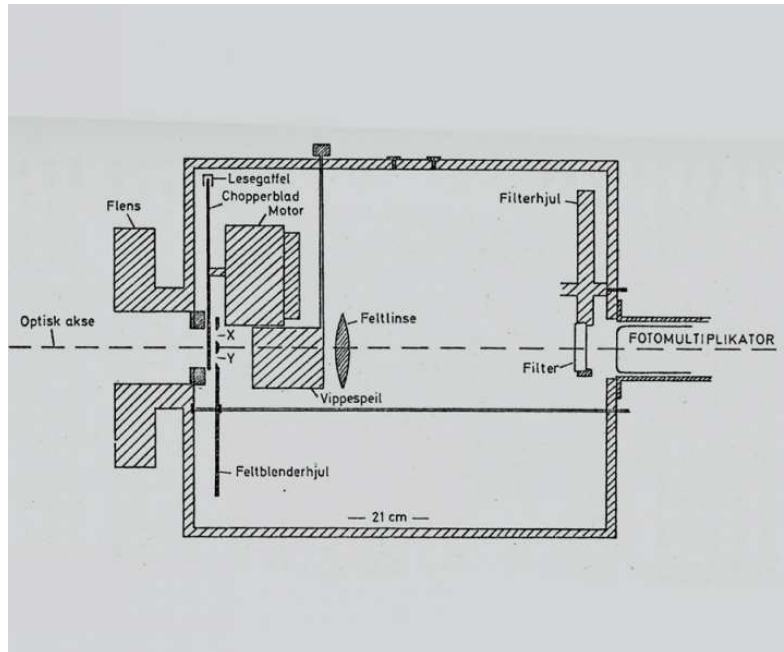
En viss prosent av fotonene som treffer en fotomultiplikator resulterer i at et elektron løsner fra metallbelegget på innsiden av glasset og forsterkes opp internt i fotomultiplikatoren og blir til en kort, elektrisk puls. Denne pulsen ble forsterket ytterligere av en kombinert pulsforsterker / diskriminator og sendt videre over en koaksialkabel til en såkalt ratemeter som talte opp pulsene i pulstoget i en viss integrasjonstid og genererte et analogt ut-signal som var proporsjonalt med pulsfrekvensen. Utspenningen gikk til en papierskriver (chart-recorder) som registrerte signalstyrken i sann tid. Samtidig

måtte observatøren notere på papiret hvilket filter som ble brukt og innstillingene på ratemeteret samt om målingen gjaldt en stjerne eller himmelbakgrunnen. Var det kaldt måtte blekket i skriveren tines med elektrisk hårføner med jevne mellomrom.

Den manuelle og tungvinte datareduksjonen startet med å måle utslaget på papiret ved hjelp av linjal, og registrere apparatinnstillinger og annet som observatøren hadde notert.

Optisk/IR-fotometeret var i bruk i observatoriet på Olderbakken fra oktober 1974 til januar 1975.

2.2.4 Chopperfotometeret



Figur 2.11. Chopperfotometeret sett ovenfra. Fra venstre flens til montering på 21 cm teleskopet, chopperbladet, blenderhjulet, vippespeilet, Fabry-linsen, filterhjulet og fotomultiplikatoren. Fra «Brukerbeskrivelse for T-21».

Da det viste seg at det klassiske Optisk / IR fotometeret omtalt i avsnittet over ikke var i stand til å fjerne nordlysets påvirkning på observasjoner av stjerner, tok Myrabø initiativ til å få produsert et nytt fotometer basert på en optisk choppingteknikk. Ved å observere vekselvis gjennom to like store blendere, hvor stjernen var plassert i den ene blenderen, og bare den nærliggende himmelbakgrunnen i den andre, håpet han at det ville bli mulig å subtrahere bakgrunnen i den ene blenderen fra stjerne pluss bakgrunn i den andre blenderen, og stort sett sitte igjen med signalet fra stjernen. Ved å gjøre slike målinger mange ganger i sekundet, ville man kanskje greie å korrigere for intensitetsvariasjonen i nordlyset over hele integrasjonstiden. Chopperfotometeret ble designet av Myrabø og Solheim og bygget på Nordlysobservatoriets mekanikk-verksted av Reidar Persen.

Nesten helt foran i fotometeret, i teleskopets fokalplan, var det et blenderhjul med et antall (6?) blenderpar, altså små hull i platen for å begrense synsfeltet gjennom teleskopet. Hullene i hvert par var like store, men forskjellige mellom parene. Avstanden mellom blenderne varierte også. Observatøren kunne velge blenderpar med en bryter bak på instrumentet

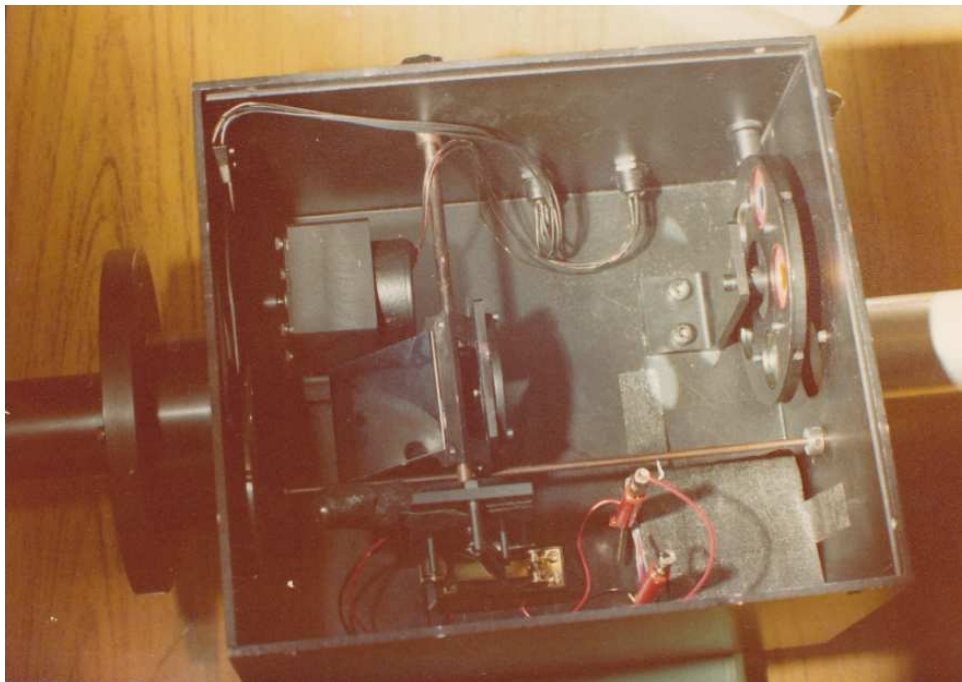
Retten foran blenderhjulet snurret chopperbladet, som var utformet slik at det maskerte vekk lyset fra venstre blender i en halv rotasjon, og deretter lyset fra høyre blender i en halv rotasjon. På den måten ville detektoren «se» gjennom hver av blenderne vekselvis. En infrarød lesegaffel fulgte med på hvilken blender som var aktiv, og sendte signalet ut til målesystemet. Chopperhjulet ble drevet av en liten steppermotor som ble styrt av driverelektronikk (laget av elektronikklab'en på Nordlysobservatoriet)

som gjorde det mulig å regulere farten på motoren for å kunne teste effekten av ulike choppingfrekvenser i forhold til nordlysets raske variasjon både romlig og med hensyn på intensitet.

Retten bak blenderhjulet var det et vippespeil som gjorde det mulig for observatøren å sentrere og fokusere målet i blenderen ved hjelp av en projeksjonslinse og et okular i lokket på fotometeret. Speilet kunne vippes ut av strålegangen slik at lyset fra blenderparet kunne fortsette videre gjennom en såkalt Fabry-linse og et filterhjul til detektoren, som var samme fotomultiplikator som det forrige fotometeret brukte.

Filterhjulet hadde plass til større filtre enn det forrige fotometeret, og hele 6 posisjoner. Observatøren kunne velge filter manuelt med en bryter bak på fotometeret. Filtre fra det gamle fotometeret ble gjenbrukt ved hjelp av adaptore som festet dem til det nye filterhjulet

Helt bakerst var fotomultiplikatorhuset festet, mellom bryterne som roterte blenderhjul og filterhjul.



Figur 2.12. Foto av Chopperfotometeret. Lokket med okularet for å inspisere blenderne er tatt av. Fra «Brukerbeskrivelse for T-21».

All elektronikken fra det gamle fotometeret ble gjenbrukt i systemet rundt Chopperfotometeret. Både detektoren og dens høyspenningskilde, forforsterkeren og dens lavspenningskilde, ratemeteret og skriveren var med. I tillegg måtte en såkalt faselåst forsterker eller «lock-in amplifier» tas i bruk for å skille signalene i de to blenderne fra hverandre ved hjelp av synkroniseringssignalet fra lesecaffelen på chopperskiven.

Chopperfotometerets virkemåte er skissert i heftet «Brukerbeskrivelse for T-21» (Hans Kristian Myrabø, januar 1977), og behandlet mere detaljert i Myrabøs og Egges hovedfagsoppgaver.

Myrabø brukte Chopperfotometeret i den andre delen av sin hovedfagsoppgave, se nedenfor.

Karl Emil Egge brukte også Chopperfotometeret i sin hovedoppgave om kontaktbinærstjerner vinteren 1978-79 (se kapittel 6). Men før Egge startet observasjonene på 50 cm teleskopet i Skibotn ble fotometeret påbygget en søkermodul som gjorde det lettere for observatøren å finne målet og sentrere det i en av blenderne. Modulen var samtidig en adapter slik at fotometeret kunne festes på bakplaten til 50 cm teleskopet. Senere ble fotometeret også «digitalisert», dvs. at elektroniske tellere og datamaskiner

overtok jobben som den gamle elektronikken gjorde. Dette er omtalt i kapittel 4.4. Som nevnt tidligere ble også 21 cm teleskopet modifisert slik at det kunne håndtere den påbygde versjonen av Chopperfotometeret.



Figur 2.13. Elektronikken fikk plass i et halvt rack. Fra toppen: Papirskriveren, høyspenningskilden til fotomultiplikatorene, lavspenningskilden til forforsterkerne, ratemeteret, oscilloskopet, og den faselåste forsterkeren helt nederst. Den lyseblå boksen til høyre for skriveren er kontrolleren til steppermotoren som roterte chopperbladet. Fra «Brukerbeskrivelse for T-21».

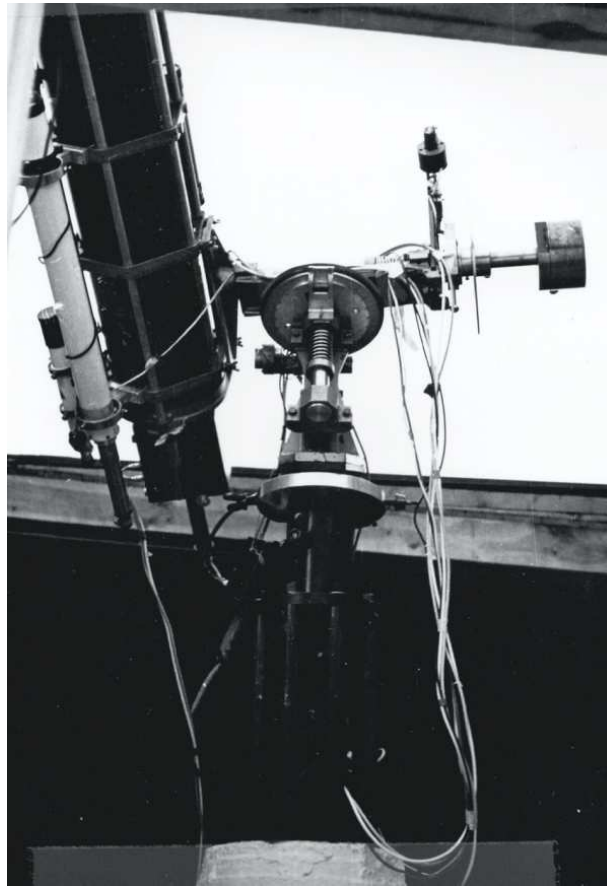
2.2.5 Hans Kristian Myrabøs observasjoner

Den første observasjonssesongen 1974-75 brukte Myrabø Optisk / IR fotometeret og 21 cm teleskopet i observatoriet på Olderbakken til å gjøre målinger på en del konstante stjerner for å måle ekstinksjonskoeffisienter (et mål på hvor mye av lyset fra stjernene som forsvinner på dets vei gjennom Jordens atmosfære) samt himmelbakgrunnen i det fotometriske UBV-systemet pluss noen smalbandfiltre. Den sesongen observerte han i alt 40 netter.

I den teoretiske delen av oppgaven fant han ingen standard fotometriske systemer som var godt egnet under nordlysforhold, så han valgte å observere i det vanlige UBV-systemet.

Først oppdaget han at det opprinnelige åpne teleskoprøret slapp inn mye spredt lys fra omgivelsene, så det ble montert et innvendig sortmalt rør som lysskjerming. Med skjermet teleskop fant han at nordlyset i gjennomsnitt over sesongen økte intensiteten i himmelbakgrunnen med 2 til 3 magnituder pr.

kvadratbuesekund i alle filtre sammenliknet med målinger på lavere breddegrader, men at middelverdien for nettene ikke varierte mer enn 0,5 magnituder i V-båndet. I løpet av en natt kunne variasjonen være større.



Figur 2.14. Chopperfotometeret på 21 cm teleskopet i observatoriet på Olderbakken. I to av kablene gikk det over 1000 volt høyspenning. Foto: Myrabø eller Kalleberg.

Det var god korrelasjon mellom himmelbakgrunnen i alle tre UBV-filtrene og nordlysfotometeret som målte i samme retning som teleskopet, med et synsfelt på litt over en grad og gjennom et smalbandsfilter sentrert på 4278 Å linjen i nordlyset. Nordlysfotometeret kunne i prinsippet følgelig brukes til å korrigere for endringer i himmelbakgrunnen i stjernefotometeret ved lange integrasjonstider, et slags tokanalsystem.

Myrabø målte første ordens ekstinksjonskoeffisienter for en god del netter i desember og januar, men spredningen var stor pga. nordlyset. De bekreftet imidlertid at de atmosfæriske forholdene er ganske gode tatt i betraktning at det er et lavlandsobservatorium. Transformasjonskoeffisientene for det fotometriske systemet ble også målt.

Hovedkonklusjonen etter den første sesongen var at klassisk enkanalsfotometri i nordlyssonen med kjente standardsystemer var mer eller mindre dårlig egnet til måling av lys fra stjerner, og at man burde lete etter andre teknikker.

Den andre sesongen, 1975-76, brukte han Chopperfotometeret montert på 21 cm teleskopet i observatoriet på Olderbakken, med samme filtre og detektor som forrige sesong. Elektronikken ble tilført en «lock-in-amplifier» som målte differensen i signalet fra de to blenderne ved hjelp av det roterende chopperbladet.

Målingene var innrettet på å finne ut om choppingteknikken kunne redusere effekten av nordlyset ved målinger på stjerner. Konklusjonen var at ved noen få tilfelle greidde ikke systemet å korrigere fullt ut. Men ved integrasjonstider på 15 sekunder eller lengre og med en choppingfrekvens på 2 Hz eller mer så kunne som regel korreksjonen i bakgrunnen bestemmes med en nøyaktighet på 1,5 prosent i alle testede filterbånd. Chopperteknikken var følgelig meget vellykket og sterkt å foretrekke framfor klassisk fotometri. Han anbefalte derfor å videreutvikle chopperteknikken, og i «Brukerbeskrivelse for T-21» foreslo han blant annet å erstatte «lock-in» forsterkeren med digitale tellere og lagre målingene på en datamaskin.

Myrabø publiserte korte artikler om sine observasjoner og choppingteknikken, se referanselisten nedenfor.

Referanser

- Myrabø H. K. 1976 *Stjernefotometri i Nordlyssonen*.
Hovedfagsoppgave i fysikk ved Univ. i Tromsø.
- Myrabø H. K. 1977 *Brukerbeskrivelse for T-21*. Univ. i Tromsø.
- Myrabø H. K. 1979 *UBV photometry at geographic latitude 69 deg 22 min north*,
Astrophysic and Space Science, 60, 367-374
- Myrabø H. K. 1980 *Stellar Chopping Photometry in Auroral Regions*
Astronomy and Astrophysics. 84, 297-299
- Solheim J.-E. 1980 *Nordlysobservatoriet i dag*, i *Nordlysobservatoriet 50 år*,
Ottar nr 122-123, side 62-102



Figur 2.15 Karl Emil Egge besøker observatoriet på Olderbakken like før det legges ned og flyttes til det nye observatoriet ved Øvrevann høsten 1977, Nordlysbrakka har nå tre kupler og vi har en campingvogn for overnatting. Hyttene vi brukte på fjellstasjonene er nå kommet tilbake.

3. Teleskop og observasjonsbygg

Jan-Erik Solheim (red), Svein Sivertsen, Lennart Berger og Bjørn Ragnvald Pettersen

Den 10 januar 1974 ble forslaget om Infrarødt observatorium i Nord Norge lagt fram som en omfattende rapport der både vurderinger fra flere konsulenter, andre astrofysiske institusjoner og mulige leverandører var inkludert (1). Det ble behandlet av Fysikkseksjonen og Institutt for Matematiske Realfag (IMR) som denne var en del av. Rapporten viste at et teleskop av størrelse 1.5 m i diameter på en værutsatt fjelltopp ville bli et kostbart prosjekt på flere millioner kroner. Det lå i kortene at det kun kunne bli et større prosjekt i fysikk med investeringer i millionklassen. EISCAT (European Incoherent Scatter) ble vedtatt som det store internasjonale forsknings-prosjektet fysikkgruppa i Tromsø skulle delta i. Det ble derfor ikke støtte til å søke om midler til det foreslåtte IR-observatoriet.

3.1 Observatorium som del av Universitetets feltstasjon ved Øvrevann.

Instituttet vedtok våren 1974 at astrofysikkgruppa kunne anskaffe seg et teleskop med speildiameter 50 cm og at dette skulle settes opp ved den planlagte tverrfaglig feltstasjonen ved Øvrevann i Skibotndalen.

En slik stasjon var foreslått av Universitetets Feltstasjonsutvalg som hadde fått i oppdrag å utrede en større feltstasjon som kunne brukes av flere fagområder. I begynnelsen av 70-årene var biofagene sterkt etterspurt, så det ble besluttet å bygge en feltstasjon med undervisning- og overnattingsmuligheter for 30 studenter. Universitetet hadde en egen budsjettpost for feltstasjoner, og midler til feltstasjonen i Skibotn, inklusive hus til teleskopet ble bevilget fra denne. De årlige bevilgninger til feltstasjoner var ikke store, så først i 1980 var denne stasjonen fullført.

Astrofysikkgruppa hadde to ansatte (Solheim og Sivertsen). Fra Universitetet i Tromsø (UiT) var det satt av kr 250 000 i startbevilgning til vitenskapelig utstyr for hver vitenskapelig ansatt. Vi hadde derfor 500 000 kr til teleskopkjøp. Midler til bygging av instrumenter og drift kom utenom.

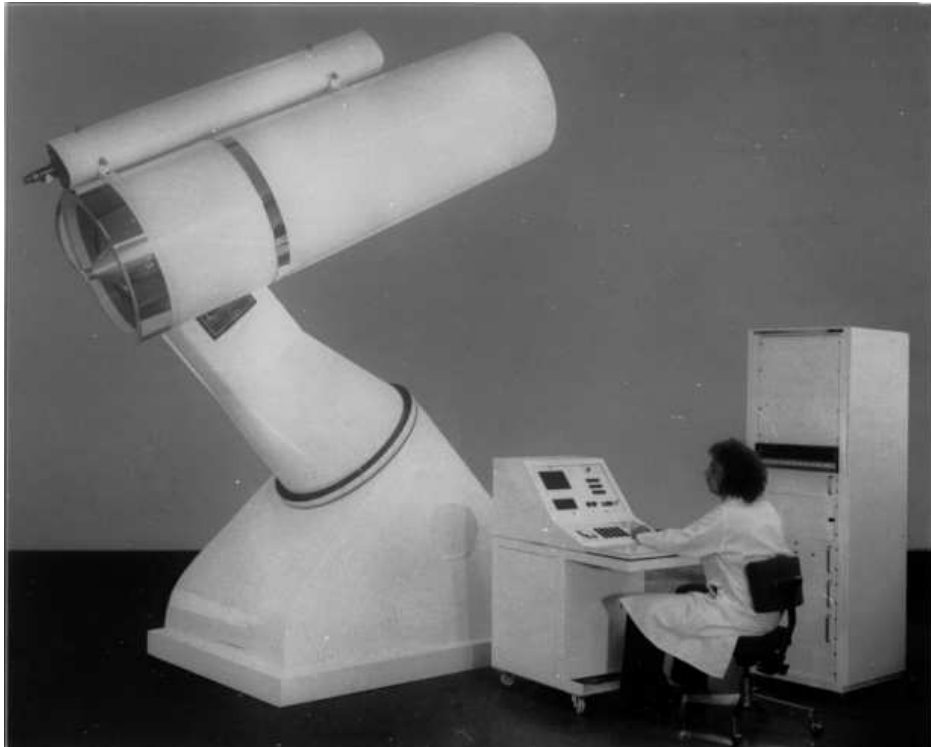
Høsten 1974 og våren 1975 gikk til planlegging av bygg og teleskop.

3.2 Teleskopet

Vi ønsket et flerbruksteleskop hvor vi kunne eksperimentere med flere forskjellige typer observasjoner: vanlig Cassegrain-konstellasjon for fotometri og Coude-fokus for spektroskop med høy oppløsning. Videre kunne vi tenke oss et chopping sekundærspil for IR-observasjoner. Teleskopet skulle følge presist og være rask i innstilling mellom objektene. På grunn av bakgrunnslys fra nordlyset var vi ikke interessert i stort felt, men ønsket gode fotometriske egenskaper. Teleskopet skulle være ekvatorialt montert. Ved så høye breddegrader som Skibotn, betyr dette en kompakt montering.

Det ble nedsatt en teleskopkomite til å vurdere tilbud om teleskop. Den bestod av Jan-Erik Solheim, Svein Sivertsen og Ragnar Kalleberg fra UiT og Observator Rolf Brahde fra Astrofysisk institutt ved Universitetet i Oslo. Tilbud fra følgende produsenter ble vurdert: København Observatorium (Beckmann - Brofelde), REOSC (Toulouse) og Lorenz (Canada)

Vi kom fram til at et tilbud fra Lorenz Scientific i Toronto, Canada, var mest interessant og lå innenfor vårt budsjett.



Figur 3.1. Lorenz-teleskopet slik det ble framstilt i en brosjyre fra firmaet.

Lorenz-teleskopet var det første teleskopet vi vet om som var digitalt styrt, idet to kraftige steppingsmotorer beveget teleskopet om begge akser (rektasensjon og deklinasjon). I Figur 3.1 ser vi i tillegg til teleskopet et styrebord hvor posisjoner avleses og et rack for motorstyring (effektforsterkere). Teleskopet kunne også kommanderes fra en håndholdt styre-enhet (hand-paddle).

Prisen ble i underkant av 500 000 kr, og avtale ble underskrevet mellom Lorenz og Universitetsdirektør Willie Haugli på vårparten 1975. I juli samme år reiste Solheim på et års forskningstermin til Astronomy Department, University of Texas, Austin, Texas. Reisen gikk via Toronto hvor Lorenz Scientific ble besøkt og detaljer vedrørende teleskopet ble diskutert. Solheim besøkte også Lorenz våren 1976 og ble vist deler som var produsert. Også vår mekaniker Reidar Persen besøkte Toronto og fikk se teleskopet under produksjon.



Figur 3.2 Reidar Persen besøker Heinz Lorenz i Toronto

Da Solheim reiste tilbake til Tromsø sommeren 1976 startet Sivertsen et års opphold i Texas og foretok også besøk i Toronto våren 1977 for å sjekke progresjonen i teleskopproduksjonen som gikk noe langsommere enn avtalt.

Teleskopet ble montert på observatoriet i Skibotn i begynnelsen av 1978. En detalj som vi hadde stor glede av, var at teleskopet ble utstyrt med en standard bakplate som gjorde at vi kunne montere ESO-instrumenter på teleskopet. Når vi bygde instrumenter på en tilsvarende monteringsplate kunne vi ta disse med til teleskop over hele verden som aksepterte denne monteringsplaten.

3.2.1 Spesifikasjon av teleskopet

Teleskopet var tilbudt som et programmerbart teleskop for automatisk operasjon av flytting, justering, tracking og guiding. Nøyaktigheten ved innstilling var oppgitt til ± 5 buesekunder, og maksimum tid for flytting mellom to objekter var 30 sekunder uansett hvor på himmelen.

Teleskopet var opprinnelig tilbudt med en tynn asfærisk korreksjonsplate som montert rett innenfor fokus skulle gi oss et 2° flatt felt. Denne korreksjonslinsen fikk vi laget selv (kap. 8)

Optisk design var et Modifisert Ritchey Cretien system med hyperbolsk primærseil $f/5.9$ og diameter 50 cm. Materiale ULE Vitreous Ceramics. Sekundærseilet hadde samme fokallengde. Plateskalaen i fokus var 41 buesekund per mm.

Med de to speilene og korreksjonsplaten skulle 95% av lyset fra en punktkilde falle innenfor en sirkel på 1 buesekund innenfor et felt på 2.0° . Dette fikk vi til (kap. 8.2).

Sekundærseilet hadde kunne vippes mellom to posisjoner ved elektromagnetisk elastisk deformasjon av speilfestet. Dette kunne gi oss mulighet for chopping teknikk ved bruk av sekundærseilet – noe som vi hadde funnet ut var nødvendig ved presisjonsfotometri under nordlysforhold. Chopping frekvens og lengde kunne varieres. Typiske verdier oppgitt var 20 buesekund forflytting og 6 Hz frekvens. Dessverre fikk vi ikke dette til å virke.

Den mekaniske konstruksjon var en såkalt «assymetrisk split fork». Teleskop og motvekt var montert tett sammen mot polaksen, som i vårt tilfelle er kun 20 grader fra zenit. Denne monteringen eliminerte behov for store motvekter i rektasensjonsretningen. Instrumenter kunne balanseres med motvekter som ble styrt elektronisk i et rør på siden av teleskopet.

Fokusering var basert på tre fokuseringsskruer drevet av tre servomotorer. Disse skulle operere strengt synkront, eller hver for seg for kollimering. Hvordan dette virket er beskrevet i avsnitt 8.6.

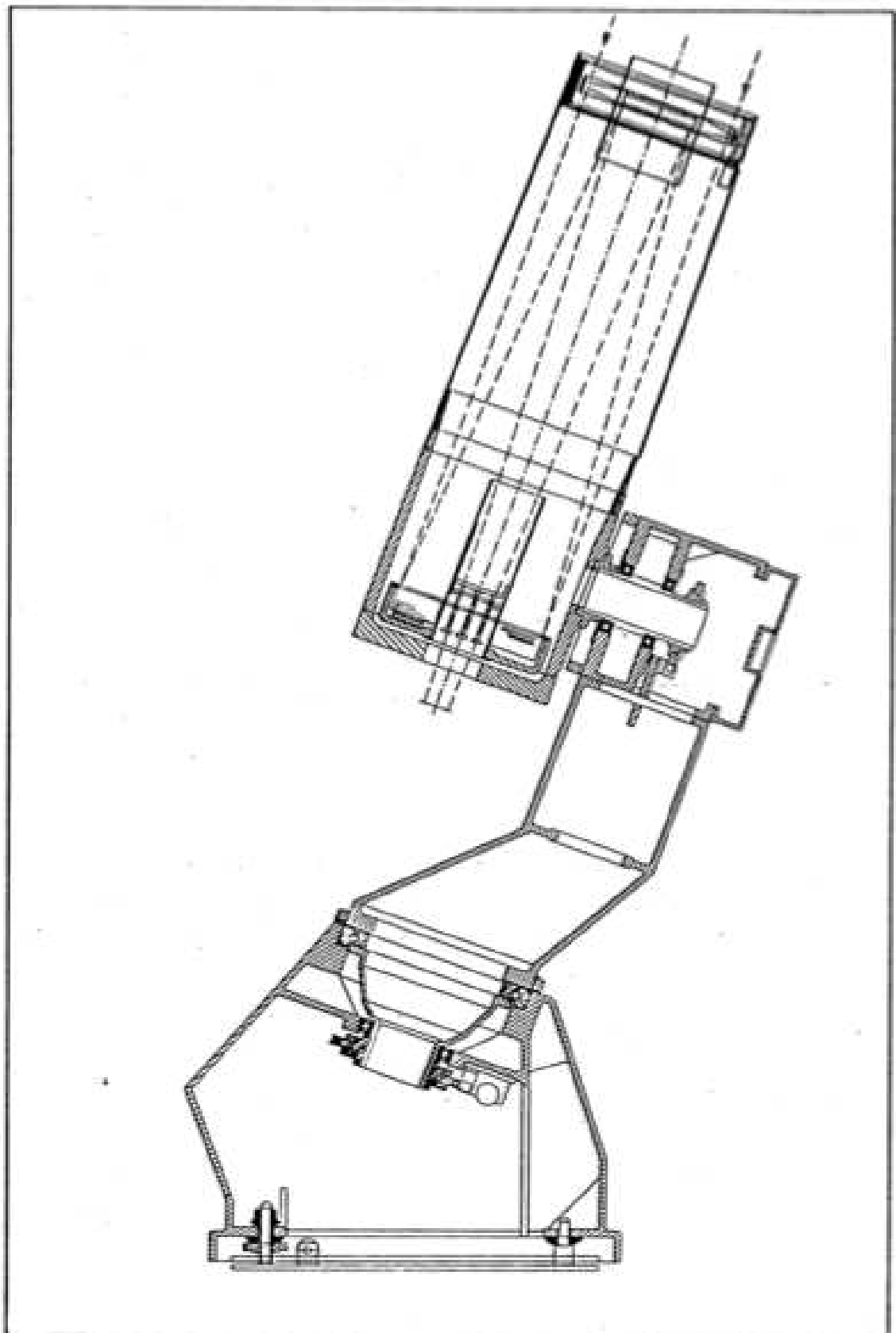
Sekundærseilet for Coudefokus var slipt inn på baksiden av sekundærseilet, slik at det enkelt kunne snus for å sende lysstrålen til Codefokus ved et speil som sendte den horisontalt ut av teleskoprøret. Et 4de speil sendte strålen ned gjennom polaksen og et 5te speil ned gjennom et hull i teleskopfundamentet. Fra dette måtte et 6te speil lede lyset inn i et av de to couderommene. Antakelig trengte vi to speil til for å få lyset inn i spektrografer montert på optiske bord. Det ble mye tap av lys, men vi så for oss at vi kunne ha lange eksponeringer av samme objekt.

Coudefokus var planlagt å gi en $f/25$ lysstråle og en plateskala på 13.5 buesekund pr mm. Vi fikk aldri prøvd ut dette systemet.

Teleskopet kunne styres ved knapper fra et styrebord som vi ser på figur 3.1. Ved siden av styrebordet står det et instrument skap (rack) for elektronikkeneheter for styring av teleskopet.

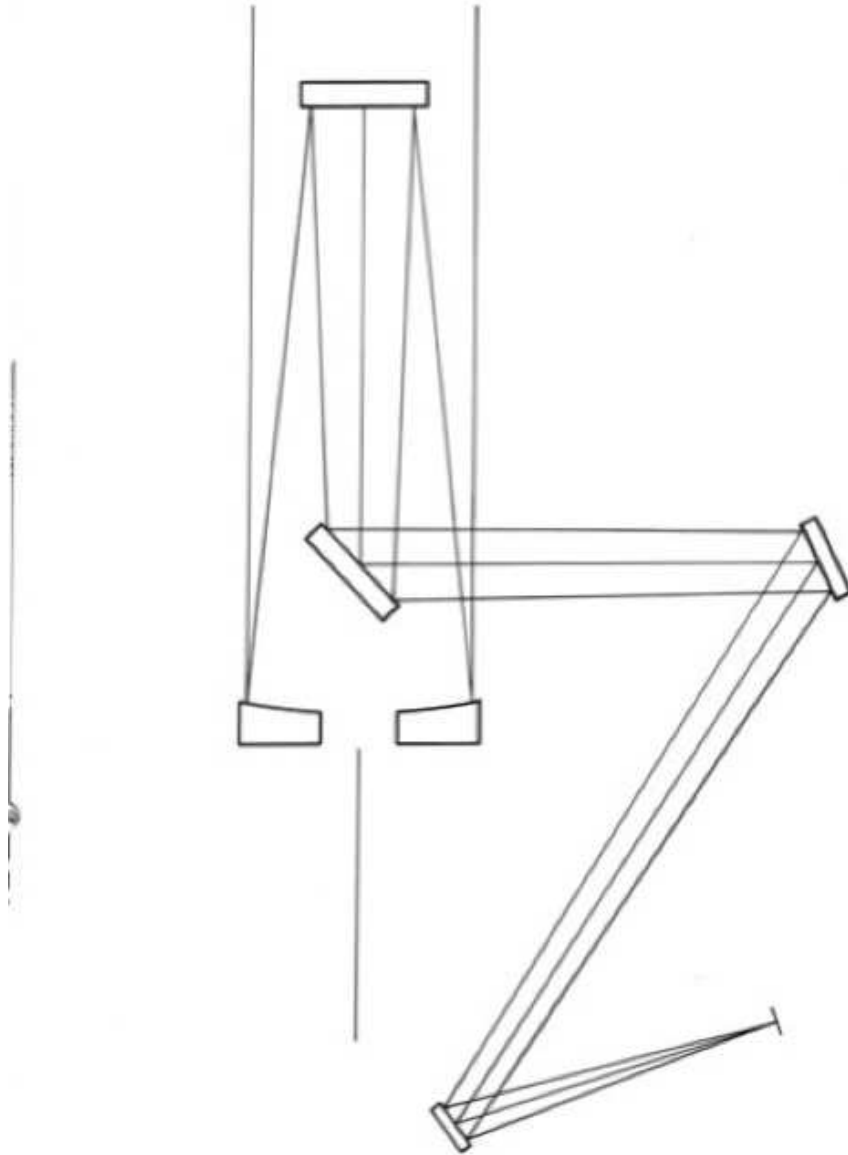
Vi hadde også en håndholdt styringsenhet som kontrollerte finbevegelse og innstilling av teleskopet på et objekt.

Styrebordet hadde en computer som kunne foreta automatisk setting av teleskopet ved at vi tastet inn koordinater. Men hvorvidt vi benyttet oss av dette husker jeg ikke. Jeg tror alle som brukte teleskopet likte å kjøre det manuelt til ønsket posisjon kom fram på displayet. For automatisk guiding av teleskopet ble det installert en billedforsterker slik at guiding kunne gjøres fra operasjonsrommet (kap. 8.3)



Figur 3.3. Snitt gjennom teleskopet som viser lysgangen til Cassegrain fokus (Lorenz brosjyre)..

Coudefokus brukes til spektra med høy oppløsning. For å få det til måtte vi snu sekundærspeil til et med lang brennvidde og montere tre speil for å lede lyset ned i et av de to Couderommene som ble innredet i etasjen under. Coudefokus ble aldri tatt i bruk.



Figur 3.4 Lysgangen i Coudefokus krevde et sekundærspeil med lengre brennvidde samt 3 speil for å føre lyset ned i et av Couderommene i etasjen under.

3.2.2 Produksjon av teleskopet



Figur 3.5 Lorenz Scientific Inc. i Toronto, Canada.

Foto: JES



Figur 3.6 viser deler til teleskopet ferdig maskinert i Toronto, Canada. Øverst ser vi teleskopfoten med det store deklinasjonshjulet. I de runde åpningene ble det satt inn blylodd for å balansere vekten av teleskopprøret som henger i den andre enden av akselen.

Vi merker oss en firkantet åpning i teleskopfoten, noe som var meget praktisk for justeringer og trekking av kabler. Nederst ser vi speilcellen med en ytre tynn ring som sikring for at speilet ikke skal vippe ut ved lave vinkler.

Figur 3.6. Deler til teleskopet under produksjon ved verksted i Toronto.

Foto: JES

3.3 Teleskopfundament, observasjonstak og kuppel.

Observasjonsbygget skulle inneholde teleskopet, kontrollrom for innsamling og analyse av data, samt oppholdsrom og soveplass for observatører inntil soveplasser på den store feltstasjonen ble tilgjengelige. Det ble planlagt sammen med plan- og utbyggingsavdelingen ved Universitetet (PLUT) som var byggherre. For oss som brukere var dette en interessant øvelse. Vi kom med våre spesifikasjoner og de ble lagt inn i prospektet som ble utført uten at vi noen gang ble fortalt hva det egentlig kostet. Antakelig kostet bygget flere ganger det teleskopets kostet. De spesielle kravene vistilte til bygget, skyldes at bygg og teleskop skulle fungere som en enhet, slik som på profesjonelle observatorier.

Et absolutt krav var at teleskopet skulle fundamenteres på fast fjell. Det måtte også sikres at det ikke var kontakt mellom resten av bygget og teleskopfundamentet, og at bolig/arbeidsdelen ikke lekket varm luft opp i teleskoprommet. Det ble løst på den måten at teleskopkuppelen ble plassert på et betongtak som var fundamentert på stolper ned på fjell, mens boligdelen/arbeidsdelen var et isolert hus under betonggulvet med ca. 1 meter klaring under betonggulvet som også var isolert nedenfra. Betongtaket var større enn teleskopkuppelen så plassen utenfor kuppelen kunne brukes til andre instrumenter (nordlys og kosmisk bakgrunnstråling). Som et ekstra vern mot varm luft nedenfra var adgangen til observasjonstaket via en utvendig trapp. For å gå fra kontrollrommet til teleskopet måtte 4 dører passerers. Et calling-system gjorde kommunikasjon mulig uten å gå ut.



Figur 3.7. Bestemmelse av sted for plassering av teleskopbygget. Til venstre professor Karl Dag Vorren, leder av feltstasjonsutvalget, til høyre Ingeniør Dagfinn Mikkelsen, PLUT (Plan og Utbyggings-avdelingen). Han var byggeleder for observatoriet. Foto: JES



Figur 3.8. Her lages hull for feste av teleskopfundament til fjellet.

Foto: JES



Figur 3.9. Nå er observasjonstaket og teleskopfundamentet ferdig. I fundamentet er det støpt ned bolter etter oppgitt mønster for teleskopets fot. Plastrøret er for styringskabler som skal inn i teleskopfoten. I bakgrunnen ser vi skyggen av en ring hvor kuppel skal festes. Foto: JES

Som kuppel til teleskopet valgte vi kuppel fra ASH Domes. Det er en familiebedrift i nærheten av Chicago som har spesialisert seg på kupler. De er bygget av aluminiumsprofiler og har vist seg meget solide og brukervennlige. Vår versjon hadde diameter 6,21 m og hadde som spesialitet et neoprenskjørt over hjulgangen nederst, slik at snø ikke skulle fyke inn. Dette virket for det meste bra. Ash Domes ble besøkt under en mellomlanding i Chicago på vei til Toronto for besøke Lorenz som skulle produsere teleskopet.

Et spesielt krav fra Ash Domes var at vi skulle ha støpt en ring med bolter i et spesifisert mønster. Dette er vist i figur 3.11 – øverst til venstre.



Figur 3.10. Fra produksjonshallen til Ash Domes i nærheten av Chicago. Foto: JES

Kuppelen ble levert og montert i mars 1977. En representant fra Ash Domes (Ash jr.) monterte den på to dager med god hjelp av våre verkstedsfolk Tore Nergård og Reidar Persen.

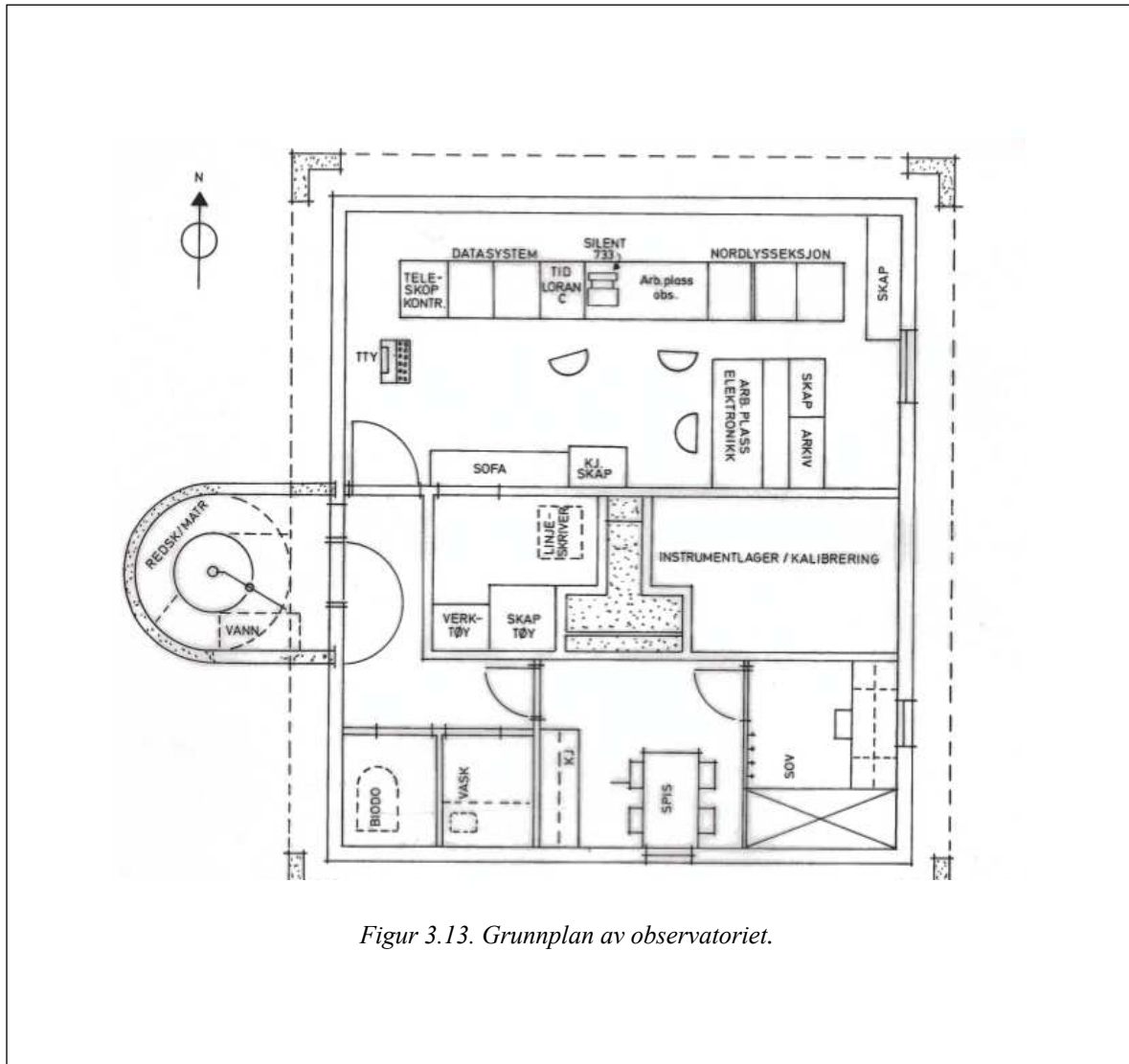


Figur 3.11. Montering av kuppel fra Ash Domes, Øverst til venstre monteringsring for kuppelbygget på observasjonstaket. Øverst til høyre er den sylindriske delen av kuppelbygget satt på plass. Nederst til venstre er selv kuppelen montert og det arbeides med spalteåpningen. Til høyre er kuppelen ferdig. Foto: JES



Figur 3.12. Observatoriet med Observasjonstak og kuppel – klart til å ta imot teleskopet. Huset er under bygging under plasten. Mars 1977. Foto: JES.

I mars 1977 var observasjonstaket ferdig og kuppel var levert og montert. Huset under var tre måneder forsinket, og teleskopet var fremdeles ikke ferdig i Toronto. Huset ble ferdig i august og ble sammen med observasjonstaket brukt til nordlysobservasjoner utover høsten 1977. Inne i kuppelen monterte våre dyktige mekanikere et hevegulv konstruert på trykklufteopererte billøftebord. Det viste seg å være ekstremt nyttig for observatørene som slapp å klatre i lange og utstødige gardintrapper for å observere.



Figur 3.13. Grunnplan av observatoriet.

3.4 Huset med operasjonsrom, kjøkken, soverom m.m.

Innredning av huset under observasjonstaket var en nedskalert versjon av IR-observatoriet slik det var foreslått i Figur 1.16. Det hadde en grunnflate på 56 m² og var innholdsrikt.

Det største rommet på 25 m² kalte vi operasjonsrommet. Her ble det satt inn rack for kontroll av instrumenter og arbeidsbord for operatører. Det var en avdeling for nordlysinstrumenter og en for astroinstrumenter. Midt i huset var det to «Couderom». I disse rommene var det også fundamenter til fjell for stabil montering. Det var laget kanaler for lys fra teleskopets Coudefokus til begge disse rommene. Det ene (minste) ble brukt til verktøy og klesskap. Det andre til testing av utstyr og lagring av instrumenter. Vi forsøkte aldri å bruke Coudefokus, selv om vi fikk levert teleskopet med et ekstra sekundærspeil som brakte fokus ned i etasjen under teleskopet. Vi hadde nok med det vi kunne gjøre i Cassegrainfokus. I begge Coude-rommene var tak og vegger malt svart for å unngå strølys.



Figur 3.14. Operasjonsrommet med astro-rack til venstre og nordlys-rack til høyre.

Mer en halvparten av arealet i huset ble brukt til kontrollrommet og Couderommene. Det var i første utkast til bygg ingen vinduer i operasjonsrommet, men i siste øyeblikk fikk vi lagt inn et vindu. Det var viktig å kunne se ut når vi hadde dagslys



Figur 3.15. I operasjonsrommet var det også et teknisk hjørne der vår ingeniør Lennart Berger jobbet med instrumentene. I forgrunnen Troms-Texas fotometeret (TTP) opp ned.

I boligdelen hadde vi så små rom som mulig. En indre korridor førte til et kjøkken på 6.5 m² og et soverom på 5 m² med to køyesenger. Langs denne korridoren var det et vaskerom, som vi også brukte som mørkerom og et rom med tørrklosett. Til å begynne med fikk vi vann fra en tank under taket i trappebygget hvor en utvendig trapp førte opp til observasjonstaket. På observasjonstaket ble det plassert nordlysinstrumenter og temporære instrumenter, f.eks. små teleskop når astronomiforeninga eller skoleklasser var på besøk. En periode hadde vi mikrobølgeantenne på taket for å fortsette forsøket på å detektere kosmisk bakgrunnstråling, beskrevet i kap. 7.

Noen år senere ble det sprengt grøft fra feltstasjonen nede og det ble lagt inn permanent vann og avløp, slik at vannklosett kunne installeres. Fra starten ble det lagt inn et callingsystem med apparater i alle rom. Men vi fikk en god latter da vi oppdaget hvor kort vei det var mellom rommene. Det var ikke vanskelig å kommunisere inne i huset. Men callingsystemet var viktig opp til kuppelen og senere ned til feltstasjonen. Det var også lagt inn et brannvarslingssystem som varslet feltstasjonen nedenfor. Vi hadde vaktmester felles med feltstasjonen. Det var Hermod Lambela som også utførte mange snekkerprosjekter for Ove Harang som stadig modifiserte nordlysbrakkene sine. Det ble også etablert renhold med personale fra feltstasjonen.

Huset fungerte meget bra, selv om det var noen kommentarer om lukt fra tørrklosettet når vi hadde besøk. Det var laget en kjørevei til observatoriet, og vi fikk anledning til å stenge denne med bom, slik at vi ikke ble forstyrret av billys mens vi observerte. Om vinteren kunne veien bli glatt, og i en oppoverbakke med krapp sving måtte vi sakke farten, så det hendte at vi ikke greidde å kjøre opp. Noen ganger havnet vi utfor veien når vi rygget nedover på glatta. Vi lærte etter hvert hvordan vi skulle få bilen inn på veien igjen ved hjelp av snøskuter.

3.5 Mens vi ventet på teleskopet

Høsten 1977 var det stor aktivitet på det nye observatoriet. Observasjonsassistenter ble engasjert til å passe på nordlysinstrumenter som ble plassert på observasjonstaket av nordlysforskerne Kjell Henriksen og Ove Harang. På bildet (Fig. 3.16) ser vi Kjell Henriksen justere et instrument. Han ble på observatoriet kun en vintersesong. I løpet av 1978 flyttet han virksomheten til Longyearbyen på Svalbard.



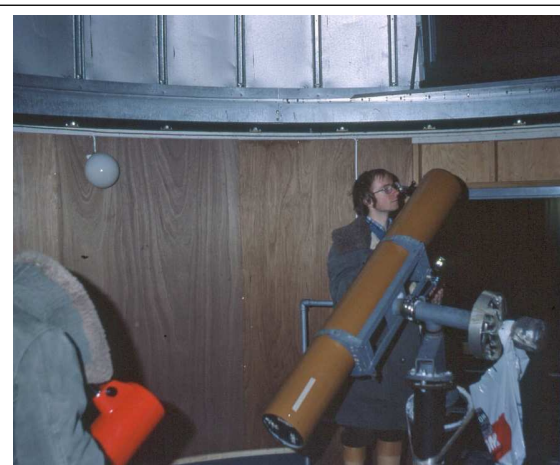
Figur 3.16. Kjell Henriksen jobber med sine instrumenter i kontrollrommet. Foto: Lennart Berger

Figur 3.17 viser Ove Harang foran Nordlysavdelingen i kontrollrommet og i figur 3.18 observerer Ragnar Kalleberg fra kuppelen.



Figur 3.17. Ove Harang med instrumentrack for nordlysobservasjoner. Det er trolig en spektrograf som står til høyre i bildet. På toppen av det nærmeste racket ligger vår første OLT mobiltelefon, VLF med manuelt oppkall til sentral. Den ble brukt under flere av turene til fjells.

Foto: Lennart Berger.



Figur 3.18. I observasjonskuppelen installerte Ragnar Kalleberg sitt 6-tommers hjemmelagde teleskop. Til venstre en rød Edmund Astroscan som ble brukt av Jan-Erik Solheim

Foto: Lennart Berger

3.6 Lorenz-teleskopet monteres



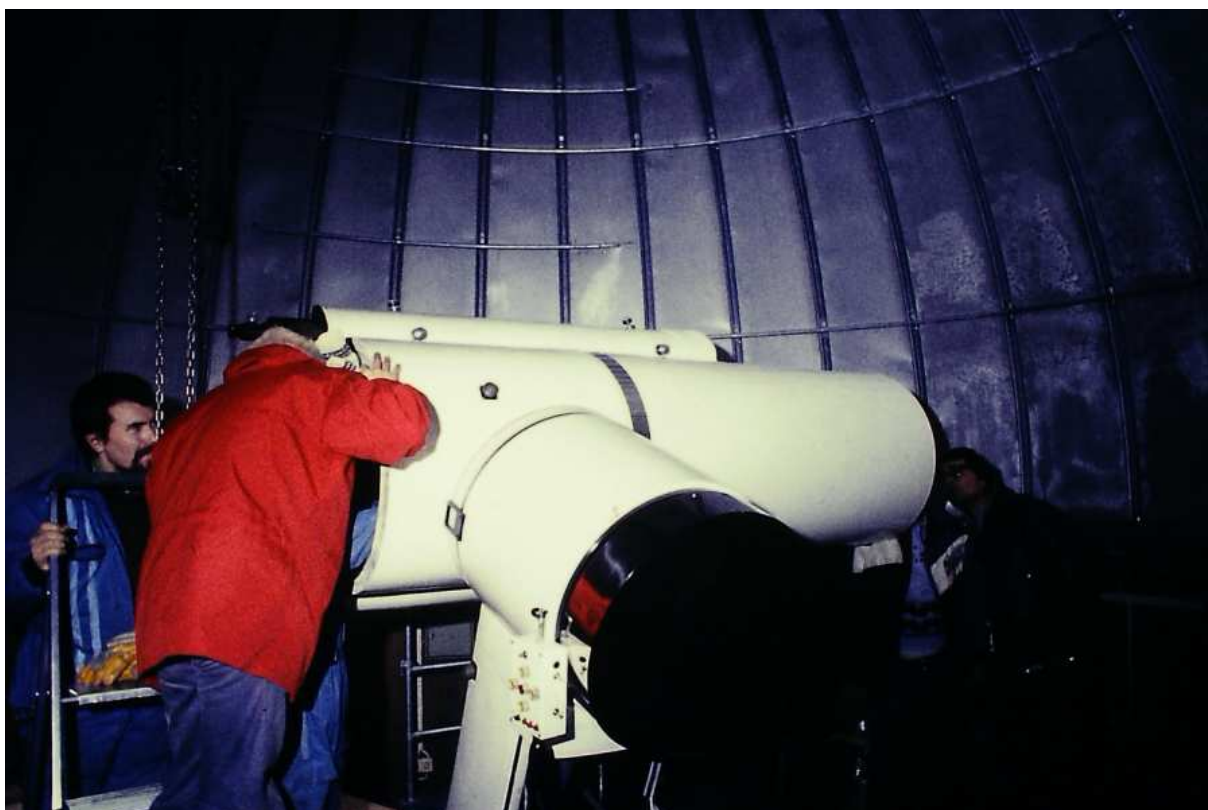
Figur 3.19.. Teleskopet kommer ut av sin container. Fra venstre Lennart Berger, Ragnar Kalleberg, Heinz Lorenz, Reidar Persen og en tekniker fra Canada.

I januar 1978 skjedde det. Teleskopet ankom Tromsø i en container og ble fraktet innover til Skibotn. Lorenz kom selv til Skibotn medbringende en tekniker, for å lede monteringen. Lorentz første bekymring og overraskelse, var at Tromsø ikke hadde en lastebil med «pianofjærer» som kunne kjøre kassene tilstrekkelig skånsomt til Skibotn. Han måtte ta til takke med en standard kassebil, men det viste seg å gå helt fint. Konstruksjonen av teleskopet var jo ganske robust, så det tålte transporten med god margin.

Lorentz neste bekymring var at mobilkranen som skulle løfte delene på plass i kuppelen ikke lot seg styre med den millimeterpresisjonen som han ønsket. Dette ble videre komplisert av at kranføreren i bilen ikke kunne se teleskopet i kuppelen, så han var avhengig av håndsignaler fra Reidar som sto i luka, og som igjen ble dirigert av Lorentz på gulvet. Men alt i alt gikk operasjonen bra, og verken teleskop eller folk ble skadet.



Figur 3.20. Teleskopdeler tas ut av sin container. I kassen står Reidar Persen og Heinz Lorenz. Foran står Tore Nergaard som dirigerte det hele.



Figur 3.21. Del for del kommer teleskopet på plass inne i kuppelen.



Noe var vrient å montere. På bildet til venstre er Lorenz-teknikeren inne i teleskopet for å skru fast det choppende sekundærspeilet. Da choppemekanismen ble testet litt senere, choppet det lystig i vei i ca. 20 minutter, så begynte skruer å løsne. Vi demonterte etter hvert denne mekanismen. Vi konkluderte at det er enklere å lage et fotometer med et choppende speil.

Figur 3.22. Montering inne i teleskoprøret. Bjørn Ragnvald Pettersen til høyre.



Figur 3.23. Til slutt var de mekaniske delene på plass og det ble feiret i kontrollrommet. Ove Harang, Heinz Lorenz og Bjørn Ragnvald Pettersen.

3.6 Innkjøringsperioden

Selv om teleskopet ble pent satt sammen på en lang kveldsøkt, tok det en stund før drivsystemet virket som det skulle.

Teknikeren fra Toronto okkuperte det tekniske hjørne i operasjonsrommet i flere uker. Etter hvert som mørketiden gav seg, fikk han se landskapet. Det var ganske forskjellig fra prærien i Canada. Han så rett inn i den stupbratte Adjet-fjellveggen og kom ikke over at her var landskapet vertikalt, i motsetning til den horisontale prærien.

Vi oppdaget at teleskopet vibrerte når noen slamret dører i bygget. Forklaringen var at man hadde pusset gulvet i kuppelen fast i søyla til teleskopet, og problemet forsvant når vi hugget vekk den overflødig betongen slik at søyla ble frittstående som meningen var.



Figur 3.24. Norges største teleskop er på plass. Foto: Uniternt

Et verre problem hadde Lorenz med den originale styringslogikken som viste seg å være såpass støyfølsom at teleskopet ikke lot seg kontrollere stabilt. Kombinasjonen av høyimpedans CMOS-kretser og de kraftige strømdriverne til motorene fungerte ikke helt som tenkt. Det ble en tur tilbake til Canada med ombygging før Lorentz fikk det hele til å spille.

Teleskopets polvinkel kunne justeres ved hjelp av tre skruer plassert i en T på søylen. Ragnar Kalleberg tok på seg jobben å stille inn polakselen. Han observerte teleskopets bevegelse som funksjon av skruevinkel. Det ble et meget nøyaktig system for justering. Vi fikk bruk for det noen år senere da det ble sprengt grøft for vann og avløp til observatoriet. Da hoppet teleskopet på fundamentet og vi måtte til å skru.

Til slutt var teleskopet operativt og viste seg å bli et veldig stabilt og nøyaktig instrument etter en del justeringer og forbedringer.

3.7 Flytting fra Olderbakken til Observatoriet

Med teleskopbygg, kjøkken og soverom var det ikke lenger behov for å bruke anlegget på Olderbakken. Den store brakka som huset nordlysinstrumentene, ble derfor flyttet opp til Observatoriet. Samtidig ble vårt egenproduserte observatorium for T21 flyttet opp. Et kraftig fundament ble murt opp. Her skulle monterte Ragnar Kalleberg et 30 cm Newton teleskop for bruk av amatørastrofomer..



Figur 3.25. Flytting fra Olderbakken til Observatoriet. Til høyre de to byggene fra Olderbakken.

Vi tok også med oss campingvogna (fig 2.15). Den viste seg å være mer populær som soveplass enn køyesengene bak kjøkkenet (se figur 6.9).

Men byggevirksomheten stoppet ikke med dette. Da kraftverksutbyggingen i Skibotndalen gikk mot slutten, ble brakkerigger tilbudt rimelig (gratis). Ove Harang var raskt ute og fikk tak i 5 brakker. Han fikk til og med anleggsfirmaet Høyer Ellefsen til å levere dem på Observatoriet, hvor Ove hadde ferdig et fundament (enkelt ramme) som de ble satt ned på. Dermed fikk nordlysavdelingen god plass. Her ble det mange arbeidsplasser og overnattingsmuligheter.



Figur 3.26. Nordlysavdelingen på plass i romslige lokaler

3.8 Teleskopet klart til bruk

Høsten 1978 var teleskopet klart til bruk. Lennart Berger var ansatt som driftsansvarlig siden sommeren 1977. Ragnar Kalleberg, Karl Emil Egge og Stein Høydalsvik ble engasjerte som observasjonsassistenter i observasjonssesongen. Observasjonstid ble delt ut som hele uker. Hovedprosjekt for teleskopet var å opparbeide kompetanse, utvikle instrumenter og utføre studentprosjekter. Hovedfagstudentene Stein Høydalsvik og Karl Emil Egge gikk umiddelbart i gang med observasjoner til sine hovedfagsoppgaver. Det ble også observert finstruktur i nordlyset med teleskopet. I følgende kapitler vil vi redegjøre for de instrumenter vi bygget og erfaringer med observasjonsvirksomheten.

3.9 Konklusjon

Skibotn-teleskopet var planlagt som et profesjonelt teleskop. Det ga oss observasjonserfaring og mulighet til å utvikle og forbedre egne instrumenter, ikke minst fordi vi hadde god teknisk støtte fra egen driftsingeniør, og adgang til hjelp fra meget kompetente elektronikk- og mekanisk verksteder ved Nordlysobservatoriet i Tromsø.

Kompetansen vi opparbeidet gjorde at vi kunne delta som fullverdig partner i det Nordiske Optiske Teleskop (NOT) prosjektet da det ble startet opp høsten 1982.

Referanser

1. Jan-Erik Solheim 1974, *Forslag om Infrarødt astrofysisk observatorium i Nord-Norge*, The Auroral Observatory, Rapport 02-74, 1974.



Foto: Robert Kamben

Vi var klare til å observere stjerner under nordlyset.

4. De første instrumenter

Ragnar B. Kalleberg, Lennart Berger og Jan-Erik Solheim (red)

Da teleskopet ble tatt i bruk høsten 1978 hadde vi allerede instrumenter klare til utprøving. Et fotometer beregnet for raske og kontinuerlige målinger konstruert i Texas ble et hovedinstrument. Fra Texas fikk vi også med oss minidatamaskiner av typen Nova – antakelig blant de første i Norge. Det ble brukt til raske registreringer av data og etter hvert både lagring og analyse av data. Fra Olderbakken hadde vi med et chopperfotometer som raskt kunne tas i bruk på teleskopet. Det ble en pionertid med testing av observasjonsteknikker hvor vi også tok i bruk digitalisering og computerstyring av instrumentene.

4.1 Innledning

Som beskrevet i kapittel 2 startet vi allerede i 1974 med å utforske hvordan vi kunne utføre fotometri i nordlyssonen både i det optiske området (synlig lys) og i IR området. Hans Kristian Myrabø utførte sin hovedoppgave ved å prøve ut et tokanalsfotometer hvor en kanal var optisk og en kanal IR (kap 2.3). Han fant at dette ikke ble godt nok og designet et chopperfotometer som ble bygget på Nordlysobservatoriets mekaniske verksted av Reidar Persen (kap 2.4). Dette ble etter hvert tilpasset og digitalisert for bruk på Lorenz teleskopet. En av de første hovedoppgavene som brukte dette fotometeret var fotometri av kontaktbinærstjerner ved Karl Emil Egge (kap 5). Chopperfotometeret var brukbart til langsomt varierende stjerner, men for å få kontroll med variasjon i ekstinksjon, måtte fokus flyttes til en sammenligningsstjerne ved jevne mellomrom. Det ble derfor hull i lyskurven.

I 1960-årene var enkanalsfotometre vanlige. For kalibrering og ekstinksjon ble det vekslet mellom å observere objekt og sammenligningsstjerner. Det ble imidlertid oppdaget noen raskt variable stjerner. Etter hvert begynte man å tvile på disse variasjonene. Kunne det være atmosfæren som varierte? Det førte til at astronomer ved McDonald observatoriet i Texas utviklet et tokanalsfotometer, hvor de samtidig kunne observere den variable stjerna og en konstant sammenligningsstjerne. Dette førte til utvikling av Texas tokanalsfotometeret som ble introdusert i 1972. Ved bruk av dette fotometeret ble det vist at mange rapporterte raskt variable stjerner slett ikke var variable, mens nye variable ble funnet.

Samtidig ble det mulig å bruke computer til å registrere tellinger fra fotometeret. Her var Astronomy Department ved University of Texas i Austin pionerer. De tok i bruk den først produserte enheten av Digital Equipments Mini Data maskin: Nova. Under oppholdet i Texas 1975/76 fikk Solheim bygget et Texas-fotometer og kjøpte samtidig to Nova-maskiner til utlesning av data. Som kjøper av to maskiner fikk han to uker på Data Generals fabrikk i Boston for opptrening. En uke ble brukt til assembly-programmering og en uke til hardware opplæring. Dette kom godt med i Skibotn.

Nova-computere gjorde at vi kunne registrere fotoner fra stjerner med en samplingstid på et millisekund. Det førte til en hovedoppgave av Stein Høydalsvik for registrering av stjerneokkultasjoner ved måneranden (kap. 5). For å gjøre presise registreringer av tidspunkt for en okkultasjon trengte vi et presist tidtaker-system. Det fikk vi til ved en rubidium-standard og Loran-C mottaker. Tidtaking og datasystem er beskrevet i 4.2, Texasfotometeret i 4.3.

Men vi stoppet ikke med det. En sentral del av astrofysikken er analyse av spektra, og vi ville gjerne ha en spektrograf på teleskopet. Vi lanserte forslag om en fiber-optisk cryo-spektrograf. Den er beskrevet i kapittel 8 som også omhandler forbedringer av teleskopet. Vi ville også observere kometer og asteroider og fikk bygget et platekamera. Dette ble brukt til å observere Halleys komet i 1986 og er beskrevet i hovedoppgave av Knut Henriksen (kap. 9). Platekameraet ble også brukt til å analysere innstilling og tracking av teleskopet. Siden det hovedsakelig ble brukt etter 1980 presenteres det i kapittel 8.

Det ble en meget variert samling av instrumenter som kunne prøves ut på teleskopet. Dette fikk stor betydning da vi skulle bidra med instrument til det Nordiske Teleskopet og konstruere reisefotometer for bruk på teleskop i Sentral-Asia (kapittel 10).

Våre undersøkelser av betingelsene for IR-observasjoner fikk førte til at vi fikk gjesteobservatører fra Italia og USA og at vi i en periode forsøkte å detektere kosmisk bakgrunnstråling i 10 GHz området (kapitel 7). Det ga oss erfaring med mikrobølgeobservasjoner, noe som førte til at Norge ble invitert til å delta i det internasjonale Planck romprosjektet, et av European Space Agency's største prosjekter.

4.2 Datastyring og tidtaking

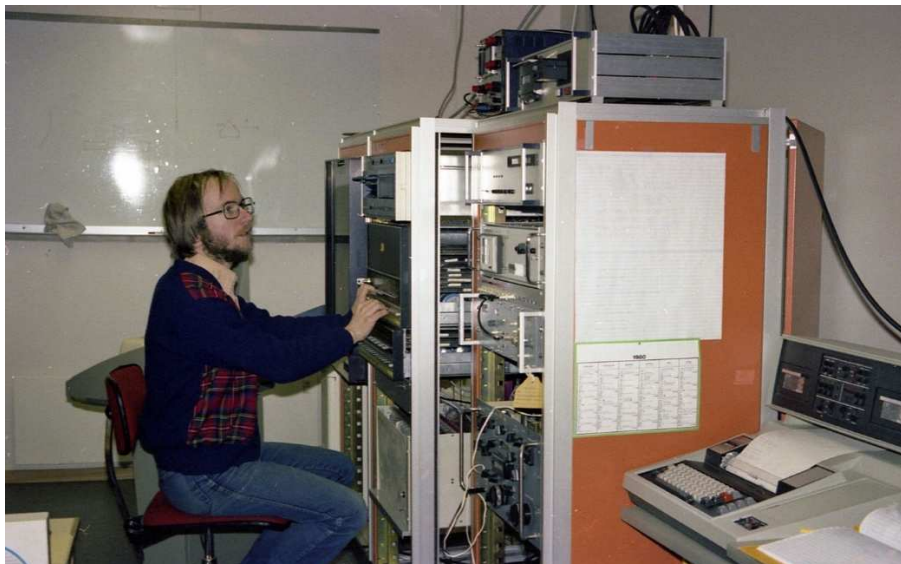
Lennart Berger og Ragnar B. Kalleberg

4.2.1 Datasystemet

Data General produserte 16-bits mini-computere (Nova) som skulle være et billigere alternativ til PDP som de slektet mye på. I Skibotn hadde vi en 4-slots og en 10-slots utgave. Maskinene hadde magnetisk core-memory, og dette gjorde det mulig å ha observasjonsprogram liggende permanent i core også uten strøm på maskinen. Til å begynne med var innlesning av programvare fra perforerte papirbånd, men etter hvert fikk vi 8-tommers floppydisker og en magnetbåndstasjon. Stand-alone programmene som var skrevet i assembly-kode ga en veldig god kontroll med tidsresponsen til computeren, og dette var en forutsetning for mange av de observasjonene som skulle gjøres. Data General hadde også sitt eget multi-tasking operativsystem som gjorde det enklere å drive programutvikling og generell datautveksling. En utfordring med Nova maskinene var at de analoge kretsene rundt core-memory var noe ustabile og krevde en del vedlikehold. Noen memory-kort ble byttet ut undervegs.

4.2.2 Tidssystemet

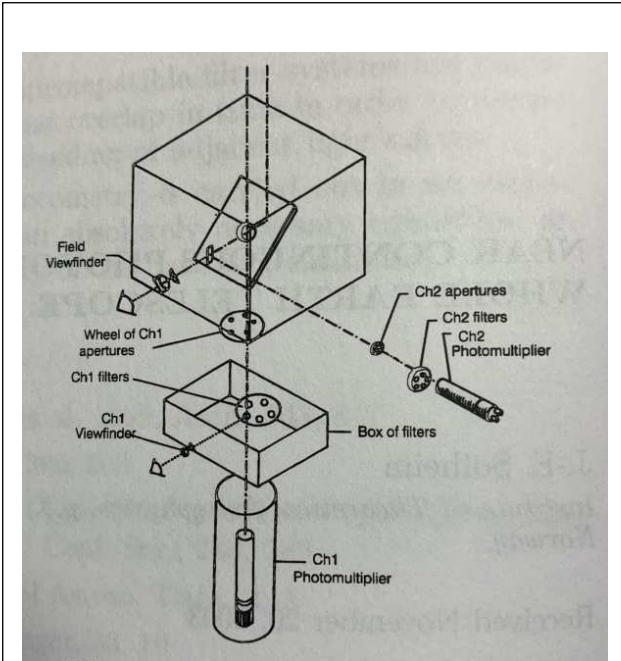
Til noen observasjoner er det nødvendig med nøyaktig tidsangivelse, og vi ønsket å komme godt under 1 ms i sann tid. Dette var ikke helt enkelt å få til før GPS var tilgjengelig. Løsningen var basert på Loran C signalene sendt på 100 kHz. Dette krevde en stabil og nøyaktig frekvensreferanse som var en rubidiumstandard, en kortbølgeomottaker for synkronisering på sekundnivå, og en egenbygget klokke for å gi tidskoder til datasystemet. Synkroniseringen av dette tidssystemet var litt komplisert og tidkrevende, men vi mener at vi hadde en nøyaktighet ned mot 10 mikrosekund på det beste.



Figur 4.1. Datasystemet og tidssystemet er kommet på plass. Ragnar Kalleberg setter brytere på den største Nova-computeren. Den minste er montert rett under. Øverst i raket er den doble, 8-toms floppy-disk driveren. I raket lengst bort er magnetbåndstasjonen. På toppen av det nærmeste raket står en boks med hullbånd-leser og kassett-tape leser. Nedover i raket finner vi stasjonsklokka, Lorang-C mottaker, rubidium frekvensstandard og en gammel kortbølgeomottaker. Til høyre er en konsoll med termisk papirutskrift og doble kassettbånd-spillere. Foto: Lennart Berger

4.3. Texas fotometeret

Jan-Erik Solheim

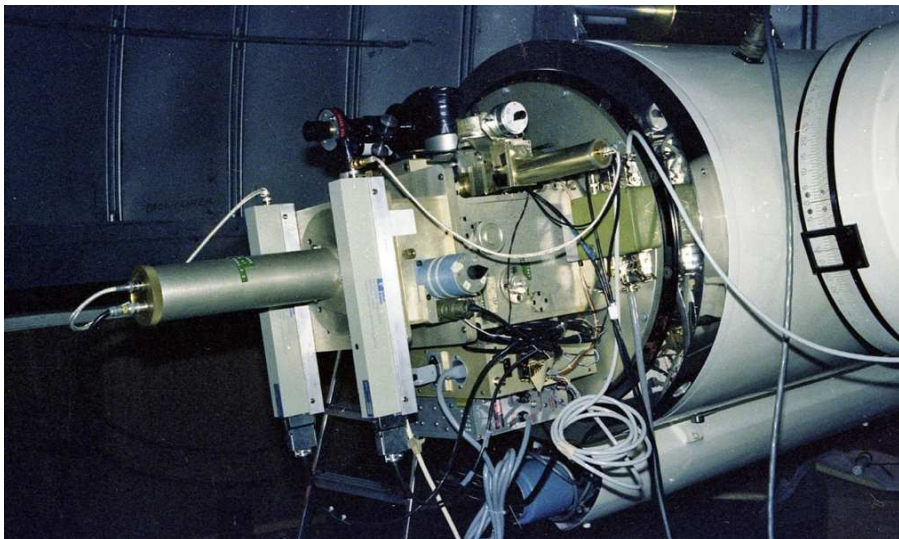


Figur 4.2. Prinsipper for Texas tokanals-fotometer. Vi ser at lyset fra hovedstjerna går rett gjennom hullet i skråspeilet, deretter gjennom et hjul med blendere og så gjennom et filter i et filterhjul. Lys fra sammenligningstjerne blir avbøyd av det store speilet og kan studeres med et okular. Når stjerna er funnet kan et speil vippes og lyset sendes til en fotomultiplikator gjennom en blender og et filter.

Som nevnt ble dette konstruert ved University of Texas, Astronomy Department. Under mitt opphold i Texas 1975/76 brukte jeg den første versjon av dette tokanalsfotometeret og fikk laget en utgave til Tromsø. Dvs. det var strengt forbudt for ansatte ved universitetet å bruke universitetets laboratorier og verksteder til kommersiell virksomhet, så det ble laget et privat selskap hvor universitetsansatte bygget fotometeret hjemme på hobbyrommet eller på verksted i egen garasje. Ingeniør Fred Harvey satte sammen elektronikken og finmekaniker Harold Lehnick utførte det mekaniske arbeidet. Han var meget dyktig. Vi hadde kun råd til hovedkanalen i første omgang, men vi fikk med nøyaktige tegninger slik at Reidar Persen på Nordlysobservatoriets verksted kunne lage kanal 2, som var et stykke presisjonsmekanikk.

Etter hvert som vi digitaliserte våre instrumenter innførte vi fjernstyring på filterhjulene slik at vi kunne observere flere spektralbånd i sekvens. For å få bukt med varierende himmelbakgrunn pga. nordlys, så satte vi også inn en tredje kanal som kun

observerte himmelbakgrunn. Fotometeret fikk navn TTP (Tromsø-Texas-Photometer) og vi tok det med til observatorier på Tenerife, La Palma og Moletai i Litauen. Da astrofysikkvirksomheten ved Skibotn observatorium ble nedlagt var det utlånt til Teide observatoriet på Tenerife.



Figur 4.3. Tromsø-Texas fotometeret i 2-kanals utgave. Kanal 2 sitter øverst på bevegelige sleider, og kanal 1 sitter sentrert til venstre. Vi ser filtermotorer for begge kanaler. På begge sider av kanal 1 ser man de lange pulsforsterkerne, en for hver kanal. Under fotometeret sitter høyspenningsforsyningen til fotomultiplikatorene.

Foto: Lennart Berger

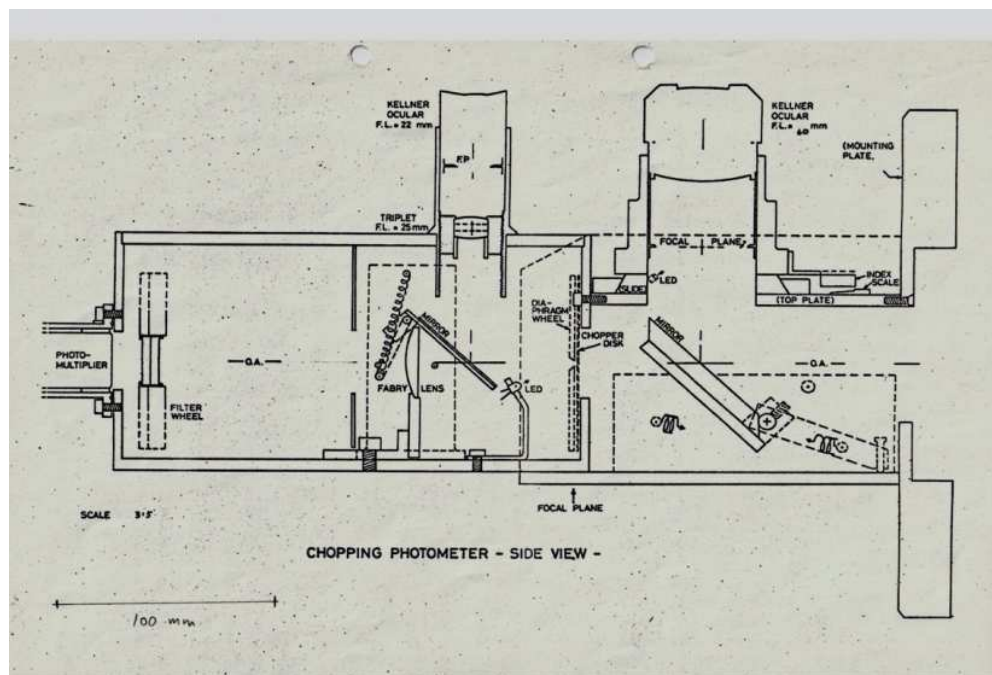
Da Svein Sivertsen kom til Universitetet i Austin sommeren 1976 fikk han prøve fotometeret på McDonaldobservatoriet før det ble sendt til Tromsø. Her bygget vi et spesielt stativ til det for å prøvekjøre det vinteren 1977/78 mens vi ventet på teleskopet. Til å begynne med hadde vi kun en kanal under computerkontroll, men det var nok for hovedoppgaven til Stein Høydalsvik som er omtalt i kap. 5.

4.4 Tilpasning og digitalisering av Chopperfotometeret

Ragnar B. Kalleberg

Lorenzteleskopet hadde et helt annet opplegg for montering av måleinstrumenter på bakplaten enn 21 cm teleskopet i observatoriet på Olderbakken. Så da Chopperfotometeret skulle tas i bruk i det nye observatoriet måtte det påmonteres en stor flens i forkant, slik at det kunne boltes på Lorenz-teleskopets bakplate.

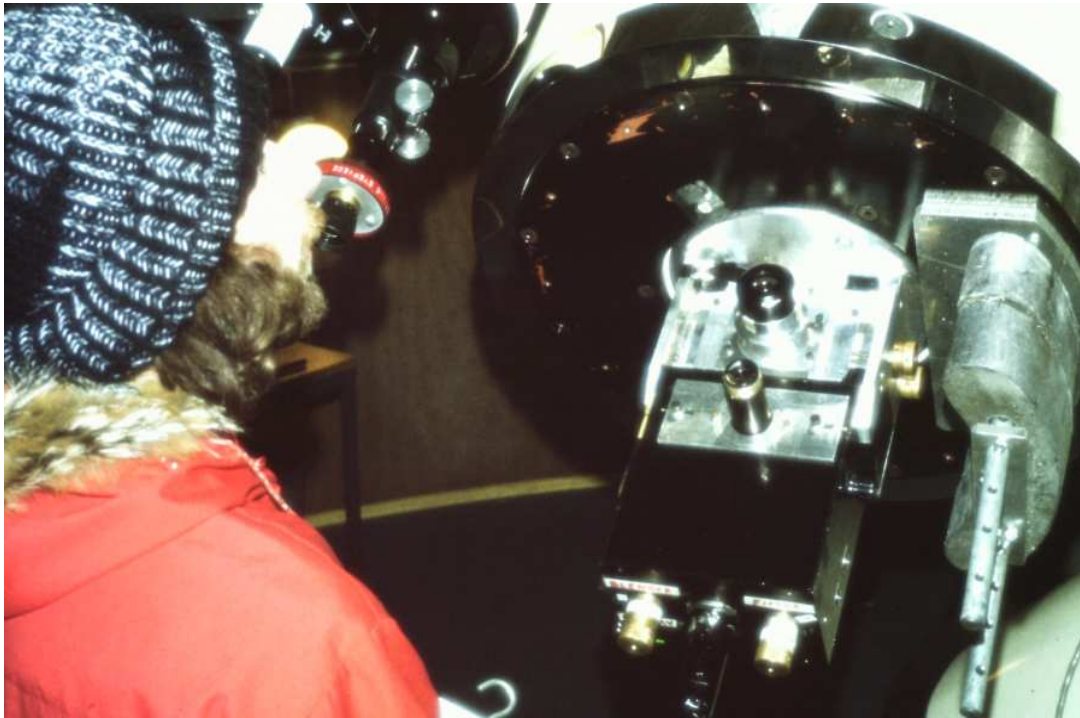
Samtidig benyttet man anledningen til å bygge en søkermodul i forkant av fotometeret for å gjøre det lettere å finne og sentrere stjernen som skulle observeres. Inne i søkermodulen monterte man et vippespeil som i søkeposisjon sendte lyset fra teleskopet ut til et stort okular med vidt synsfelt og et belyst trådkors. Dette okularet kunne justeres sideveis slik at en stjerne sentrert i trådkorset ville havne midt i den valgte blenderen når vippespeilet ble satt i måleposisjon og slapp lyset videre til blenderparet. Med det opprinnelige blenderokularet og tilhørende vippespeil i bakkant av blenderhjulet kunne observatøren som før sentrere stjernen i den valgte blenderen. Når observatøren deretter vipper blenderspeilet ut av strålegangen, fortsatte lyset videre gjennom feltlinsen og filteret til detektoren, akkurat som før.



Figur 4.4. Chopperfotometeret med ny monteringsflens og søkermodul, sett fra høyre side.

Søkermodulen økte observatørens effektivitet, noe som var viktig når man skulle observere en variabel stjerne for å lage en kontinuerlig lyskurve. Under slike observasjoner måtte man med jevne mellomrom også måle en konstant sammenlikningsstjerne, og da var det viktig å bruke kortest mulig tid på å flytte mellom stjernene for å få kortest mulig gap i lyskurven.

Hovedfagsstudent Karl Emil Egge tok i bruk det modifiserte Chopperfotometeret på Lorenz-teleskopet for å ta en del av observasjonene til sin hovedoppgave. Han brukte samme elektronikk / deteksjonsutstyr som den opprinnelige versjonen, med ratemeter, faselåst forsterker og papirskriver.



Figur 4.5. Chopperfotometeret montert på Lorenz-teleskopet. Teleskopet var i utgangspunktet balansert for det mye tyngre Tokanals-fotometeret, så det måtte improviseres en ekstra motvekt. Observatøren er Karl Emil Egge. Foto: Ragnar Kalleberg

Etter at Egge hadde fullført sine observasjoner ble Chopperfotometeret forsøk heldigitalisert. Myrabø (som designet og testet fotometeret) hadde påpekt at kombinasjonen av ratemeter og chopperhjul ikke var optimal, fordi ratemeterets integrasjoner ikke var synkronisert med chopperhjulet, samt at det ble talt fotoner under skiftet mellom de to blenderne i choppingsekvensen. Det ville vært bedre å ha et opphold akkurat i det chopperen skiftet mellom blenderne.

Ved et skjebnens lune dukket de første, rimelige mikrodatamaskinene opp på slutten av 1970-tallet. Noen av disse hadde innebygget elektronikk som gjorde det enkelt å koble til eksternt utstyr som for eksempel et fotometer. Firmaet Rockwell produserte en maskin som de kalte AIM-65 hvor programutførelsen kunne avbrytes (såkalt «interrupt») av endringen i et elektrisk inngangssignal. Den hadde også innebygde tellere som kunne brukes til å telle fotoner og holde rede på tiden. Og den kunne styre noen elektriske utganger og derved kontrollere eksternt elektronikk.

Den første AIM'en ble anskaffet privat på studentbudsjett. I mai 1981 produserte Lennart Berger raskt et lite elektronikkort som koblet signalene fra fotometeret til datamaskinen. AIM'en programmerte jeg i maskinspråk til å telle fotoner i to virtuelle «kanaler», en kanal for hver blender, fullstendig synkronisert med choppinghjulet. Og - det ble ikke talt fotoner under blenderskiftene. Brukeren kunne bestemme i hvor mange choppingrunder signalet skulle akkumuleres før observasjonen ble lagret. Brukeren måtte også taste inn Universaltid ved oppstart av programmet. Etter det holdt programmet selv rede på tiden. Brukeren måtte også fortelle programmet om stjernen var i høyre eller venstre blender (for å unngå forvirring når måleobjektet var svakt og nordlyset sterkt). Hver enkelt observasjon ble automatisk lagret på vanlige audio-kassetter, en ganske upålitelig prosess, som tok flere sekunder. Som backup ble observasjonene også skrevet ut på en innebygget termoprinter i kassalapp-format, i alt tre linjer à 20 karakterer, hvilket også tok et par sekunder. Informasjonen som ble lagret var dato og tid ved avsluttet integrasjon, akkumulerte tellinger i venstre blender, akkumulerte tellinger i høyre blender, antall chopperrunder, total integrasjonstid i millisekunder, og i hvilken blender stjernen sto. Brukeren kunne foreta enkeltintegrasjoner, eller sette i gang en kontinuerlig registrering. Men som før, måtte observatøren notere hvilket blenderpar og hvilket filter som var i bruk.

Var man heldig så greide reduksjonsprogrammet (som var skrevet i Basic) å lese dataene feilfritt tilbake fra kassetten.

UT	CC	FATE	
19:58:49		10	26-27 OCT 81
19:59:32		-5	T21, CHOPPER-
20:01:10		61472	FOTOMETER.
20:01:57		61884	
20:02:10		61016	
20:02:30		60765	
20:02:56		60019	
20:04:21		61290	
20:04:41		61091	
20:05:02		61567	
20:05:10		61097	
20:05:36		61017	
20:05:54		61972	
20:06:17		61686	
20:06:51		62175	
20:07:00		61623	
20:07:25		61767	
20:07:45		61685	

Figur 4.6. Eksempel på utskrift fra reduksjonsprogrammet, bare Universaltid samt differensen i tellerate mellom de to virtuelle kanalene. Observasjonene ble foretatt med 21 cm teleskopet i det lille kuppel-observatoriet på taket av Optikkbygget i Tromsø.



Etter hvert så oppdaget vi at de innebygde tellerne i AIM-65 maskinen hadde begrensninger i tellehastigheten, så i september 1981 satte vi på en 8 bits utvendig standard TTL-teller som avlesbar prescaler. I praksis hadde vi da en fullt avlesbar, rask 24 bits teller som kunne nullstilles og «gates» (dvs blokkeres for innkommende tellinger av et signal fra datamaskinen).

Observatoriets ledelse må ha vurdert at studenteksperimentet var rimelig vellykket til tross for det teknologisk sett umodne nivået, og anskaffet sin egen AIM-65 med nødvendig tilleggsutstyr, blant annet en EPROM-programmerer for å kunne «brenne» programmene i EPROM'er i stedet for å lese de inn fra kassett, som var notorisk upålitelig.

Figur 4.7. Her er Observatoriets AIM-65 samt kassettpilleren. I tillegg var det en liten oransje elektronikkboks i umiddelbar nærhet av datamaskinen. Det var alt. Ratemeter og faselåst forsterker var eliminert. Karl Emil Egge var med på uttestingen. Kameraet hadde ligget ute i kulden, så den ene halvparten av lukkeren virket ikke

Foto: Ragnar Kalleberg



Figur 4.8. Chopperfotometeret i januar 2019. De to okularene er fjernet, ellers ser det greit ut. Forlengeren i forkant av fotometeret (nederst på bildet, under den grønne tapen) ble laget for å plassere Chopperfotometerets fokus like langt bak teleskopet som Tokanalsfotometerets fokus, for å slippe å fokusere så mye ved instrumentbytte. Foto: J.-E. Solheim

4.5 Sluttord

Takket være dyktige og iderike medarbeidere hadde vi gode og avanserte instrumenter straks teleskopet ble tatt i bruk. Med Lennart Berger som driftsingeniør og Ragnar Kalleberg som assistent med bakgrunn som amatørastonom med sans for enkle og rimelige løsninger, kunne vi gå relativt smertefritt fra den analoge til den digitale observasjonsverden. Studentene som jobbet sammen med oss fikk en unik opplæring i observasjonsteknikker under rask utvikling. Spesielt viktig var det å ha adgang til Nordlysobservatoriets mekaniske verksted og elektronikklaboratorium for større arbeider.

Når det gjelder Chopperfotometeret har Ragnar Kalleberg visse planer om å oppdatere det elektronisk og ta det i bruk på eget teleskop. Tromsø-Texas fotometeret har derimot forsvunnet. Iherdig leting på La Palma og Tenerifeobservatoriet, hvor det sist var utlånt har ikke gitt resultater. Det spekuleres på om det har kommet tilbake til Tromsø og deretter blitt plukket fra hverandre og destruert fordi ingen visste hva det var. *Et instrument med en så spennende fortid burde få en bedre skjebne.*

Vedlegg: Astrofoto med Skibotnteleskopet (TRAF – kap 12)



Figur 4.9. Malstrømgalaksen M51. Lysstyrke 8,4. Foto Solveig Løvseth med Canon EOS 7D. Fotografert med det ombygde teleskopet (se kap. 12)

5. Stjerneokkultasjonar ved måneranda

Stein Høydalsvik

Samandrag av hovudfagsoppgåve

5.1 Problemstillinga for oppgåva

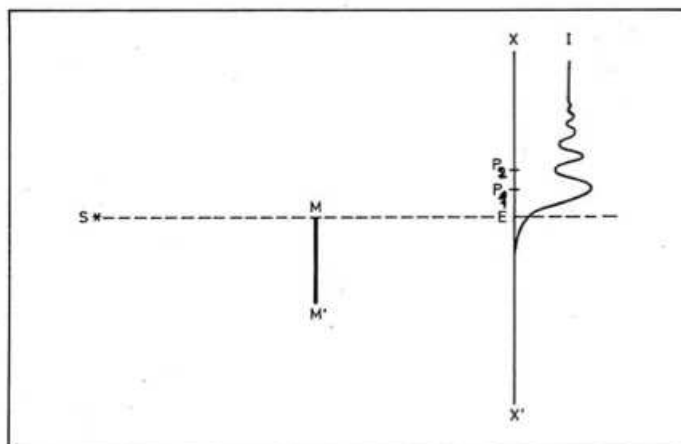
Oppgåva tok utgangspunkt i ein observasjonsteknikk som var vidareutvikla og gjort til eit fast program ved McDonald-observatoriet på byrjinga av 1970-talet, der hurtigfotometri eller fotoelektriske observasjonar ved høg tidsoppløysing vart brukt på stjerneokkultasjonar ved måneranda. Analyse av lyskurva rundt tidspunktet for okkultasjonen kan enkelt avgjere om stjerna er enkel, dobbel eller multippel med vinkelavstand større enn $0''.01$, og under gunstige forhold kan oppløysinga vere ned mot $0''.001$. I tillegg kan analysen gje ein vinkeldiameter for stjerna dersom han er større enn $0''.001$, og når den er kjend så kan effektiv temperatur reknast ut, noko som er ein fundamental storleik for ei stjerne.

Ein vesentleg del av det praktiske arbeidet med oppgåva var å prøve ut observasjonsutstyret i Skibotn på slike observasjonar og eventuelt kome med forslag om forbetringar av dette. Eit siktemål med dette arbeidet var å leggje til rette for ei enkel observasjonsprosedyre slik at ein seinare kunne observere okkultasjonar utan stor arbeidsinnsats, nærmast som ein rutineobservasjon.

Sidan dette var eit relativt nytt område for fotoelektriske observasjonar kravde det både ein grundig gjennomgang av teorien bak observasjonsanalysane og av observasjonsmetoden for å kunne gje ei kvalifisert vurdering av resultatet for eit lite teleskop i Skibotn.

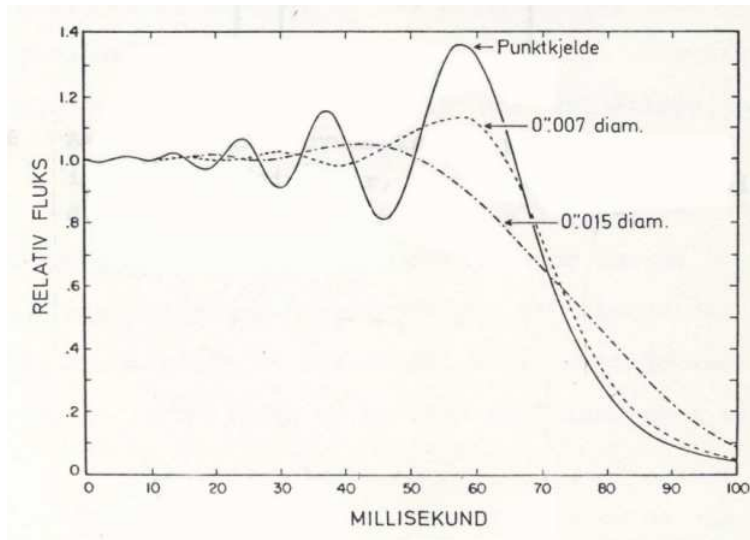
5.2 Teoretisk fundament

Når månen okkulerer ei stjerne får vi diffraksjon om måneranda. Analyse av ein slik observasjon byggjer difor på diffraksjonsteorien og sjølve fenomenet kan beskrivast som Fresnel diffraksjon av ei punktkjelde om ein rett kant (måneranda). Stjerna svarar til punktkjelda og måneranda den rette kanten. Bølgjenaturen til lyset vil resultere i eit bølgjemønster i intensiteten, som kan beskrivast av Fresnelintegrala.



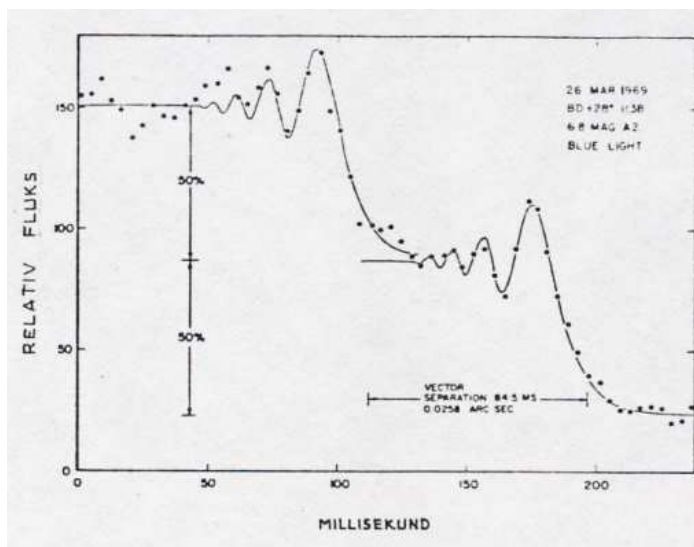
Figur 5.1. Diffraksjonskurve for ei stjerne S som vert okkultert av måneranda MM' , slik kurva kan avteikna seg på ein skjerm XX' i posisjonen til observatøren. E er geometrisk skuggegrense og $P1/P2$ er posisjonane på kurva for hovudmaksimum og minimum. Fig. 4.1, side 22 i oppgåva.

Ved okkultasjonstidspunktet er intensiteten 25 % av normal intensitet for stjerna. Siste bølgetopp før okkultasjonen er også den høgaste og er 138 % av normal intensitet når stjerna ser ut som ei punktkjelde for instrument/observatør. Men dersom stjerna har ei endeleg utstrekning vil diffraksjonskurva vere summen av mange påfølgande kurver etter kvart som stjerneradiusen vert okkultert. Den endelege kurva ser derfor utsmurt ut med reduserte amplitudar og eit maksimum som vert flytta mot lengre avstand frå okkultasjonstidspunktet (25 % intensitet).



Figur 5.2. Teoretiske diffraksjonskurver som viser effekten for stjerner med ei endeleg utstrekning (McGraw, Wells, Wiant – 1973). Fig. 4.5, side 30 i oppgåva.

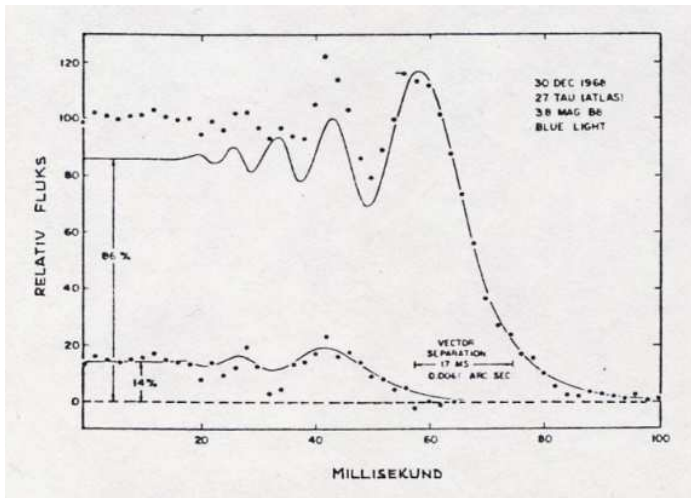
For dobbelstjerner er den observerte diffraksjonskurva summen av mønsteret til to punktkjelder der kurvene er forskyvd tilsvarande den projiserte avstanden mellom komponentane inn på måneranda. Har dei to stjernerne ulik fluks så må ein ta omsyn til det når diffraksjonsmønstera skal summerast.



Figur 5.3. Klart separerte diffraksjonsmønstre viser at dette er ei dobbelstjerne (Nather og Evans – 1971). Fig. 4.10, side 34 i oppgåva.

Det observerte diffraksjonsmønstret vil kunne avvike frå det teoretiske Fresnelmønstret på grunn av interferenseffektar. Desse kan ha si årsak i observasjonsutstyret, atmosfæren og måneranda. For nærmare vurdering av dette viser eg til kap. 4.3 i oppgåva. I oppgåva vart det gjort ei samanlikning av tre kjende metodar, i tillegg til okkultasjonsobservasjonar, som direkte kan gje vinkeldiameter til

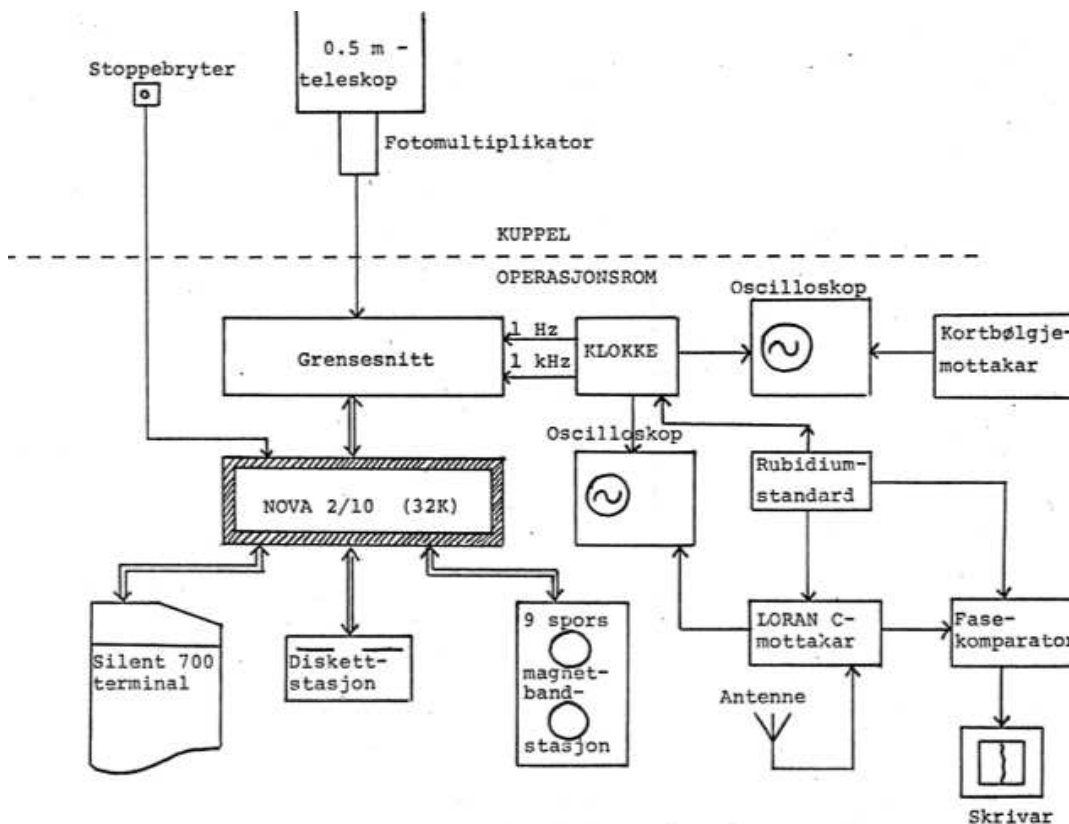
stjerner. Dette var Michelsons interferometer, intensitets-interferometer og «speckle» interferometer. Samanlikna med dei tre metodane krev okkultasjons-observasjonar relativt lite komplisert utstyr og kan



utførast på langt mindre teleskop. I tillegg kan vinkeldiameter bestemast på stjerner ned til 6.-7. magnitudo, som er minst 3 magnituder svakare enn for dei andre metodane. Okkultasjonsteknikken er dessutan suveren i oppløysing av dobbelstjerner og til å bestemme den relative lysstyrken på komponentane.

Figur 5.4. Dette unormale mønsteret viser seg som summen av to diffraksjonsmønster der punktkjeldene har ein vektorseperasjon på $0'',0061$ (Nather og Evans – 1971). Fig. 4.12, side 35 i oppgåva.

5.3 Observasjonsutstyr og observasjonsprosedyre.

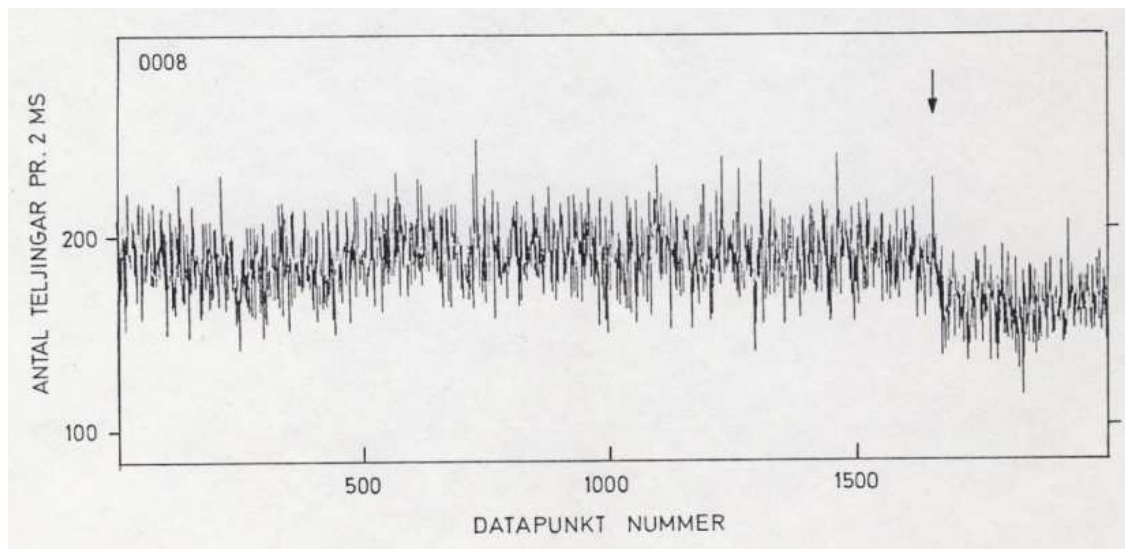


Figur 5.5. Blokkskjema over utstyret som vart nytta til okkultasjonsobservasjonar i Skibotn sesongen 1978-79. Fig. 5.1, side 53 i oppgåva

Ein okkultasjonsobservasjon krev utstyr som gjer det mogeleg å samle inn data kvart millisekund. I tillegg er det også ynskjeleg å vita absolutt tid for observasjonen på nærmaste millisekund. Utstyret som er vist på figur 5 oppfyller desse krava, og har i tillegg ein magnetbandstasjon som gjer det lett å ta hand om datamengda. Med unntak for fotometeret og ein stoppebryter for observasjonsmålinga, er alt utstyr samla i observasjonsrommet på observatoriebygget.

Figuren viser korleis tidssystemet som er omtala i 4.2.2 vart kopla saman til eit presist tidtakarsystem. Som følgje av avgrensa kapasitet i datamaskina (Nova 2/10 med 32k minne) vart data lagra kontinuerleg, og når lageret var fullt fortsette lagringa frå starten, med fare for å skrive over data dersom observatøren stoppar for seint. Observatøren var utstyrt med ein stoppebrytar som måtte trykkast på innan eit sekund etter at stjerna var forsvunnen bak måneranda. Det var mogleg å skrive ut data på en Silent 750 terminal, samt lagre data på ein diskettstasjon eller 9 spors magnetbandstasjon som var den raskaste metoden.

I figur 5.6 er det vist eit eksempel på observasjonsprosedyren ved teleskopet.



Figur 5.6 .Plott av rådata. Pila markerer berekna tidspunkt for okkultasjonen. Fig. 7.1, side 88 i oppgåva.

Utgangspunktet var predikasjonar for okkultasjonar sett frå observatoriet i Skibotn, utrekna ved U. S. Naval Observatory (USNO). Desse stemte normalt innanfor eit sekund og datainnsamlinga vart lagt opp rundt dette tidspunktet. Figuren viser observasjonen av stjerna 111 Tau. Det vart trykka på stoppebrytaren ca. 0,5 sekunder etter at okkultasjonen fant stad, og det vart då berre lagra data for 1,4 sekunder. Vi ser at okkultasjonen inntreffe presis ved tidspunktet oppgitt av USNO (lang pil), og at det er antydning til ein svakare okkultasjon 40 ms tidlegare (kort pil). Dei store variasjonane i tellerate skuldast først og fremst fotonstøy som følgje av høg bakgrunnsintensitet.

5.4 Analyseprogrammet

Ei okkultasjonskurve kan i prinsippet analyserast etter to metodar, kurvetilpassing eller dekonvolusjon. Den siste metoden er lite brukt på optiske observasjonar då det er vanskeleg å tilpasse ho til ein polykromatisk observasjon. Den mest vanlege metoden for stjerneokkultasjonar er difor kurvetilpassing der ein reknar ut fleire modellkurvar og finn den som gjev beste tilpassing til observasjonen. Denne metoden vart vidareutvikla til eit program – TIMER3, av Nather og McCants ved University of Texas i (Nather & McCants 1970). Dette programmet er brukt med mindre tilpassingar (sjå nedanfor). Programmet genererer ei modellkurve for okkultasjonen og tilpassar denne til observasjonsdataene. For punktforma kjelde kan programmet variere på opptil fire parametrar inntil det oppnår beste tilpassing ved minste kvadrats metode. Dei fire parametranne er:

1. Fluksen frå himmelbakgrunnen (B)
2. Fluksen frå stjerna (A)
3. Tidspunkt for geometrisk okkultasjon (T)

4. Farta til måneskuggen over teleskopopninga (V)

Programmet krev startverdiar for B, A, T og V. Desse kan programmet enten rekna ut eller ein kan setje inn startverdiar ved køyring av programmet. Normalt er programmet lite følsamt for startverdiane, men for observasjonar med mykje støy må startverdiane liggje nær opptil dei endelege verdiane for at analysen skal gå bra. Dette var tilfelle for 8 av dei 13 observasjonane som vart utførte. Ved analyse for vinkeldiameter så inkluderast ein femte parameter og ved analyse for mogeleg dobbelstjerne bruker programmet seks parametarar.

Det største inngrepet i programmet var å legge til ein sekvens som filtrerer data for høgfrekvent støy ved eit enkelt Hamming filter som ikkje påverkar dei typiske frekvensane for diffraksjonsmønsteret. Denne sekvensen vert utført når datasettet inneheld eit «trigger-ord».

Ein generell kommentar til analyseprogrammet er at det ber preg av å vere eit mykje på-flikka program som er lite lesbart, uoversiktleg og svært vanskeleg å gjere sjølv dei minste endringar i, samt å forstå operasjonane i programmet. Her må ein berre stole på at programmet gjer ting riktig. At programmet vert brukt på eit tjuetals observatorium er ei sikkerheit i så måte.

5.5 Observasjonane og resultatata

At observasjonane hadde mykje støy på toppen av signalet frå stjerna var tydeleg å sjå frå rå-plott av datasekvensane og for nokre observasjonar var okkultasjonen knapt synleg i støyen. Men for dei fleste var det ein merkbar reduksjon i signalet rundt okkultasjonen slik at det var lett å ta ut ei høveleg datamengd rundt hendinga for bruk i analyseprogrammet TIMER3.

For kvar observasjon vart det tatt ut to plott frå rådataene, eit skalert plott av datamengda som skulle til analyseprogrammet og eit integralplott av same datamengd. Dei observasjonane som kunne filtrerast for høgfrekvent støy vart køyrd gjennom Hamming filteret før plotta vart tatt ut. Eit integralplott er eit enkelt hjelpemiddel til både å tidfeste tidspunktet for okkultasjonen, men også som ein første indikasjon på dobbelstjerner. For eit stjernesystem med fleire komponentar vert plottet eit konvekst polygon der hjørna markerer okkultasjonen av komponentane. Integralplottet er også relativt ufølsamt for støy i observasjonen. For fleire av observasjonane tyda integralplotta på at dei burde analyserast i TIMER3 med ein dobbelstjernemodell som utgangspunkt.

I perioden frå 13.12.1978-6.3.1979 var det observert 13 okkultasjonar. I tabellen nedanfor er dei presentert på tilsvarende form som vert brukt ved McDonald observatoriet (og dei fleste andre observatorium som gjer slike observasjonar).

Nr	SAO	MAG	SP	DATO	UTC	DT	PA	WA	CA	DMS	DMB	Helling	DS	Filter
1	93868	3.66	K0 III	13 DES 78	4 53 22.675	2	117.3	127.9	-33.0	2.1	3.1	4.8	2.9	y
2	128716	8.2	K2	4 JAN 79	18 25 47.344	2	88.0	113.1	-19.2	2.1	2.2			v
4	93993	6.02	A9	9 JAN 79	15 17 35.008	3	128.1	137.4	-48.9	1.5	2.6	-7.5	5.4	v
5	94004	6.51	F0	9 JAN 79	16 21 21.505	3	29.2	38.3	50.0	2.4	2.7	-4.1	2.4	v
6	94526	4.98	F8	10 JAN 79	15 52 26.176	2	70.0	73.9	13.1	2.7	2.9			v
7	94573	6.86	g M1	10 JAN 79	17 49 13.057	2	130.8	134.3	-47.1	2.5	2.6	-3.8	3.1	v
8	93868	3.66	K0 III	5 FEB 79	15 35 27.071	2	48.7	59.2	29.5	2.8	3.2	0.0	0.0	y
9	93925	6.46	F5	5 FEB 79	18 56 07.966	4	34.7	44.6	46.0	1.4	1.5			v
10	93932	4.51	F0	5 FEB 79	19 10 05.618	2	120.7	130.5	-39.7	3.0	3.2	-7.0	2.3	v
11	93955	3.85	G9 III	5 FEB 79	20 24 00.838	2	57.8	67.4	24.5	3.3	3.6	0.0	0.0	y
12	93978	5.48	A7	5 FEB 79	21 38 52.300	3	144.0	153.5	-60.6	2.5	2.6	-3.1	1.9	v
13	94989	7.4	K5	6 MAR 79	19 29 26.015	3	114.3	114.9	-24.7	1.9	2.4			y

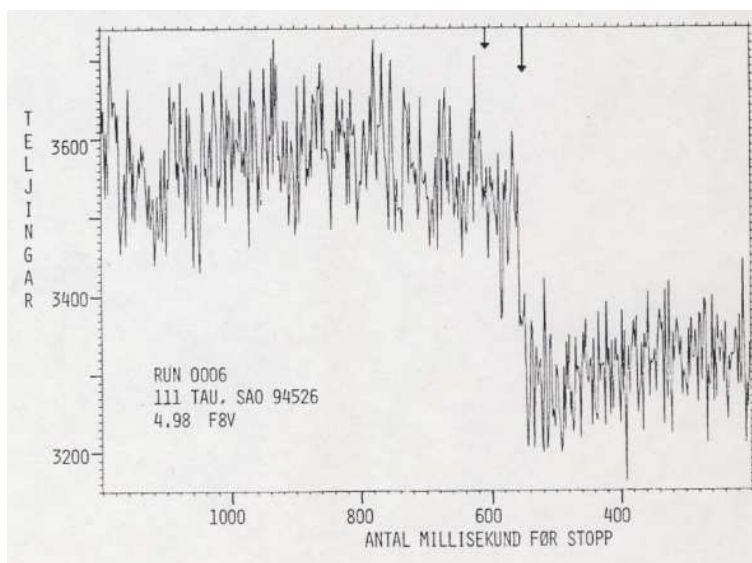
Tabell 1. Ein oversikt over alle observasjonane. Tabell 7.2, side 94 i oppgåva.

Kolonne 6 viser usikkerheit i millisekund for okkultasjonstidspunktet og ein ser at med eit unntak er dette 2-3 millisekund. Kolonne 7 og 8 lokaliserer begge punktene på måneranda der okkultasjonen skjedde (PA = posisjonsvinkel, WA = Watts vinkel). Kolonne 9 gjev kontaktvinkel for stjerna. Kolonne 10 og 11 viser minimum differanse i magnitudo mellom stjerna og eventuell komponent som ikkje er synleg på kurva (DMS gjelder for komponent før hovudstjerna og DMB for komponent som vert okkultert etter hovudstjerna). Kolonne 12 og 13 viser hellingsvinkelen på måneranda og tilhøyrande usikkerheit, og kolonne 14 identifiserer filteret som vart brukt.

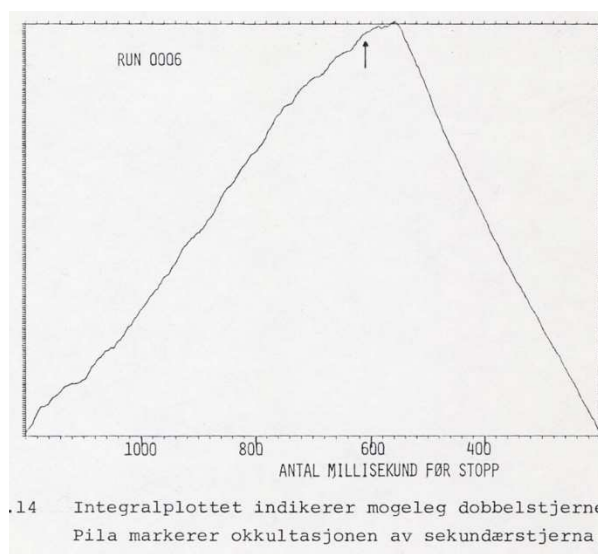
Eg tek no for meg tre av observasjonane, nr. 6,7 og 8 – frå rådata til analyse.

5.5.1 Observasjon nr. 6 – 111 TAU, SAO 94526, Mag. 4,98, F8V

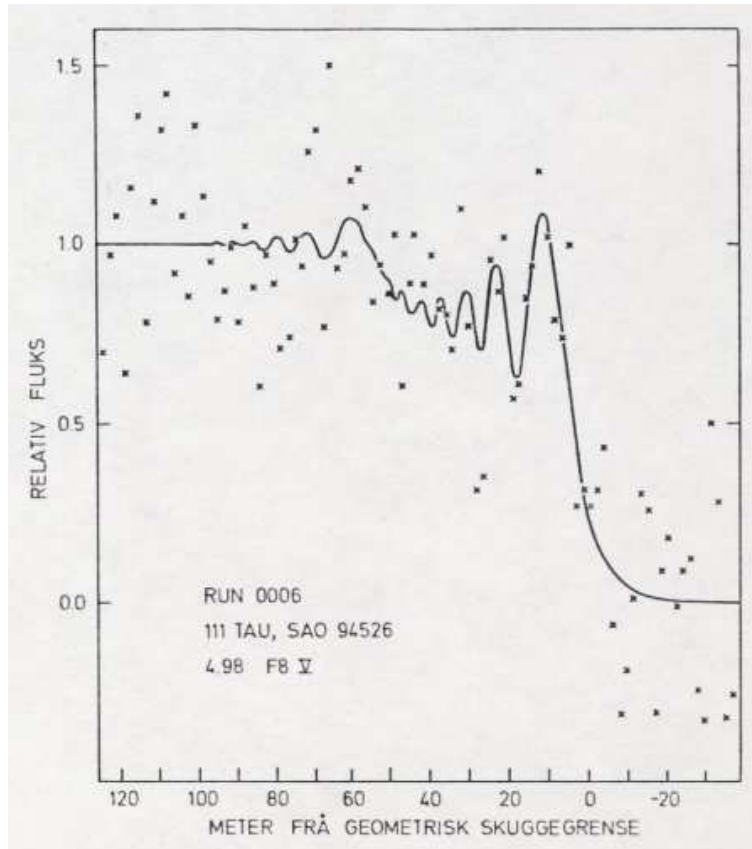
Okkultasjonen av denne sterke stjerna var godt synleg i rådataplottet og ut frå integralplottet kunne det sjå ut som ein mogleg okkultasjon av ei sekundærstjerne 50 ms før primærstjerna. Analysen viste at observasjonen best vart representert av ein dobbelstjernemodell der den projiserte avstanden mellom komponentane var $0'',0245 \pm 0'',0017$ i retning $250^\circ,0$ og med $\Delta m = 1,47 \pm 0,42$.



Figur 5.7. Okkultasjonen av stjerna er markert med lang pil. Mogleg sekundærstjerne er markert med en kort pil. Fig. 7.13, side 103 i oppgåva.



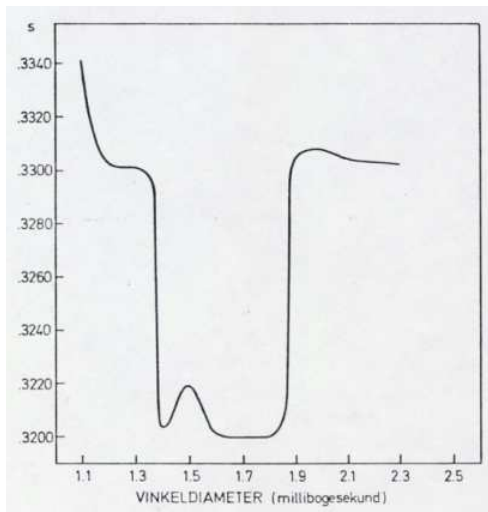
Figur 5.8. Integralplottet indikerer mogleg dobbelstjerne. Pila markerer okkultasjonen av sekundærstjerna



Figur 5.9. Observasjonsdata og modellkurva som representerte dei best. Fig. 7.15, side 104 i oppgåva.

5.5.2 Observasjon nr. 7 – 117 TAU, SAO 94573, Mag. 6,86, gM1

Okkultasjonen av stjerna er godt synleg i rådataplottet trass i mykje signalstøy. Den seine spektraltypa og relativ sterke magnitudo gjorde dette til ein kandidat for å prøve analyse for moglege vinkeldiameter. Observasjonskvaliteten var for dårleg til at analyseprogrammet konvergererte mot ein fornuftig verdi for diameter. Det var som forventa. Alternativet er då å gje programmet ein startverdi som kan nyttast til å rekne ut eit standardavvik mellom modellkurve og observasjonsdata. Ved å gjenta dette med ulike startverdiar kan standardavviket framstillast grafisk som ein funksjon av vinkeldiameteren og der minimumsverdien på kurva gir ei god tilnærming til den rette vinkeldiameteren ifølge Nather, McCants, Evans - 1970.



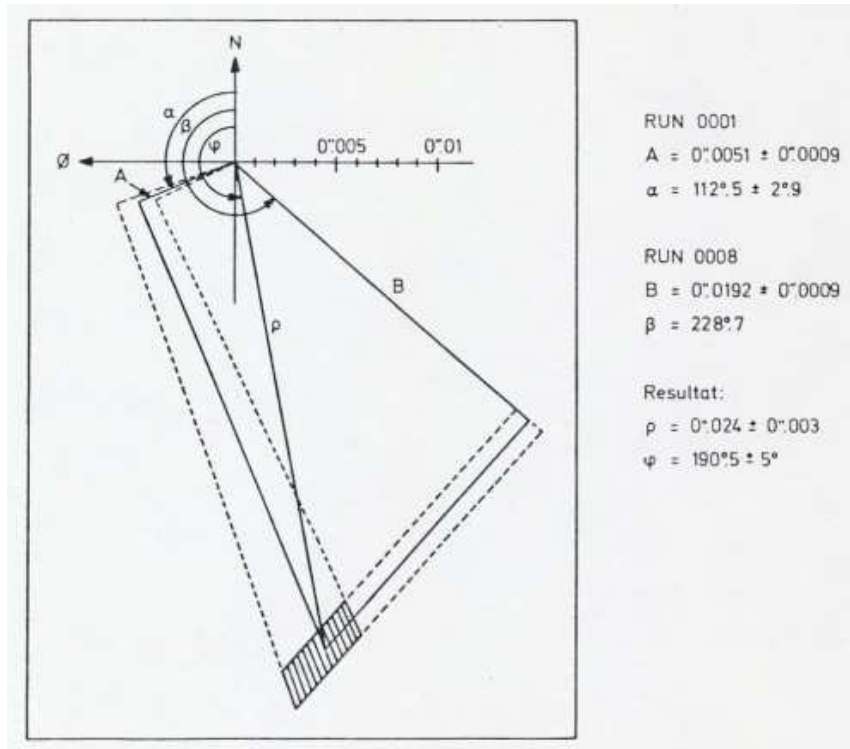
Som ein ser av figuren 5. har standardavviket eit minimum for vinkeldiameter mellom 1,4 og 1,8 millibogesekund. Basert på modelldata for seine stjerner (Carbon & Gingerich, 1969) kan vi bruke ein randformørkingskoeffisient på 0,88 for 117 Tau og får då ein korrigert vinkeldiameter på $0'',0018 \pm 0'',0002$. Når vinkeldiameter er kjend kan den effektive temperaturen reknast ut, dersom den bolometriske korreksjonen er kjend. Frå denne observasjonen får eg ut ein $T_{\text{eff}} = 3600 \text{ K} \pm 100 \text{ K}$, som stemmer godt med resultat på 3700 K (Hayes, 1978) og 3600 K (Flower, 1975) for M1 III-stjerner.

Figur 5.10. Standardavviket mellom modellkurve og observasjonsdata som funksjon av vinkeldiameter. Fig. 7.17, side 106 i oppgåva.

5.5.3 Observasjon nr. 8 – 54 γ TAU, SAO 93868, Mag. 3,66, K0 III

Denne stjerna vart først observert 13.12.1978 (obs. nr. 1) og så 5.2.1979 (obs. nr. 8). Dette var det einaste tilfelle der ei stjerne var observert to gongar. Integralplottet indikerte dobbelstjerne og analysen gav beste tilpassing til observasjonen med ein dobbelstjernemodell der den projiserte avstanden mellom komponentane var $0'',0192 \pm 0'',0009$ i retning $228^\circ,7$ og med $\Delta m = 1,44 \pm 0,32$.

Samanlikna med obs. nr. 1 er dette eit stort avvik i Δm ($0,67 \pm 0,48$). Men det er stor skilnad på kvaliteten for dei to observasjonane og eg valde å leggje størst vekt på siste observasjon og vektar dei 2 : 1, som gjev ein $\Delta m = 1,20$, noko som er rundt grensa for usikkerheita til obs. nr. 1. Når eg brukar denne verdien for Δm kan eg finne sann vinkelavstand og posisjonsvinkel for sekundærstjerna relativt til primærstjerna.



Figur 5.11. Geometrisk representasjon av observasjon nr. 1 ($A = 0'',0051 \pm 0'',0009$, $\alpha = 112^\circ,5 \pm 2^\circ,9$) og nr. 8 ($B = 0'',0192 \pm 0'',0009$, $\beta = 228^\circ,7$). Skravert område gjev verdier for ρ, φ som tilfredsstillar dei to observasjonane. Fig. 7.22, side 111 i oppgåva.

Dersom ein ser bort frå banerørsla til sekundærstjerna for tidsrommet mellom dei to observasjonane, så er vinkelavstanden mellom komponentane $0'',0024 \pm 0'',003$ med posisjonsvinkel på $190^\circ,5 \pm 5^\circ$.

5.5.4 Resultat for dobbelstjernemodell og diametermodell

Nr	Namn	SAO	Sp	Filter	Projisert avstand (")	PA	Δm	m	s	UTC
1	54 γ Tau*	93868	K0 III	y	0.0051 ± 0.0009	112.5 ± 2.9	0.67 ± 0.48	4.1	0.1678	4 53 22.675 \pm 0.002 4 53 22.685 \pm 0.002
4	85 Tau*	93993	A9	V	0.0064 ± 0.0016	135.6 ± 5.4	0.43 ± 0.83	6.6	0.3156	15 17 35.008 \pm 0.003 15 17 35.032 \pm 0.005
5	HD 28879	94004	F0	V	0.0323 ± 0.0012	205.1 ± 2.4	0.59 ± 0.35	7.6	0.3575	16 21 21.388 \pm 0.004 16 21 21.505 \pm 0.003
6	111 Tau	94526	F8	V	0.0245 ± 0.0017	250.0	1.47 ± 0.42	6.6	0.2011	15 52 26.125 \pm 0.004 15 52 26.176 \pm 0.002
8	54 γ Tau*	93868	K0 III	y	0.0192 ± 0.0009	228.7	1.44 ± 0.32	5.3	0.2720	15 35 27.022 \pm 0.002 15 35 27.071 \pm 0.002
10	71 Tau*	93932	F0	V	0.0619 ± 0.0009	307.7 ± 2.3	1.13 ± 0.22	6.0	0.3056	19 10 05.412 \pm 0.003 19 10 05.618 \pm 0.002
11	77 θ^1 Tau*	93955	G9 III	y	0.0555 ± 0.0009	57.8	1.83 ± 0.31	4.0	0.1766	20 24 00.838 \pm 0.002 20 24 00.975 \pm 0.002
13	+17 1051	94989	K5	y	0.0196 ± 0.0012	294.3	0.36 ± 0.51	8.0	0.5244	19 29 26.019 \pm 0.003 19 29 26.069 \pm 0.002

*) Hyadenedlemmer (van Beuren - 1952)

Tabell 2. Resultata frå analyse av moglege dobbelstjerner. Tabell 7.3, side 126 i oppgåva.

Dei første kolonnane er sjølvforklarande ut frå det som er nemnd tidlegare. Kolonne 9 gjev magnituder for komponentane, kolonne 10 viser standardavviket mellom observasjonskurva og modellkurva og kolonne 11 gjev UTC for okkultasjonen av kvar komponent for dobbelstjerna.

Tilsvarende viser tabell 3 resultatata for analyse av diameter.

Nr	Namn	SAO	m Sp	ϕ_o	T_{eff} (K)	ϕ_{LD}	T_{eff} (K)	s
7	117 Tau	94573	6.86 G M1	1.6 ± 0.2	3750 ± 150	1.8 ± 0.2	3600 ± 100	0.3201
11	77 θ^1 Tau	93955	3.85 K0 III	2.3 ± 0.2	4760 ± 190	2.5 ± 0.2	4570 ± 150	0.2061

Tabell 3. Resultata frå analyse av moglege vinkeldiamtrar. Tabell 7.4, side 127 i oppgåva.

Kolonne 5 er vinkeldiameter i millibogesekund for stjerna når analysen bruker ei uniform intensitetsfordeling over stjerna. Tilhøyrande effektiv temperatur står i kolonne 6. I kolonne 7 er vinkeldiameter korrigert for randformørking og med tilhøyrande effektiv temperatur i kolonne 8. Siste kolonne gjev standardavviket mellom observasjon og modellkurve.

5.5.5 Vurdering av analyseresultata

Trass i dårleg signal/støy forhold viser analysen at av dei 12 observerte stjernerne er 7 moglege dobbelstjerner og 2 har målbar vinkeldiameter. For dei fleste observasjonane er støyen i hovudsak fotonstøy. Denne er frekvensuavhengig og kan difor interferere med alle frekvensar i signalet. Det medfører at han også vil påverke det observerte diffraksjonsmønsteret. Analysane som bygg på avvik i diffraksjonsmønsteret samanlikna med standardmønster for ei punktkjelde eller enkeltstjerne vil derfor generelt vere mindre påliteleg enn av analyser av dobbelstjerner med klart separerte komponentar og tydelege endringar i fluksen. Under ein analyse i TIMER3 gjev programmet ei vurdering av kor sannsynleg resultatet er for ei dobbelstjerne. Når fluksendringane under okkultasjonane av begge komponentane er større enn 2 standardavvik så reknar programmet det som sikkert at stjerna er dobbel. Alle stjernerne i tabell 2 oppfyller dette kravet. Men det høyrer med her at tilpassingane av observasjonsdata til modellkurvene har eit standardavvik som er vesentleg dårlegare (2-8 gongar) enn for tilsvarende analyser gjort ved McDonaldobservatoriet.

For vinkeldiameterane i tabell 3 byggjer dei på tolking av standardavviket mellom modellkurve og observasjonsdata og at det er rimeleg at standardavviket i det minste har eit lokalt minimum rundt sann vinkeldiameter som vist i figur 10. Noko som gjer det mogleg å koma fram til eit resultat sjølv når signal/støy forholdet for observasjonen er for dårleg til at programmet sjølv konvergerer mot ein diameterverdi. Resultata for dei to målingane stemmer godt med andre målingar som er gjort og med teoretiske verdiar. Men usikkerheita i vinkeldiametrane i tabell 3 er mindre enn for tradisjonelle analyser av stjerner med små vinkeldiametrar. Det er difor truleg at desse verdiane er for optimistiske.

5.6 Om observasjonsforholda i Skibotn

Signalet frå ei stjerne som vert okkultert av månen utgjer ofte berre ein liten del av det totale signalet. Himmelbakgrunnen i form av spreidd månelys er den dominerande faktoren som reduserer den vitskaplege kvaliteten på observasjonane. Men bakgrunnsfluksen kan også variere sterkt under ein observasjon til dømes på grunn av store luftmassar (observasjon ved lav høgde) eller tynne cirruskyer. I tabellen nedanfor viser forholda under dei 13 observasjonane, samt 5 målingar av himmelbakgrunn ved mørk månerand.

Nr.	Dato	UT	Fase (%)	Høgde (°)	N (kHz)	Observasjonsforhold
1	13/12-78	4 53	+ 98	8	1120	Dis. Seing ~ 15".
2	4/1 -79	18 25	+ 42	17	213	Lett dis.
4	9/1 -79	15 17	+ 88	22	851	Klart mellom drivande skyer. Seeing 2-3". $k_V = 0.42$.
5	9/1 -79	16 21	+ 88	28	822	Klart mellom drivande skyer. Seeing 2-3". $k_V = 0.57$.
6	10/1 -79	15 52	+ 94	22	723	Klart. Vind. Ustabile forhold og uroleg bilete. Seeing ~ 3". $k_V = 0.34$.
8	5/2 -79	15 35	+ 67	32	264	Dis. Vindkast. Variabel seeing 3-5". $k_V = 1.38$.
9	5/2 -79	18 56	+ 68	36	313	Dis. Slørskyer. Snø frå "klar himmel". $k_V = 1.18$.
10	5/2 -79	19 10	+ 68	35	365	Dis. Vindkast. Variabel seeing 3-10". $k_V = 1.49$.
11	5/2 -79	20 24	+ 68	32	352	Dis. Vindkast. Uroleg bilete ~ 15". Variabel seeing 3-20". $k_V = 0.90$.
12	5/2 -79	21 38	+ 68	27	722	Dis. Variabel seeing 5-20". $k_V = 0.91$.
13	6/3 -79	19 29	+ 61	35	224	Slørskyer.
A	7/2 -79	18 30	+ 84	37	280	Klart.
B	7/2 -79	20 20	+ 85	37	334	Klart.
C	8/2 -79	18 00	+ 90	34	1100	Tynn dis.
D	8/2 -79	22 00	+ 91	36	840	Klart.
E	6/3 -79	18 50	+ 61	35	132	Klart. Seeing 1-2".

Tabell 4. Viser observasjonar av himmelbakgrunn ved mørk månerand gjennom ein 16"-feltblendar for dei 13 okkultasjonane, samt fem andre målingar. Månefase er gitt i prosent av fullmåne (=100 %) og + viser veksande fase. N gjev teljerate i kHz og k_V er ekstinksjonskoeffisienten (i kommentarfeltet). Tabell 8.1, side 143 i oppgåva.

Observasjonane A, B, D og E er gjort under klare, gode forhold og viser klart samanhengen mellom bakgrunnsfluks og månefase, og med ein sterk auke når fasen er over 80% av fullmåne. Observasjonspara 13,E og C, D viser den sterke innverknaden dis og cirruskyer har på bakgrunnsfluksen. E og D er målt under klare, gode forhold, medan 13 og C er målt gjennom cirruskyer og dis. Elles er forholda dei same innbyrdes for dei to para. E-resultatet er gjort etter nokre endringar på teleskop og fotometer for å redusera intern lysspreiing, noko som gav ein vesentleg mindre verdi for bakgrunnsfluksen. Dersom dette faktisk er eit resultatet av dei utførte endringane så kan det gje ei halvering av bakgrunnsverdiene, men det er for få målingar til at ein kan seie noko sikkert om dette.

5.7 Avgrensande faktorar for kvaliteten på observasjonane i Skibotn

I det følgjande er det gjort ei vurdering av ulike faktorar som påverkar kvaliteten på observasjonane.

I. Teleskop og fotometer

- a) **Følginga:** Under følginga svinga teleskopet med ei amplitude på 8-10", og dette sette ei nedre grense på storleiken av feltblendaren som kunne nyttast. Sjølv under god seeing på 3" var det ikkje forsvarleg å nytte mindre feltblendar enn 16".
- b) **Fokuseringa:** Den elektriske fokuseringa fungerte ikkje tilfredsstillande, så eg hadde sjeldan eit godt fokusert system. Under observasjonane var stjernesnivene heilt unntaksvis mindre enn 5", vanleg diameter var rundt 10".
- c) **Optikken:** Erfaringa med teleskopet sesongen 1978-79 tydde på at begge speglane vart utsette for klemming i monteringsane ved lave temperaturar. Dette førte til ei utsmørjing av biletet.

Avbildinga i teleskopet var ein sum av desse tre faktorane og seeingen. Beste observerte avbilding var ei stjerneskrive på 1-2" 6. mars 1979. Då var temperaturen +3°C mot vanleg rundt -10.

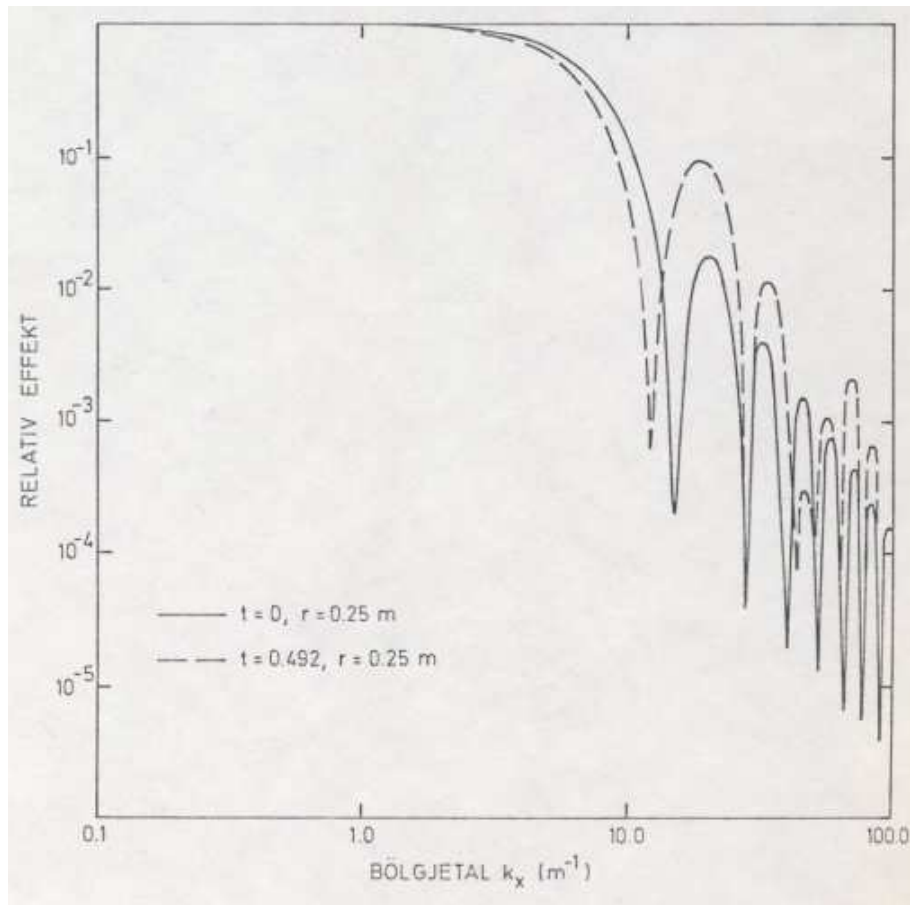
- d) **Lysskjermen:** Sidan spreidd månelys gjev det alt dominerande tilskotet til bakgrunnsfluksen under ein okkultasjonsobservasjon, er det heilt vesentleg å få redusert dette. Eit krav må vere at ein ikkje registrerer andre foton enn dei som kjem frå måleområdet som feltblendaren ser. Lysskjermen på teleskopet i Skibotn ga ikkje full skjerming, så foton utanfor måleområdet utgjorde eit merkbar tilskot til signalet.
- e) **Fotometerhuset:** Dei indre flatene i fotometerhuset var blanke, noko som førte til spreidd lys på detektoren. Før den siste observasjonen 6.3.79 vart veggane dekt med svart papp, samt gjort forbetringar med lysskjerminga rundt sekundærspiegelen. Dette gav ein faktor 2 i redusert bakgrunn samanlikna med tidlegare målingar og er ein indikasjon på kva som er moglege gevinst på desse områda.
- f) **Fotomultiplikator:** Alle observasjonane vart gjort med kanal 1 på fotometeret. Denne kanalen har ein fotomultiplikator som er maksimalt følsam ved 3850Å, redusert til 10% ved 6000Å. Sidan månelys har nær same spektralfordeling som sola, altså tilsvarande ei G2V-stjerne, vil stjerner av tidlegare type verte favorisert av fotomultiplikatoren samanlikna med bakgrunnen. Men for seinare spektraltypar vil det vere omvendt, noko som då gjeld for stjerner med målbar diameter. For slike stjerner vil ein raudfølsom fotomultiplikator kombinert med meir egna filter enn V-filter kunne gje ein faktor 2 i betre signal/støy forhold for ei M0-stjerne.

II. Spreidd lys frå månen

For at ein okkultasjonsobservasjon skal ha særleg vitenskapleg verdi, må det vere moglege ut frå observasjonen å avgjere om stjerna er enkel eller dobbel, og om stjerna er punktforma eller har ein endeleg vinkeldiameter ($\phi > 0",001$). Den avgrensande faktoren er signal/støy forholdet for observasjonane som vert gjort nær den opplyste månen. Ved slike tilfelle kan bakgrunnen målt i ein feltblendar på 16" svare til ei stjerne på 3^m.5. Men bakgrunnsfluksen vil variere sterkt med observasjonsforholda. Dis, cirruskyer og stor luftmasse vil alle føre til ein auke i bakgrunnsignalet av spreidd månelys.

III. Atmosfærisk scintillasjon

For nokre av observasjonane var støyen like stor eller større enn differansen mellom stjernesignal og bakgrunn. Andre har tidlegare vist at scintillasjon ofte er den dominerande støykjelda, mellom anna i eit arbeid av Knoechel og Heide (1978) ved Hamburger Sternwarte. Atmosfærisk scintillasjon forvrengjer diffraksjonsmønsteret frå ein okkultasjon og kan medføre store feil ved analyse av vinkeldiameter til ei stjerne. Fotonstøyen er frekvensuavhengig i motsetning til scintillasjonen. Forma på scintillasjonsspekeret er avhengig av teleskopopninga som fungerer som eit lavpassfilter og jamnar ut fluktuasjonar som er mindre enn opninga, det vil seie at spekeret er flatt opp til ein viss frekvens – avkuttingsfrekvens. Ein stor sekundærspiegel (relativ til primærspiegelen) slik tilfellet er for Skibotnteleskopet, medfører ein høgfrekvent «hale» på filterfunksjonen



Figur 5,12. Den heiltrekte kurva viser filterfunksjonen for eit 0,5 m teleskop utan sekundærspiegel (refraktor). Den stipla kurva viser filterfunksjonen for 0,5 m teleskopet i Skibotn. Fig. 8.8, side 152 i oppgåva.

I hovudfagsoppgåva er det vist at under vinterforhold så er ein rimeleg verdi for avkuttingsfrekvensen $f_c = 6,5$ Hz. Ved å rekna ut effektspektra (power spectrum) til observasjonane kan eg samanlikna dei med scintillasjonsspekeret og sjå om observasjonane er dominert av scintillasjon eller fotonstøy. Samanlikninga viser at observasjon nr. 6 og 9 har eit frekvensavhengig spekter

IV. Konklusjon

Observasjonane viser klart at signal/støy forholdet var svært utfordrande. Årsakene til den høge teljeraten frå himmelbakgrunnen under observasjonane er i stor grad manglar og feil på teleskop og fotometer. Dersom dette vert utbetra kan ein forvente ein faktor 6-8 i reduksjon av

bakgrunnsfluksen. Med ein redusert bakgrunn vil truleg scintillasjonsstøyen verte viktig for observasjonskvaliteten. Forholdet mellom sekundærspiegel og primærspiegelen for teleskopet er heile 0,5 mot 0,3 for «vanlege» Cassegrain-system. Dette fører til eit vesentleg tilskot frå den høgfrekvente scintillasjonsstøyen, noko som kan forvrengje diffraksjonsmønsteret og resultere i feiltolkingar av ein observasjon. Det er to metodar til å redusere dette problemet. Den første går ut på å fjerne den høgfrekvente delen av scintillasjonen ved å bruke ein «apodized» teleskopopning som eit fysisk filter. Dette er gjort med hell på fleire teleskop og er nok den mest lavt-hengande løysinga. Den andre metoden går ut på å redusere for scintillasjonen under analysearbeidet på observasjonen. Ved Hamburger Sternwarte har dei utvikla ei reduksjonsmetode for dette. Det er også mogeleg å tenkje ein kombinasjon av begge metodar.

5.7 Oppsummering

Då eg tok til på dette arbeidet hadde det i Skandinavia ikkje vore gjort fotoelektriske observasjonar av stjerneokkultasjonar ved måneranda. I hovudfagsoppgåva la eg difor vekt på å gje ei brei oversikt over dei mange problem og spørsmål som har vore knytt til denne observasjonsmetoda. Eg sette også opp ein enkel prosedyre for rutinemessig observasjon og analyse av slike okkultasjonar basert på eit dataprogram for observatør og eit analyseprogram. Dei 13 observasjonane er gjort etter denne prosedyren og gav som resultat 8 mogelege dobbelstjerner og 2 stjerner med målbar vinkeldiameter ($\phi > 0'',001$). Det høge nivået på bakgrunnsignalet har vore ein vesentleg forringar av kvaliteten på observasjonane, men i oppgåva har eg vist at det er mogeleg å forbetra vesentleg signal/støy forholdet. Kvalitetskrava for at ein okkultasjonsobservasjon skal ha særleg vitskapleg verdi er at det må vere mogeleg å avgjere om stjerna er enkel eller dobbel, og om stjerna er punktforma eller har ein endeleg vinkeldiameter. Med kjennskap til dei avgrensande faktorane for teleskopet i Skibotn har eg definert ein grensemagnitude for observerbare stjerner som tilfredsstillar desse krava. For å kunne skilje komponentane i nære dobbelstjerner er grensemagnitude på rundt $7^m,5$. Og for å kunne gjere vinkeldiametermålingar er 6^m ei øvre grense.

I oppgåva stiller eg spørsmålet om slike observasjonar er noko å satse på i framtida ved observatoriet i Skibotn? Kvaliteten og talet på observasjonar må vere avgjerande for svaret. Det er gjort greie for mogelege tiltak som kan betre kvaliteten opp til eit tilfredsstillande nivå. Når det gjeld talet på observasjonar så viste oppteljinga for perioden 1.1-14.3.1979 at av 120 observerbare okkultasjonar vart 11 observert, 107 kunne ikkje observerast på grunn av skyer og 2 var mislukka på grunn av tekniske forhold. Ut frå vêrstatistikk for Skibotn skulle ein kunne forvente for ein normalsesong at rundt 50 % gjekk tapt på grunn av skyer, noko som då skulle gje rundt 50 observasjonar i løpet av ein sesong (6 månader). Eit slikt resultat med akseptabel signalkvalitet kan levere eit verdifullt bidrag til det internasjonale nettverket av observatorium som driv med okkultasjonsmålingar.

Referansar

Sjå fullstendig referanseliste i hovudfagsoppgåva:

Høydalsvik, Stein, 1980, Hovudfagsoppgåva, Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø, *Fotoelektriske observasjonar av stjerneokkultasjonar ved måneranda*.

UiTs åpne vitenarkiv Munin: <https://hdl.handle.net/10037/3444>

Vedlegg: Astrofoto med Skibotnteleskopet (TRAF – kap 12)



Figur 5.13. Sigargalaksen M82. Lysstyrke 8,4. Foto Solveig Løvseth med Canon EOS 7D.

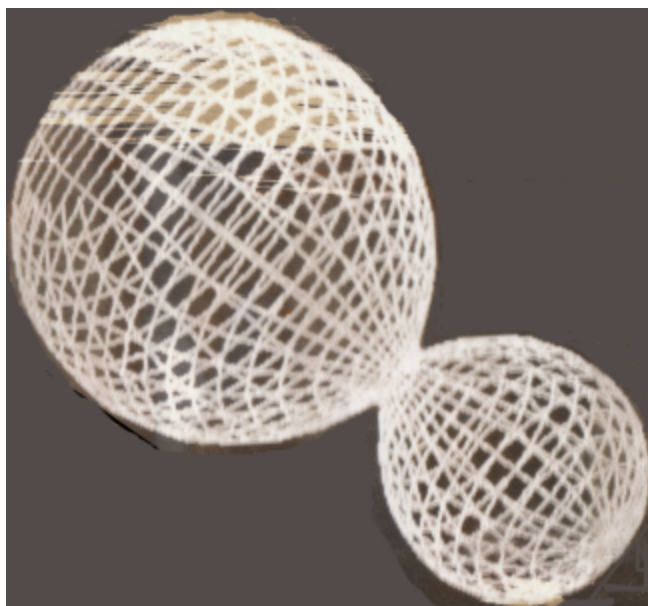
6. Fotometri av kontaktbinærstjerner

Karl Emil Egge

Som det framgår av kapittel 2.2.5 om Olderbakken, kom Hans Kristian Myrabø fram til at choppingteknikken i de aller fleste tilfeller var i stand til å korrigere for variasjoner i lyset fra himmelbakgrunnen.

Dette åpnet muligheten for lange observasjonsserier av variable stjerner, der vi utnyttet de lange nettene i mørketida. Choppingteknikken kunne takle relativt kraftige og hurtige variasjoner i nordlys, dessuten var det mulig å foreta målinger i moderat skumrings- eller demringslys. Dette var bakgrunn for denne hovedoppgaven.

6.1. Innledning



Figur 6-1 En kontaktbinærstjerne er et dobbeltstjernesystem hvor komponentene er i kontakt med hverandre og masse overføres fra stjerna med minst masse (sekundærstjerna) til den tyngre primærstjerna.

Vinteren 1978/79 ble det ved Skibotn-observatoriet foretatt målinger av to variable stjerner av W UMa-klassen, 44 i Bootes og VW Cephei. Disse stjernene er binærstjerner der de to komponentene går i bane omkring felles tyngdepunkt. De har baneplan orientert slik at de vekselvis formørker hverandre sett fra jorda. Dette gir opphav til en karakteristisk variasjon i lysstyrke gjennom et omløp. En framstilling av lysstyrke eller magnitudo som funksjon av tida betegnes som en lyskurve.

I et W UMa-type system antas de to komponentene å være i kontakt, og dette gjør at de kan vekselvirke ved f.eks. masseoverføring. Ulike prosesser kan vise seg som uregelmessige avvik (perturbasjoner) i lyskurven. Lyse og mørke flekker på stjerneoverflata eller absorberende skyer og strømmer av gass som omgir systemet, er foreslått som forklaring. En lys flekk kan oppstå der en massestrøm treffer den ene komponenten.

Typiske avvik fra et system av helt stabile komponenter er ulik høyde på maksima og asymmetriske minima der tidspunktet for minimum lysstyrke ikke faller sammen med konjunksjon som inntreffer når de to stjernesentrene står på linje sett fra jorda. En forflytning av masse i forhold til rotasjonsaksen vil også påvirke omløpsperioden. En annen mulig forklaring på observert periodeendring er at binærstjerna er del av et større system på tre eller fire stjerner, og at avstanden til binærstjerna endres på grunn av banebevegelsen i dette systemet.

Det er derfor interessant med jevnlig målinger av lyskurver av disse systemene, både for å påvise eventuelle periodeendringer og for å se etter perturbasjoner. En lengre observasjonsserie av god kvalitet kan dessuten analyseres med tanke på å bestemme fysiske parametere. En slik analyse innebærer å sammenlikne med datamaskingenererte lyskurver basert på teoretiske modeller.

6.2 Instrumentering

Vi benyttet Lorentz-teleskopet med det oppgraderte chopperfotometeret og tilhørende analog elektronikk beskrevet av Kalleberg i kapittel 4. I ettertid fant vi det nødvendig å gå grundig inn i systemets virkemåte, spesielt samspillet mellom ratemeteret og lock-in-forsterkeren ved blenderskift. Ved å kjøre systemet parallelt med digitale registreringer ved bruk av Nova-maskinen fant vi svært godt samsvar i resultatene. Systemet taklet blenderskift som forutsatt, og vi kom fram til omregningsfaktorer fra skriverutslag til tellerate for signalene fra lock-in-forsterkeren og ratemeteret. Dette gjorde det mulig å korrigere for en liten forskjell i de to blenderarealene.

Etter denne korreksjonen kunne vi konkludere at feil introdusert av fotometeret og elektronikken var ubetydelige i forhold til usikkerheten i avleste skriverutslag.

6.3 Observasjonene

VW Cep og 44 i Boo har omløpsperioder på henholdsvis 6 t 41 min og 6 t 26 min, og observasjonsserier på en til to perioder skulle være innenfor rekkevidde i Skibotn i mørketida. Disse systemene er blant de mest observerte, og det var interessant å kunne sammenlikne med publiserte resultater. VW Cep står på det laveste 55° over horisonten i Skibotn, slik at vi kunne håpe på data av god kvalitet. 44 i Boo ble delvis valgt fordi vi mente det skulle være mulig å få brukbare målinger på førjulsvinteren, et tidsrom da stjerna står svært ugunstig til på sørligere breddegrader. Vi ønsket også å følge opp målinger gjort på Solobservatoriet, Harestua våren 1978.

I løpet av desember 1978 målte vi fem lyskurver av de to programstjernene ved Skibotnobservatoriet:

- tre lyskurver av 44 i Boo med varigheter fra 3 t 13 min til 3 t 41 min, altså rundt en halv periode
- to lyskurver av VW Cep med varighet 10 t 21 min og 12 t 11 min, den siste på 1,9 perioder.

Alle observasjonene i Skibotn ble gjort med assistanse av Ragnar B. Kalleberg.



Figur 6.2. Karl Emil Egge ved kontrollpulten i operasjonsrommet

Lyskurvene ble målt ved hjelp av differensiell fotometri, det vil si at programstjernene ble målt i

forhold til sammenlikningsstjerner. Disse er antatt stabile stjerner som ligger nær programstjerna både i vinkelavstand og spektralklasse. Sammenlikningsstjerna ble i tillegg målt i forhold til ei tredje stjerne, kontrollstjerna. Egnede sammenliknings- og kontrollstjerner finnes i publikasjoner av tidligere observatører. Vi kunne ikke påvise signifikante variasjoner i lysstyrken til våre sammenlikningsstjerner.

Målingene av sammenlikningsstjernene ble også brukt til bestemmelse av ekstinksjonskoeffisienter. Disse kan benyttes til å korrigere for at lyset går gjennom ulik luftmasse og dermed taper seg i ulik grad alt etter hvor høyt stjerna står på himmelen. De gir dessuten en god indikasjon på stabiliteten i observasjonsforholdene. Korreksjon for ekstinksjon er normalt unødvendig i differensiell fotometri, siden program- og sammenlikningsstjerne påvirkes omtrent like mye. Vi valgte å korrigere målingene av 44 i Boo siden stjerna sto lavt på himmelen og vinkelavstanden til sammenlikningsstjerna var relativt stor, et kompromiss for å få bedre samsvar i fargeindeks.

Chopperfotometeret hadde som nevnt av Kalleberg tre filtere, u, b og v (ultrafiolett, blått og visuelt). Filtrene har karakteristikk som ligger nær den fotometriske UBV-standarden.

En observasjonsserie startet med måling av sammenlikningsstjerna. Deretter foretok vi en rekke tilsvarende målinger av programstjerna før neste måling av sammenlikningsstjerna. 44 i Boo ble målt bare i b og v, siden det viste seg å være svært mye støy i u-målingene. En måling besto av fire integrasjoner, hver på 30 sekunder, b-v-v-b. VW Cep målte vi med 20 sekunders integrasjoner i sekvens u-b-v-v-b-u. Vi benyttet middelverdien av de to integrasjonene i hvert filter, og tidspunktet for målingen ble registrert midt i v-integrasjonen.

6.4 Dataanalyse

Et punkt på lyskurven viser magnitudedifferanse

$$\Delta m(t) = -2,5 \cdot \lg \frac{S_p(t)}{S_c(t)} \text{ mag}$$

der S_p og S_c er telleratene for program- og sammenlikningsstjerne. S_c ved tidspunkt t ble beregnet ved interpolasjon mellom målingene før og etter t .

Fra lyskurvene kunne vi bestemme tidspunkt for minimum lysstyrke. Her benyttet vi en metode utviklet av Kwee og van Woerden (1956), i fortsettelsen kalt KW-metoden. Den går ut på å tilpasse en symmetrisk kurve til observasjonene i et valgt intervall omkring minimum. KW-metoden er uavhengig av subjektivt skjønn, og den gir også usikkerheten i bestemmelsen. Et dataprogram laget av Jostein Bønæs ble benyttet til disse beregningene.

Minimum-tidspunktene må for å kunne sammenliknes med andre minima regnes om til heliosentrisk tid, altså tidspunktet som en observatør på sola ville registrert. Dette er nødvendig fordi jordas banebevegelse endrer avstanden til binærstjerna gjennom året, og jordas posisjon i banen kan innvirke med flere minutter på et observert minimum-tidspunkt.

Statistikk over minima kan omfatte flere tiår, og det er derfor praktisk å oppgi tidspunkt som juliansk dagnummer, dette skifter kl. 12.00 UT (universaltid). Timer og minutter etter dette regnes om til desimaldøgn. Vi angir altså tidspunkt for minimum som heliosentrisk juliansk dag.

Formelen nedenfor kalles en efemeride og benyttes til å beregne framtidige minima fra et ekstra presist min-tidspunkt, gjerne basert på flere observerte minima, og den beste tilgjengelige periodeverdien:

$$T_{min 1, pred} = (2433898,4410 + 0,27831793 \cdot E) \text{ J.D.Hel}$$

Denne efemeriden gjelder for VW Cep (van't Veer 1973). Epoken E angir antall perioder etter det kjente min-tidspunktet. Min I kalles primærminimum og er det dypeste. Predikert min II, sekundærminimum, beregnes ved å sette inn halvtallige verdier på E .

Etter at et min-tidspunkt er beregnet fra en lyskurve, kan man regne ut ($O-C$)-verdien, dvs. observert tidspunkt minus T_{min} kalkulert fra efemeriden. I større undersøkelser er det vanlig å tegne et ($O-C$)-diagram som dekker mange observerte minima over lange tidsrom i forhold til samme efemeride.

En analysemetode som ble mulig takket være utviklingen av stadig kraftigere datamaskiner gjennom 1970-tallet, var syntetisk lyskurve-analyse. Vi hadde tilgang til et program laget av E. Berthier som del av hans doktoravhandling (Berthier 1973). Her varieres viktige parametere som komponentenes masseforhold, deres temperaturer, graden av kontakt og vinkelen mellom systemets rotasjonsakse og synslinja, inklinasjonsvinkelen. Til sammen 13 parametere kan varieres.

Systemets geometriske form bestemmes av masseforholdet og graden av kontakt, og når formen er bestemt, deles stjerneoverflata opp i 1200 til 10 000 flateelementer etter ønske. Lysbidraget fra et element blir beregnet på grunnlag av valgt bølgelengde og effektiv temperatur (Planck-stråling).

Programmet summerer bidragene fra helt eller delvis synlige elementer under systemets rotasjon. Bidragene avhenger av flateelementenes orientering i forhold til synslinja, og her er inklinasjonen en viktig parameter. Målet er å finne en kombinasjon av parameterverdier som gir en beregnet lyskurve i best mulig samsvar med den observerte, og programmet regner også ut gjennomsnittlig avvik mellom målte verdier og den syntetiske kurven.

6.5 Resultater: 44 i Boo

Observasjonene av 44 i Boo svarte ikke helt til forventningene. De tre nettene vi observerte var det ikke mulig å få brukbare målinger før stjerna hadde steget til en høyde godt over 40° , det vil si rundt kl. 02 på natten. Dermed kunne vi avskrive muligheten for lange lyskurver disse nettene. De to siste lyskurvene av 44 i Boo var av akseptabel kvalitet, og de dekker til sammen omtrent én periode med ett primær- og ett sekundærminimum.

Vi bestemte de to minima i b og v med KW-metoden, basert på et faseintervall på 0,15 omkring minimum (15% av en periode). De fire bestemmelsene ga alle usikkerheter ≤ 1 min. T_{min} for primærminimum målt 19.12 avvek ca. 1 min mellom b og v, mens vi fikk nøyaktig samme tidspunkt for min II fra b- og v-kurvene målt 24.12.

Vi undersøkte også innvirkningen av å legge ulike faseintervall til grunn for bestemmelsen. Økt intervall fra 0,10 til 0,25 ga ca. 1 min seinere T_{min} for primærminimum i både b og v, mens sekundærminimum var tilnærmet upåvirket av faseintervall. Dette skyldes at min I er asymmetrisk, den avtakende greina er brattere enn den stigende.

Dersom $T_{min II}$ svarer til konjunksjon, er beregnet $T_{min I}$ ifølge ($O-C$)-verdiene forsinket med 1,6 min pga. asymmetrien, som sannsynligvis representerer en reell perturbasjon, enten et ekstra lysbidrag på den avtakende greina eller en mørk flekk eller ekstra absorpsjon på den stigende greina.

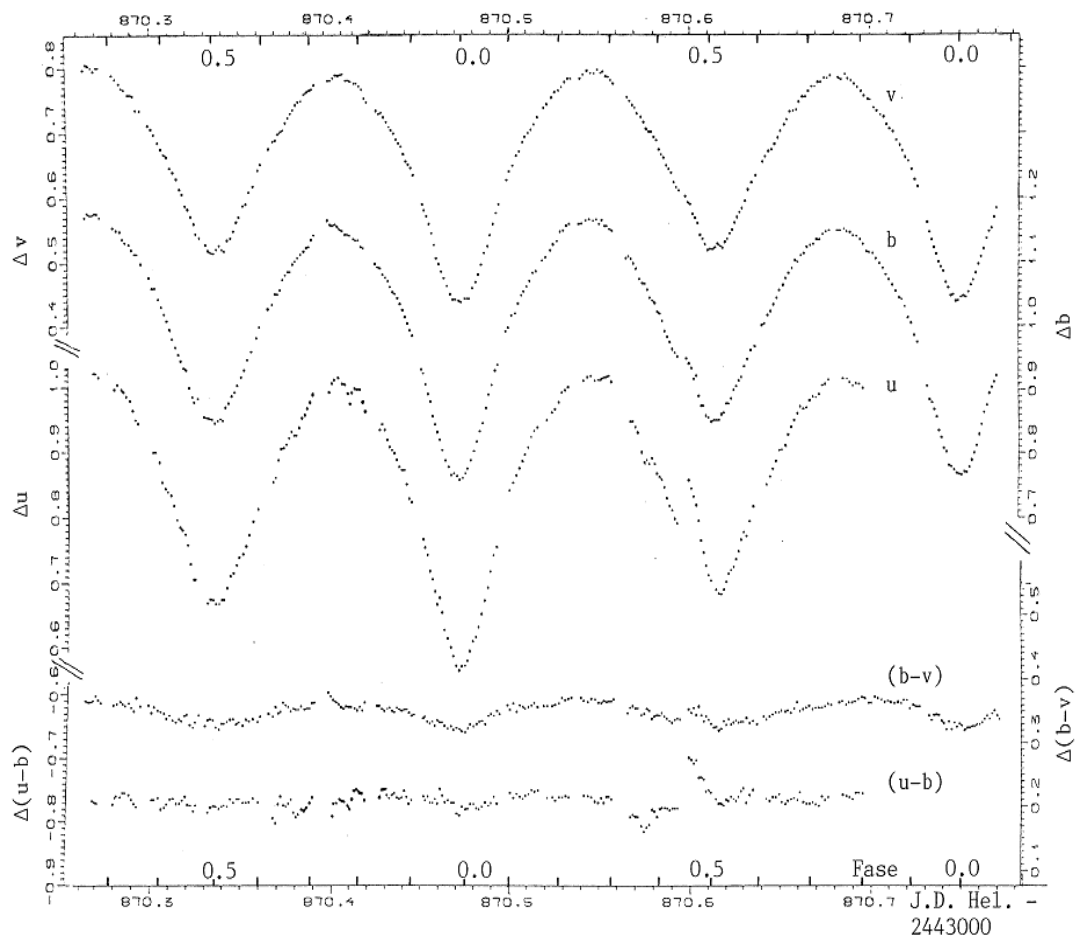
Våre ($O-C$)-verdier stemmer godt overens med hovedtyngden av observasjoner fra 1978-79. ($O-C$)-diagram tyder på at perioden har vært konstant i tidsrommet fra 1966 til 1980.

Lyskurvene av 44 i Boo har ikke god nok kvalitet til syntetisk lyskurve-analyse. Systemet har sannsynligvis også en tredjekomponent som antas å være ca. dobbelt så lyssterk som binærstjerna er i maksimum. En usikker korreksjon for denne tredjekomponenten vil innvirke på dybdeforholdet mellom de to minima, og parameterverdier fra en slik analyse ville ha liten verdi.

6.6 Resultater: VW Cep

Første observasjonsnatt av VW Cep, 1.– 2.12 ga data av brukbar kvalitet. Vi kunne bestemme presise tidspunkt for min I fra to nær symmetriske minima. Beregningen var basert på faseintervall 0,10. b- og v-kurvene ga fire $T_{min I}$ med usikkerheter ≤ 21 s. Lyskurvens ene min II er tydelig asymmetrisk og ga et T_{min} som var forsinket med ca. 4,5 min i forhold til fase 0,5 (fase = 0 er definert fra beregnet min I). Dessuten var maksimum ved fase 0,25 klart høyere enn de to ved fase 0,75 både i b og v.

Natten 27. – 28.12 målte vi den lengste og klart beste observasjonsserien. Temperaturen lå rundt -20°C gjennom hele natten, og ekstinksjonskoeffisientene viste svært stabile forhold fram til de siste par timene. Lyskurven inneholder fire minima. Også her viser de to min I svært stor grad av symmetri. KW-metoden ga usikkerheter ≤ 12 s for fire $T_{min I}$ -bestemmelser i b og v. De to lyskurvene av VW Cep ga i b og v i alt åtte bestemmelser av min I, der spennet i (O–C)-verdier var innenfor 66 s, og sju av verdiene var innenfor 26 s.



Figur 6.3. Lyskurver av VW Cep observert 27. – 28.12.1978

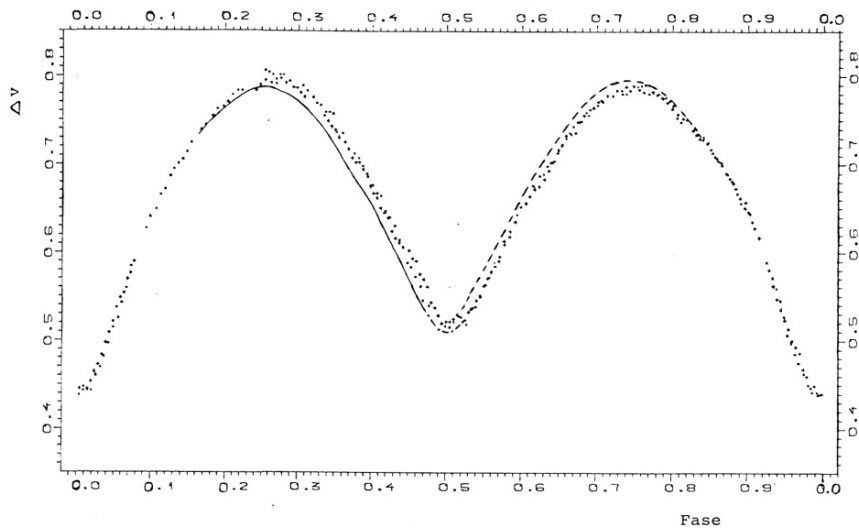
Også denne lyskurven viser tydelige perturbasjoner. Maksima ved fase 0,25 er noe høyere enn de ved fase 0,75, selv om forskjellen er mindre enn i den forrige lyskurven. Tidspunktene for de to min II er også her klart seinere enn fase 0,5. KW-metoden ga forsinkelser på 2,8 min og 4,2 min i v, og 3,4 min og 5,5 min i b. En mulig forklaring på dette er at vi har et ekstra lysbidrag på den avtakende greina og fram til fase 0,52, der v-kurven har en tydelig liten topp i begge min II. I det siste min II har vi et kraftig utslag ved fase 0,46, spesielt i u-kurven, og dette bidrar nok sterkt til økt forsinkelse fra det første til det andre $T_{min II}$.

Gjennomsnittet av åtte ($O-C$)-verdier for min I var $(-0,0999 \pm 0,0002)$ døgn $\approx -2,4$ timer etter 35831 omløp. ($O-C$)-diagram for tidsrommet 1972–81 viser stor spredning, men dersom vi tolker trenden som lineær, betyr det at perioden har vært konstant, men 0,24 s kortere enn antatt.

En syntetisk lyskurve-analyse krever at vi skiller ut deler av lyskurven som med stor sannsynlighet er uperturberte. I figur 6.4 er de to syklusene av v -kurven slått sammen som funksjon av fase.

En uperturbert lyskurve skal ha to like høye maksima og et symmetrisk min II ved fase 0,5. Her er det to nærliggende alternativer:

1. Faseområdene $0 - 0,20$ og $0,52 - 1$ er uperturberte, og vi har et ekstra lysbidrag fra fase $0,20 - 0,52$. Heltrukken kurve viser uperturbert nivå.
2. Faseområdene $0 - 0,52$ og $0,80 - 1$ er uperturberte, og vi har redusert lysstyrke fra fase $0,52 - 0,80$ som kan skyldes en mørk flekk eller absorberende gass omkring systemet. Stiplet kurve viser uperturbert nivå



Figur 6.4. Sammensatte lyskurver i v -filteret 27–28.12.1978 med alternative uperturberte intervall

Vi kom fram til at det første alternativet er mest sannsynlig. Den avtakende greina i min II har større spredning enn den stigende, dessuten taler det kraftige utslaget ved fase 0,46 i u -kurven for at vi her har ustabile forhold. Et høyere maksimum ved fase 0,25 og forsinket min II i forhold til fase 0,5 kan forklares med en lys flekk på primærstjerna, og det sterke utslaget ved fase 0,46 kan skyldes en flare.

De antatt uperturberte delene av lyskurven ble analysert med Berthier-programmet. Målingene for fase $0 - 0,20$ og $0,52 - 1,00$ fra de to syklusene ble slått sammen (b -kurven i syklus 2 ble senere kuttet ved fase 0,75 på grunn av endret transmisjon). Vi kjørte analyser med og uten korreksjon for en litt omstridt tredje komponent. Ifølge Hershey (1975) bidrar denne med henholdsvis 2 %, 4 % og 7 % av binærstjernas maksimale lysstyrke i u , b og v .

I en normal kjøring var det praktisk å begrense seg til fire-fem variable parametere mens de resterende hadde faste verdier. Valgt bølgelengde og ønsket antall flateelementer og iterasjoner måtte spesifiseres ved start.

Vi startet med å variere parametere som innvirker sterkt på kurveformen: masseforhold $q = \frac{m_2}{m_1}$, inklinasjonsvinkel i og kontaktparametere $C_{v1,2}$. Temperatur T_1 ble fastsatt på grunnlag av spektralklassen, mens vi lot T_2 variere. Med en brukbar tilpasning for disse kunne andre parametere som

randfordunkling og gravitasjonsfordunkling justeres for å få en enda bedre løsning.

Den beste tilpasningen fikk vi ved å legge inn korreksjon for tredje-komponenten. Analyse av v- og b-kurvene ga parameterverdier i godt samsvar. Vi fikk også beregnet en teoretisk u-kurve basert på de samme verdiene, se figur 6.5.

Observerte kurve er basert på to sykluser i v. I b og u er syklus 2 avbrutt ved fase 0,75

Beste tilpasning:

(gjennomsnitt av b og v)

Masseforhold $q = 0,35$

Inklinasjon $i = 64,3^\circ$

Temperaturer:

$$T_1 = 5000 \text{ K}$$

$$T_2 = 5500 \text{ K}$$

Kontakttybde:

$$C_{v1,2} = 0,92$$

Gjennomsnittlig avvik:

$$E_v = 0,004 \text{ mag}$$

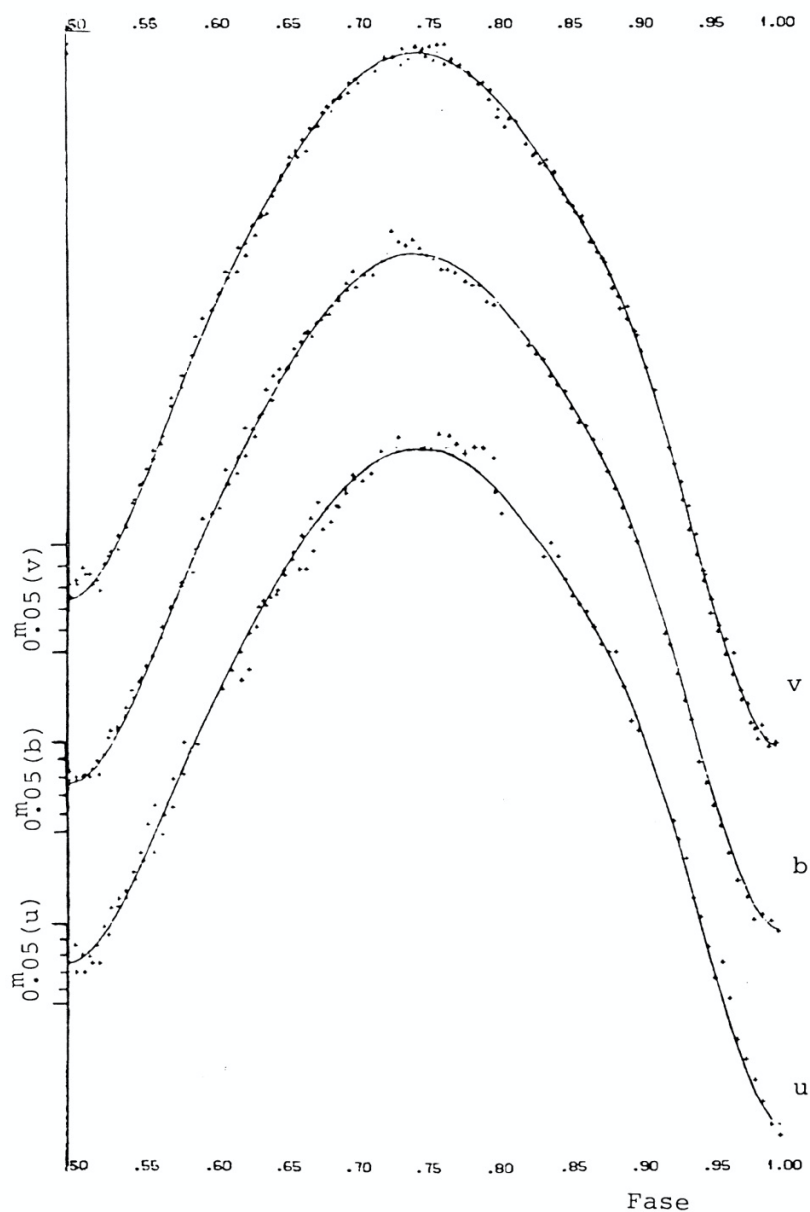
$$E_b = 0,005 \text{ mag}$$

$$E_u = 0,009 \text{ mag}$$

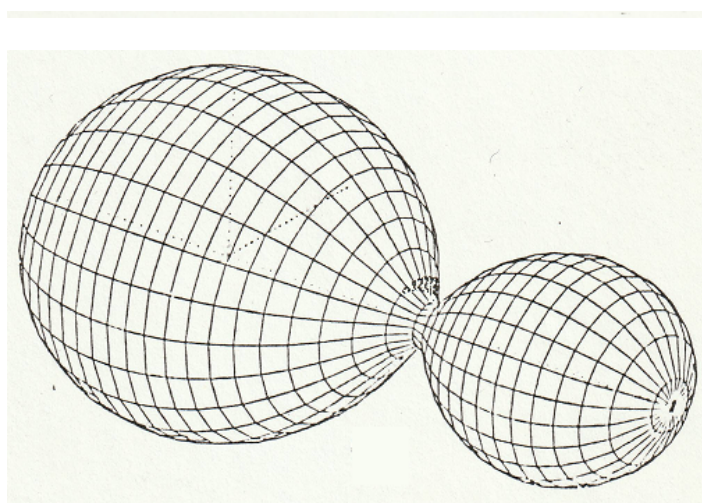
Kontakttybde $C_v < 1$ betyr overkontakt, og $C_v = 0,92$ innebærer svak grad av overkontakt.

Ved overkontakt har de to komponentene samme C_v -verdi. Det må bemerkes at syntetisk lyskurveanalyse er svært komplisert og har mange variable størrelser. Vi har derfor ingen garanti for at vi har funnet den absolutt beste løsningen.

Våre verdier stemmer imidlertid



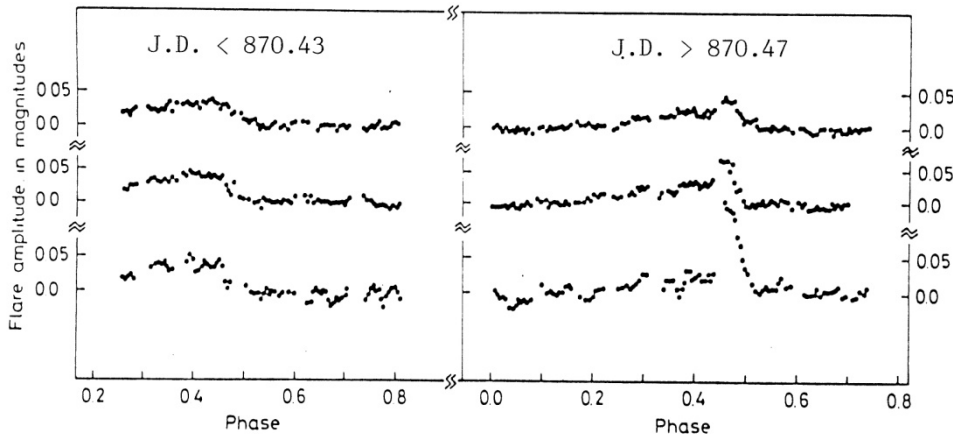
Figur 6.5. Syntetiske og observerte lyskurver i v, b og u tegnet med en grafisk rutine laget av Svein Sivertsen.



Figur 6.6 V.W Cep ved fase 0.65 ifølge beste tilpasning

godt overens med andre parameterbestemmelser for VW Cep.

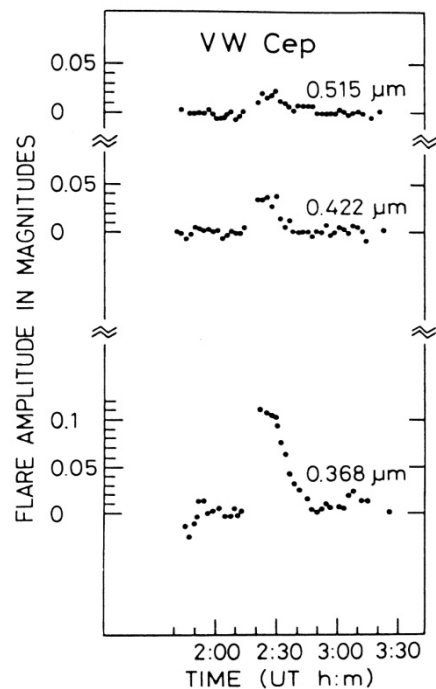
Under forutsetning av at den syntetiske kurve-løsningen representerer det uperturberte binærsystemet, kunne vi se nærmere på hvordan den observerte lyskurven avviker fra denne. Kurvene nedenfor viser differansen mellom observert og antatt uperturbert lyskurve i v, b og u for de to syklusene. Vi ser et utslag på 0,02 – 0,05 mag i faseområdet 0,20 – 0,52 som kan forklares med en lys flekk på primærkomponenten. I syklus 2 ser vi hvordan den antatte flaren bidrar i v, b og u.



Figur 6.7 Forskjell mellom observerte og syntetiske lyskurver for VW Cep

I figur 6.8 til høyre er bidraget fra uperturbert stjerne og lys flekk trukket fra, og vi ser utslaget som skyldes flaren i v, b og u. Begge figurene er fra Egge og Pettersen (1983).

Som nevnt er det en sannsynlig sammenheng mellom flaren og den antatte lyse flekken på primærkomponenten. Begge opptrer i et område av primærstjerna som vender mot sekundærstjerna, og masseoverføring kan være en mulig forklaring. Flarens lysstyrke avtar uvanlig raskt, og dette kan være en indikasjon på at flareområdet formørkes av sekundær-komponenten.



Figur 6.8. Lyskurve med syntetisk lyskurve og lys flekk trukket fra.

6.7 Konklusjon

Hovedfagsarbeidet som er beskrevet her må kunne karakteriseres som relativt vellykket. Det var svært viktig å komme fram til at instrumenteringen var til å stole på og at choppingteknikken var i stand til å korrigere for variabel himmelbakgrunn. Vi fikk ikke målt noen lang lyskurve av 44 i Boo de tre nettene vi prøvde, men under gunstigere forhold skulle en lang observasjonsserie være mulig, så det var verdt å forsøke. Sammen med lyskurvene av VW Cep ga observasjonene mange tidspunkt for minimum lysstyrke og flere tegn på interessante prosesser knyttet til kontaktbinærstjerner. Lyskurven av VW Cep fra romjula 1978 ble svært sentral i det videre arbeidet. Nær to perioder med ypperlige observasjonsforhold viste at det var mulig å oppnå svært presise målinger, dette kom ikke minst til uttrykk gjennom samsvaret mellom de to påfølgende periodene. Det var svært gledelig at kurven

kunne benyttes til videre analyse med Berthier-programmet, og at vi klarte å finne en kombinasjon av parameterverdier som viste så godt samsvar mellom teoretisk og observert lyskurve. Dessuten var det interessant å finne tegn på forekomst av lys flekk- og flareaktivitet på VW Cep, og å forsøke å komme fram til kvantitative resultater i sammenheng med disse.

Referanser:

Kark Emil Egge 1982, *Fotometri og analyse av formørkelser i kontaktbinærstjerner*. Hovedfagsoppgave i fysikk ved Univ. i Tromsø

K.K. Kwee og H. van Woerden 1956, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 12, 327

F. van't Veer 1973, *Astron. Astrophys.*, 26, 357

E. Berthier 1973, Doktoravhandling, Faculté des Sciences de Paris VII, Paris

J. L. Hershey 1975, *Astron. J.*, 80, 662

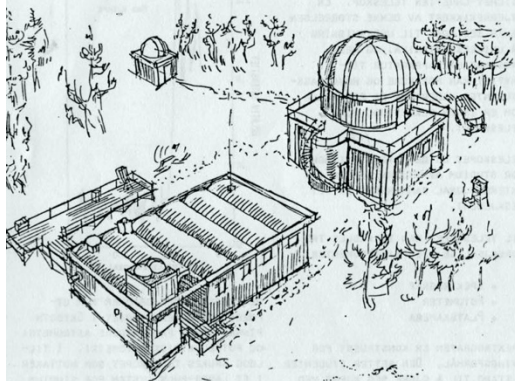
K.E.Egge og B.R. Pettersen 1983, *Astrophys. Space Sci. Lib.*, 102, 48



Figur 6.9 Nyttårsafien 1978 i campingvogna som ble brukt til overnatting. Indrefilet kjøpt på Kilpisjärvi og en flaske vin fra veileder. Karl Emil Egge til venstre og Ragnar Kalleberg til høyre

Brosjyre for 1980 –årene

SKIBOTH ASTROFYSISKE OBSERVATORIUM



UNIVERSITETET I TROMSØ
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG

SKIBOTH OBSERVATORIUM EIES OG DRIVES AV UNIVERSITETET I TROMSØ, VED INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG ER DET EN LITEN GRUPPE ASTROFYSIKERE SOM FORESTÅR OBSERVASJONSVIRKSOMHETEN I SKIBOTH.

HØVEDINSTRUMENTET ER ET 50 CM RITCHEY-CRÉTIEN TELESKOP. EN STJERNEKIKKERT AV DENNE STØRRELSEN EGNER SEG GODT TIL UNDERVISNING PÅ UNIVERSITETSnivå, OG MED PASSENDE MÅLEAPPARATUR TILKNYTTET KAN FORSKERE OG HØVEDFAGSSTUDENTER UNDERSØKE DE FENOMENER SOM ER INNEN REKKEVIDDE FOR TELESKOPET.

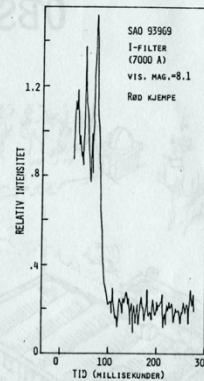
TELESKOPET ER DET STØRSTE I NORGE FOR STUDIUM AV STJERNER, MEN I INTERNASJONAL SAMMENHENG ER DET BESKJEDENT.

TIL TELESKOPET KAN TILKOBLES TRE FORSKJELLIGE HJELPEINSTRUMENTER:

- SPEKTROGRAF
- FOTOMETER
- PLATEKAMERA

SPEKTROGRAFEN ER KONSTRUERT FOR ØVLINGSFORMÅL. DEN SETTER STUDENTER I STAND TIL Å GJØRE SEG KJENT MED STJERNENES SPEKTRA, BESTEMME TEMPERATUR OG LYSSTYRKE FOR STJERNER AV FORSKJELLIGE TYPER,

OG IDENTIFISERE FLERE AV DE KJEMISKE STOFFENE SOM STJERNENE ER BYGGET OPP AV.

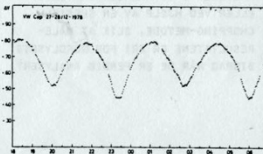


DE FORSKNINGSPROGRAMMER SOM UTFØRES VED OBSERVATORIET I SKIBOTH FINNES INNEN FAGOMRÅDENE ASTROMETRI OG FOTOTELEMETRI. I TILLEGG BRUKES TELESKOPET SOM MOTTAKER I ET LASER-PULS SYSTEM FOR STUDIUM AV TETTHETSFORDELINGEN I JORDENS NEDRE ATMOSFÆRE.

VÅRE FOTOMETRISKE PROGRAMMER ER RETTET MOT STUDIER AV FENOMENER SOM FOREGÅR I STJERNENES ATMOSFÆRER OG TAR SIKTE PÅ Å BEDRE KJENNSKAPET TIL SPELLETYPE TYPER STJERNER FOR Å FORSTÅ DE FYSISKE PROSESSER SOM OPTRER. OFTE GIR DETTE OSS FUNDAMENTAL KUNNSKAP OM STJERNENE SELV.

EN VIKTIG FYSISK OPPLYSNING ER STJERNENES STØRRELSE. I TELESKOPET ER DE BARE SMÅ PRIKKER OG VI KAN IKKE MÅLE DIREKTE HVOR STOR UTSTREKNING DE HAR. ENKELTE STJERNER LIGGER MIDLERTID SLIK TIL PÅ HIMMELN AT DE AV OG TIL DEKKES AV MÅNEN. NÅR DETTE SKJER SIER VI AT DET FINNER STED EN OKKULTASJON. VED Å MÅLE HVORDAN LYSET SLUKKES UT NÅR MÅNEN DEKKER OVER STJERNEN, KAN VI BEREKNE HVOR STOR UTSTREKNING STJERNEN HAR. VI FORETAR SLIKE OBSERVASJONER MED EN TIDSOPLØSNING PÅ 1-10 MILLISEKUNDER. DET BETYR AT VI HVERT SEKUND MOTTAR OPPTIL 1000 UAVHENGIGE INFORMASJONER OM STJERNENS LYSSTYRKE. FIGUREN TIL VENSTRE VISER HVORDAN LYSET SLUKKES UT NÅR STJERNEN ER LANGT BORTE. HELE FENOMENET ER OVER PÅ MINDRE ENN 1/10 SEKUND. AV OG TIL AVSLØRES NYE DOBBELTSTJERNER MED DENNE TEKNIKKEN.

FRA SIDEN. SPESIELT INTERESSANTE ER DE SYSTEMER HVOR TO STJERNER ER SÅ NÆR HVERANDRE AT DE NESTEN BERØRER HVERANDRE. DA KAN MATERIE STRØMME OVER FRA DEN ENE STJERNEN TIL DEN ANDRE. DE FYSISKE EFFEKTER AV DETTE ER DET VI FORSØKER Å KARTLEGGJE. FIGUREN UNDER VISER LYSKURVEN TIL EN SLIK KONTAKT-DOBBELTSTJERNE. DEN HAR BETEGNELSEN VV CEP, OG BLE I DETTE TILFELLET OBSERVERT SAMMENHENGENDE I 13 TIMER. DET ER VÅR Plassering SÅ LANGT MOT NORD SOM GJØR DETTE MULIG I MØRKETIDEN OM VINTEREN.



PÅ PROGRAMMET STÅR OGSÅ STUDIET AV STJERNER MED ANDRE TYPER VARIASJONER. STJERNER MED STERKE MAGNETFELT VISER ENDRINGER I MANGE FYSISKE STØRRELSER NÅR DE ROTERER, OG ET AV VÅRE PROGRAMMER PRØVER Å FINNE VARIASJONER I UTVALGTE DELER AV SPEKTRET VED Å OBSERVERE GJENNOM SMÅLE FILTERE. ET ANNET PROGRAM STJERNER SOM FORMØRKER HVERANDRE GJEN-ER RETTET DIREKTE MOT BESTEMMELSE SIDIG SOM FØLGE AV AT VI SER SYSTEMET AV ROTASJONSHASTIGHETEN TIL KALDE

OG SMÅ STJERNER VED Å OBSERVERE DE LYSVARIASJONENE DE FREMBRINGER NÅR STORE, MØRKE FLEKKOMRÅDER ROTERER OVER STJERNEN.

DE FOTOMETRISKE OBSERVASJONENE UTFØRES MED ET DATAMASKIN-STYRT FOTOTELEMETRIK FOTOMETER. DATAMASKINEN STÅR I OPERASJONSROMMET I BYGNINGEN UNDER TELESKOPET DER DET ER VANLIG ROMTEMPERATUR. DEN STYRER FLERE FUNKSJONER I FOTOMETRET, OG TAR VARE PÅ DE DATAENE SOM SAMLES INN. PÅ GRUNN AV DEN VARIABLE BAKGRUNNEN SOM NORDLYSET SKAPER, FORETAS MÅLINGER I TO KANALER SAMTIDIG, ELLER VED HJELP AV EN SPELLETT CHOPPING-METODE, SLIK AT MÅLERESULTATENE ER FRI FOR NORDLYSETS BIDRAG NÅR DE ER FERDIG ANALYSERT.

ASTROMETRI-PROGRAMMET TAR SIKTE PÅ STUDIER AV BANENE TIL ASTEROIDER OG KOMETER, OG FOR TIDEN FORETAS DET INNLEDENDE UNDERSØKELSER FOR Å KARTLEGGJE PLATEKAMERAETS KAPASITET MED VÅRT TELESKOP OG BESTEMME JORDATMOSFÆRENS INNVIRKNING PÅ DENNE TYPE OBSERVASJONER. PLATEKAMERAET ER KONSTRUERT FOR Å UTNYTTE TELESKOPETS SPELLETT OPTISKE KONSTRUKSJON TIL Å TA FOTOGRAFIER AV STJERNEHIMMELN MED LANG EKSPONERINGSTID. DET BRUKES SPESIALLAGDE FOTOGRAFISKE PLATER MED DIMENSJONER OPPTIL 20 X 25 CM.

OBSERVATORIET I SKIBOTH ER ÅPENT FOR BESØKENDE I DEN GRAD VI HAR KAPASITET TIL Å GI OMVISNINGER. DET ER ALLTID TRYGGEST Å AVTALE TID FOR MÅN KOMMER. FOR GRUPPER OG SKOLEKLASSE ER DETTE EN BETINGELSE. TELEFONENE ER SKIBOTH 47 OG TROMSØ (083) 86060 (NORDLYSOBSERVATORIET).

7. Infrarød og mikrobølge bakgrunnsstråling

Jan-Erik Solheim (red), Svein Sivertsen og Lennart Berge

Ved Nordlysobservatoriet var det vanlig å ta imot andre forskere som ville gjøre observasjoner i nordlyssonen. Dette førte ofte til samarbeidsprosjekter eller avtale om teknisk assistanse med betaling. Slik ble det også ved observatoriet i Skibotn. I mange år driftet vi en støvsuger for en gruppe ved Technische Universität Braunschweig for å analysere radioaktivitet i støv. Den ble stående igjen på Olderbakken og betjent av Anti Overelv. Da det ble kjent blant IR-astronomer i Europa at det kunne være gunstige forhold for IR observasjoner i Nord Norge, fikk vi kontakt med en italiensk gruppe som gjerne ville observere i mikrobølgeområde. Dette førte til et samarbeide som varte nesten 10 år.

7.1 Introduksjon

Til å begynne med var jeg eneste ansatte som arbeidet med forprosjekt for IR-observatorium som beskrevet i kapittel 1. Men 1.9 1971 ble Svein Sivertsen ansatt i begynnerstilling eller vitenskapelig assistent som det også het. Han var nylig cand. Real fra Astrofysisk Institutt, Universitetet i Oslo, med hovedoppgave i observasjonsastrofysikk (Fotoelektriske målinger av stjerner med Bull-kikkerten – 1971). Et sammendrag av hovedoppgaven er samlet i Report No. 34: UBV-System for a 12 Inch Telescope, Institutt for Teoretisk Astrofysikk, 1972.

Sivertsens oppgave inkluderte observasjoner med Bull-kikkerten på Solobservatoriet på Harestua. Han var vel kvalifisert til å være med på og bygge opp et observasjonsmiljø i Tromsø. Etter hvert fordelte vi arbeidet mellom oss slik at jeg jobbet med teleskopplanlegging og Svein med IR-bakgrunnsstråling. Problemstillingen var at alt som har temperatur stråler i IR-området og skaper bakgrunnsstøy som forstyrret observasjonene. Oppgaven var å kartlegge hvor mye støy vi kunne vente oss og hvordan vi ved spesielle instrumenter, kunne eliminere bakgrunnsstøyen (chopping fotometer) og om vi kunne finne et fotometrisk system som kunne gi meningsfull informasjon om stjernenes fysikk. Det siste ble hovedoppgaven til Hans Kristian Myrabø som brukte T21 på det første observatoriet på Olderbakken (kap 1).

Høsten 1971 deltok jeg på et IR-møte arrangert av det Europeiske Sydobservatoriet (ESO), hvor forskere som arbeidet med astronomiske IR-prosjekter i Europa deltok. Jeg fortalte om vårt forprosjekt og reklamerte for den kalde og tørre atmosfæren i nord med de lange vinternettene.

I 1971/72 samlet jeg informasjon om infrarød observasjonsvirksomhet i Norden og i Europa. Etter hvert ble det også reiser for å innhente tilbud fra produsenter av teleskop. Reisevirksomheten førte til at Svein var på Astronomimøte i Saltsjöbaden i Sverige da vi hadde vår første EU-avstemning i september 1972, mens jeg var i Milano etter besøk hos en mulig teleskopleverandør, på vei til Zeiss i Oberkochen, Tyskland. Det var vanskelig å forklare hvorfor Norge stemte nei!

Vi fikk kontakt med et sterkt miljø for IR-observasjoner i Firenze, under ledelse av professor Francesco Melchiorri, som jeg besøkte i september 1972 og fikk en gjenvissitt i Tromsø i desember 1972.



Figur 7.1 Firenze gruppen besøker Tromsø i desember 1972. Francesco Melchiorri er nr 2 fra venstre.
Foto: J-E, Solheim

7.2 Bakgrunnstøy og kosmisk bakgrunnstråling

Svein Sivertsen fikk stipend fra NAVF og Italiensk forskningsråd for et 4 måneders opphold i Firenze februar-mai 1973 for å arbeide i gruppen til Melchiorri. Formålet var å delta i utvikling og testing av infrarødt radiometer, utføre atmosfæriske støymålinger samt måling av den kosmiske bakgrunnsstråling fra deres stasjon i Alpene, Testa Griga (3500 m. o. h.). Det ble planlagt å bruke utstyr fra denne gruppen til senere undersøkelser av atmosfæriske IR-transmisjon i Nord Norge og på Svalbard.

7.2.1. Målinger i Troms 1974.

I forbindelse med planleggingen av IR-observatorium på fjelltopp, var vi i kontakt med Televerket og Jan-Erik var med på en befaring på Televerkets stasjoner på Trolltind på Arnøya. Det var spesielt for å se hvordan de konstruerte sine store tårn for antenner med tanke på ising. Svein var på befaring på Televerkets stasjon på Nordnes ved Lyngenfjorden. Vi avtalte at vi kunne få bruke denne stasjonen til våre forsøk på å bestemme infrarød transmisjon og støy sammen med den italienske gruppen.



Figur 7.2. Helikoptertransport av flytende helium fra E6 ved Nordnes (til venstre) og Televerkets stasjon på Joppolbakken med radiometer montert rett under tårnet.

Foto: Jan-Erik Solheim

Stasjonen på Nordnes ble kalt Joppolbakken. Georgio Dall'Oglio og Enzo Natale fra Firenzegruppen kom med radiometer fra Firenze i slutten av mars 1974. Vi sørget for transport av flytende helium fra Sør-Norge, først med fly til Bardufoss, så med bil til Nordnes, og helikopter opp til Joppolbakken. Det ble gjennomført observasjoner mellom 2. og 3. april.

Ifølge turloggen gikk Jan-Erik sammen med Øyvind Worum fra Skibotn til hytta på Favresvarre den 2. april og videre til Joppolbakken den 3. april og ble der noen dager. Men været ble etter hvert svært dårlig – snøstorm med sterke byger, slik at alle gikk ned bortsett fra Svein og Georgio som søkte tilflukt inne i tårnet.

Instrumentet ble fraktet ned og en ny runde med observasjoner ble forsøkt i Tromsø i mai. Men da var vandampinnholdet i atmosfæren for stort for IR-målinger.

7.2.3 Italiensk besøk i 1976

Da ble radiometer satt opp ved Helligskogen – ca. 500 m fra grensen til Finland. Dette ble omtalt i Aftenpostens A-magasin 1976 nr. 39, 23. september. Bildet nedenfor er fra A-magasinet. Bildet viser italienerne Vincenzo Natale og Vittorio de Cosmo ved Helligskogen sammen med Ove Harang (i sentrum) - nær veien mot grensen til Finland i bakgrunnen.



Figur 7.3. Italienske forskere Vincenzo Natale (til venstre) og Vittorio de Cosmo (til høyre) fra Firenze, sammen med Ove Harang med sitt radiometer ved grensen mellom Norge og Finland ved Helligskogen i mai 1975. (foto Erik Berglund, A-magasinet)

I årsrapporten står det at "vi hadde besøk av gruppen fra Firenze under ledelse av professor F. Melchiorri. Gruppen foretok observasjoner av kosmisk bakgrunnstråling ved bølgelengder omkring 1 millimeter. Resultatet var at de ikke kunne observere detaljer i kosmisk bakgrunnstråling ved disse bølgelengder, men kunne sette en øvre grense på omkring 2,7K. De registrerte heller ikke stråling fra atmosfæren på disse bølgelengder. Gruppen har antydnet en interesse av å komme tilbake enten til Troms eller Svalbard med mere apparatur om et par år. Observasjonene ble foretatt fra en plass i nærheten av tollstasjonen på Helligskogen." Verken Svein eller jeg var med på dette eksperimentet, da jeg var i Texas og Svein var underveis til Texas hvor han ankom omkring 15. mai.

7.2.4 Nytt forsøk i 1979

Det ble avtalt et nytt forsøk i september 1978. Men forsinkelser førte til at utstyr (bolometer) kom til Tromsø i desember. Observasjoner ble forsøkt fra Lauka utestasjon av Enzo Natale og Francesco Melchiorri i januar 1979. Instrumentproblemer førte til at det ikke ble noen resultater og dette prosjektet ble avsluttet.

7.3 Mikrobølge bakgrunnsstråling - Lauka utestasjon

Jeg deltok på en konferanse på Yale University i mai 1977 og ble der kontaktet av professor Bruce Partridge som hadde jobbet i gruppen til Robert Dicke, Jim Peebles og David Wilkinson ved Yale University for å finne finstruktur i den kosmiske bakgrunnstrålingen som ble oppdaget i 1964/65 ved en frekvens på 4 GHz. Ved Yale hadde de forsøkt å detektere strålingen ved 10 GHz, uten resultat.

Partridge som da var ved Haverford College i Pennsylvania, hadde overtatt 10 GHz-instrumentet som han gjerne ville prøve et ved vårt observatorium i samarbeide med en italiensk gruppe i Bologna. Ideen var at vi skulle observere med strålingen ved det samme område på himmelen og korrelere resultatene for å se om det var detektert sammenfallende områder. Partridge besøkte Tromsø i august 1978 og vi fant at det var et sted i fjellet, Laukavarre, der det ble arbeidet med tunneller i forbindelse med bygging av kraftstasjon i Skibotnelva. På fjellryggen Laukavarre var det installert en radiosender og ført fram strøm. Vi avtalte med Høyer-Ellefsen som utførte arbeidet, at vi kunne få strøm fra deres anlegg og overnatte i deres brakkeleir når det trengtes.

I løpet av høsten satte vi opp en oppholdshytte som vi fikk låne av FFI. Denne utstyrte vi med et anneks for utstyr, og fikk etter hvert også en eksternt hytte til lager. Til slutt ble stasjonen seende ut som på Figur 7.4 nedenfor. For å betjene stasjonen kjørte vi opp en snøscooterløype fra anleggsveien som startet fra riksveien mellom Skibotn og Helligskogen. Vi fikk god bruk for snøscooteren som vi fremdeles hadde fra forprosjektet med fjellstasjonene.



Figur 7.4. Lauka-stasjonen, foto Jan-Erik Solheim

Bruce Partridge bemannet stasjonen i perioden 15.1 – 8.3 1979 sammen med en student fra Haverford, Carl Sangree, som var der til 20.3. Partridge kom tilbake i desember 1979 for kalibrering

og start på en ny observasjonssesong. Han hadde da følge av 4 forskere fra Bologna og Milano som tok seg av den italienske del av prosjektet. (Reno Mandolesi og G. Sironi m.fl. (pkt 6.2.4)

Utstyret besto av en parabolantenne på ca 1m diameter, utstyrt med to feedhorn i en viss avstand, og en «black body» referanse. Prinsippet var å choppe raskt mellom de to hornene og håpe at målbare variasjoner skulle vise seg først i det ene hornet og så i det andre, tidsforskjøvet bestemt av jordrotasjonen. Denne choppingen var styrt av en elektronisk switch og fungerte greit. Med jevne mellomrom skulle så referansen legges inn en kort stund, og dette ble gjort med en elektromekanisk waveguide-switch. Denne hadde problemer med at det oppsto tretthetsbrudd i mekanikken etter en tid.



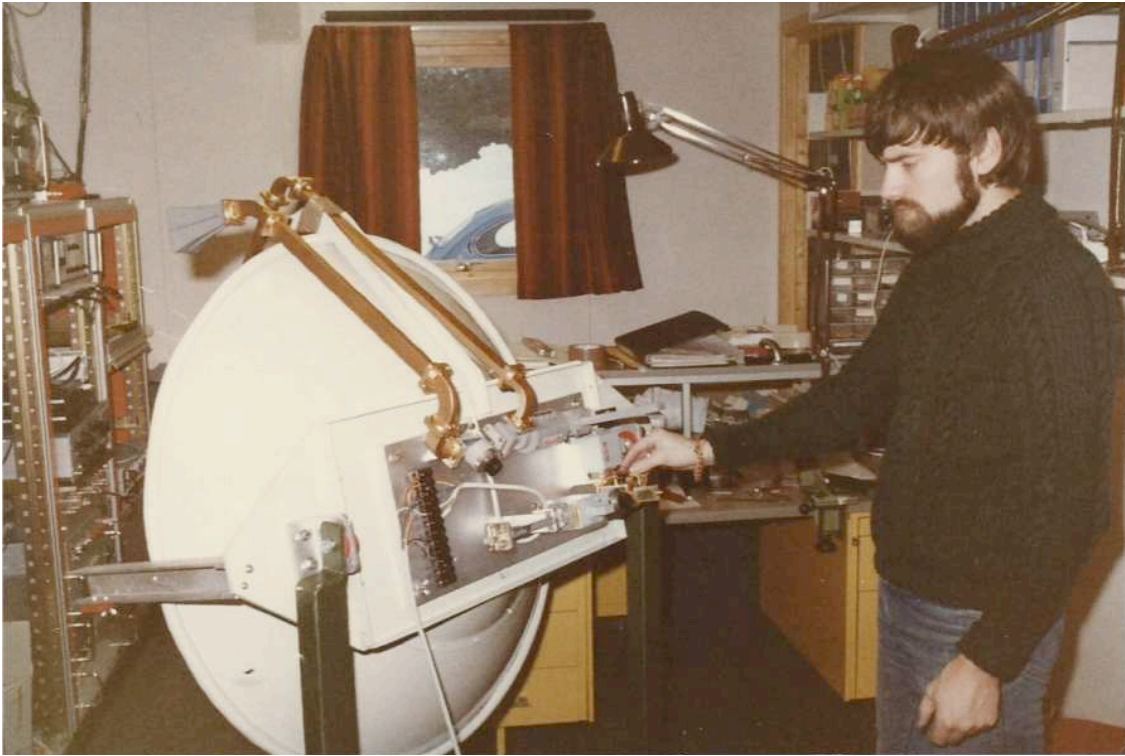
Figur 7.5. Jan-Erik Solheim (venstre) og Bruce Partridge (høyre) med 10 GHz instrumentet på Laukastasjonen i januar 1979

I løpet av sommeren og høsten ble instrumentet forbedret slik at lagring av data fra instrumentet skjedde nå på hullbånd, slik at det kunne opereres automatisk. Hullbånd ble skiftet regelmessig. Men da sesongen var over ble det oppdaget at et av hullrekkene (det viktigste) ikke hadde fungert, slik at dataene var ubrukelige. Instrumentet ble da demontert og returnert til Haverford.



Figur 7.6. Reidar Persen ved Instrumentet for måling av 3 cm bakgrunnsstråling på fjellet ved Lavka. I fokus på parabolspeilet sitter to feed-horn med mekanisk switch, og på kassen i forgrunnen er det en hornantenne for bakrunnsreferanse. Foto Lennart Berger.

7.4 Mikrobølgeprosjektet – siste runde 1981-82.



Figur 7.7. Lennart Berger med versjon 2 av 10 GHz mikrobølgemottager som ble montert på Skibotn observatoriet.

Men vi ga ikke opp mikrobølgeprosjektet. En ny antenne ble lånt fra Bologna-gruppen og et nytt system ble satt sammen av Lennart. Det ble tatt i bruk i 1981, da montert på observatoriet i Skibotn. Variable værforhold, særlig mildvær med ising gjorde at det ble dårlig data, slik at prosjektet ble avsluttet i mars 1983. Det har etter hvert vist seg at denne strålingen ikke lar seg detektere fra jordas overflate unntatt ved de ekstreme tørre forhold på Sydpolen. Men vi lærte mye om IR-instrumentering og dette førte til at Norge ble invitert med på Planck-prosjektet som beskrives i neste avsnitt.



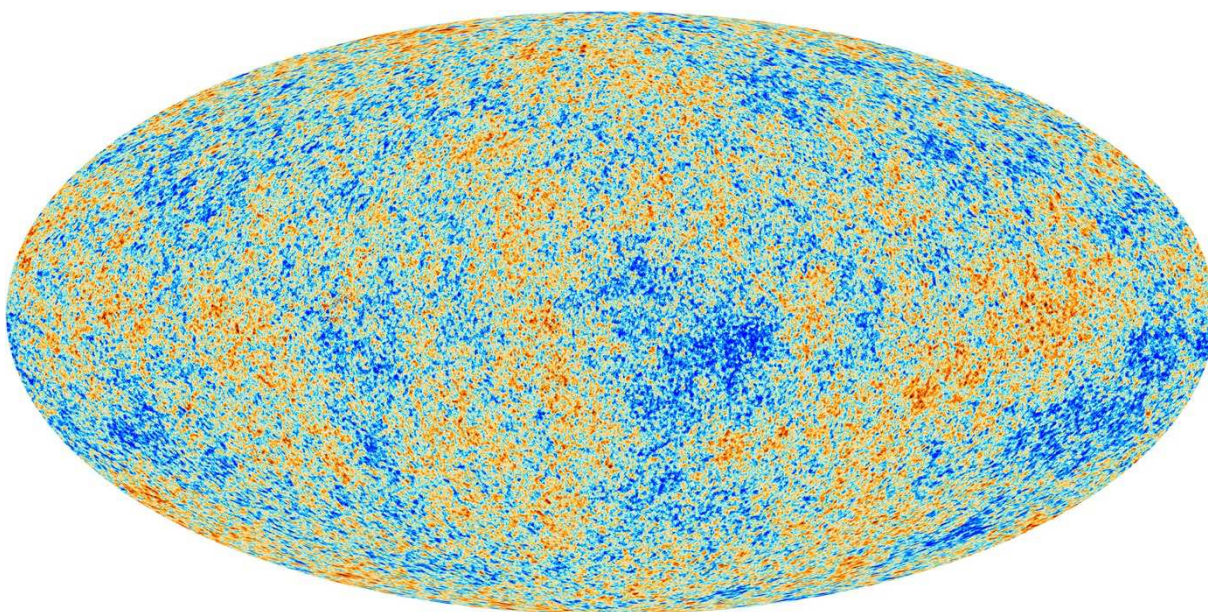
Figur 7.8. Radiometer i Skibotn Foto JES



Figur 7.9. Mer radiometerutstyr ved Skibotnobservatoriet. Foto Jan-Erik Solheim

7.5 Norge blir med i Planck prosjektet (2000-2010)

Som følge av kontakten med forskningsgruppen i Firenze, ble vi invitert i 1996 til å være med i lavfrekvensdelen (LFI) av ESAs Planck prosjektet hvor professor Nazzareno Mandolesi (nå Bologna) var Principal Investigator. Prosjektet var en Medium Sized Mission som del av Esa's Horizon 2000 Program. Jeg deltok en stund, men overlot prosjektet til Astrofysisk institutt I Oslo da Astrofysikkgruppen i Tromsø ble nedlagt. Planck ble skutt opp den 14 mai 2009 og LFI scannet himmelen til 23 oktober 2013 – og et meget detaljert kart over bakgrunnsstrålingen og forgrunnskilder ble produsert:



Figur 7.10. Kosmisk bakgrunnsstråling fra 380 000 år etter Big Bang observert med Planck observatoriet 2009-2013. (Bilde ESA – Planck project)

Referanser

Conti S, Dall'Oglio G, Fonti S, Guido I, Melchiorri B, Melchiorri F, Natale V, Mencaraglia P, Lombardini P, Trivero P and Sivertsen S 1974, *Atmospheric Noise in the Far Infrared (300 – 3000 μm)*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. MTT-22. No. 12, December 1974, Part I, pp. 1036-1041

Dall'Oglio G, Pippi L, Klokkervoll F and Sivertsen S 1975, *Far Infrared Atmospheric Transmission Measurements in North-Norway*, Infrared Physics , Vol. 15, p. 341, Letter to the Editor

Dall'Oglio G, Fonti S, Melchiorri B, Melchiorri F, Natale V, Lombardini P, Trivero P. and Sivertsen S, 1974, *Measurements of the cosmic background radiation through the 1.0-1.4-mm atmospheric window*, Physical Review D, Vol. 13, Number 5, pp. 1187-1194

Dall'Oglio G, Fonti S, Melchiorri B, Melchiorri, F Natale V, Lombardini P, Trivero P and Sivertsen S, 1974, *Measurement of the cosmic background in the 7 to 10 cm-1 atmospheric window*. International conference on submillimeter waves and their applications, p. 182 – 183

Dall'Oglio G, Fonti S, Melchiorri B, Melchiorri F. Natale V. Lombardini, P. Trivero P and Sivertsen S, 1974. *Atmospheric Windows and Broad Band Photometry in the Far Infrared Astronomy*, Infrared Physics, Vol. 14, pp. 335-341

Mandolesi N, Calzolari S, Cortiglioni S, Morigi G, Delphino F, Sironi G, Inzani P, DeAmici G, Solheim J-E, Berger L, Partridge RB, Sangree CH og Harvey RC 1986, *Large Scale homogeneity of the Universe as measured by the Microwave Background*, Nature, 319, 751

8. Instrumenter og bygg i 1980-åra

Bjørn R. Pettersen, Ragnar Kalleberg, Lennart Berger og Jan-Erik Solheim (red.)

For å fylle oppgaven som et fullverdig undervisningsteleskop mente vi det var viktig å kunne undervise i fotometri, astrometri og spektroskopi. De første instrumentene var fotometre. De er beskrevet i kapittel 4. Astrometrioppgaven ble løst ved å bygge et platekamera og anskaffe en korreksjonslinse for å få stort felt. Konstruksjonen av platekamera er beskrevet nedenfor mens astrometriprogrammet er beskrevet i kapittel 9. En spektrograf ble konstruert og bygget til studentformål. Vi mente også at vi kunne utnytte flere av nettene i Skibotn som ikke var fotometriske til forskningsformål ved en mer avansert spektrograf. Midler til denne ble bevilget, men etter hvert overført til NOT.

8.1 Innledning

I 1980 ble det skifte av personale tilknyttet observatoriet. Svein Sivertsen fikk ikke fornyet sin vit.ass/stipendiat stilling. Det ble heller ikke tildelt nr. 2 fast stilling slik vi ønsket. Derimot fikk gruppen en stipendiatstilling som ble besatt av Bjørn Ragnvald Pettersen (1980-87). Vi fikk også en professor II stilling som ble besatt av Kaare Aksnes (1980-88). Pettersen hadde et tidligere engasjement ved observatoriet som vitenskapelig assistent under montering og innkjøring av teleskopet i 1977-78 og hadde da konstruert og fått bygget et platekamera for astrometri. Dette er beskrevet i 8.2. Han satte også sammen en studentspektrograf som er beskrevet i 8.4. Ragnar Kalleberg sluttet i 1980, men rakk å prøve ut en billedforsterker (8.3) som senere ble tatt i bruk som guidekamera for teleskopet. Lennart Berger var med oss fram til 1986. Han fikk alle våre instrumenter til å virke. Stadige forbedringer av teleskopet fant sted etter hvert som feil ble oppdage (8.6). I tillegg deltok Ove Havnes i konstruksjon og utprøving av avansert spektrograf sammen med Bjørn Ragnvald Pettersen (8.5). Ove Harang brukte teleskopet som mottager for laserpulser (Lidar) beskrevet i 8.7.

Nedenfor presenteres Skibotn-instrumentene i omtrentlig tidsrekkefølge. Observatoriebygget ble også forbedret og feltstasjonen fullført (8.9).

8.2 Platekamera

Bjørn Ragnvald Pettersen med bidrag fra Lennart Berger

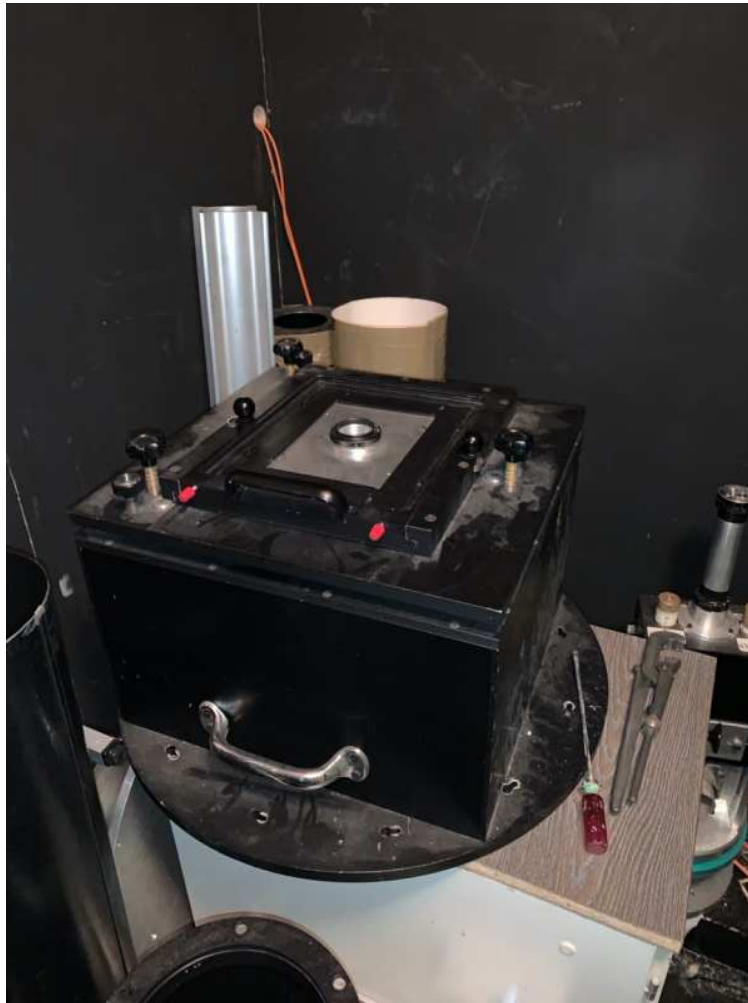
Teleskopet i Skibotn ble levert i januar 1978. Jeg ble engasjert som vitenskapelig assistent i ett år fra sommeren 1977 for å bistå under forberedelser og montering av teleskopet. Teleskopets optiske system ga mulighet for et Coudéfokus i et rom i etasjen under (figur 3.4) og et Cassegrainfokus bak hovedspeilet (figur 3.3). Sistnevnte og det bevegelige sekundærspeilet (fokusering) var slipt for å gi et bredt synsfelt (Ritchey-Chretien). For å etterprøve avbildningen i Ritchey-Chretien fokus var det behov for å konstruere et arrangement som tillot eksponering av store fotografiske plater (20 cm x 25 cm). Det ble innkjøpt både blåfølsomme og rødfølsomme plater fra Kodak.

Sammen med instrumentmaker Reidar Persen på Nordlysobservatoriet designet jeg et platekamera som kunne monteres i Ritchey-Chretien fokus. Det ble bygget våren 1978, men mørketiden var slutt før teleskopet var ferdig justert så jeg fikk ikke tatt det i bruk før mitt engasjement opphørte.

Etter et par år ved McDonald Observatory i Texas ble jeg høsten 1980 stipendiat ved Universitetet i Tromsø. Det ga anledning til å prøve ut platekameraet på teleskopet. Det var tidkrevende å fokusere teleskopet fordi bevegelsen av sekundærspeilet medførte at den optiske kollimeringen endret seg. Avbildningen av stjerner mot randen av synsfeltet viste avvik fra punktkilde. Ved gjentatte forsøk fikk

man forskjellig utfall. Det var lite systematikk og en god del tilfeldigheter som bestemte resultatet. Fokuseringen ble derfor gjentatt mange ganger for prøve å oppnå et godt resultat. Så ble eksponeringen gjennomført. Styring på en ledestjerne ble foretatt manuelt gjennom en av refraktorene.

De eksponerte og fremkalte platene ble utmålt med et ad hoc oppsett på verkstedet på Nordlysobservatoriet. Jeg fikk benytte en fres med et bevegelig XY-bord der posisjonen av de to aksene kunne avleses digitalt. I fresholderen ble det montert et mikroskop med trådkors som ble benyttet til å sentrere på de avbildede stjernene. XY-koordinatene ble notert i mm med 4 desimaler, dvs. til 1 mikrometer. Ved repetisjoner ble det anslått at usikkerheten var \pm noen mikrometer.



Figur 8.1 Platekamera fotografert av J.-E Solheim i januar 2019

Stjernenes himmelkoordinater ble hentet fra stjernekataloger og et enkelt Fortran-program etablerte platekonstantene ved minste kvadraters metode. Ved å benytte 10 stjerner som referanse kunne posisjonen til andre objekter på platen bestemmes til bedre enn 10 mikrometer med disse lineære ligningene. Noen av disse platene ble utmålt og beregnet som studentoppgaver da jeg underviste deler av et videregående astronomikurs.

Professor Kaare Aksnes tok initiativ til et astrometrisk observasjonsprogram på asteroider og kometer med spesielle baner. En hovedfagsoppgave ble formulert for Knut Henriksen. Fordi objektene var lyssvake, måtte eksponeringstiden økes og den fotografiske platen måtte kunne følge det bevegelige objektet under eksponeringen. Platekameraet ble derfor bygget om i 1982 av Reidar Persen slik at det kunne rotere 360 grader om teleskopets optiske akse og plateholderen kunne beveges med en

steppermotor i samme fart som objektet. Dette måtte naturligvis beregnes på forhånd. Kontroll av pulsraten til steppermotoren ble realisert ved hjelp av en AIM-65 mikrocomputer. Egentlig et hobbyprodukt, men den medfølgende Basic-interpreteren kunne byttes ut med en Forth-interpreter. Dette stakk-orienterte språket ga bedre sanntids-egenskaper, og det var relativt enkelt å lage et program som kunne gi de nødvendige pulstog til motoren. AIM-65 fungerte da som kontrollbord for kameraet.

Året etter ble det anskaffet komponenter får å lage et XY-bord til utmåling av platene (figur 9.7). Det ble også søkt prosjektutvalget ved IMR om ressurser på verkstedene til å bygge om sekundær-speilholderen slik at kollimeringen ble opprettholdt under fokusering (8.6).

Kameraet ble omtalt i et foredrag på det nordiske astronomimøtet i Lund den 19.-20. oktober 1981. En kort oppsummering (Pettersen og Aksnes) er trykket i Reports from the Observatory of Lund, No. 18 (1982:118-119).

Uten korreksjonslinse var avbildningen påvirket av astigmatisme og feltkrumning. Innenfor et sentralområde på 0.25 grader fra optisk akse var det teoretiske punktbildet på mindre enn 0.5 buesekunder. Diameteren økte til 1 buesekund ved 0.35 grader og til 7 buesekunder ved randen av feltet (0.9 grader fra optisk akse). Kaare Aksnes beregnet krumningsflatene til en korreksjonslinse som kunne monteres foran platekameraet. Korreksjonslinsen ble laget av Tapio Korhonen ved observatoriet i Turku og ble prøvd ut i Skibotn i mars 1985. Stjernene vistes som punktkilder helt ut til randen av synsfeltet.

I forbindelse med komet Halleys besøk i de indre delene av solsystemet ble det besluttet å gjennomføre et astrometrisk program for å bidra med data til forbedring av kometens baneelementer.

8.3 Billedforsterker

Ragnar Kalleberg



Figur 8.2. Billedforsterker modifisert for bruk på teleskop (foto R. Kalleberg)

Etter at Ove Harang hadde fått i drift sitt nye kamera med andre generasjons billedforsterker, ble forgjengeren ledig. Astrofysikk-gruppa fikk låne den, en RCA første generasjons billedforsterker. Selve billedforsterkeren var montert i et hus av nylon, som kunne skrues sammen. I forkant var det en Nikon hun-fatning, og jeg laget en 1.25 tommers adapter med matchende Nikon han-fatning slik at billedforsterkeren kunne settes inn i en standard 1,25 tommers teleskopfokuser og derved monteres på vanlige astronomiske teleskoper. I den andre enden monterte jeg en fokuserbar lupe for å se på utgangsfosforet. Lupen kunne demonteres, og i stedet kunne man skru på et sett med Nikon mellomringer som passet i filtergjengene på et standard Nikon-objektiv. Ved hjelp av ytterligere et sett

med mellomringer mellom objektivet og kameraet slik at objektivet fungerte som et makro-objektiv, var det mulig å avfotografere utgangsfosforet. Det var samme opplegg som Harang hadde brukt.

Planen var å bruke billedforsterkeren i visuell modus og eventuelt bruke den til å observere variable stjerner. Så vidt jeg husker, kunne vi se stjerner 1,5 til 2 magnituder svakere enn man gjorde med samme teleskop uten forsterker. Jeg fikk tatt noen få bilder, men gjorde ikke noe systematisk test. På grunn av sensorens sterke rødfølsomhet måtte man ha et passende filter om man skulle observere variable stjerner visuelt eller fotografisk. Så langt kom jeg ikke.

Billedforsterkeren ble brukt som guider i Skibotn i kombinasjon med et videokamera etter at Kalleberg hadde forlatt oss. Den var i drift fra 1983.

8.4 Studentspektrograf

Bjørn Ragnvald Pettersen

I løpet av 1980-1981 ble det laget en lavdispersjonsspektrograf til teleskopet i Skibotn. Design ble styrt av kommersielt tilgjengelige optiske komponenter og det mekaniske arbeidet ble utført på Nordlysobservatoriets verksted. Et spektrografkammer i aluminium bar de optiske elementene, som alle kunne justeres i posisjon når den ene sideplaten i spektrografkammeret ble fjernet. Spektret ble avbildet i et Nikonkamera som var festet på utsiden av spektrografkammeret.

Spektrografen besto av en inngangspalt, et kollimerende speil, et plant gitter og en kameralinse. Dimensjonene ble tilpasset teleskopets åpningsforhold på $f/10$ i Cassegrainfokus og bildeskalaen på 40 buesekunder/mm.

Inngangsspaltan var risset på et aluminisert planglass som ble rotert slik at synsfeltet kunne betraktes gjennom et okular. Det tillot sentrering og styring av stjernens beliggenhet på spalten under eksponeringen. Spalten var 25 mm høy med bredde $50\ \mu\text{m}$, som tilsvarer 2 buesekunder. Transmisjonen gjennom glassets spalteåpning ble målt i laboratoriet for bølgelengder mellom $3900\ \text{Å}$ og $16700\ \text{Å}$, mens filmen begrenset opptaket fra $3600\ \text{Å}$ til $6300\ \text{Å}$. I dette spektralområdet var transmisjonen konstant på 63%.

Det kollimerende speilet var sfærisk med diameter 40 mm og brennvidde 245 mm. Spektrografen kan benyttes på teleskoper med åpningsforhold $f/6,25$ eller større.

Det plane gitteret (Edmund Scientific, Stock No. 41025) hadde 600 riller/mm over et område på $50 \times 50\ \text{mm}$. Første ordens Littrowbølgelengde var $5000\ \text{Å}$.

Kameralinsen hadde en diameter på 50 mm og en brennvidde på 120 mm. Transmisjonen i glasset hindret lys med kortere bølgelengde enn $3500\ \text{Å}$.

Etter å ha justert de optiske komponentene i laboratoriet ved å benytte en kunstig NeAr-lyskilde, ble lysstrålens innfallsvinkel på gitteret målt til $42,1^\circ \pm 1,3^\circ$. Ved å bestemme beliggenheten av spektrallinjer med kjent bølgelengde ble dispersjonen bestemt til $119,2\ \text{Å/mm}$ i kameraplanet. Siden

$$D = \frac{d}{m \cdot f_{\text{kamera}}} \cdot \cos \beta,$$

der D er dispersjonen, d er rilletettheten $1/600\ \text{mm} = 16667\ \text{Å}$, m er spektral orden (her=1), og kamerabrennvidden er 120 mm, kan brytningsvinkelen β mellom utgangsstrålen og gitternormalen beregnes til $30,9^\circ$. Gitteret ble orientert slik at inngangsstrålen og utgangsstrålen lå på hver side av gitternormalen. Trigonometrien i strålegangen gir da en Littrow-bølgelengde for konfigurasjonen på $4976\ \text{Å}$ i første orden. Dette er bølgelengden for midten av de fotograferte spektraene.

Projeksjonen av inngangsspaltan på kameraets fokalplan gir en spektral oppløsning på $2,3\ \text{Å}$.

Kameralinsen hadde ingen påviselig avvik fra flatt bildefelt og neglisjerbar sfærisk aberrasjon (0,05 Å). Comaen er også liten (1,2 Å), men astigmatismen normalt på spektraldispersjonen er 106 µm. Denne effekten kunne fordeles ved å avbilde et bredt spektrum ved å bevege stjernen langs spalten under eksponeringen.

Det ble fotografert spektra av flere lyssterke stjerner med teleskopet i Skibotn. Alle spektraene var i første orden og ble forbredet til 1,0 mm (ca. 10 ganger astigmatismen) ved å bevege stjernen langs spalten under eksponeringen. Det ble oppnådd ved kjøre teleskopet på minste hastighet i deklinasjon i 5 sekunder i alternerende retning under eksponeringen. Opptakene ble gjort på Kodak Tri-X film som ble fremkalt i Kodak D-19 i 4 minutter ved 20°C.

Et utvalg av gode eksponeringer ble benyttet til å etablere sammenhengen mellom eksponeringstid t (i sekunder) og stjernens visuelle størrelsesklasse V ,

$$\log_{10} t = 0,46 \cdot V + 1,20.$$

Korrelasjonskoeffisienten for de benyttede data var 0,95. Med en forbredning av spektrogrammet på 1 mm i høyde kunne en stjerne av første størrelsesklasse fotograferes på 46 sekunder. På en time nådde man en størrelsesklasse på 5,2. Observasjonene ble gjort med en seeing på 6-8 buesekunder og en spaltbredde på 2 buesekunder. Hvis man unnlot å forbrede spektrogrammet kunne eksponeringstiden gjøres 10 ganger kortere og man nådde størrelsesklasse 7,5 på en time.

Spektrogrammer av de lyssterke stjernene α Leo og α Gem ble utmålt ved å bestemme posisjonen til 9 spektrallinjer av hydrogen fra $H_{10} = 3750,15 \text{ \AA}$ til $H_{\beta} = 4861,32 \text{ \AA}$. Den lineære sammenhengen

$$\lambda(\text{\AA}) = -119,2 \cdot X(\text{mm}) + \text{konstant}$$

hadde en korrelasjon på 0,99993 og ga en dispersjon på 119,2 Å/mm.

8.5 Forskningspektrografer

8.5.1 Fiberoptisk cryo-spektrograf

Bjørn Ragnvald Pettersen

Vinteren 1982-83 hadde Observatoriet i Skibotn besøk av to astronomer fra Universitetet i Heidelberg som hadde med seg en spektrograf som ble matet via en fiberoptisk kabel. De observerte spektra av T Tauri-stjerner for å oppnå lange tidsserier. I løpet av de 25 dagene spektrografen var koblet til teleskopet var det mulig å utnytte hele eller deler av 20 netter. Det var både korte tidsrom med klarvær og intervaller med tynne slørskyer.

Dette fikk Ove Havnes og meg til å foreslå utvikling og bygging av en spektrograf av forskningskvalitet med moderne detektorsystem som var mye mer følsomt enn fotografiske opptak. Siden detektoren krevde kjøling, foreslo Havnes at hele spektrografen skulle plasseres i en fryseboks ved -75°C. Den kunne stå et annet sted i observatoriebygget enn teleskopet og mates via fiberoptisk kabel. Det første overslaget antydte en kostnad på 100.000 kroner til komponenter og prosessorer. Meningen var å forestå utviklingsarbeidet ved egen innsats i Astrofysikkgruppen.

8.5.2 Reticon-spektrograf

Lennart Berger

På 1980-tallet ble det produsert integrerte kretser med enkle rekker av fotodioder som kunne egne seg for å registrere for eksempel et spektrum. Vi startet et forprosjekt for å teste ut en stjernespektrograf basert på en lineær detektor fra Reticon. Utfordringen var å redusere mørkestrøm ved kjøling av chipen, og det fantes ikke da noe kjølt kamera tilgjengelig på markedet. Vår ide var å plassere hele spektrografen

i en fryseboks, og hente stjernelys fra teleskopet via optisk fiber. Fiberen ville samtidig fungere som spalte i spektrografen.

Det ble anskaffet en såkalt bio-freezer som kunne nå minus 80 grader, og et evalueringskort fra Reticon. Testene viste at dette i prinsippet kunne fungere, men noen praktiske problemer ble ikke løst. Et var at chipen måtte ha en helt støyfri forspenning, helst fra batteri. Vi fant ikke batterier som kunne levere spenning i dypfrossen tilstand. Et annet problem var at et kameraobjektiv som ble plassert i fryseren ikke tålte temperaturen fordi det inneholdt sementerte linseelementer. Sementeringen sprakk. Dette burde være løsbare vansker, men prosjektet ble ikke tatt videre.

8.5.3 Midlene overføres til NOT

På fysikkseksjonens utstyrsbudsjett fikk prosjektet våren 1985 en ramme på 200.000 kroner fordelt over tidsrommet 1985-1988. I løpet av sommeren ble vi kjent med at Århus universitet bygget en spektrograf med kjølt CCD-detektor for å ta spektrale tidsserier med høy tidsoppløsning. De var interessert i den røde delen av spektret og ville plassere instrumentet permanent på Nordisk Optisk Teleskop (NOT). Vi foreslo at en beamsplitter kunne benyttes for å lage en spektrograf for samtidige opptak i den blå delen av spektret. Århus gikk med på å utvikle og bygge en dobbeltspektrograf etter våre behov og Havnes fikk godkjenning av Fysikkseksjonen til å overføre 100.000 kroner fra rammebevilgningen til spektrograf.

Den blåfølsomme Århuspektrografen til NOT ble kalt Faint Object Spectrograph (FOS). Den hadde en meget UV-følsom detektor. Det ble derfor bestemt å kombinere spektrografen med et kamera, slik at en raskt kunne skifte mellom avbildning og spektrograf. Det ble da til FOOSC. Dette ble et svært kostbart instrument, slik at Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) Granada, Spania, finansierte og overtok eierskapet. Instrumentet fikk da navnet ALFOSC, og det ble det viktigste instrumentet på NOT i mange tiår. Det er fremdeles i bruk (2024) og har den beste UV-følsomheten blant alle instrumentene på La Palma Observatoriet.



Figur 8.3 ALFOSC – The Alhambra Faint Object Spectrograph and Camera, montert på NOT. (hentet fra the ALFOSC page <https://www.not.iac.es/instruments/alfosc/> foto R.Rebola)

Vi kan være stolte av vårt bidrag til NOT som gjorde dette instrumentet mulig

8.6 Teleskopets fokuseringsanordning

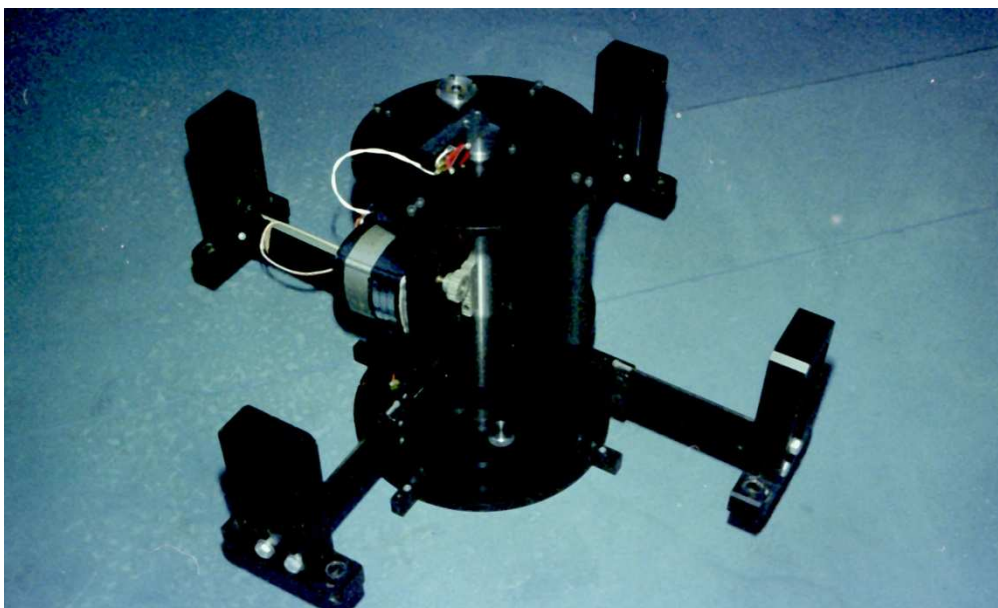
Lennart Berger (bilder)

Som beskrevet i arbeidet med å fokusere platekameraet (8.2), var teleskopets fokusering svært upresis i starten. Sekundærspeilet var festet i en ring som var styrt av tre motorer. Det var vanskelig å få disse til å gå synkront. De ble derfor erstattet med en versjon med motorstyring langs en akse vist på bildet nedenfor:



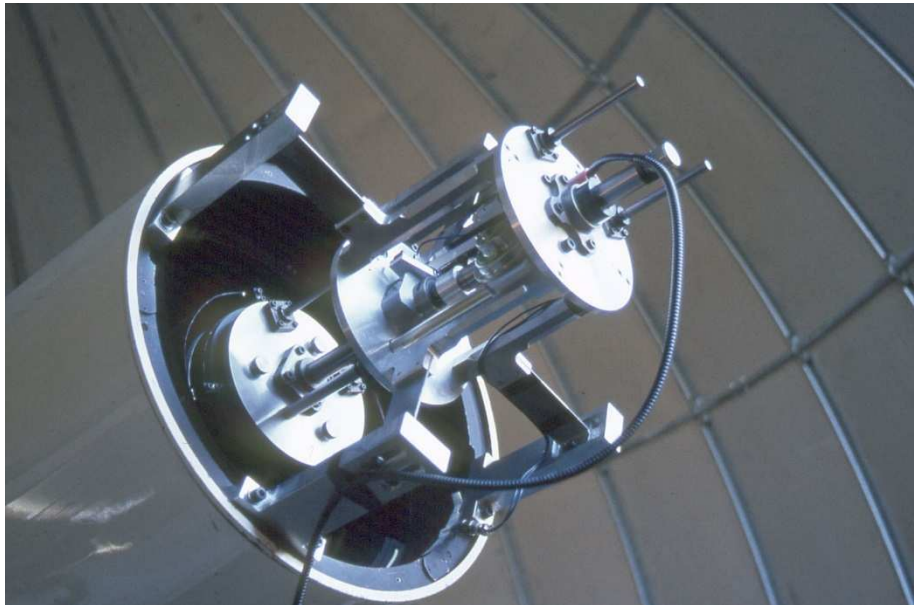
Figur 8.4 Reidar Persen med den opprinnelige fokuseringsringen med tre-motors fokusering og deler til et en-motors design foran. (foto: Lennart Berger).

En forbedring av fokuseringen ble gjort ved å bygge den inn i en holder med 4 fester som vist i neste bilde. Fokuseringsmotoren med tannstang-drev er i sentrum. Sekundærspeilholderen er ikke montert.



Figur 8.5 En modifikasjon av fokuseringen, nå for innfesting i forkant av teleskoprøret. Sekundærspeilholderen er ikke montert. Man ser fokusmotoren med tannstang-drev. (foto: Lennart Berger)

Her ser vi den endelige versjon av fokuseringsmekanismen. Festebrakettene er forlenget og motoren med tannstang er byttet ut med en lineær aktuator som sitter i midten



Figur 8.6 Den endelige versjon av fokuseringen. Festebrakettene er forlenget, og motoren med tannstang er byttet ut med en lineær aktuator. (foto: Lennart Berger)

8.7 LIDAR eksperimenter

8.7.1 Teleskopet som laser mottaker

Lennart Berger

Ove Harang rigget seg til med en fransk YAG-laser¹ med pulsenergi på ca. 1 Joule og grønt lys ut. Det høres ikke så mye ut, men dividerer man dette med pulslengden kommer man til en pulseffekt på 2 MW. Pulsfrekvensen var vel rundt 10 Hz. Ideen var å bruke denne som en LIDAR for å måle vertikale back-scatter profiler i atmosfæren. I utgangspunktet hadde han en 160 mm diameter utgangslinse montert i «Nordlysbrakka» ved siden av teleskop-bygget.

Men divergensen på strålen ble for stor, og tanken om å utnytte 50 cm teleskopet meldte seg. Det innebar å skyte den konsentrerte strålen fra brakka inn gjennom et hull i veggen på teleskopkuppelen, via et diagonalspeil og ekspandere og kollimere den gjennom 50 cm teleskopet. Dette virket muligens, men det medførte endel bekymringer fra et HMS-synspunkt. I diskusjonen om dette var farlig eller ikke sto partene langt fra hverandre. Men det var godt synlige svimerker i galvaniseringa på trapperekverket opp til kuppelen. Så vidt vites ble ingen skadet.

¹ Denne var opprinnelig bygget som back up for laser installert i SpaceLab, et romobservatorium som NASA utviklet med bidrag fra ESA. SpaceLab-1 ble sendt opp i 1983 med romfergen Colombia. Den inneholdt et forskningslaboratorium satt sammen av ESA og var i drift i 10 dager 7 timer og 47 minutter.



Figur 8.7 Ove Harang med sin LIDAR

8.7.2 Lidar prosjektets videre utvikling

Senere installerte Ove Harang et eget sfærisk speil med diameter 50 cm i sin brakke, og brukte dette sammen med laseren. Dette LIDAR-systemet kunne detektere nøytrale partikler i atmosfæren, og kunne være et godt supplement til radiosignaler som ble reflektert av partikler med elektrisk ladning (riometer)

I 1991 skjedde det nest største vulkanutbruddet de siste 100 år på Mt. Pinotuba, Filipinene. Utbruddet startet 2. april og varte i flere måneder. Den kastet en støvsky opp i stratosfæren som etter hvert spredte seg over hele jorda og førte til betydelig global avkjøling. Oves laser detekterte denne støvskyen i 90 km høyde. Blant de praktiske øvelsene i kurset «Fys 120 Det nære og fjerne verdensrom» som hadde mange studenter i 1990-årene brukte vi data fra dette Lidar-systemet til studentøvelser.

Da Ove flyttet til Paris ble LIDAR-systemet overtatt av et observatorium på Andøya.

8.8 Nordlysinstrumenter



Figur 8.8 Ove Harangs Nordlysobservatorium flyttet opp fra Olderbakken.

I tillegg til å bruke teleskopet som LIDAR mottager hadde Ove Harang sitt eget observatorium som ble flyttet opp fra Olderbakken som vist i figur 8.8. Her var det montert to scanning fotometre som vi ser som rør gjennom veggen, samt et zenit-fotometer og et all-sky kamera som er montert i den nærmeste kuppelen. På bildet nedenfor ser vi Hans Kristian Myrabø som også hadde noe utstyr i Oves nordlysobservatorium.



Figur 8.9 Hans Kristian Myrabø monterer sitt instrument på veggen til Nordlysbrakka.

8.9 Feltstasjon og observatoriebygg

Da teleskopet ble installert i begynnelsen av 1978 og Nordlysobservatoret fra Olderbakken kom på plass, tok det ikke lang tid før det ble supplert med 4 ½ brakke fra Høyer-Ellefsens utbygging av Skibotnelva (figur 3.26). Omkring 1979 så observatoriet ut som skissen på forsiden: Observatoriebygg med kuppel, Nordlysobservatorium med 5½ brakke og en campingvogn for overnatting.

8.9.1 Feltstasjonen blir bygget

Det var satt av årlige beløp til bygging av feltstasjon og observatorium i Skibotn. Vi aksepterte primitiv overnatting i begynnelsen og observatoriet fikk første prioritet. Vi fikk et lite soverom bak kjøkkenet med køyesenger og en campingvogn som vi hadde med fra Olderbakken. Selve feltstasjonen var planlagt med 30 overnattingsplasser og et fellesbygg med oppholdsrom (spisesal), storkjøkken, laboratorier og badstue. Størrelsen ble satt etter behov for feltstasjon til de store kursene i biologi og geologi med feltarbeid i sommersesongen. Så kunne astrofysikere og andre bruke den i vintersesongen.

I tillegg til fellesbygget var det planlagt 5 hytter til overnatting. 4 av disse ble bygget som dobbelthytter og en ble bygget som enkelthytte med eget kjøkken (hytte C). Alle hyttene hadde bad med dusj og soverom med køyesenger. Første byggetrinn på feltstasjonen var hytte C og fellesbygget.



Figur 8.10. Feltstasjon med fellesbygg under oppføring nede til høyre og hytte C midt i bildet.

Da feltstasjonen med hytte C var ferdig i 1980, kunne vi bruke hytte C til overnatting. Campingvogna ble overtatt av en annen enhet ved universitetet og vi kunne fjerne soverommet i observatoriebygningen slik at det knøttlille kjøkkenet ble større.



Figur 8.11 Skibotn feltstasjon med hovedbygg til venstre og hytte C til høyre.

8.9.2 Observatoriebygget

I observatoriebygget var operasjonsrommet det felles arbeidsrommet. Her var det arbeidsplass for observatører og teknikere. Det var stjernekart og efemeridekataloger. Couderommene var nyttige til oppbevaring av klær og utstyr og til testing og kalibrering av instrumenter. Etter hvert fikk vi også innlagt vann og vannklosett. Det ble en meget god arbeidsplass.

8.9.3 Telefonen

Lennart Berger

Da observatoriet ble bygget var det ennå manuell telefonsentral i Skibotn. Det ble i første omgang ikke lagt telefonlinje til det nye observatoriet, men vi fikk en såkalt mobiltelefon: Offentlig Landmobil Telefoni (OLT). Den kunne vel veie 8 kg, og var et manuelt system der man kalte opp sentralen og ba om en forbindelse. Dette systemet gikk på VHF via nærmeste basestasjon som lå på Trolltind på Arnøya. På en god dag kunne vi få en slags forbindelse fra taket på observatoriet, men på en typisk dag var løsningen å klatre halvveis opp i gittermasta der det var litt bedre dekning.

Litt senere fikk vi kabel til den fortsatt manuelle sentralen i Skibotn. Det var jo et framskritt, men Ove Harangs tidlige forsøk med å sende datafiler til Tromsø via telefonmodem ble jevnlig sabotert av operatøren på sentralbordet: «Ferdig her?» Skibotn var en av de siste sentralene som ble automatisert midt på 1980-tallet.

Til gjengjeld hoppet vi over telefon med dreieskive – og gikk rett til tastetelefonen – antakelig blant de første i Norge.

8.10 Sluttord

Da ti-året startet var teleskopet i full drift. Vi brukte mye tid til å finjustere teleskopet og korrigere feil som vi etter hvert oppdaget. Vi fikk også til en bredde i instrumenteringen med platekamera og spektrograf til undervisningsformål. I 1982 ble vi med på planlegging og feltundersøkelser for det nordiske teleskopet (NOT) på La Palma (Figur 9.11). Texasfotometeret var et av de første instrumenter på NOT. Vi bygget også et fotometer som ble koblet til fokus på NOT teleskopet med fiber. Det viste seg lite praktisk i bruk og overlevde ikke en testperiode.

Men ti-året ga oss et meget vel fungerende teleskop, instrumenterfaring, og en begynnende internasjonal erfaring. Observasjonsprosjekter blir beskrevet i neste kapitel.

Referanser

Pettersen BR.1981, *A low dispersion Cassegrain spectrograph for student training purposes*. Institute of Mathematical and Physical Sciences, University of Tromsø, Physics Reports.

Solheim J-E og Berger L 1984, *The High Speed Photometer at Skibotn Observatory*, Nordisk Astronomimøte, Helsinki

9. Observasjoner i 1980-åra

Bjørn Ragnvald Pettersen, Kaare Aksnes, Knut Henriksen og Jan-Erik Solheim (red.)

I tillegg til et ambisiøst program for å skape bredde i instrumentene vi kunne tilby studenter og forskere, så forsøkte vi i 1980-åra å gjennomføre et observasjonsprogram, både på utvalgte objekter som Halleys komet, flarestjerner og magnetiske Ap stjerner. Til å begynne med hadde vi midler til å betale observasjonsassistenter, men etter hvert mistet vi disse midlene og det ble i større grad egne prosjekter og hovefagsdoppgaver. Studentene fikk også anledning til å bidra i forprosjekt for det Nordiske Teleskopet på La Palma og bli engasjert som formidlere på Nordlysplanetarieret i Tromsø. Observatoriet i Skibotn utviklet seg til et sted for undervisning og utprøving av teknikker som vi kunne anvende på teleskop andre og bedre observasjonssteder i verden. Det viste seg blant annet at vårt Texasfotometer fint kunne tas med til Kanariøyene og brukes på teleskop på Tenerife og La Palma.

9.1 Litt brukerstatistikk

På profesjonelle observatorier er det ofte en kamp om observasjonstiden. På det nordiske teleskopet ble det tildelt observasjonstid etter søknad med frist to ganger i året. Prosjektene ble rangert etter vitenskapelige kriterier og tid ble tildelt i intervaller med lengde fra timer til dager.

I Skibotn prøvde vi de første årene å tildele brukerne observasjonstid i uker. For hver natt ble det ført et skjema som fortalte om værforholdene, om det kunne observeres, og hva som ble observert. Ikke alle fylte ut skjema, men vi fikk en slags statistikk som ble referert i årsrapportene.

1982

Tildelt Astro:	110,	Stud:	9	Lidar:	52	Andre:	15	sum	286 netter
Brukt	20		4		?		9.		33+?
Fotometrisk.	8		-		-		1.		9

1984: Brukt 51 netter av 60 mulige; av disse 17 netter til fotometri, 12 til astrometri og 22 til tekniske prøver, undervisning og omvisninger

1985: Brukt 71 netter, hvorav 20 til fotometri, 40 til astrometri og 11 til tekniske prøver, undervisning og omvisninger.

1986: Brukt 34 netter, 12 til fotometri, 19 til astrometri, og 3 til omvisninger.

1987: 20 observasjonsnetter registrert uspesifisert.

Det ble fort klart at vi ikke hadde mange fotometriske – helt klare netter, men at vi fikk mer ut av teleskopet ved bruk til astrometri og spektroskopi.

9.2 Magnetiske Ap stjerner

Et observasjonsprogram ledet av Ove Havnes i perioden 1981-84.

Vi skulle observere magnetiske Ap stjerner, hvor p står for peculiar (bestemt spektroskopisk). Spekteret viste at stjernene hadde magnetfelt (Zeeman effekt) som virker som filter for stjernenes pulsasjonsspektrum slik at kun visse svingemoder (nr. 4, 5, 6) slipper igjennom. Ved å bestemme svingemodene kunne man analysere magnetfeltets struktur. Det skulle observeres UBV for hver stjerne 1-2 timer, 2-3 netter og gjentas senere. De kjente variable hadde perioder mellom 5 og 15 min. Det ble laget en liste av mulige kandidater med $B-V \geq 0.25$ og $U-B \geq 0.10$. Det var ca. 60 stjerner på denne lista. Havnes lagde en prioritert liste hvor de kaldeste (størst $B-V$) eller spektralklasse sen A eller F0, var

1. prioritet. For Skibotn ble det plukket ut noen sterke stjerner med høy deklinasjon: HD196562 (73 Dra), HD71866, HD65339 (53Com), HD191502 og HD215441 (eller 251441).

Jeg observerte fra Havnes liste under en forskningstermin ved McDonald observatoriet 1981/82, hvor jeg også hadde et par uker på Flagstaff observatoriet. Følgende filter-kombinasjon som ble brukt: b-H β n-H β w-v hvor H β står for hydrogen-beta, n: narrow og w:wide, et fotometrisk system oppkalt etter Stömgren. Jeg observerte også noen av de utvalgte stjernene i Skibotn.

Hva som ellers ble observert i Skibotn og hva som kom ut av dette programmet er ukjent.

9.3 Fotometri av flare-stjerner 1984-85

Bjørn R. Pettersen

Fra november 1984 til februar 1985 ble tre røde dvergstjerner med magnetiske utladninger i atmosfæren, såkalte *flare stars*, observert med to-kanals fotometer i Skibotn. Kontinuum-strålingen under flare-utbrudd ligner en Planck-kurve for gasstemperatur 10 – 15 000 K, dvs. at det sendes ut mye mer elektromagnetisk stråling i den blå delen av spektret enn i den røde. I tillegg er det sterke emisjonslinjer (særlig fra H og CaII) under utbruddet. Lyset fra utbruddet er derfor av blålig farge mens stjernefotosfæren er rødlig med temperatur 3000 – 4000 K. Størst kontrastvirkning i lysstyrke oppnås derfor i den blå og ultrafiolette delen av spektret.

Observasjonene i Skibotn ble gjort gjennom et U-filter (bredbåndsfiler sentrert på 3600 Å) med integrasjonstid på 5 sekunder. Den ene fotometerkanalen registrerte stjerne + himmelbakgrunn, mens den andre kanalen registrerte himmelbakgrunnen i nærheten. Ved å korrelere simultane himmelbakgrunnsmålinger i begge kanaler, kunne observasjonene korrigeres løpende for variabel lysstyrke i himmelbakgrunnen når det var nordlys. Resultatet var en registrering av stjernens konstante lysstyrke med tiden og forløpet av lysstyrke-endringene når et flare-utbrudd opptrådte.

De tre utvalgte stjernene i programmet var en ung dK5e spektroskopisk dobbeltstjerne knyttet til Hyadehopen og to solnære dM3.5e-stjerner. Alle tre har periodiske modulasjoner i lysstyrken på grunn av stjernenes rotasjon (2-5 døgn) der store stjerneflekkgrupper roterer inn og ut av synslinjen og forårsaker en amplitude på noen få hundredels magnituder. Siden flekkene er kaldere enn fotosfæren blir modulasjonen sterkest i den visuelle og røde delen av spektret. I tidsserier på opptil noen timer gir dette ingen påfallende effekt når observasjonene gjøres med U-filter. En typisk tidsserie hadde et signalstøy-forhold på 1:20, dvs. at standardavviket i målingene av en rolig stjerne (uten utbrudd) i U-filteret var typisk 0.05 magnituder.

Tabellen nedenfor oppsummerer programstjernenes karakteristika.

Stjerne	Gliese	RA	Dec	Spektrum	V	U	
V833 Tau	171.2A	04h 37m	27° 08'	dK5e	8.4	10.5	SB1
AD Leo	388	10h 19m	19° 52'	dM3.5e	9.3	11.9	
EV Lac	873	22h 47m	44° 20'	dM3.5e	10.1	12.4	

9.3.1. Observasjonsprogrammet

Det ble tildelt tid til prosjektet og satt opp en observasjonskalender. Bjørn R. Pettersen, Ove Havnes og Jan-Erik Solheim observerte. Det ble tildelt 22 netter sesongen 1984-85 til prosjektet og det ble observert i alt 18 netter.

For hver av de tre programstjernene var observasjonsintervallene som angitt i de tre tabellene som følger nedenfor, når et avbrudd i tidsserien på over 1 minutt hensyntas. Sentreringskontroll av stjernen i blenderen og måling av himmelbakgrunnen i begge kanaler kunne ofte gjøres på kortere tid enn 1 minutt og skapte ikke avbrudd i serien. Noen få netter hadde stabile fotometriske forhold hele eller store deler

av natten. I lange perioder (timer) var nordlyspåvirkningen liten. De fleste nettene kunne utnyttes fotometrisk bare i kortere tidsrom. Slike netter ble ofte oppstykket av drivende skyer som etter hvert ble tykkere og hindret observasjonene.

9.3.2 V833 Tau

Dato	UT ved start og slutt	Varighet	Std.avvik	Bemerkninger
24 Nov 1984	20:34 – 20:49	15 min	0.04	
	21:15 – 22:19	64 min		Avbrutt av skyer
09 Des 1984	21:20 – 21:30	10 min	0.03	
	21:34 – 21:57	23 min		Avbrutt av skyer
18 Des 1984	21:14 – 22:00	46 min	>0.05	Drivende skyer
	22:04 – 22:22	18 min		Avbrutt av skyer
19 Des 1984	17:43 – 17:56	13 min	0.03	
	18:00 – 22:43	283 min	0.03	
22 Des 1984	16:09 – 16:28	19 min	0.03	
	16:30 – 18:44	134 min		
	18:50 – 20:00	70 min		Avbrutt av skyer
29 Jan 1985	16:23 – 18:32	129 min	0.03	Avbrutt av skyer

V833 Tau ble observert i 13.7 timer over 6 netter uten at noen flares opptrådte.

9.3.3 AD Leo

Dato	UT ved start og slutt	Varighet	Std.avvik	Bemerkninger
10 Nov 1984	00:34 – 01:41	67 min	0.09	
	01:47 – 02:11	24 min	0.06	
	02:35 – 04:35	120 min	0.06	
11 Nov 1984	00:52 – 01:16	24 min		
	01:28 – 01:40	12 min		
	01:44 – 03:04	80 min	0.08	Drivende skyer
	03:31 – 04:00	29 min		
02 Des 1984	03:50 – 04:53	63 min	0.05	
10 Des 1984	02:46 – 06:40	234 min	0.06	
12 Des 1984	23:41 – 00:41	60 min	0.06	
18 Des 1984	00:35 – 00:47	12 min	0.06	
	00:52 – 05:27	275 min	0.06	Drivende skyer
19 Des 1984	01:08 – 05:12	244 min	0.06	
	23:11 – 24:00	49 min	0.03	
20 Des 1984	00:00 – 05:55	355 min	0.03	Flare $\Delta U=2$ mag
19 Jan 1985	19:34 – 24:00	266 min	0.04	Flare
20 Jan 1985	00:00 – 05:17	317 min	0.04	3 flares ?
23 Jan 1985	21:18 – 21:24	6 min	0.06	
	21:55 – 02:36	281 min	0.06	Flare
31 Jan 1985	19:20 – 23:14	234 min		Drivende skyer
14 Feb 1985	18:16 – 22:51	275 min	0.1	Nordlys
	22:52 – 24:00	68 min	0.06	Flare
15 Feb 1985	00:00 – 01:13	73 min		
	01:58 – 03:00	62 min	0.05	
	03:05 – 03:22	17 min		
	03:34 – 03:49	15 min		
	04:14 – 04:42	28 min	0.05	
16 Feb 1985	17:55 – 23:45	350 min	0.05	
	00:00 – 03:32	212 min		
	17:21 – 23:11	350 min	0.04	Flare $\Delta U=1$ mag;
21 Feb 1985	21:41 – 24:00	139 min		
22 Feb 1985	00:00 – 03:36	216 min	0.06	Drivende skyer

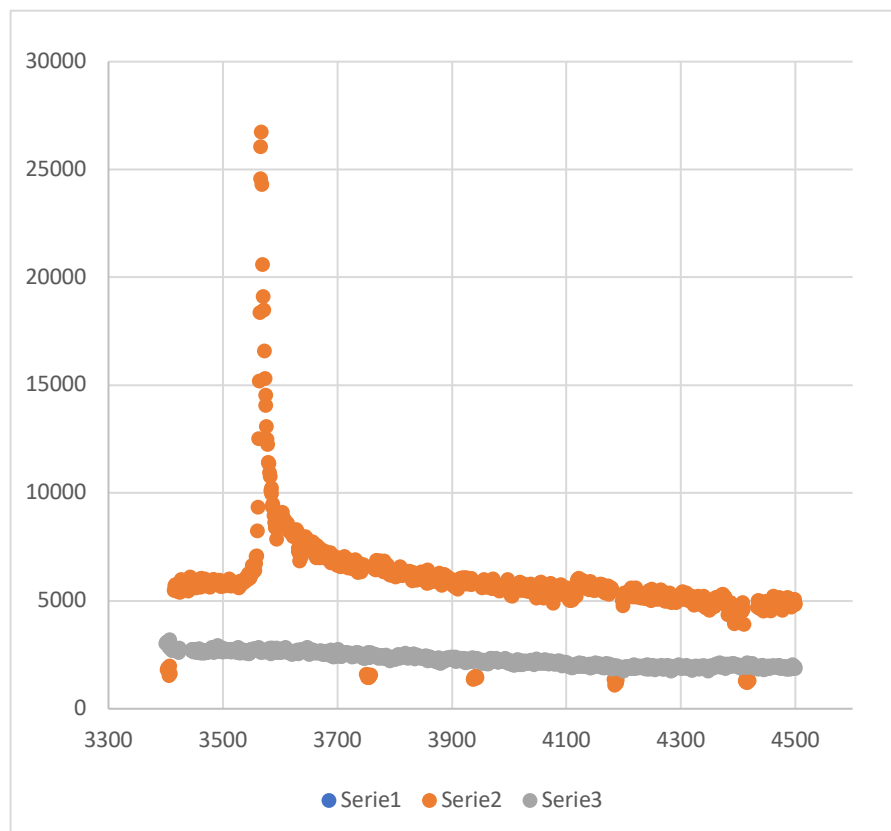
AD Leo ble observert i 75.9 timer over 17 netter og det ble registrert 2 store flares og 5 små.

9.3.4 EV Lac

Dato	UT ved start og slutt	Varighet	Std.avvik	Bemerkninger
09 Nov 1984	22:10 – 22:30	20 min	0.05	
	23:00 – 23:30	30 min		
24 Nov 1984	18:18 – 18:40	22 min	0.05	
	18:43 – 19:01	18 min		Avbrutt av skyer
06 Des 1984	14:44 – 15:27	43 min	0.1	
	15:32 – 16:58	86 min		
	17:02 – 17:14	12 min		
	17:47 – 18:34	47 min		Slørskyer
	18:39 – 19:40	61 min		Drivende, tynne skyer
19 Des 1984	15:34 – 16:04	30 min	0.05	

EV Lac ble observert i 369 minutter = 6.2 timer over 4 netter uten at noen flares opptrådte.

9.3.5 Den største flaren

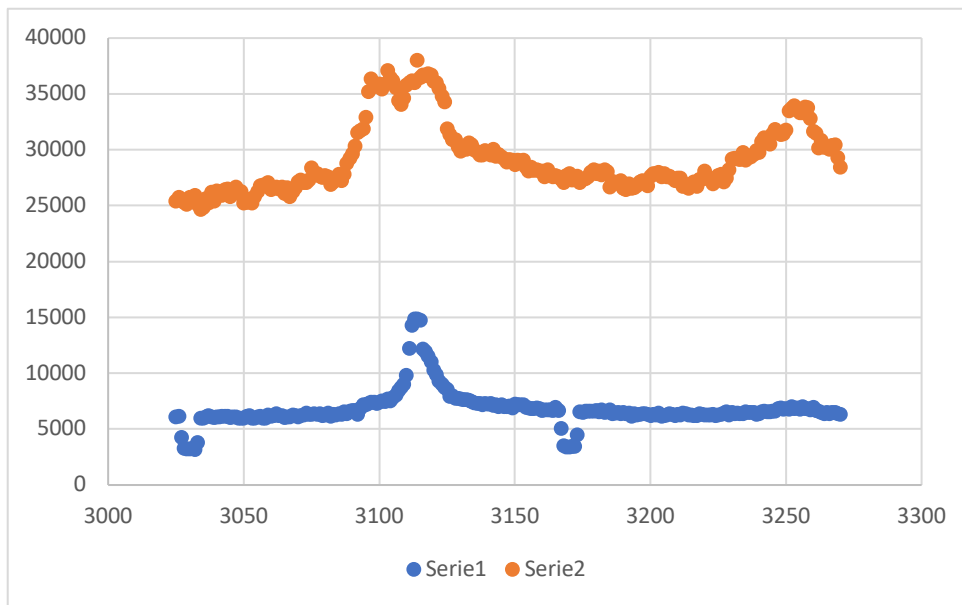


Figur 9.1. AD Leo 20 Des 1984 U-filer 5 sec $\Delta U=2.03$ mag - gul: stjerne og himmelbakgrunn i kanal I, grå: himmelbakgrunn i kanal II

Observasjonene av en flare på $\Delta U=2$ magnituder ble foretatt under fotometriske forhold og uten synlig nordlysaktivitet. Figur 9.1 viser himmelbakgrunnen kontinuerlig registrert i kanal II i de 1½ timene flareutbruddet varte (grå kurve). De fem gule markeringene under den grå kurven er målinger av himmelbakgrunnen i kanal I. Den øverste gule kurven er registreringen av AD Leo før og under flaren. Oppstigningen til maksimum tok 3 minutter. Intensiteten er halvert etter 35 sekunder og den raske nedstigningen fra maksimum er avsluttet etter vel 8 minutter. Deretter svekkes lysstyrken gradvis over den etterfølgende timen.

9.3.6 Observasjoner av flares under nordlysutbrudd

Figuren nedenfor viser utsnitt på 18 minutter av en tidsserie i U-filter den 16. februar 1985 der AD Leo og himmelbakgrunnen ble registrert i kanal I (blå) og kun himmelbakgrunnen i kanal II (gul). Sistnevnte kurve viser at himmelbakgrunnens lysstyrke varierte med tiden fordi det var aktive nordlys under observasjonene. To utbrudd opptrådte med omtrent 12 minutters tidsforskjell (ved datapunkt 3100 og 3250). Kanal II (gul) hadde større blender enn kanal I og telleraten er derfor større. Kanal I viser summen av stjerne + nordlys, men har et helt annet forløp enn kanal II siden signalet er dominert av lys fra stjernen.



Figur 9.2. Tidsserier i kanal I stjerne (gul) og kanal II himmelbakgrunn (blå)

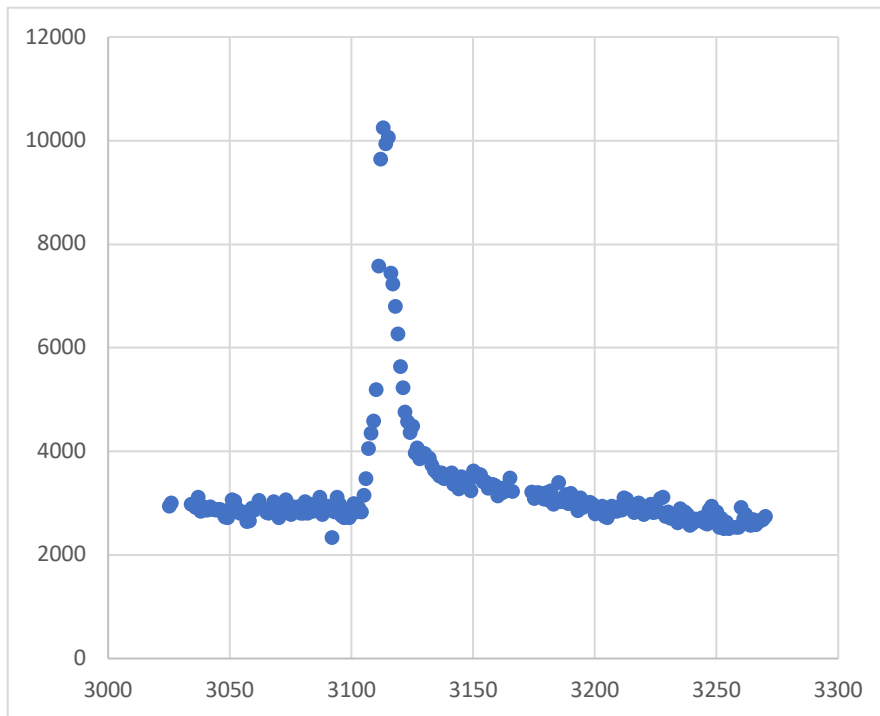
Ved samtidige observasjoner av himmelbakgrunnen i de to kanalene ble en lineær relasjon bestemt ved minste kvadraters metode. Korrelasjonskoeffisienten var 0,991. Telleraten kan beregnes av:

$$\text{Himmelbakgrunnen i kanal I} = 0.143 * \text{Himmelbakgrunnen i kanal II} - 519$$

Observerte tellerate i kanal II ble omregnet til en beregnet tellerate for himmelbakgrunnen i kanal I. Tidsserien i figuren nedenfor viser telleraten i U-filter for AD Leo når himmelbakgrunn og nordlys er korrigert for.

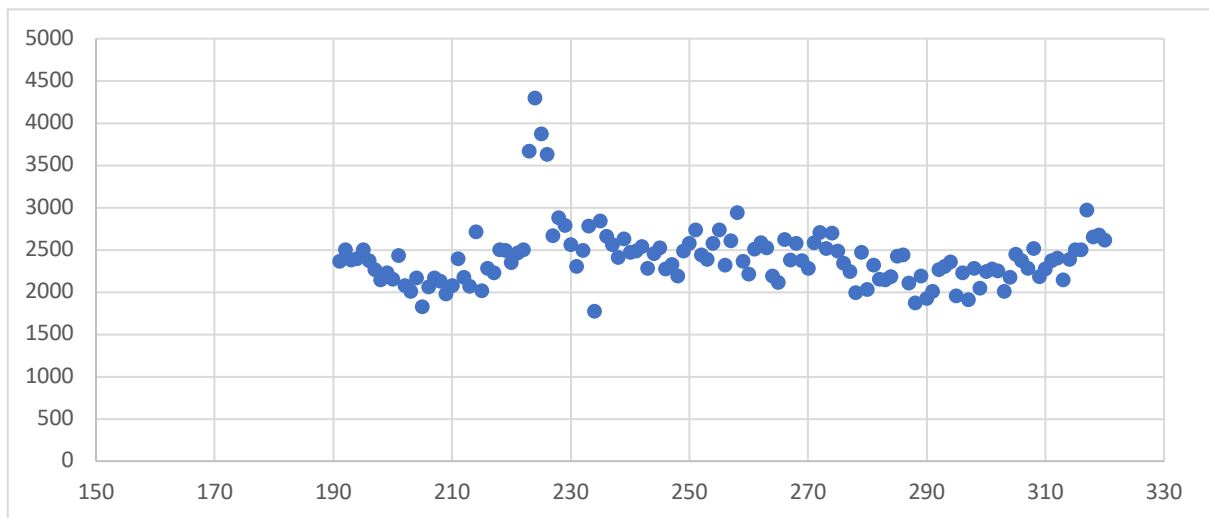
Når virkningen av nordlysutbruddene er fjernet fremstår en flare på AD Leo med varighet ca. 12 minutter og amplitude på 1.4 magnitudo i U-filteret. Oppstigningen til maksimum tok 45 sekunder. Intensiteten er halvert etter 30 sekunder og den raske nedstigningen fra maksimum er avsluttet etter 90 sekunder. Deretter svekkes lysstyrken gradvis over de neste 10 minuttene.

Flaren startet under det første nordlysutbruddet da himmelbakgrunnens lysstyrke økte med 50 prosent. Den observerte kurven viser at forløpet er fortegnet noe av bidragene fra nordlyset (den blå kurven i den øverste figuren). To-kanals fotometeret leverte data slik at disse effektene kunne korrigeres for.

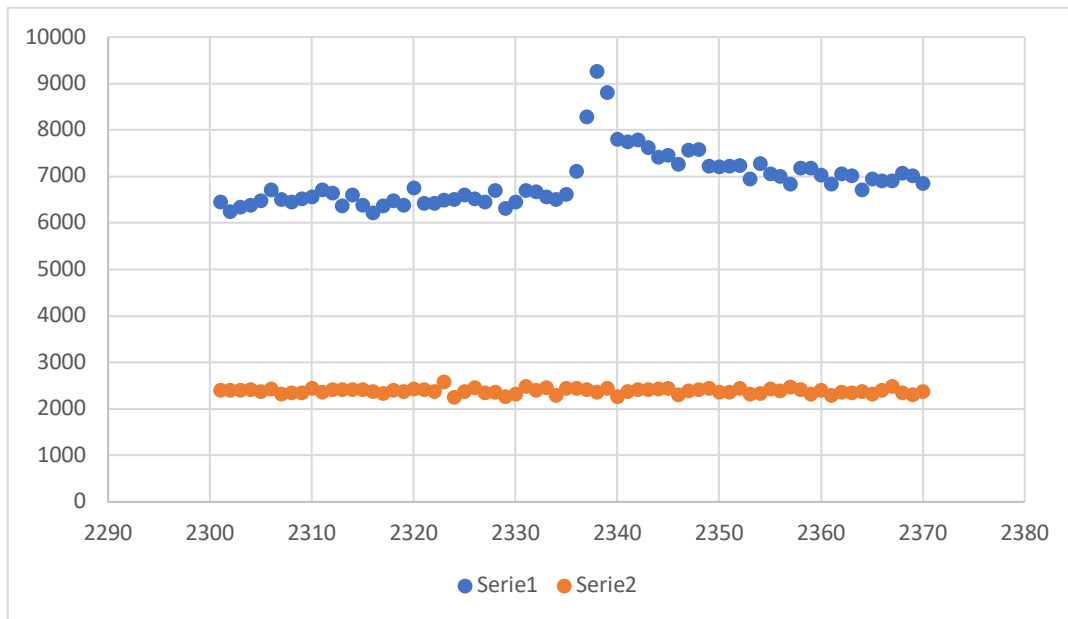


Figur 9.3. AD Leo 16 Feb. 1985 U-filter 5s. $\Delta U=1.37$ mag - korrigeret for himmelbakgrunn og nordlys fra kanal II

9.3.7 Mindre flares

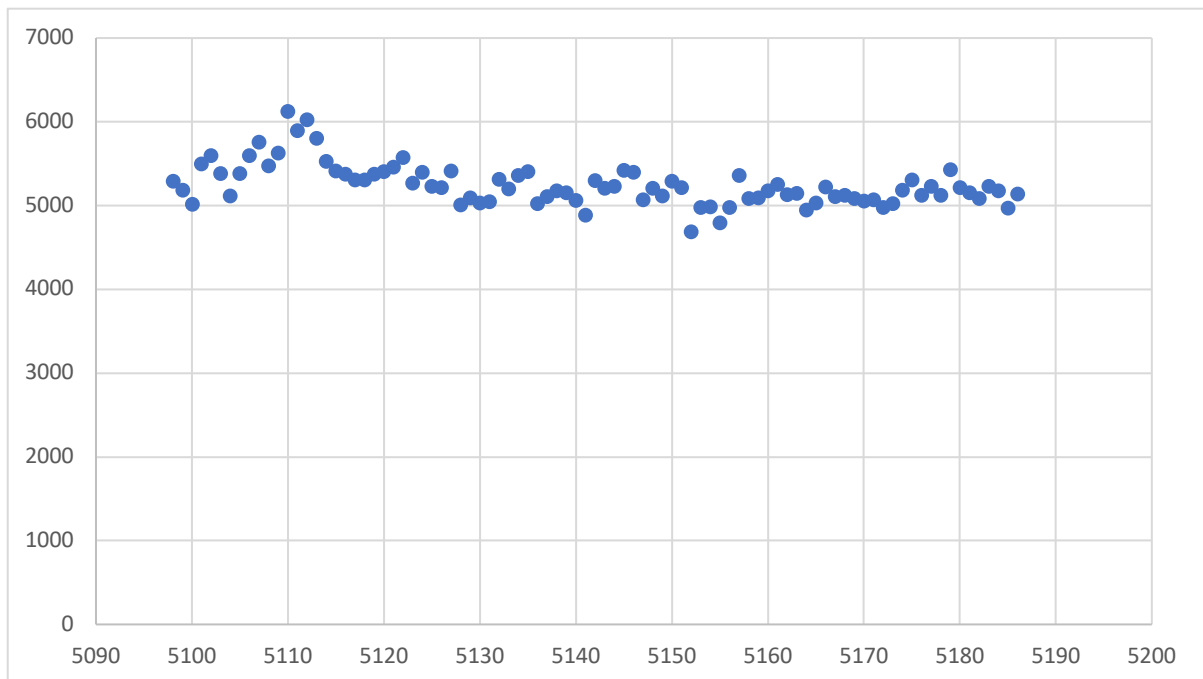


Figur 9.4. AD Leo 14 Feb 1985 U-filter 5 s. $\Delta U=0.83$ mag - korrigeret for himmelbakgrunn fra kanal II



Figur 9.5. AD Leo 19 Jan 1985 U-filter 5 s. $\Delta U=0.52$ mag - blå: stjerne og himmelbakgrunn, gul: himmelbakgrunn i kanal II

Den gule kurven viser at det ikke var nevneverdig nordlysaktivitet under observasjonen.



Figur 9.6. AD Leo 20 Jan 1985 U-filter 5 s. $\Delta U=0.21$ mag - korrigert for himmelbakgrunn fra kanal II

9.3.8 Konklusjon

Tidsserie-fotometri kunne gjøres i Skibotn når det var fotometriske forhold. Telleraten i fotometeret (og dermed signal/støy-forholdet i måleserien) ble liten når U-filter ble benyttet. Det ble kompensert ved å benytte en integrasjonstid på 5 sekunder. De observerte flares ble allikevel tidsoppløst.

En betydelig observasjonstid ble investert på AD Leo med et begrenset antall flares som resultat. Observasjonene kunne på vellykket vis korrigeres for påvirkning fra nordlys ved hjelp av to fotometerkanaler, i hvert fall til en presisjon på 0,05 magnituder.

9.4 Astrometri

Knut Henriksen

9.4.1 Litt om asteroider

Asteroider er for det meste små og irregulært formede legemer av jern og stein som beveger seg i bane rundt solen. De fleste finnes i asteroidebeltet mellom Mars og Jupiter. Asteroideenes størrelse varierer fra giganten Vesta med diameter 512 km og nedover. Banene til asteroidene har, til forskjell fra banene til planetene som stort sett ligger i ekliptikken, ganske stor spredning i størrelse, form og helning til ekliptikken.

Asteroider som krysser jordbanen kalles Apollo-asteroider. Det antas at det finnes ca. 1200 asteroider med diameter større enn 1 km som kan representere en fare for kollisjon med jorden. Satellitten WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) brukes til å kartlegge jordnære og jordfjerne asteroider. Det er til nå observert ca. 800 000 asteroider, hvorav ca. 520 000 har fått nummer og ca. 30 000 har fått navn.

Til slutt er det på sin plass også å nevne at også norske personer har fått asteroider oppkalt etter seg. Spesielt gledelig for oss at Kaare Aksnes og Jan-Erik Solheim er blant disse:

Nummer og navn	Solavstand (AU)	Oppdaget	Oppkalt etter
2067 Aksnes	3,96	1936	Kaare Aksnes
392142 Solheim	2,12	2009	Jan-Erik Solheim

Kilder:

snl.no/asteroider

www.nasa.gov/mission_pages/WISE/main

9.4.2 Astrometri med Skibotn teleskopet

I dette kapittelet vil jeg gi en kortfattet gjennomgang av prosedyrene for observasjoner av asteroider/kometer ved bruk av platekameraet i Skibotn. I dag ville nok tilsvarende observasjoner være langt mindre tidkrevende ved hjelp av ccd-teknologi og avansert billedbehandlingsverktøy.

For lettere å kunne observere asteroider/kometer ved Skibotn observatoriet ble det høsten 1981 installert et platekamera konstruert av ing. Reidar Persen etter spesifikasjoner gitt av Bjørn Ragnvald Pettersen (se avsnitt 8.2 og figur 8.1) for bruk av fotografiske plater på teleskopet. Kameraet kunne etter ombyggin i 1982 også korrigeres for asteroiders egenbevegelse samt banevinkel, noe som før ikke var mulig. I tillegg ble også sekundærspeilholderen på teleskopet ombygd og avstivet i 1984 og forsynt med et mikrometer for avlesning av nøyaktig fokusposisjon. (se avsnitt 8.6). Våren 1985 ble det også installert en korreksjonslinse slipt av optiker Tapio Korhonen ved Tuorla Observatorium i Finland etter spesifikasjoner gitt av Aksnes og Halvor Heier ved Sentralinstituttet i Oslo. Ved en angulær avstand på 0.75° fra optisk akse, vil det med korreksjonslinse bli en punktstørrelse på ca. $23 \mu\text{m}$ ($250 \mu\text{m}$ uten korreksjonslinse).

Kameraet består av kamerahus med guideokular, kassettholder og platekassett og kameraet er festet bak på teleskopets bakplate med skruer.

De fotografiske platene ble produsert av Kodak i størrelser 5×7 " (mest brukt) og 8×12 ". Emulsjonen på platene består av sølv-halid korn. Størrelsen på kornene varierer fra $0.02 \mu\text{m}$ til $3 \mu\text{m}$ for hurtige emulsjoner.

For å øke sensitiviteten til trege, finkornige emulsjoner, brukte vi en metode som kalles for 'baking', dvs. at en la platene i et kammer med gjennomstrømming av N_2 gass varmet opp til ca. 75° i ca. 6 min.

Før start av eksponering, må en kjenne objektets α , δ , posisjonsvinkel PA, vinkelhastighet AV og eksponeringstiden t. Objektets efemeride (posisjonen på himmelen for et gitt tidspunkt) kan vi enten hente fra 'Ephemeris of Minor Planets' hvor α_{1950} og δ_{1950} er oppgitt, eller beregne efemeriden med banelementene (formen, orienteringen og størrelsen på omløpsbanen) som input til Aksnes program COMET. På grunn av små feil i teleskopets opplagring og i sideriske følgehastighet vil det under eksponering være viktig å følge med i mikrometeret (med å guide påen stjerne) slik at teleskopet holder seg mest mulig stabilt.

Etter eksponeringer på vel en time, avhengig av objekts magnitudo og til dels atmosfæriske forhold som seeing og nordlys/strølys på himmelen, må nattens fangst fremkalles. Jeg prøvde meg en gang på en asteroide med magnitudo ca. 18.2 med eksponeringstid på litt over 2 timer. Det gikk fint, men dessverre har jeg ingen dokumentasjon på observasjonen.



Figur 9.7. Målebord for utmåling av posisjoner på platene. Det hadde en målenøyaktighet på $2\ \mu\text{m}$.

For utmåling av platene brukte vi et Bausch & Lomb ACU-RITE II målebord med påmontert optiske målestaver for xy-målinger til hver enkelt akse med nøyaktighet i avlesningen på $2\ \mu\text{m}$. Disse avlesningene, 3 for objektet og 3 for hver utvalgt referansestjerne (minimum 3 stjerner) ble overført til en computer, hvor de ved hjelp av programmet COMET beregnet banelementer for objektet for det aktuelle tidspunkt.

9.5 Halleys komet

Knut Henriksen

I dette kapitlet vil jeg presentere resultatene fra observasjoner av Halleys komet i Skibotn.

37 observasjoner av Halleys komet ble sendt til IHW (International Halley Watch), som et bidrag til å bedre kometens baneparametre, som igjen ble grunnlag for at den Europeiske sonden GIOTTO skulle komme så nær som mulig Halley for å ta bilder. Tidsrom for observasjonen var 9. okt 1985 til 10. jan 1986.

Observatører av Halleys komet var Jan-Erik Solheim, Ove Havnes, Kaare Aksnes og Knut Henriksen.

Bildet under er mest sannsynlig plate #179, den første observasjonen av Halleys komet sendt til IHW. Kometen ses som en litt diffus flekk i midten, mens stjernene rundt om er litt avlange. Eksponeringstid 40 min, Halleys magnitudo ca. 12.5, seeing ca. 10".



Figur 9.8. Den første observasjonen av Halleys komet ved Skibotn Observatorium. Kometen er en diffus flekk midt i bilde. Omkringliggende stjerner er avbildet som korte streker på grunn av at den fotografiske platen følger kometen.

TABLE I. — The Skibotn observations of comet P/Halley.

Date(U.T.C)	$\alpha(1950.0)$	$\delta(1950.0)$	IHW Orbit	Skibotn Orbit
			$\Delta\alpha \cos\delta$	$\Delta\delta$
y m d	h m s	d m s	arcs	arcs
1985 10 09.03576	06 07 07.52	+20 19 22.7	-0.52	-0.11 0.71 0.38
1985 11 03.95903	05 09 54.71	+22 00 18.0	1.08	-0.03 1.60 0.48
1985 11 04.83924	05 05 45.38	+22 03 30.3	-2.10	-0.94 -1.58 -0.43
1985 11 15.84653	03 50 12.07	+21 47 58.2	-0.61	-0.20 -0.32 0.32
1985 11 15.94722	03 49 16.56	+21 46 56.3	-2.23	-0.58 -1.97 -0.07
1985 11 16.85417	03 40 47.95	+21 36 30.5	-2.59	-0.13 -2.34 0.36
1985 11 16.98542	03 39 32.67	+21 34 49.2	1.35	-0.36 1.57 0.12
1985 11 18.02431	03 29 21.95	+21 19 46.8	1.78	-0.23 2.00 0.24
1985 11 29.72743	01 19 02.75	+14 41 17.9	1.37	-0.16 1.07 -0.04
1985 11 29.94878	01 16 38.02	+14 30 34.6	0.78	0.11 0.43 0.22
1985 11 30.70521	01 08 31.97	+13 53 38.0	-0.23	0.75 -0.57 0.83
1985 12 01.90451	00 56 03.11	+12 54 22.4	0.46	-0.99 0.04 -1.07
1985 12 02.88646	00 46 13.15	+12 05 47.1	0.80	0.49 0.34 0.37
1985 12 04.81979	00 27 56.96	+10 31 16.2	-0.35	1.20 -0.90 0.98
1985 12 05.73271	00 19 50.93	+09 47 42.0	-0.83	-0.29 -1.40 -0.55
1985 12 05.82766	00 19 01.59	+09 43 15.3	2.53	1.64 1.95 1.39
1985 12 06.62087	00 12 17.94	+09 06 16.8	0.82	0.36 0.24 0.08
1985 12 10.76829	23 41 11.77	+06 08 29.0	0.60	-1.03 -0.42 -1.55
1985 12 15.71392	23 12 08.65	+03 14 37.9	0.52	-0.28 -0.62 -0.97
1985 12 15.78493	23 11 46.69	+03 12 26.1	-1.05	0.00 -2.20 -0.68
1985 12 16.77148	23 06 53.16	+02 42 41.0	2.52	0.91 1.34 0.21
1985 12 17.68166	23 02 35.65	+02 16 28.7	1.89	-1.55 0.70 -2.28
1985 12 19.70463	22 53 45.48	+01 22 30.2	1.59	-1.65 0.33 -2.44
1985 12 19.71667	22 53 42.52	+01 22 13.7	2.30	0.14 1.04 -0.65
1985 12 20.69346	22 49 45.82	+00 58 04.9	1.29	-1.13 0.00 -1.95
1985 12 23.69514	22 38 46.24	-00 09 07.1	-0.20	-0.87 -1.57 -1.77
1985 12 24.62020	22 35 41.59	-00 27 54.1	2.45	1.02 1.07 0.11
1985 12 25.65145	22 32 24.46	-00 47 53.3	3.47	3.93 2.07 3.00
1985 12 26.61458	22 29 28.24	-01 05 46.8	2.13	3.04 0.72 2.09
1985 12 26.67506	22 29 17.22	-01 06 53.4	0.23	2.26 -1.19 1.31
1985 12 27.67017	22 26 23.28	-01 24 32.8	2.48	1.01 1.05 0.05
1985 12 30.64088	22 18 23.18	-02 13 00.6	0.51	0.49 -0.95 -0.52
1986 01 02.62986	22 11 10.25	-02 56 25.3	-0.26	3.53 -1.74 2.48
1986 01 02.68889	22 11 02.27	-02 57 15.3	2.72	2.30 1.25 1.25
1986 01 03.63993	22 08 53.44	-03 10 10.8	1.87	0.18 0.40 -0.88
1986 01 03.67656	22 08 48.46	-03 10 38.6	1.01	1.68 -0.47 0.63
1986 01 10.62187	21 54 40.10	-04 35 12.5	-0.13	1.65 -1.61 0.57
37 Observations		RMS Residual :	1.61	1.40 1.25 1.20
		Mean Residual:	0.74	0.44 0.00 0.04

(Aksnes m. fl 1988)

TABLE II. — *Orbital elements for comet P/Halley referred to the mean equinox and ecliptic of 1950.0.*

IHW orbit No.	55	Skibotn orbit
No. of obs.	7198	37
RMS residual	1."50	1."23
Epoch	1986/02/19.0	-
Perihelion time	1986/02/9.45894	1986/02/9.46094
q(AU)	0.5871029	0.5869956
Eccentricity	0.9672755	0.9671761
Arg. of perihelion	111.°84653	111.°85690
Long of asc. node	58.°14339	58.°14193
Inclination	162.°23925	162.°23782
A1(10 ⁻⁸ AU.day ⁻²)	0.0705	-
A2 "	0.0155	-

(Aksnes m. fl. 1988)

Observasjonene ble publisert med følgende konklusjon

Since we are operating in Skibotn under less-than-optimal astrometric conditions, we find it encouraging that our 37 observations have the same average error as all the 7198 observations collected worldwide, namely an RMS error relative to the IHW orbit of 1.50 in right ascension and declination combined. (Aksnes m. fl. 1988)

9.6 Asteroider i kryssende baner

Dette var et samarbeidsprosjekt med Dr. Paul Hemenway, University of Texas, Austin, Tx. Ideen var å finne områder hvor to asteroider har kryssende baner i samme stjernefelt. Siden asteroidebaner kunne beregnes svært presist, kunne posisjonene av stjernene i feltet måles relativt asteroidene. Posisjonene ble derved mer presise enn astrometriske observasjoner. De nye presise stjerneposisjonene skulle brukes til Guidestjerner katalog for Hubble-romteleskopet som ble sendt opp i 1990. Denne Guidestjerne-katalogen ble også brukt for innstilling av NOT. Hemenway besøkte Tromsø og Skibotn og planer ble lagt for samarbeide.

Vi har ikke funnet noen resultater av denne kampanjen selv om den var nevnt i flere årsrapporter fra Astrofysikkgruppa.

9.7 Nordlysobservasjoner



Figur 9.9. Hans Kristian Myrabø observerer nordlys i Skibotn. Foto: Lennart Berger

Det foregikk også nordlysobservasjoner ved observatoriet. Ove Harang hadde mange nordlysinstrumenter samt en kraftig lidar (se avsnitt 8.7 og 8.8). Det var også flere forskere som hadde sine egne nordlysinstrumenter på stasjonen. En som besøkte den ofte i 1980-årene var Hans Kristian Myrabø.

Myrabø og Harang hadde en publikasjon sammen (Myrabø og Harang 1988).

9.8 Forberedelser for NOT



Figur 9.10 Kanariøyene, med La Palma lengst vest (til høyre i bildet), der det Nordiske teleskopet (NOT) ble satt opp.

I 1983 begynte planleggingen av et Nordisk Optisk Teleskop (NOT). Det skulle settes opp på den vestligste av Kanariøyene, helt til høyre i bildet (figur 9.10). Det var planleggingsmøter i alle de nordiske land. En teknisk konstruksjonsgruppe ble etablert på Risø i Danmark. Deler til teleskopet

ble produsert i alle nordiske land og de store mekaniske komponentene ble satt sammen på skipsverftet i Helsingør i mars 1987.

Studenter fra Tromsø deltok i et site-testing-program (Figur 9.11) for å finne det beste av 3 mulige observasjonssteder på observatorieområdet på La Palma. Dette foregikk i årene 1983-1985.



Figur 9.11. Observasjonstårn for site-testing på La Palma. Jan-Erik Solheim lager en liten varde der han mente teleskopet skulle settes opp. Og der ble det satt opp. Foto: Ragnar Kalleberg (1985)

Det ble satt opp 3 slike tårn for testing av seeing ved hjelp av kamera som fotograferte automatisk gjennom hele natten. Dette var analoge system med film som måtte skiftes flere ganger i løpet av natten. Observasjonsassistenter gikk mellom de tre testtårnene og skiftet film som ble fremkalt og sendt til Observatoriet i Lund for analyse. Vi fant at det høyeste av testpunktene på kanten av kalderaen, nær den høyeste toppen Roque de los Muchachos, var best. Der ble teleskopet satt opp.

Teleskopet ble fraktet til fra Danmark til La Palma i 1987. Under testperioden ble vårt fotometer (TTP) brukt til innledende observasjonene og test av teleskopet.

9.9 Sluttord

Tiåret begynte med et teleskop under innkjøring og forsøk med strukturerte observasjoner, dvs. tildeling av observasjonstid og et felles observasjonsprogram. Dette ble gjennomført for observasjon av magnetiske Ap stjerner, flare stjerner og Halleys komet. De to siste programmene produserte publiserbare resultater.

Da stipendiatstillingen ble inndratt i 1987 var det ikke personale til felles observasjonsprogram. Til gjengjeld startet vi undervisning i et lavere grads emne «Fys 120 Det nære og fjerne verdensrom». Det trakk til seg mange studenter, også studenter som ikke hadde planlagt å gå videre i fysikk eller astrofysikk. 1988 var også siste året vi hadde Kaare Aksnes som professor II. Det var også et krisear for Universitetet i Tromsø, da studenttallet hadde stagnert på 1800 studenter. Det ble lansert et «Nord Norge program» og astrofysikk fikk en ekstra stipendiat, slik at vi fra 1988 hadde to

stipendiater: Birgitta og Stefan Larsson. I 1988 var det også «First Light» for det nordiske teleskopet som ble offisielt innviet 6. september 1989. Nordlysplanetariet ble åpnet i mai 1989. Der kunne astrofysikkstudenter jobbe ved siden av studiene. Fys 120, NOT og Nordlysplanetariet, samt våre to nye stipendiater, gjorde astrofysikk interessant og antall hovedfagstudenter steg fra 2 i 1988 til 7 i 1990. Vi arrangerte vårt første nordiske forskerkurs ved Skibotn Feltstasjon 5-17 juni 1989 i serien Systematiserte Forskerkurs (med eksamen). Tema var «Metoder og teknikker innen Astrofysisk Romforskning» finansiert av Nordisk Forskningsråd.

I 1987 startet vi også de første forsøk med observasjon av samme objekt fra observatorier på forskjellige lengdegrader, for å oppnå lengre lyskurver. Vi observerte fra Tenerife etterfulgt av McDonaldobservatoriet i Texas. Dette utviklet seg til «Whole Earth Telescope (WET)». I løpet av 1988 fikk vi internettadgang, i 1989 falt Muren, og fra 1990 startet vi samarbeide med astronomer i Litauen. Dette var starten på et meget aktivt ti-år hvor Skibotn spilte en viktig rolle for instrumentutvikling, testing av utstyr, gjesteforskere og forskerkurs. Vi deltok svært aktivt internasjonalt.



Figur 9.12 Fys 120. Studentekskursjon til Andøya Romsenter våren 1988. I bakerste rekke fra venstre Kaare Aksnes, ukjent, Torsten Aslaksen, ukjent, Halvard Olderlund og Jan-Erik Solheim. Første rekke fra venstre Merete Antonsen, Liv Torill Kjeldsen, ukjent, ukjent, ukjent og Birgitta Larsson. Halvard Olderlund og Liv Torill Kjeldsen ble senere hovedfagstudenter i astrofysikk. Foto: Franck Pettersen



Figur 9.13. Fys 120. Studentekskursjon til det internasjonale observatoriet på La Palma i mars 1989. Fra venstre: Per Ivar Emanuelson, Øystein Olsen, Roy Østensen og Anne Bruvold. Disse studentene tok alle hovedfag i astrofysikk. Roy Østensen fullførte også doktorgrad. Foto: Jan-Erik Solheim

Referanser

Aksnes K, Solheim J-E, Henriksen og Havnes O 1988, *Astronomy of comet P/Halley in the Auroral zone at Skibotn Observatory*, Astronomy & Astrophysics Supplement. Series. 78, 61-62.

Aksnes K, Solheim J-E, Henriksen K og Havnes O 1988, *Astrometry of Halley's Comet in the auroral zone at Skibotn Observatory*, The Institute for Mathematical and Physical Sciences, University of Tromsø.

Appenzeller I, Östreicher R, Schiffer JG, Egge KE og Pettersen BR 1983, *The Short-term Spectral Variability of the T Tauri Star RW Aur*, Astronomy and Astrophysics 118, 75.

Bruvold A 1992, *Analyse av hurtigfotometriske observasjoner av den varme hvit dverg stjerna PG 1159-035*, hovedfagsoppgave i Fysikk, Universitetet i Tromsø.

Egge KE 1982, *Fotometri og analyse av kontaktbinære stjerner*, hovedfagsoppgave i fysikk, Universitetet i Tromsø (sammendrag i kap. 8).

Egge KE and Pettersen BR 1982, *A bright spot and a serendipitous Stellar Flare on the Contact Binary VW Cep Astrophys. Space Sci. Lib. , 102*, 48.

Egge KE and Pettersen BR 1983, *A bright spot and a serendipitous Stellar Flare on the Contact Binary VW Cep*, IAU Colloquium No 71, Activity in Red Dwarf Stars, D. Reidel Publ. Co, Holland, red. PS Byrne and M Rodino, p 481

Henriksen K 1987, *Astrometri i nordlyssonen*, hovedfagsoppgave i fysikk, Universitetet i Tromsø

Larsen K 1987, *Analyse av Flare stjerner*, hovedfagsoppgave i fysikk, Universitetet i Tromsø.

Leiknes J 1982, *Pekuliære A-stjerners innfangning av støvkorn*, hovedfagsoppgave i fysikk, Universitetet i Tromsø

Myrabø HK og Harang OE 1988, *Temperatures and tides in the high latitude mesopause region as observed in the OH night airglow emissions*, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 50, 739-748. [https://doi.org/10.1016/0021-916\(88\)90036-0](https://doi.org/10.1016/0021-916(88)90036-0)

Olsen Ø 1992, *Gravitational lenses CCD Imaging Using the Nordic Optical Telescope*, hovedfagsoppgave i fysikk, Universitetet I Tromsø

Pettersen BR, Aksnes K 1982, *Astrometry at Skibotn Observatory, Norway: A Brief Status Report*. In Reports from the Observatory of Lund red. G. Larsson-Leander, No. 18, p. 118-119. ISBN 0349-4217

Pettersen BR 1984, *Observations of Stellar Activity: Advantages and Disadvantages of Ground Based Multisites, Polar Region Observatories, and Space Observations*, in Space Research Prospects in Stellar Activity and Variability, red. A. Mangeney and P. Praderie, Paris Observatory, s. 343

Resultat av 1980 årenes byggevirkosomhet



Figur 9.14, Norddysplanetariet ble innviet i 1989. Det eies nå av Universitetet i Tromsø og brukes av Nordnorsk vitensenter. Planetariepedagog Anne Bruvold tok astrofysikk hovedfag i 1992. På toppen av planetariet ser vi kuppelen fra Optikkbygget på Nordlysobservatoriet (Figur 2.2). Bildet er fra www.nornorskvitensenter.no



Figur 9.14. Nordisk Optisk Teleskop (NOT) på La Palma. Til høyre for teleskopbyttet ser vi bygningen til den delvis underjordisk infrarød spektrograf som får lys fra teleskopet gjennom optisk fiber. Bygningen i forgrunnen er servicebygningen med kjøkken, oppholdsrom og verksted. Foto: Kari V. Knutsen

Nordisk Optisk Teleskop (NOT) på La Palma ble planlagt, finansiert, konstruert og fullført i løpet av 1980 årene. Det ble offisielt innviet i 1989 og regulære observasjoner startet i 1990. Teleskopet ligger høyest av en rekke teleskop på det internasjonale observatoriet nær toppen Roque de los Muchachos (2396 m.o.h.). Teleskopet har en speildiameter 2.56 m. med åpningsforhold $f/11$. Det drives nå av et konsortium bestående av Århus (DK) og Turku (Fin) universiteter med adgang for andre nordiske land å kjøpe andeler tid.

10. Mange studenter og internasjonalisering

Jan-Erik Solheim (red), Edmund Meistas og Tommy Thomassen (nå Voie)

1990-årene ble et tiår med mange studenter. I alt 11 hovedfags- og 3 doktorgradsoppgaver ble fullført i perioden 1992-2003. Det utviklet seg et nært samarbeide med Litauiske astronomer med hensyn til konstruksjon av instrumenter, observasjonsreiser til Sentral Asia og forskerskoler. Vi deltok i internasjonale Whole Earth Telescope (WET) kampanjer og konstruerte et fotometer som var lettere å ha med seg på reiser enn Texas fotometeret som var hovedinstrumentet for WET kampanjene. Vi organiserte den Europeiske delen av WET, og ble deltaker i en internasjonal observasjonskampanje for δ -Scuti variable stjerner. Dette kapitlet beskriver første del av ti-året da vi observerte med klassisk fototelling og undersøkte hvordan presis fotometri kunne gjøres i Skibotn med denne teknikken. I andre halvdel av ti-året fikk vi bygget et avansert CCD-fotometer med en original utlesningsteknikk og eksperimenterte med dette i Skibotn. Det beskrives i neste kapittel 11.

10.1 Innledning

I slutten av 1980-årene ble det store endringer i Astrofysikkgruppa, både når det gjaldt personale og arbeidsoppgaver. Lennart Berger hadde sluttet som driftsingeniør i 1986, men etterlot et godt fungerende teleskop som brukerne kunne håndtere selv med sporadisk hjelp av ny driftsingeniør som også hadde oppgaver for nordlysdelen på observatoriet. Etter Lennart hadde vi Jan Arvid Jensen som driftsingeniør til 1990, deretter Inge Strømmesen til 1995 og til slutt Torfinn Roaldsen. Vi hadde hele tiden god hjelp fra verksted og E-lab på Nordlysobservatoriet til vedlikehold, forbedringer og bygging av nye instrumenter.

Feltstasjonen var nå ferdig utbygget med 30 sengeplasser, laboratorium, storkjøkken og badstue. Der kunne vi holde kurs og sosiale samlinger. Vi fikk ikke fornyet professor II stillingen etter Kaare Aksnes da hans engasjement utløp i 1988. Bjørn R. Pettersen avsluttet sitt stipendiatopphold i 1987 og fullførte sin doktorgrad.

På La Palma var det Nordiske Optiske Teleskopet (NOT) satt i drift i 1990, og ga mulighet for førsteklases astrofysiske observasjoner. Dette teleskopet var bygget raskt og rimelig i forhold til andre teleskop på La Palma. Det var ikke penger til følgeinstrumenter, men avtalt at brukergruppene skulle finansiere og bygge hjelpeinstrumentene. Dette ga oss oppgaver og utfordringer i 1990-årene, helt til NOT fikk overbevist forskningsrådene som finansierte virksomheten, at det var bedre at NOT selv sto som ansvarlig for instrumentutvikling og vedlikehold av instrumentene. Det skjedde omkring år 2000.

Studentmessig var det krise for Universitetet i Tromsø i slutten av 1980-årene. Målsettingen om 2000 studenter var ikke nådd. Det måtte et krafttak til. Nye fagområder ble etablert og gamle ble styrket. Dette ga også litt ekstra til Astrofysikkgruppa. I tillegg til stipendiatstillingen etter Bjørn R. Pettersen, fikk vi en stipendiatstilling fra Forskningsrådet for 2 år. Vi ansatte Birgitta Larsson og hennes mann Stefan Larsson i 1988. Birgitta arbeidet med en doktorgrad i solfysikk og Stefan med energirike objekter (røntgen astrofysikk). I 1989 ble Nordlysplanetarier i Tromsø innviet. Der kunne vi gi populære forelesninger om stjernehimmelen og det ble en verdifull arbeidsplass for studentene ved siden av studiet. En av studentene, Anne Bruvold er nå (2024) Planetariepedagog. Et studieemne på innføringsnivå *Fys-120 Det nære og fjerne verdensrom*, som vi startet i 1988, fikk mange studenter og økte interessen for astrofysikk.

Takket være de nye mulighetene fikk vi i alt 10 hovedfagstudenter i perioden 1988-1995: Per Ivar Emanuelsen 1988-90, Liv Torill Kjeldsen 1989-93, Øistein Olsen 1989-92, Anne Bruvold 1989-92, Halvard Olderlund 1990-92, Roy Østensen 1990-93, Bard Saadatnejad 1992-95, Torbjørn Bremnes 1992-94, Tommy Thomassen (nå Voie) 1995-96 og Tanja Nymark 1995-96



Figur 10.1 Astrofysikkgruppa våren 1992. Første rekke fra venstre: Anne Bruvold, Liv Torill Kjeldsen, Øystein Olsen, Halvard Olderlund, Roy Østensen. Bakerst: Jan-Erik Solheim og Bard Saadatnejad

En av studentene, Tommy Thomassen, gjennomførte hovedoppgave med teleskopet. Han gjorde presisjonsfotometri med et reisefotometer vi hadde konstruert. De øvrige studentene gjorde kun sporadisk bruk av teleskopet i forbindelse med instrumentkurs (Fys 241) og demonstrasjoner for besøkende. Instrumentkurset ble et obligatorisk krav til Cand. Scient. eksamen i Astrofysikk.

Da Birgitta og Stefans periode var over i 1992, ble Christophe Massacand engasjert. Han var en teoretiker med doktorgrad fra Sveits, som ble en dyktig observatør og ekspert på astroseismologi som vi kalte en del av vår virksomhet.

Texas fotometeret (TTP – beskrevet i kapitel 2) viste seg å bli et nøkkelinstrument som gav oss adgang til et stort internasjonalt observasjonsnettverk. Det kunne brukes til hurtig og presis fotometri, og var brukt på NOT i innkjøringsperioden. Ved Astronomy Department, University of Texas (UT) i Austin, var det en gruppe under ledelse av professorene Ed Nather (observasjon) og Don Winget (teori) som brukte tilsvarende fotometer til observasjon av pulserende hvite dvergstjerner.

Det at vi hadde et Texas-fotometer som var spesielt bygget for presise og raske fotometriske observasjoner, gjorde at vi i 1987 ble invitert til å teste en ny måte å observere på. Vi tok med fotometeret til Teide observatoriet på Tenerife hvor vi fikk bruke et 80 cm teleskop (IAC80) og observerte samtidig med observatør ved McDonaldobservatoriet i Texas. Dvs. observatøren i Texas observerte samme objekt etter oss da natten var slutt på Teide-observatoriet og lyskurvene ble skjøtet sammen.

Ideen var å ha Texas-fotometre på observatorier verden rundt som observerte samme stjerne og sendte data umiddelbart etter at observasjonene var ferdige til et hovedkvarter, som i første

omgang var i Texas. Vi kalte det *Whole Earth Telescope (WET)* og vi arrangerte etter hvert to årlige kampanjer. På prøven i 1987 overførte vi data pr telefon. Det tok lang tid og var kostbart. Jeg betalte mer for å bruke telefonen enn for selve oppholdet ved observatoriet på Tenerife. Da vi prøvde året etter, hadde vi adgang til internett, og da gikk dataoverføringen som en lek. Hensikten med rask overføring av data var at lyskurven umiddelbart skulle bli analysert for å se om det ønskelige signal/støyforhold ble nådd. Var det mer observasjonstid kunne flere stjerner bli observert.

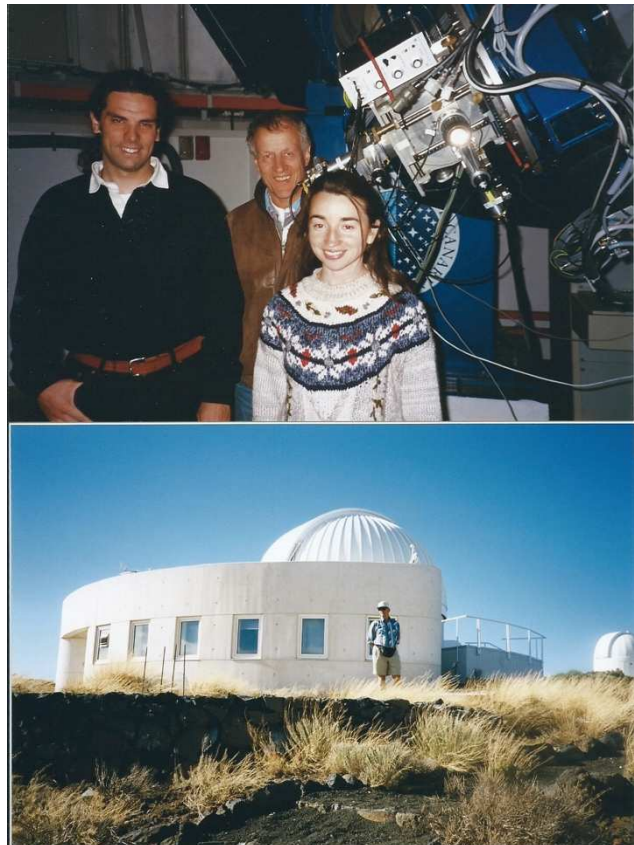
Internasjonalt skjedde det en stor forandring da Muren falt i november 1989. Vi fikk kontakt med astronomer i Øst-Europa, som vi gjorde at vi kunne utvide WET til Litauen, Polen, Uzbekistan og Kazakhstan. Vi organiserte også de Europeiske WET medlemmene i en EUROWET gruppe som fikk støtte fra EU, med hovedkvarter i Skibotn. Vi deltok både i WET nettverket og DSN nettverket, for observasjon av δ -Scuti variable, organisert fra Wien. Serien med forskerkurs for Nordiske og Baltiske studenter ble fortsatt ved Observatoriet i Moletai i Litauen. Der kunne vi gjøre observasjoner med to teleskop og i tillegg ha fjernobservasjoner med NOT. Jeg ledet 4 slike kurs i tiden 1999-2008.

I det følgende vil vi presentere bruk av Texas fotometeret og konstruksjon av reisefotometer av vår Litauiske gjesteforsker og instrumentkonstruktør Edmund Meistas. Videre presenteres et sammendrag av hovedfagsoppgaven til Tommy Thomassen (Voie) som beskriver hvordan presisjonsfotometri med dette fotometre kan gjøres i Skibotn. Deretter skriver vi om internasjonalt nettverk og bygningene som endret seg i begynnelsen av 1990 -årene. Men først litt om Texas fotometeret som hadde vært med oss i Skibotn siden teleskopet ble bestilt i 1976.

10.2 Tromsø Texas Fotometer (TTP)

TTP var hovedinstrument for fotometri etter at vi ble med i WET prosjektet. Det ble utstyrt med en kanal nr. 2 for observasjon av sammenligningsstjerne og senere konstruerte vi også en kanal 3 for å fange opp endringer i bakgrunnsbelysningen. Den siste kanalen ble montert sammen med kanal 2. Filterholderne til kanal 1 og 2 ble utstyrt med steppingmotorer. Dette sparte tid ved filterskifte, selv om vi vanligvis i WET-kampanjer ikke brukte filter for å få størst mulig signal/støyforhold.

TTP var mye på reise. Allerede i 1987 tok vi det med til Tenerife for bruk på IAC80 i et forsøk på samtidige observasjoner med tilsvarende instrument på McDonald-observatoriet. Dette ble opptakten til senere WET kampanjer hvor vi deltok med NOT, IAC80 eller observatorier i Sentral Asia. TTP ble brukt til hurtigfotometri på NOT, og var også brukt på første ekspedisjon til Mt. Maidanak i Uzbekistan. Det ble også tatt med til USA for kalibrering.



Figur 10.2. TTP montert på IAC80 teleskopet på Tenerife. Jose Gonzales Perez til venstre og en spansk student (Olga Suarez) som fikk opplæring

På den første turen til observatoriet på Mt Maidanak i Uzbekistan høsten 1992 ble TTP brukt. Det var slitsomt å transportere, men fungerte meget bra. Siden dette instrumentet var besværlig å reise med hadde vi allerede konstruert et fotometer som var lettere å transportere. Neste gang, våren 1993 reiste vi til Uzbekistan med Pannekakefotometeret som er beskrevet i neste avsnitt.

I 1996 ble TTP tatt med til NOT. Det ble brukt ved flere WET kampanjer på NOT og IAC80 teleskopet på Tenerife. Siste gang jeg observerte med det var ved IAC80 i mai 2002.

10.3 Pannekakefotometer og observasjoner i Uzbekistan and Kazakhstan

Edmund Meistas

Da Muren falt i 1989 ble det mulig å få kontakt med astronomer fra de Baltiske land. På et Nordisk-Baltisk astronommøte i Uppsala våren 1990 fikk jeg kontakt med en astronom fra Vilnius i Litauen, Edmund G. Meistas, som fortalte at de hadde et teleskop i Uzbekistan, på Mt. Maidanak nær grensen til Afghanistan. Observasjoner fra Sentral-Asia kunne fylle et hull i kjeden av WET teleskoper, så vi ble enige om å samarbeide. Problemet var at astronomene i Vilnius ikke lenger hadde penger til å reise til observatoriet i Uzbekistan, og de var heller ikke sikre på om det fremdeles fungerte. Høsten 1991 kom Edmund til Skibotn og ble der i flere uker mens han konstruerte et fotometer til reisebruk. Spesifikasjonen var at det skulle kunne tas med i en koffert, istedenfor den store trekassa vi måtte ha for å transportere TTP. Etter hvert fikk Edmund en amanuensis II stilling og kom til Skibotn mange år på rad. Han var til stor hjelp for utvikling av instrumenter og veiledning i bruk av teleskopet og våre instrumenter.

10.3.1 Edmund's report about life at Skibotn Observatory and photometer construction

After I joined the Whole Earth Telescope (WET) project, all my activities in it became very closely connected to Tromsø University Astrophysics Group, where they already had their own built two channel photometer for observation of variable stars and a good experience in WET campaigns at the 2.56m Nordic Optical Telescope (NOT) reflector. So, when joining the group, I got the possibility to participate in WET campaigns too, getting some experience in this special type of photometry of pulsating stars.

Since I had lots of experience working with photometrical measurements of non-variable



Figure 10.3. Edmund Meistas at the drawing board. Construction of a new photometer for easier travel, later called the Pancake photometer.

stars at home in Lithuania (at Molėtai 63 cm and 1.63 m reflectors) and in Uzbekistan at the 1 m ZEISS reflector of Lithuanian property on Mt. Maidanak, which, alas, was nationalized by uzbeks after the disintegration of Soviet Union. It appeared that WET observations and instrumentation and the photometric process was not too much different from those which I had at home. I had actively participated in building, mounting, and adjusting of all Lithuanian telescopes, and in construction

and production of three long-working star photometers for Molėtai and Maidanak telescopes.

At the beginning, when preparing for WET campaign, I did spend some time in Skibotn Observatory learning there to work with the renewed two channel photometer attached to the 50 cm reflector. The photometer worked perfectly, training went smoothly, but registered data of observations appeared unusable for WET purposes. This was because traces of even almost unseen there common northern lights, as it appeared, significantly and randomly changed background of the sky and it was not possible to get WET data of acceptable quality. It was one more problem with this photometer – it was too heavy.

There were plans to substantially improve WET data filling up an existing gap in WET data, but for that it was necessary to add star measuring points from an observatory in the Central Asia. I had good contacts, agreements with the observatories in Uzbekistan, Kazakhstan, Tajikistan, not to mention 1m Zeiss reflector of our property on Maidanak mountain in those times. But for that we needed new – easy to travel, lightweight, reliable, and preferably three-channel star photometer capable to survive hard travels on airplanes and then on trucks through the rocky mountain roads.

We – Jan-Erik Solheim and me – were sure that having one more - third channel, providing continuous record of sky brightness the same time, as the pulsating and comparison stars were measured, should improve obviously the data quality even at some rapid sky background changes. So, it was decided, that I would take a job to construct new, as lightweight as possible, three-channel travelling photometer, and the same time to do my best adjusting to the north pole Skibotn Observatory telescope too. So, in the fall of 1991 I became a resident of Skibotn Observatory for some time and had to make there drawings of the new three-channel photometer construction, which, when ready, would be sent to Tromsø to engineering workshops for the manufacturing. The same time I was supposed to perform some adjustments on telescope mounting, to get as small as possible deviations of stars from the center of the telescope diaphragm even at long observations. I had to invent some instruments for that – nut and bolt keys for those adjustments, which I successfully made at the small good mechanical shop in the lower residence of the observatory.

There at Skibotn Observatory was available only a quite simple laptop computer, which was not capable to run any computer aided drawing program. Therefore, I had to do all the drawings of the photometer construction on the available small wooden board, using pencil and an eraser only. At home in Vilnius, I had access to computer aided drawing, and I was used to make all my drawings on wooden drawing board too, but there it was a big modern drawing board with counterbalances and lots of useful auxiliaries.

But I was not left in Skibotn Observatory to work there alone for all the time. I was visited by several groups of school students, and they wanted me to talk to them about the telescope, and the instruments we used, and about the investigations, which

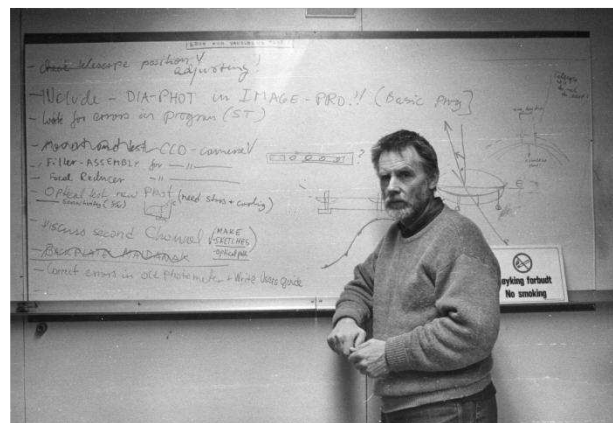


Figure 10.4 Edmund in front of the blackboard explaining the new photometer



Figure 10.5. Residence kitchen chef Janne Grete Løkvoll and Jan-Erik.

astronomers were doing in this one and in other observatories of the world. And I was visited quite often by prof. Jan-Erik Solheim, and by the students of the astrophysics group of the university. Except that, all the time I felt looked after by the local Skibotn supervisor Hermod Lambela, who frequently visited me to see if everything was fine with me (the electricity, water supply and so on), and if the way to the dome was cleaned after the snow storms.

In addition, I participated at external lectures-seminars, which were organized for students of astrophysics and other university groups in the downhill lecture rooms. For those seminars, students were brought to Skibotn for several days usually. Therefore, except of numerous lectures in lecture-rooms and exercises at the telescope. students were actively participating in all domestic activities too – even at preparations of meals but super-vised by experienced chef at the nice residency kitchen. And they had lots of interesting conversations in their leisure time. In some of those activities I was participating too, and it was significantly brightening up my would-be loneliness when living and working there in Skibotn.

But it was not always so easy and joyful to stay there in Skibotn. Most of the time I had to live there on the top of the hill quite lonely, and not all the time there was a clear, blue sky. There were some days with heavy snowstorms and stinging temperatures, even huge snowdrifts formed up, and water in the pipe up the hill was frozen, but, luckily, electricity was available all the time, and I had possibility to melt some snow for my meals and to do some cleaning and washing. Then, Lambela came uphill after about a week when the storm calmed down, joking he said he came looking if I am still alive.

Despite some glitches, all jobs planed here vent rather smoothly. In time of stay here at the Skibotn telescope laboratories I managed to adjust telescope axis to the pole as close as possible and produced drawings of all mechanical and optical parts of the new three-channel photometer. Then it was manufactured, assembled and adjusted at mechanical shop and in electronic-optical units of Auroral Observatory and, after few months, the new photometer (except channel 3) was ready to participate in the next 1992 WET campaign to be attached to Lithuanian 1m Carl Zeiss telescope on Maidanak mountain in Uzbekistan.

10.3.2 Photometer design

When designing the photometer, the main idea was to make it as simple as possible, having only the functions absolutely necessary for the WET purposes, being easy to attach to a telescope and capable to work immediately with minimum of fitting. We decided that the photometer should consist of three separate boxes-channels attached to the firm main plate of the reasonable diameter to fit directly to the our 1 m Maidanak telescope without any spacing rings. All power sources should fit into the fourth box (about the same size as the channel boxes) and occupy the rest of the main plate space.

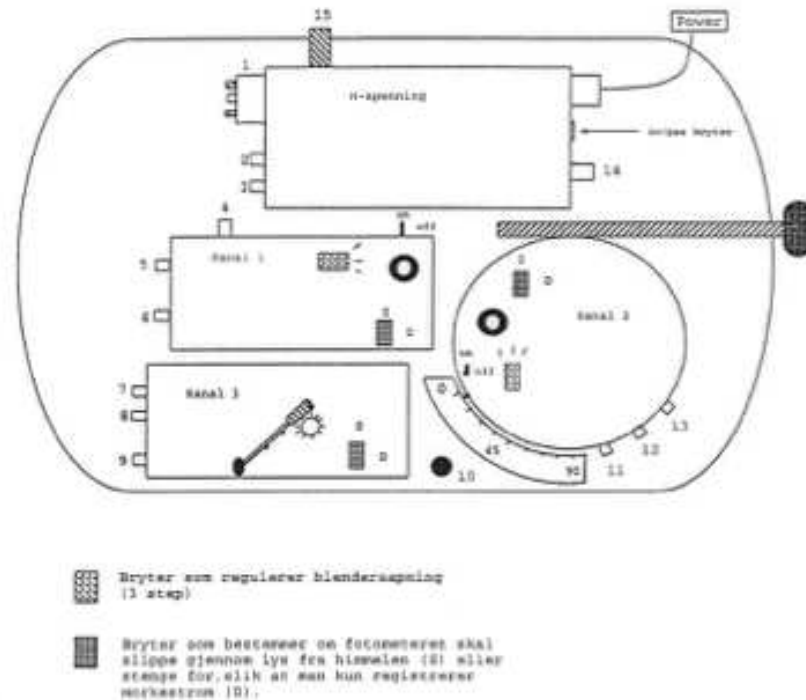


Figure 10.6. The Pancake photometer constructed at Skibotn Observatory by Edmund Meistas. This is from Thomassen thesis Figure 4.10, see Section 10.4

Figure 10.6 shows the first version of the Pancake Photometer as it was constructed in Skibotn and built at the Aurora Observatory mechanical shop. The main Channel is in box “Kanal 1”. Channel 2 for comparison star is in the circular box “Kanal 2” This can be rotated 90 degrees to find a comparison star.

10.3.3 Travels with the Pancake photometer

To be sure that new photometer will withstand the journey we, Jan-Erik Solheim and me, decided to pack it firmly into a special suitcase filled with plastic foam, and it turned out to be the right decision – photometer survived the travel, and we managed to get valuable data there on the Mt. Maidanak Observatory, in the 1992 WET fall campaign. During this campaign it was discovered that the channel 2 rotation movements were too coarse to make precise centering of the comparison star, and a better version was constructed in Vilnius for the 1993 spring campaign at Mt. Maidanak. This is described in Figure 10.8.

After that, this photometer, which was of quite flat construction, comparatively to other photometers participating in WET campaigns, we nicknamed “The Pancake”. It participated in several WET campaigns in many places on several Central Asian telescopes it was successfully working on La Palma, Teide, Molétai telescopes too. It participated both in WET campaigns and in a Delta Scuti Network (DSN) campaign. To investigate its performance and the conditions in Skibotn for precision photometry a thesis project was designed for Tommy Thomassen 1995-96. This is the topic of the next section.



Figure 10.7. Edmund Meistas adjusting the Pancake photometer at the Assy-Turgen Observatory in the Tian Shan mountains in Kazakhstan in the fall of 1994



Figure 10.8. Jan-Erik with the Pacake photometer in a suitcase and a laptop computer in a bag at Mt. Maidanak Observatory in Uzbekistan

To be sure that new photometer will withstand the journey we, Jan-Erik Solheim and me, decided to pack it firmly into a special suitcase filled with plastic foam, and it turned out to be the right decision – photometer survived the travel, and we managed to get valuable data there on the Mt. Maidanak Observatory, in the 1992 WET fall campaign. During this campaign it was discovered that the channel 2 rotation movements were too coarse to make precise centering of the comparison star, and a better version was constructed in Vilnius for the 1993 spring campaign at Mt. Maidanak. This is shown in Figure 10.9.

10.4 Presisjonsfotometri ved Skibotn Observatorium

Tommy Thomassen (nå Voie)

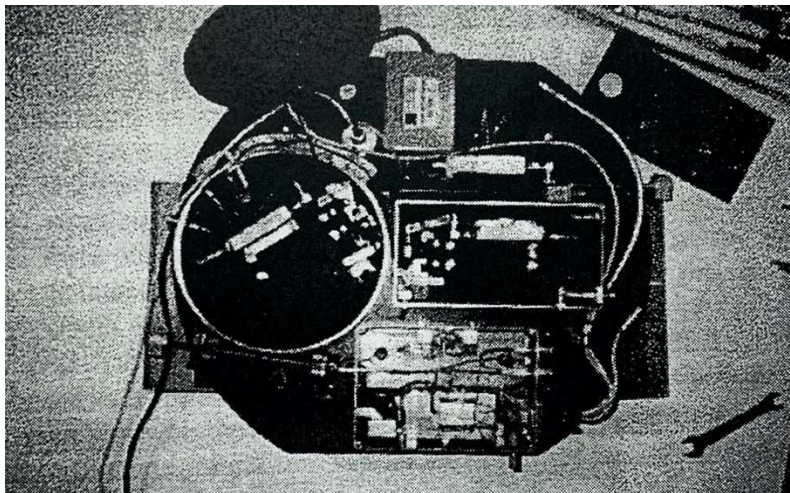
En prioritert oppgave for Skibotn Observatorium var å undersøke muligheten for presisjonsfotometri i nordlyssonen. Vi prøvde det originale Texas fotometeret – med 3 kanaler. Det fungerte ikke så bra, bortsett fra okkultasjoner ved måneranden (kap 5). Chopping fotometer konstruert av Myrabø og Kalleberg (kap. 2) ga gode resultater for langsomt variable stjerner (kap. 6). Pannekakefotometeret konstruert av Edmund Meistas ga gode resultater der det var mørk himmel uten nordlys (kap. 10.3). Men vi ville også prøve dette i Skibotn og en hovedfagstudent Tommy Thomassen (nå Voie) tok på seg oppgaven som også inkluderte deltakelse i en internasjonal kampanje på δ -Scuti stjerner, ledet fra Observatoriet i Wien. Her er Tommys beretning:

10.4.1 Forord

Denne oppgaven har vært et lærerikt studium når det gjelder forståelsen av hvordan en utfører UVB-fotometri og fotometri på variable stjerner, og hvordan instrumentene man bruker fungerer og hvordan dataene reduseres.

Den første ordentlige kontakt jeg hadde med teleskop og instrument var våren 1995, der jeg deltok i kurset FYS-431. I perioden 16/5 til 20/6 1995 dro jeg til Wien for å lære å redusere data fra differensiell fotometri. Der foregikk reduksjon av FG Vir kampanjen fra høsten 1994. Det er den samme metoden som er blitt brukt til å redusere data fra δ -Scuti kampanjen i Skibotn (9/2-16/3 1996)

10.4.2 Instrumentering



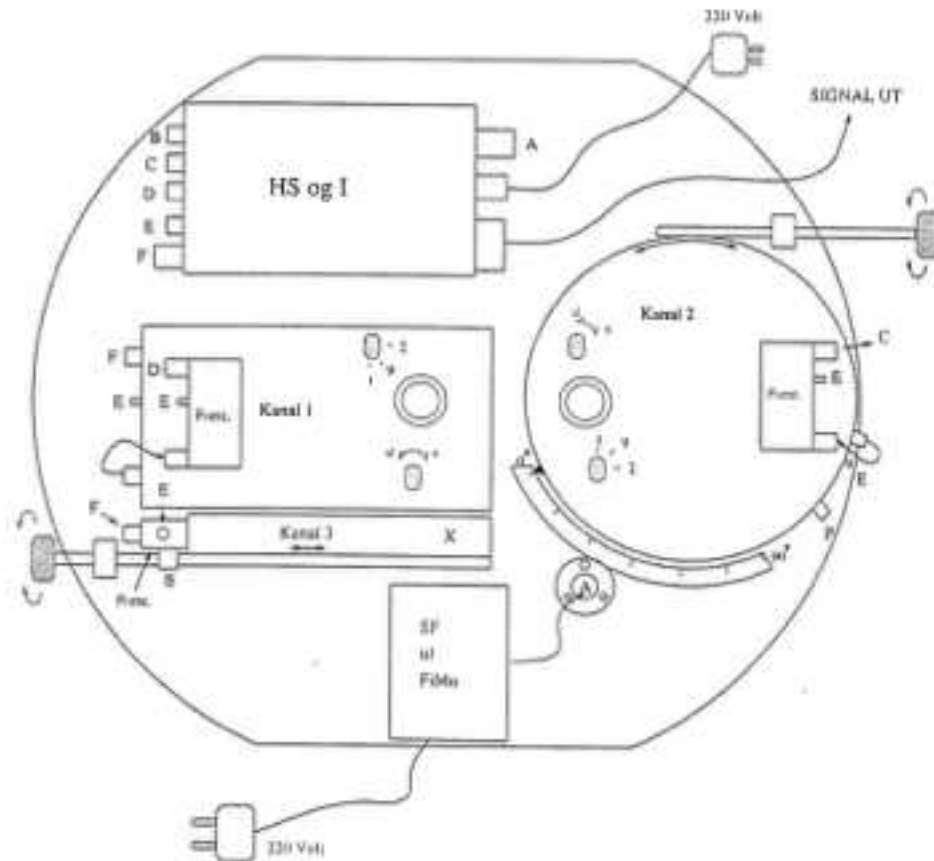
Figur 10.9 Innsiden av fotometeret før ombygging i Vilnius september 1995. Den runde boksen til venstre er kanal 2 som kan roteres 90°. Til høyre er boksen for kanal 1. Kanal 3 er den smale boksen som ligger over kanal 1. Nederst er boks til høyspenningskilde. (Thomassen Fig 4.11)

I midten av august 1995 dro jeg til Vilnius (Litauen), der jeg tilbrakte mesteparten av tiden sammen med Edmund Meistas. Hovedpoenget med turen var å bli ordentlig kjent med 3 stjerners teknikken. Det ble dessverre ingen klare netter i løpet av de 3 ukene jeg var der, så mesteparten av tiden gikk med til testing av fotometeret og lære hvordan det fungerte.

Til mine observasjoner brukte jeg en forbedret versjon av Pannekakefotometeret (kap. 10.3) som ble bygget om i Vilnius i 1993 med tannstangstyring av rotasjonen for kanal 2, montering av kanal

3, nye forsterkere og kvartsprismer istedenfor glass. Høsten 1995 ble det også gjort forbedringer av fotometeret i Vilnius før det ble brakt til Tromsø for min hovedoppgave og δ -Scuti kampanjen. Figur 10.9 viser hvordan fotometeret så ut på innsiden før det ble bygget om i Vilnius.

Etter ombyggingen i Vilnius i september 1995 ser fotometeret slik ut:

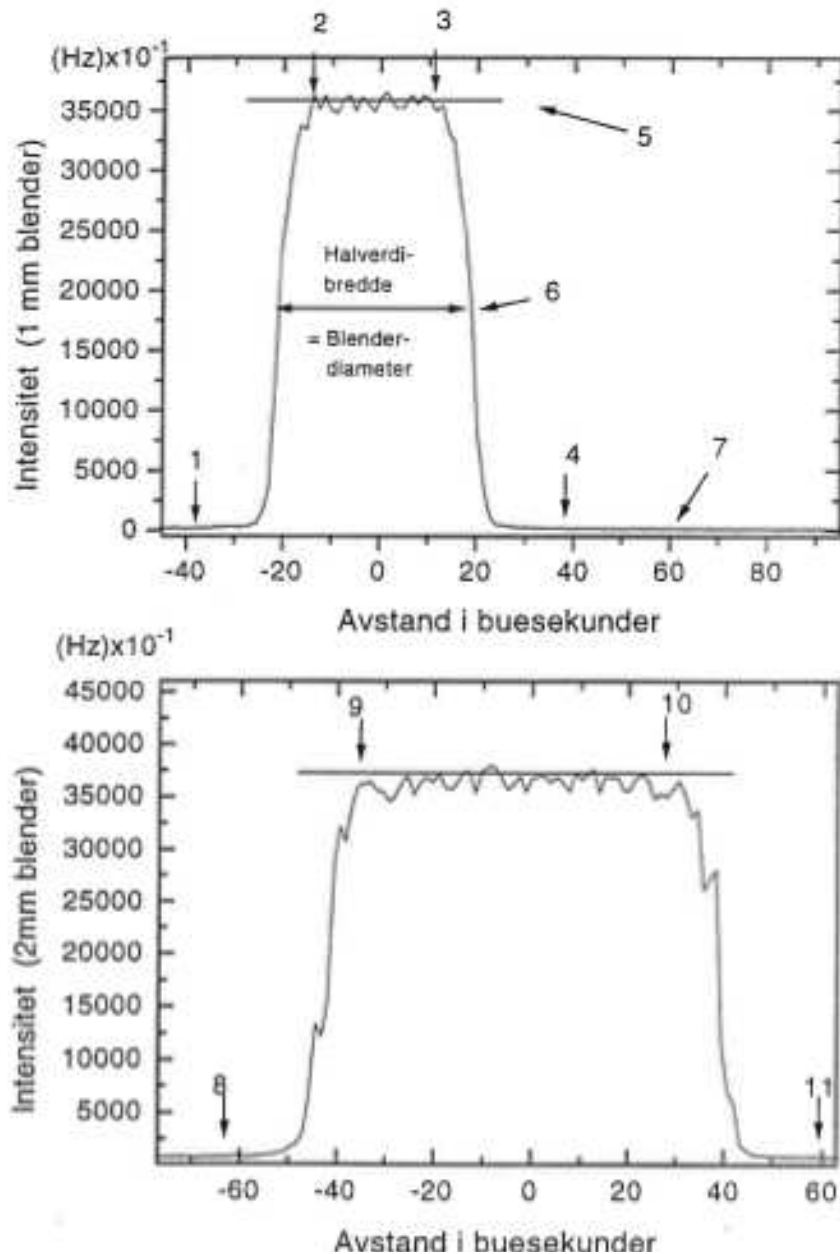


Figur 10.10. Pannekakefotometeret etter ombygging i Vilnius september 1995. (Thomassen Fig. 4.6.)

Før observasjonene startet og gjennom hele observasjonsperioden ble bidrag fra mulige feilkilder undersøkt nøye og korrigert for dersom det var mulig. Et eksempel er at de tre fotometerkanalene er utstyrt med Fabry-linser som fokuserer lys som kommer inn i blenden i et punkt på fotomultiplikatoren. Det ble brukt to blenderer på henholdsvis 10 og 20 mm diameter. Figur 10.11 viser lyskurver for stjerner som passerer gjennom sentrum av blenden og ut igjen.

Halverdibredden (6 – i figuren) er et mål for diameter av blenden. I tillegg ble blenderdiameteren målt ved mikroskop. Konklusjonen var at blenderdiameterene er så nær 10 og 20 millimeter som det går an å måle. Likevel ble det målt en forskjell mellom kanal 1 og 3 som ikke kunne forklares.

Datainnsamlingen ble gjort med programmet *Quilt9*, som er utviklet for kontinuerlig registrering av lyskurver av personer i WET konsortiet. For å spare tid ble ikke programmet stoppet eller startet mellom det forskjellige observasjonene som fulgte et bestemt mønster (syklus).



Figur 10.11. Drift av stjerner gjennom blendere med diameter 10 og 20 mm (Thomassen Figur 6.26)

10.4.3 Observasjonsprogram

δ -Scuti variable er hovedseriestjerner av spektraltype A og F. De er plassert i den klassiske ustabilitetsområdet og har perioder på mellom 0.02 og 0.25 døgn. Den typiske δ -Scuti variable pulserer med mange perioder med lav amplitude (sub milli-magnitudo). Dette krever lange observasjonsperioder og nøyaktige observasjoner. De demonstrerer variasjon i amplitude og fase. Årsak til disse variasjonene er ukjent og gjenstand for teoretiske studier. En egenskap ved pulsasjonene er at de består av rene sinus-funksjoner som kan adderes lineært.

Mitt prosjekt var å følge en observasjonsmetode fastsatt for δ -Scuti observasjoner av professor Breger ved Observatoriet i Wien som leder DSN (Delta Scuti Nettverket). Stjerner som skulle observeres var 4CVn (V1) og HD 10800 (V2) med V-magnituder 6.1 og 7.1. De skulle observeres i sekvens med to sammenligningsstjerner C1 og C2 i nærheten. Prosedyren var å observere i

rekkefølge C1-V1-C2-C1-V1-C2-V2-.... som ble gjentatt så lenge som mulig. Det ble gjort 5 observasjoner av hvert objekt og to observasjoner av bakgrunn i alle kanalene mellom hver observasjon. Integrasjonstiden for hver måling var 10s. V1 ble observert dobbelt så ofte som V2 fordi dette objektet hadde langt flere perioder. Kanal 2 ble brukt til guiding. Stjerna kunne derved holdes sentralt i kanal 1 uten å stoppe målingene.

Med temperatur på mellom -15 og -20°C i observasjonsperioden var observasjonsmetoden en krevende operasjon. Teleskopet måtte kjøres manuelt mellom stjernene. At stjernene var sentrert måtte kontrolleres, og det måtte følges med på skjermen for å se at nok observasjoner var gjort. På grunn av kulde og ensformighet ble jeg trøtt og ukonsentrert. For å holde meg våken skrev jeg observasjonssyklusen på et skjema og haket av linje for linje for hvert trinn som ble utført. En syklus kunne i beste fall gjennomføres på 15 min. Den lengste måleserien ble på over 7 timer.

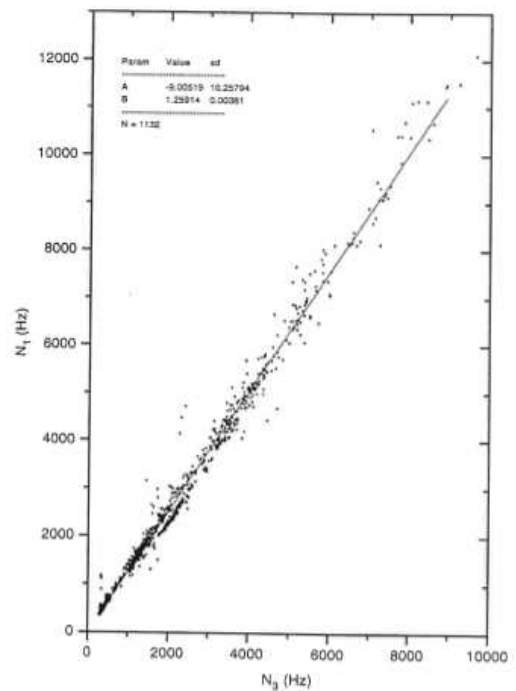
Ledig tid før eller etter stjernene var i posisjon til å bli observert ble brukt til å bestemme ekstinksjonskoeffisienter i UBV-systemet og lengre serier bakgrunnsmålinger.

10.4.4 Resultater

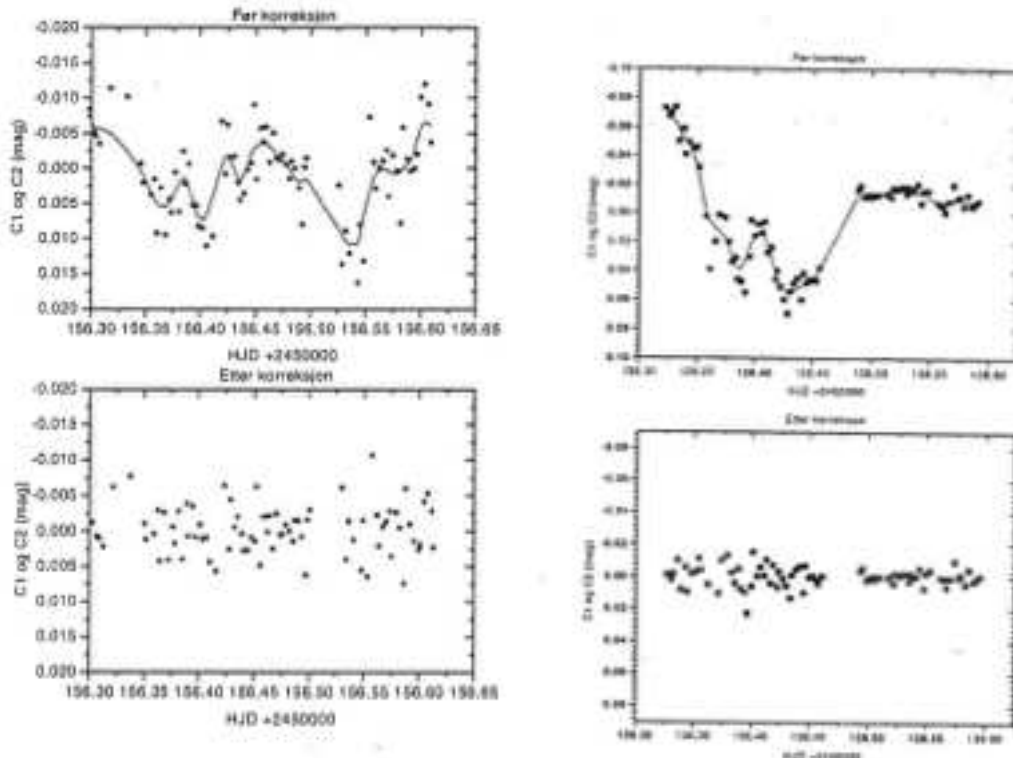
Første trinn var å sammenligne bakgrunn i kanal 3 med de andre kanalene, for å se om den kunne brukes til å trekke fra bakgrunn. Figur 10.12 viser en graf med sammenheng mellom tellinger i kanal 3 og kanal 1. Vi fikk ett forholdstall på 1.26. Forholdet mellom 2 mm i kanal 1 og 1 mm i kanal 3 ble 5.78.

Den vanlige observasjonsprosedyre er å måle bakgrunn før og etter stjerneobservasjonene og regne med at den endrer seg jevnt mellom observasjonene. I Skibotn med varierende nordlys brukte vi de samtidige målingene i kanal 3 til å korrigere for bakgrunn. Dette ga vesentlig bedre resultat.

For at den korrigerte lyskurven skal bli akseptert og inkludert i måleserien som settes sammen i hovedkvarteret i Wien må variasjonene i observasjon av sammenligningsstjernene C1 og C2 være mindre enn 0.005 magnituder (1 sigma). Figur 10.13 viser to eksempler på variasjon i C1 og C2 hvor en glatt kurve kunne tilpasses og trekkes fra. Dette resulterte i en variasjon på mindre enn 10 millimagnituder.



Figur 10.12 Alle bakgrunnsmålingene som er foretatt med 1 mm blender i kanal 3 og kanal 1. Vi ser at forholdet er 1.256 ± 0.004 (Thomassen figur 6.11)



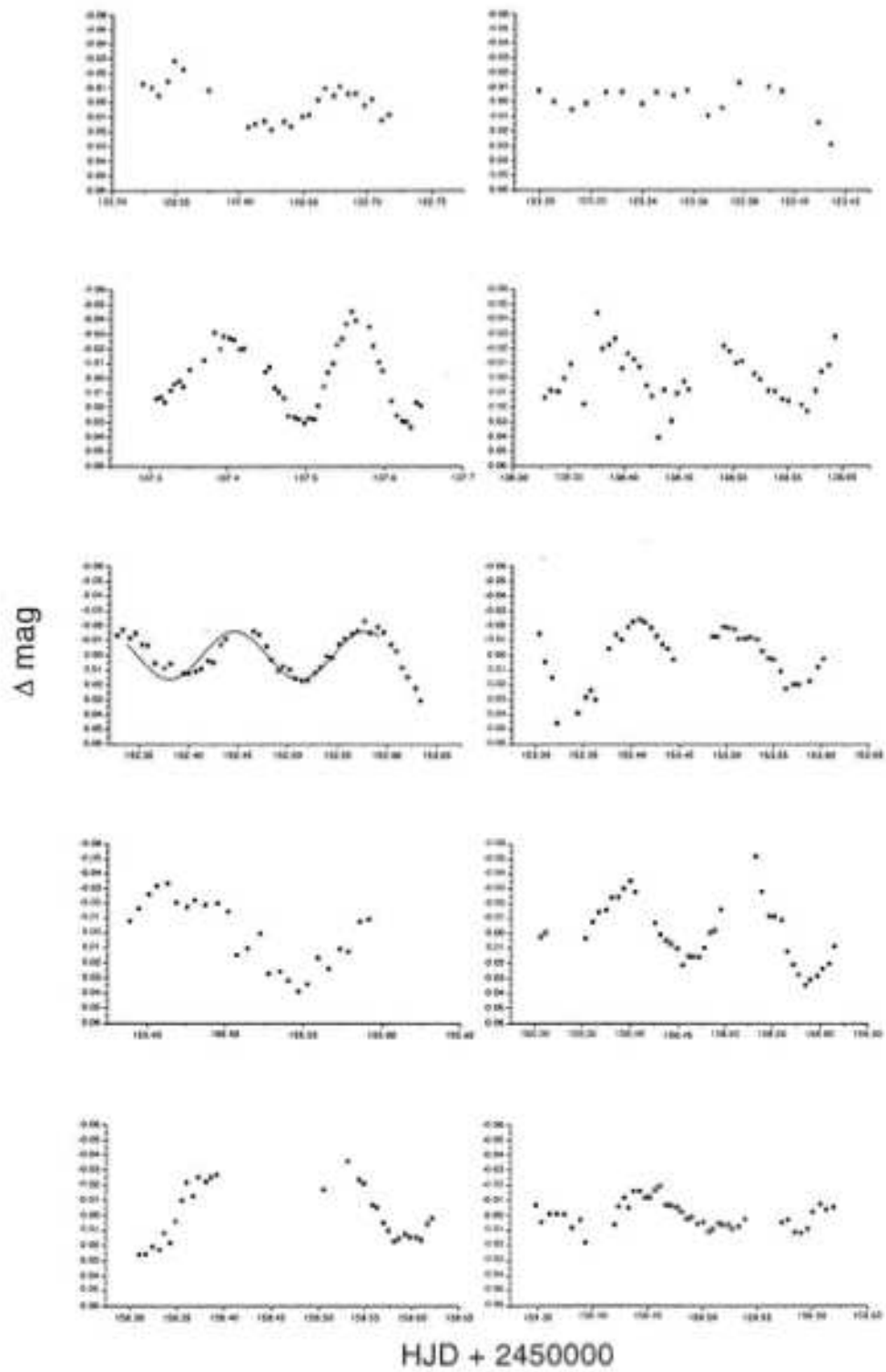
Figur 10.13. Eksempler på tilpasning av variasjoner i C1 og C2 ved en glatt kurve og resultatet når denne er trukket fra (Thomassen figur 6.28 og 6.29).

Det ble foretatt observasjoner i 10 netter i perioden 8/2 -17/3. Tabellen nedenfor viser kvaliteten på målingene etter de utførte korreksjoner. Vi ser at de to beste netter har en sigma for C1-C2 på 0.0027 og 0.0028 og at 6 netter ligger under kravet til DSN på under 0.005 magnituder. Tre av seriene ble brukt i DSN analysen. De øvrige ble forkastet av andre grunner. Muligens var de for korte. Resultatene som ble publisert (Breger 1999) viste at 4 CVn viste at stjerna hadde mer en 30 perioder.

Tabell som viser kvaliteten på observasjoner i Skibotn i DSN kampanjen i 1996.

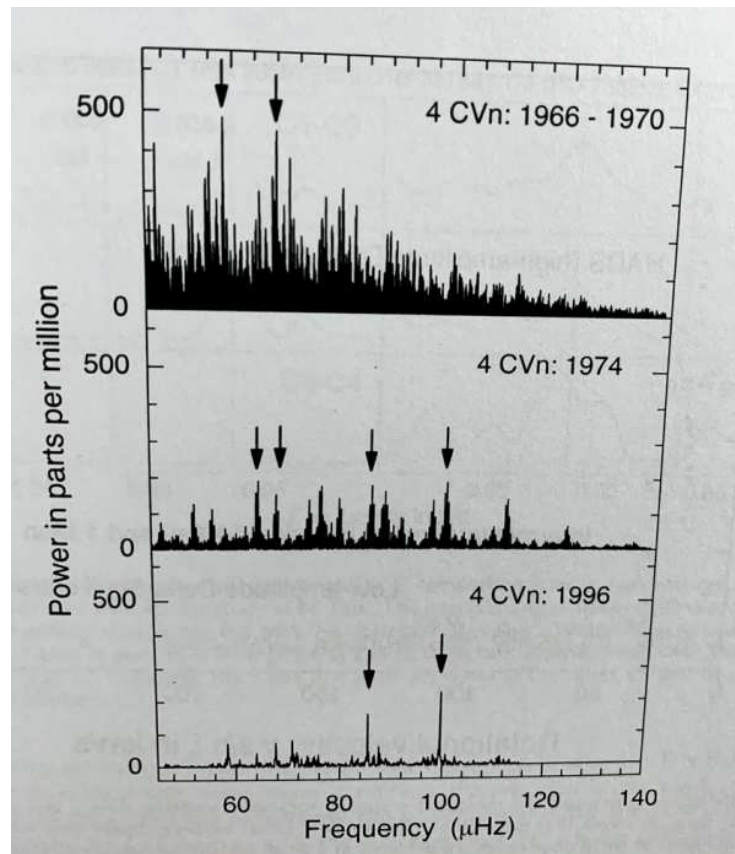
Obs. natt	$\sigma_{(C1 \text{ og } C2)}$	$\sigma_{(C1-C2)}$	n
8-9/2	0.0032	0.0042	53
9-10/2	0.0045	0.0068	35
23-24/2	0.0032	0.0045	98
24-25/2	0.0062	0.0087	76
9-10/3	0.0019	0.0028	90
10-11/3	0.0034	0.0027	82
12-13/3	0.0045	0.0067	52
13-14/3	0.0035	0.0052	80
15-16/3	0.0024	0.0028	55
16-17/3	0.0027	0.0040	91

Figur 10.15 viser alle observasjonene av 4 CVn gjort i Skibotn under DSN kampanjen i 1996. Skalaen på y-aksen som viser magnitudewariasjoner er lik for alle nettene, mens x-aksen som viser juliansk dag, varierer noe. Vi ser at alle kurvene viser langsomme sinus-variasjoner. En tilsvarende kurve ble produsert for den andre δ -Scuti stjerna (HD 108100) i kampanjen.



Figur 10.14. Lyskurver til δ -Scuti variabel 4 CVn observert i Skibotn under DSN kampanjen i 1996.
(Thomassen figur 6.33)

Resultatet fra DSN kampanjen ble publisert i 1999 (Breger m. fl.). 4CVn er en høyst variabel stjerne. I *Vienna Workshop on the future of Astroseismology* i 2006 trekker Mike Breger fram 4CVn som et eksempel på en δ -Scuti stjerne som viser store variasjoner, og hvor 1996 kampanjen med mer enn 30 perioder viser et interessant tidsserierspektrum (Figur 10.16). Det hører til historien at det ble gjort DSN kampanje for 4 CVn både i 1997 og 2005. Muligens også senere. Det er en spennende stjerne å få observere og analysere.



Figur 10.15. Tidsserierspektra av 4 CVn fra forskjellige DSN kampanjer. Alle pulsasjonsmoder er tilstede hele tiden men med varierende amplituder – noe som er et mysterium (Breger 2006)

10.4.5 Konklusjon

Den store variabiliteten som korreksjonen for bakgrunnsmålingene viste i kapittel 6.6 i oppgaven skyldes nok at kanalene er plassert for langt unna hverandre, og vil derfor måle forskjellige lysintensiteter når nordlyset opptrer med markert struktur. Vi fikk også oppleve at det er vanskelig å korrigere for sterke nordlysutbrudd, særlig med 2 mm blender i kanal 1. Jevne buer som ikke beveger seg med stor hastighet er det mulig å få en akseptabel korreksjon for. På bakgrunn av feil i b_1 , b_2 ¹ og fotonstøy fra bakgrunn og stjerne, kom vi fram til en sammenheng (med bedre enn 1% nøyaktighet) mellom V-magnitudo til stjerne som kan observeres og bakgrunnstillinger for ett sekund integrasjonstid, og telleraten i kanal 3.

Det er mest sannsynlig en forskjell i følsomheten til fotokatodene som er årsak til at vi har faktorene b_1 og b_2 mellom tellingene fra kanalene. Det er det samme optiske system i begge kanaler, så det taler for denne teorien. Det hadde vært en fordel å ha en regulerbar blender også i

¹ b_1 og b_2 er forholdet mellom tellinger i kanal 3 og kanal 1 eller 2

kanal 3 for dermed å unngå den store differansen mellom kanalene. Presisjonen ville ha blitt bedre med 2 mm blender i begge kanalene. Dette er blitt gjort etter observasjonssesongen 1996, og kan testes ut i fremtiden.

Det mest ugunstige filteret en kan observere med under nordlysaktivitet er V- filteret som vi har brukt i våre målinger. Dette fordi sterkt nordlys dominerer i dette området. For å bestemme hvilke filter som skulle ha vært bukt eller brukes neste gang, gir Myrabø (side 71 i oppgaven) 8 områder med bredde mer enn 100 Å hvor emisjonene er betydelig mindre enn i andre områder. Det viser seg at Crawford (u, b, v. y. H3) fotometriske system med b og H3 filtrene egner seg best. b-filteret har sentralbølglengde rundt 4700 Å med båndbredde rundt 300 Å. Det finnes bare relativt svake emisjoner i dette båndet. Det samme gjelder for H β som har sentralbølglengde rundt 4850 Å med båndbredde under 200 Å. Det verste stedet å måle er ved den grønne linje som ligger på 5577 Å. Her er både V- filteret (som vi har brukt) og y-filteret dårlig, fordi disse fanger opp den største nordlysemisjonen. V-filteret er sannsynligvis verst på grunn av båndbredden. En burde satse på å korrigere for nordlysvariasjoner med b-filteret i fremtiden.

Vi har sett at det er mulig å gjøre differensiell fotometri av δ -Scuti stjerner med rimelig god presisjon. Den høyeste presisjonen som ble oppnådd i C1- C2 var 28 mmag. Sammenligningen av den beste natten fra Skibotn med en god natt fra FG Vir kampanjen (året før) viser at muligheten er til stede for å oppnå gode resultater. En bekreftelse på dette fikk vi da to av observasjonsnettene kunne brukes i kampanjen (Breger et al. 1999). Altså ble 2 av 10 netter gode nok. Med litt mer klarvær ville nok tallet på gode netter ha steget, fordi de nettene som ikke ble godkjent som gode nok ikke var langt bak i presisjon av (C1 - C2). Årsaken til den relativt store variasjonen av C1 - C2 er ikke kjent. En feilaktig middelverdi på grunn av få punkter pr. natt kan være en årsak Vi klarte kun å detektere en periode av frekvensspektrumet. cosinus-funksjonen fra denne frekvensen ble også forsøkt plottet over en av måleseriene. Det beste ville ha vært å få den komplette funksjonen bestemt fra hele materialet analysert i Wien. På grunn av sen publikasjon av resultatene får vi ikke tatt den med i denne oppgaven. Men det er tydelig av formen på lyskurven til 4 CVn at der er flere frekvenser til stede.

Skibotn burde absolutt brukes mer i DSN kampanjer. Stjernene som observeres er så sterke at signal til støy forholdet gjør det mulig selv med ikke fullgod korreksjon av nordlyset å oppnå rimelig god presisjon. Den svakeste stjerna HD108100 må sees på som et unntak, på grunn av den relativt store spredningen av punktene til lyskurven. En burde absolutt ha hatt kjennskap til de bestemte frekvenser for denne stjerna for å undersøke om de passer. Dette vil bli forsøkt gjort når publikasjonen er klar.

Myrabø klarte å korrigere nordlysvariasjoner med sin chopping teknikk helt ned til 0.5% og bedre i forhold til bakgrunnsintensiteten. Dette er et bedre resultat enn hva vi klarte for korreksjonene. Hovedårsaken til hans gode resultat er at blenderåpningene ligger svært nærme hverandre. Det fører til at nordlys med forholdsvis markert struktur lettere kan korrigeres for. Nå hadde Myrabø en usikkerhet på 0.01 mag ved papiravlesningen. Et choppingfotometer med dagens teknologi ville gitt en bedre presisjon enn hva Myrabø oppnådde. Dette er meget spennende og burde absolutt prøves ut i fremtiden.

Rødlekkasje i filter/fotokatode systemet som fører til den relativt store avhengigheten av fargen til stjernene ved bestemmelse av ekstinksjonskoeffisientene er et mysterium. Det burde gjøres flere ekstinksjonsmålinger for å verifisere den påståtte rødlekkasjen. Den mest sannsynlige årsaken er at fotomultiplikatoren er følsom for bølglengder over 6000 Å.

Den nye versjonen av pannekakefotometeret som konstrueres i Vilnius har kanal 1 og 3 liggende helt inntil hverandre, slik at avstanden er minimal. Dette fotometeret kunne vært prøvd i Skibotn for å undersøke om nærmere liggende kanaler fører til bedre korreksjon av nordlysvariasjoner.

Det er også et spennende prosjekt i gang med konstruksjon av et CCD kamera for fotometri av variable stjerner. En slik måleteknikk ville muligens kunne korrigere meget godt for bakgrunnsvariasjoner forårsaket av nordlyset i Skibotn. Ved differensiell fotometri sparer man tid på måling av bakgrunnen i forhold til ved bruk av en-kanals klassisk fotometer. Følsomheten til en CCD-brikke er større enn fotokatoden i fotomultiplikatoren som vi bruker. Det fører til at en også sparer tid med hensyn til integrering. En vil dermed kunne bevege seg hurtigere mellom stjernene og oppnå bedre tidsoppløsning ved differensiell fotometri.

10.5 Internasjonalisering



Figur 10.16 Deltakere i EUROWET workshop ved Skibotn Feltstasjon 1996 på utflukt til fossen i Skibotnelva. Stående fra venstre: Ukjent (Au), Detlev Koester (Ty), Gerard Vauclair (Fr), Michel Breger (Au), Stazek Zola (Pl), Michel Chevreton (Fr), Per-Ivar Emanuelsen (No), Wojciech Dzimowski (Pl), Tommy Thomassen (No), Gerald Handler (Au). Sittende foran: Romuldas Kalytis (Lit) og Wolfgang Zima (Au). (Martin Barstow (Eng) var ikke med på turen)

På 90-tallet ble det flere besøk av Litauiske instrumentkyndige i Skibotn og vi fikk midler fra NATO og EU til å utvide kontaktene. Skibotn ble etter hvert hovedkvarter for den europeiske delen av WET, som vi kalte EUROWET.

Bildet overfor viser noen av deltakerne i en EUROWET workshop som ble holdt på feltstasjonen i 1996. Der var det deltakere fra Frankrike, England, Østerrike, Tyskland, Polen, Litauen og Norge.

En av studentene fra observatoriet i Wien som deltok i EUROWET workshop i Skibotn i 1996, Wolfgang Zima (figur 10.17) ble så begeistret for observatoriet i Skibotn at han tilbrakte en lengre periode der mens han lagde programvare for å analysere lyskurver for raskt variable stjerner. Programmet ble kalt Period98 (Sperl 98). en oppdatert versjon fikk navnet Period04 (Lenz og Breger 2005) og har vært et sentralt verktøy for analyse av lyskurver, spesielt for WET.

Siden WET hovedsakelig observerte hvite dvergstjerner, ble vi også deltakere i regelmessige White-Dwarf workshops, og arrangerte vår egen White-Dwarf workshop i Tromsø i 1996 med 90 deltakere (Solheim og Meistas 1997).

10.5.1 Instrumentproduksjon i Vilnius



Figur 10.17. Fotometerproduksjon i Vilnius – til lokalt bruk og EUROWET. Til venstre midt i bildet ser vi Pannekake-fotometeret.

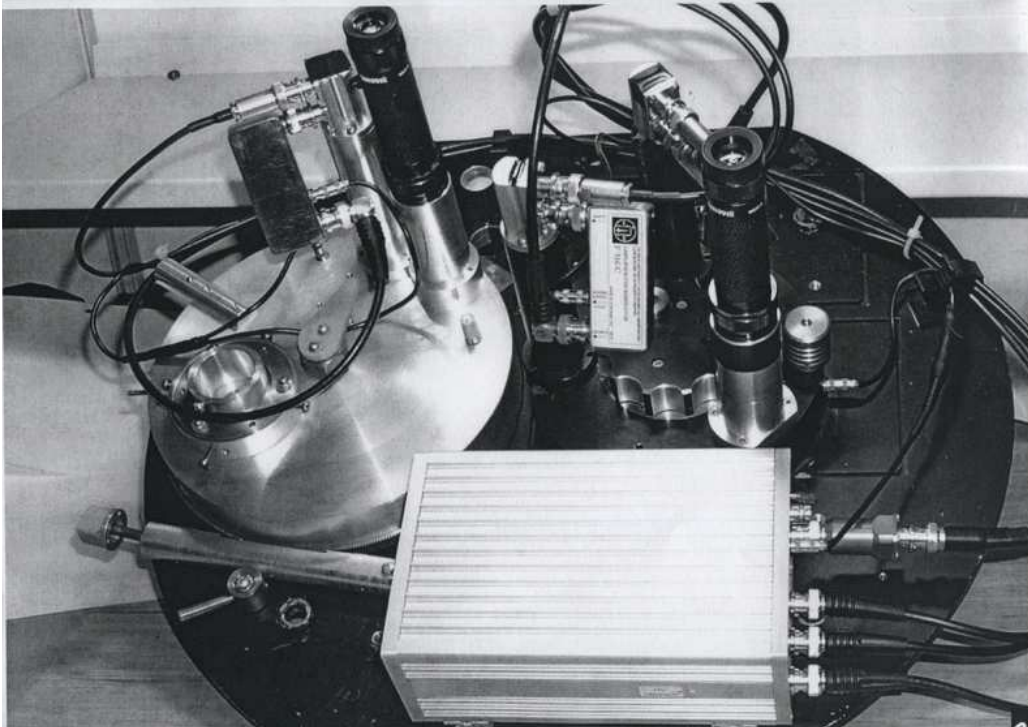
Ved det astronomiske observatoriet i Vilnius var det opparbeidet en stor kompetanse innen instrumentering for fotometri. Der ble det startet et firma for produksjon av fotometre til EUROWET, basert på design utviklet i Skibotn. Figur 10.18 viser vårt Pannekake-fotometer og andre fotometre bygget i Vilnius.

10.5.2 Forskerskoler i Skibotn

Vi arrangerte også sommerskoler (forskerskoler) for doktorgradsstudenter på feltstasjonen i Skibotn. I en serie med Nordiske systematiske forskerkurs holdt vi to forskerkurs på stasjonen. Temaet var *Metoder og teknikker i Astrofysisk romforskning*. Dette ble valgt for å få større bredde i vår kompetanse og for å kunne bruke de mange romobservatorier vi etter hvert fikk adgang til som supplement til vår egen undervisning og forskning. Det første forskerkurset ble holdt i juni 1990.

Våren 1995 ble telefonen i Skibotn endelig automatisert. I juni samme år holdt vårt andre forskerkurs og fikk vi lagt inn en spesiell ISDN-linje for datakommunikasjon. Vi tok med 10 nye arbeidsstasjoner (X-terminaler) fra instituttet i Tromsø. Dette ga kontakt med arkivene i mange av verdens romsentra, og førte til meget spennende og avanserte studentoppgaver. Det var en milepel for feltstasjonen i Skibotn. På dette kurset hadde vi også med baltiske og russiske studenter.

Serien med forskerkurs for Nordiske og Baltiske studenter ble fortsatt ved Observatoriet i Moletai i Litauen. Der kunne vi gjøre observasjoner med to teleskop og i tillegg ha fjernobservasjoner med NOT. Jeg ledet 4 slike kurs i tiden 1999-2008.



Figur 10.18, Pannekakefotometeret slik det ser ut nå (2024) etter diverse modifikasjoner.

Foto: Edmund Meistas

10.6 Observatoriets bygninger

Skibotn Observatorium er en del av Universitetets feltstasjon i Skibotn. Det var felles vaktmestertjeneste og rengjøring av bygningene. Teknisk avdeling ved Universitetet førte tilsyn



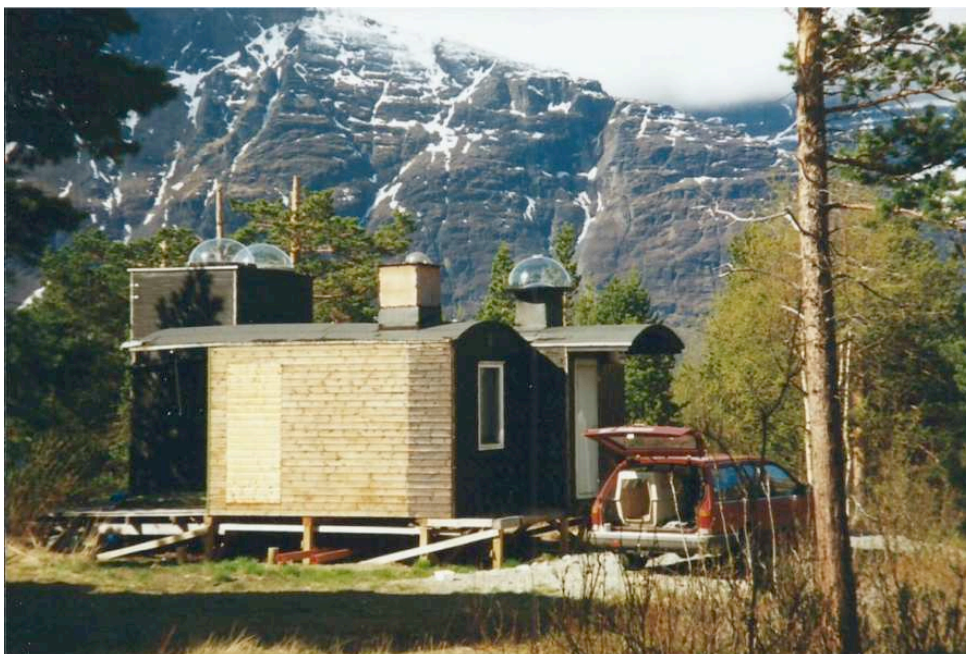
Figur 10.19. Ove Harang og Edmund Meistas på inngangspartiet til Nordlys-observatoriet 1991

med observatoriebygget. Som fortalt i kapittel 2 fikk Ove Harang flyttet sitt Nordlysobservatorium fra Olderbakken til en plass ved siden av observatoriet straks observatoriebygget var ferdig, og fikk i tillegg anskaffet 5 brakker etter kraftutbyggingen i Skibotnelva. Dessverre vardet nokså dårlig grunn der brakkene var plassert, og det var ikke tilgang på vann eller avløp. Omkring 1995 ble de derfor flyttet og koblet sammen med observatoriebygget som

vist i bildene nedenfor



Figur 10.21 Nordlysbrakkene flyttet koblet til Observatoriebygget i 1995. Det ble innredet et stort oppholdsrom, 6 soverom og en observasjonsbrakke med All Sky kamera i enden.



Figur 10.21. Nordlysobservatoriet ble ombygget med inngang fra den andre siden der det var tørrere. De ble nå observasjonsbygg, mens brakkene ved Observatoriet ble brukt til opphold og kontor.

Flytting av nordlysbrakkene og sammenkoplingen med observatoriebygget ble administrert av Ove Harang og utført av vaktmester på feltstasjonen Hermod Lambela. I tillegg til Ove Harang

var det også besøkende grupper og personer som utplasserte sine instrumenter i eller ved Nordlysobservatoriet og det ble inngått avtaler om tilsyn av disse. Ove Harang ble førtidspensjonert og flyttet til Frankrike 1997. Besøkende grupper og instrumenter ble administrert av Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO).

Referanser

T. Thomassen hovedfagsoppgave 1996, *Presisjonsfotometri ved Skibotn Observatorium*.
· <https://hdl.handle.net/10037/35119>

M. Breger og Lenz 2005, *Period04 User Guide*, Communications in Asteroseismology, Vol 144, s. 53-136

M. Breger, Handler, G, Garrido, R., Audard, N., Zima, W, Páparó, M., Beichbuchner, F., Li, Zhi-Ping, Jiang, Shi-Yang, Liu, Zong-Li, Zhou, Ai-Ying, Pikall, H., Stankov, A., Guzik, J. A., Sperl, M., Krzesinski, J., Ogloza, W. Pajdosz, G., Zola, S., Thomassen, T, Solheim, J. -E., Serkowitsch, E., Reegen, P., Rumpf, T, Schmalwieser, A., Montgomery, M. H, 1999, *30+ frequencies for the delta Scuti variable 4 Canum Venaticorum: results of the 1996 multisite campaign*, Astrophysical Journal, Vol. 495, s.458-467

M. Breger 2007, *Delta Scuti Stars: Observational Aspects*, i Vienna Workshop on the Future of Asteroseismology, Communications in Asteroseismology, Vol 150, s, 25-31

R. Kalytis og E. G. Meistas 1995, *Photometric equipment for WET*, Baltic Astronomy, Vol 4, s. 407-509

E. Meistas 1993, *Improvements of the Pancake travelling photometer*, Baltic Astronomy, Vol 2, s. 498-500

E. Meistas 2000, *One more modernization of the Pancake photometer*, Baltic Astronomy, Vol 9, s. 447-449

M. Sperl, 1998, Communications in Asteroseismology, Vol 111, s. 1-



Figur 10.22. Jan-Erik Solheim og Edmund Meistas – still going strong, Vilnius September 2024.

Vedlegg: Astrofoto med Skibotnteleskopet (TRAF – kap 12)



Figur 10.23. Sigargalaksen M82. Lysstyrke 8,4. Foto Ketil Vegum og Børge Irgens med ZWO CCD ASI183MM Pro og bruk av LRGB-filer for sammensetning av farger

11. Ny måleteknikk og avslutning

Jan-Erik Solheim

En ny måleteknikk ble tatt i bruk ved Skibotn Observatorium på slutten av 1990-tallet: CCD-fotometri. Et avansert instrument ble konstruert med hjelp fra Københavns Observatorium, og en ny grense for presisjonsfotometri under nordlysforhold ble nådd. Men selv med stor studenttilstrømming, adgang til Nordisk Optisk Teleskop og deltakelse i to verdensomspennende observasjonsnettverk: Whole Earth Telescope (WET) og δ -Scuti Network (DSN), ble virksomheten ansett for beskjeden i forhold til målsettingen om store forskergrupper som kunne konkurrere internasjonalt, og foreslått nedlagt i en utredning om faget fysikk ved universitetene i Norge som kom i 2000. Det ble derfor inntaksstopp for opptak av nye hovedfagsstudenter og doktorgradskandidater. Den siste hovedoppgaven hadde som tema elektronisk oppgradering og dokumentasjon av teleskopet. Da den var godkjent og den siste doktorgradskandidaten disputerte i 2003 var det slutten for Astrofysikkgruppa ved Universitet i Tromsø.

11.1. Innledning

Tilstrømmingen av hovedfagsstudenter fortsatte i siste halvdel av 1990-tallet: Ramin Aminzadeh 1996-98, Dima Semionoff 1996-98, Robert Kamben 1999-2000 og Frank Johannessen 2000-2003 ble de siste hovedfagstudentene.

To av studentene gjennomførte hovedfagsoppgaver knyttet til teleskopet og de instrumenter vi utviklet: Robert Kamben og Frank Johannessen. Deres prosjekter er beskrevet i de følgende avsnitt. De øvrige studentene gjorde kun sporadisk bruk av teleskopet i forbindelse med instrumentkurs (Fys 241) og demonstrasjoner for besøkende.

Da Christophe Massacand forlot oss i 1997 ble jeg alene som veileder, men lot meg allikevel overtale til å ta imot doktorgradsstudenter. Det ble tre stykker: Roy Østensen 1996-2000, Mosab R. Nasser 1998-2001, Jose Gonzalez Perez 1998-2004, samt Erika Pakstiene i 2000 som fullførte i Vilnius. Roy og Jose ble svært viktige medhjelpere i utvikling av instrumenter og gjennomføring av undervisning. Ingen av dem fikk doktorgradsstipend, slik som det er vanlig nå. Roys doktorgradsoppgave var konstruksjon og utprøving av et CCD-fotometer (TCP) som først ble brukt på NOT, deretter på Skibotn-teleskopet hvor Robert Kamben gjennomførte en hovedoppgave med tittel «Stellar CCD Photometry in the Auroral Zone».

På en forskningstermin 1981/82 ved Astronomy Department, University of Texas (Austin) ble jeg introdusert til et objekt AM CVn. Det var en variabel, blå stjerne, med en periode på 17.5 min og $V=14.02$ som jeg observerte ved McDonald observatoriet i Texas. Ragnar Kalleberg og jeg prøvde også å observere det med det svenske 60 cm teleskopet på La Palma i januar 1983, med ganske dårlig resultat. Vi brukte et eksisterende fotometer, som i all hast ble omprogrammert av Ragnar til å gjøre hurtig-fotometri. Gjennom hele 1980 og 90-tallet arbeidet vi med dette objektet, både teoretisk og observasjonelt. Det ble også gjennomført en WET kampanje i 1990 som jeg ledet. Vi fant ut at det er et tett dobbeltstjernesystem med to hvite dvergstjerner med omløpstid 17.1 min. Masse blir trukket fra den letteste til den tyngste stjerna. Vi analyserte spektra tatt med romteleskopene International Ultraviolet Explorer (IUE) og Hubble Space Telescope (HST) og hadde flere hovedoppgaver (Bard 1995, Nymark 1996, Semionoff 1998) og en doktorgradsoppgave (Nasser 2001) for analyse av akreasjonsskiven som dannet seg rundt den tyngste stjerna. Til slutt greidde vi også å observere den ved Skibotn observatoriet med et egenutviklet CCD-kamera (Robert Kamben 2000 se figur 11.8 og 11.14–16).

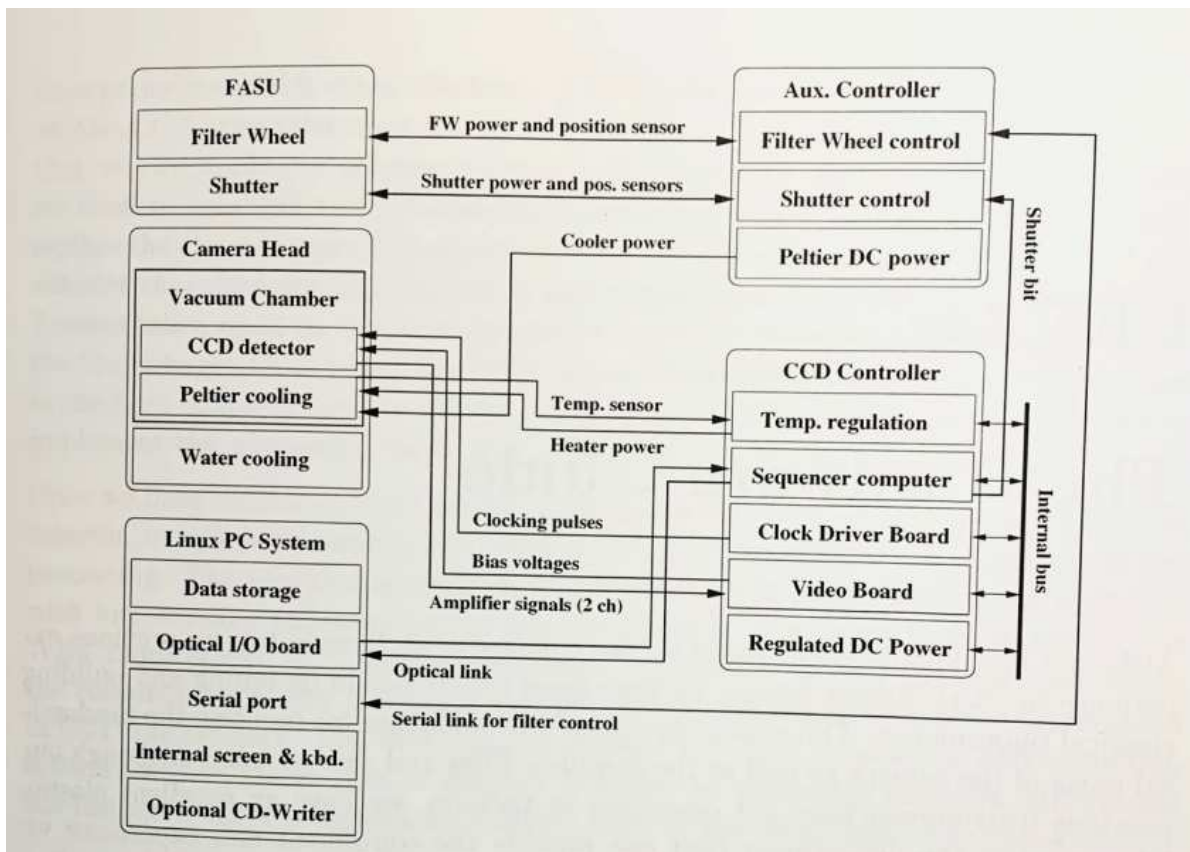
Som følge av problemene med å gjøre fotometri under nordlysutbrudd og kravet om hurtig fotometri for WET-kampanjer, fikk Roy Østensen gitt et doktorgradsprosjekt for å konstruere, dokumentere, og prøve ut et CCD-fotometer til bruk i WET-kampanjer på NOT og under nordlysforhold i Skibotn. Robert Kamben fikk som hovedoppgave å teste CCD-fotometeret i Skibotn og utarbeide prosedyrer for

korreksjon av variabel bakgrunnsbelysning pga. nordlys. I det følgende kommer en kort beskrivelse av CCD-fotometeret fra Roys doktorgradsoppgave, deretter Roberts observasjoner av blant annet AM CVn under nordlyset i Skibotn. Kapitlet avsluttes med en presentasjon av oppgaven til Frank Johannessen som oppgraderte og dokumenterte styringssystemet til teleskopet.

11.2 Tromsø CCD Fotometer (TCP)

Fra doktoravhandlingen til Roy Østensen

Vi har i kapittel 8.5 skrevet om arbeidet med å bygge en forskningsspektrograf for Skibotnteleskopet. Dette endte med at midler ble overført til NOT som anskaffet ALFOSC (Faint Object Spectrograph and Camera). Dette er et svært følsomt instrument som også kunne ta bilder. På grunn av langsom utlesning av et bilde egnet ikke dette instrumentet seg for hurtigfotometri, slik som vi vil ha under WET kampanjer og for leting etter kortperiodiske variable stjerner. Roy foreslo å programmere ALFOSC slik at kun små bilder omkring de stjernene vi ønsket å observere, ble lest ut, men fikk ikke adgang til å gjøre eksperimenter med ALFOSC da dette instrumentet var selve arbeidshesten på NOT. Vi bestemte derfor å bygge et eget CCD-kamera med samme kontroller, og programmere dette for rask utlesning av data. Vi ville også ha med i programpakken muligheten for on-line reduksjon og analyse av data mens observasjonene ble utført, slik som det gjøres i WET kampanjer. Dette er spesielt viktig ved leting etter nye hurtigvariable stjerner. Det ble et stort og komplisert prosjekt som Roy Østensen gjennomførte.



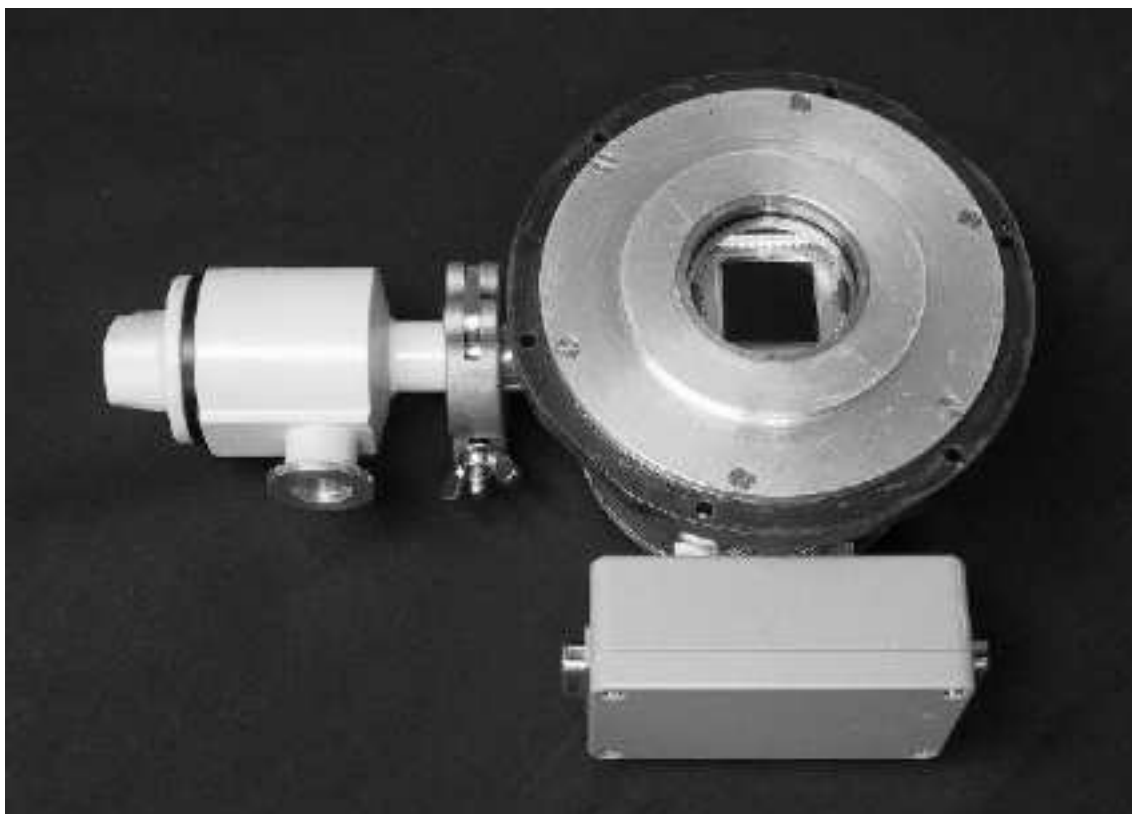
Figur 11.1. Hardware delen av CCD fotometeret består av en rekke komponenter som må koples sammen og kontrolleres. Det ble en kontrollboks for filter og lukker enhet (FASU) og en CCD-kontroller som styres av et Linux PC system (Figur 2.1 fra Østensen 2000)



Figur 11.2. TCP montert på teleskopet i Skibotn (til venstre). Vi ser også det nye autoguidesystemet beskrevet i avsnitt 8.3. Til høyre ser vi kontrollpulten med skjermer for bilde, dataanalyse og kontroll av FASU og guideteleskopet.

11.2.1 Hardware

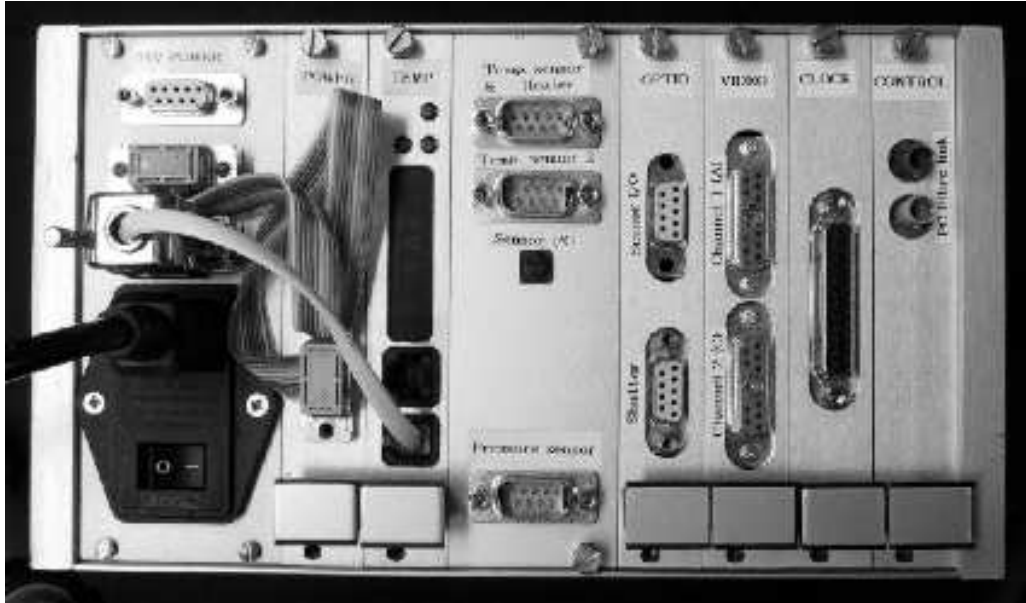
Hardware består av to deler: Et kamerahode med detektor og kjøleenheter og en filter og blenderenhet (FASU). Kamerahodet med FASU er avbildet nedenfor.



Figur 11.3. Kamerahodet. Vi ser CCD-chipen i åpningen. Filter og blender-kontroller (FASU) er montert i boksen under kamerahodet. (Foto: Roy Østensen)

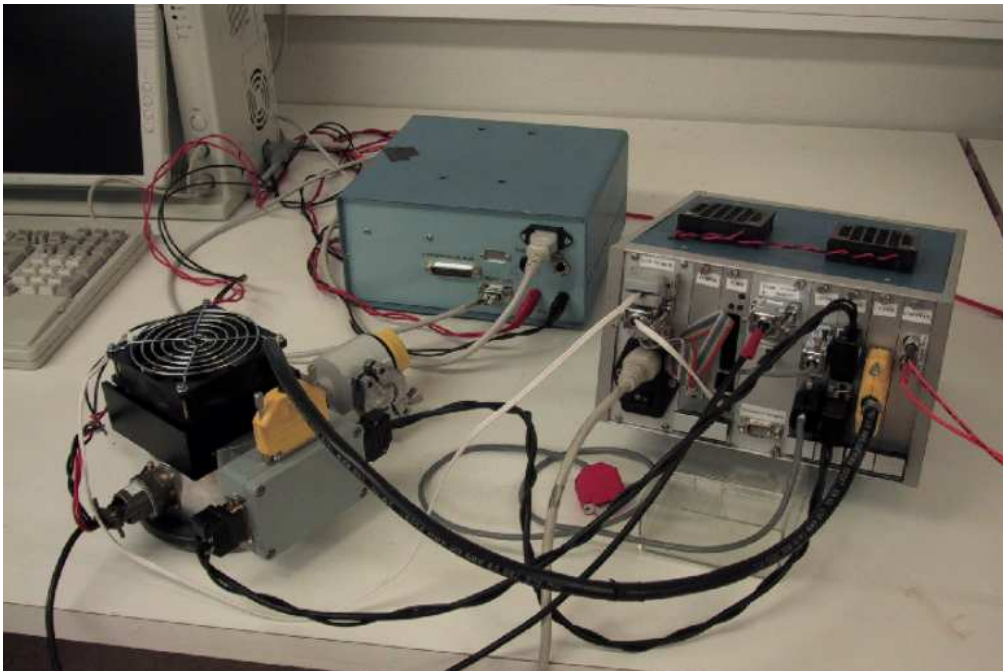
Kamerahode, filter og lukkerenhet (FASU) ble bygget ved verkstedet på Nordlysobservatoriet og hele systemet ble testet av Roy, Robert og Frank på Skibotn teleskopet vinteren 1999/2000. *First light* for TCP på Skibotn teleskopet var torsdag 8.12.1999. Etter å ha fikset noen små problemer var systemet klart for hurtigfotometri en uke senere. Robert Kamben observerte ut over vinteren og presenterte resultatet i sin hovedoppgave (Kamben 2000).

Den viktigste delen av instrumentet var anskaffelsen av en CCD-kontroller som var utviklet og bygget ved Københavns Observatorium i Brorfelde av Ralph Florentin-Nielsen og medarbeidere. Uheldigvis døde Florentin-Nielsen i 1995 og kontrolleren (figur 11.4) ble ikke levert til Tromsø før i mars 1999. I mellomtiden hadde Roy skrevet software-rutiner som ble testet sammen med kontrolleren på NOT i april 1999.



Figur 11.4. CCD kontrollen bygget ved Astronomiske Institutt København (Foto: Roy Østensen)

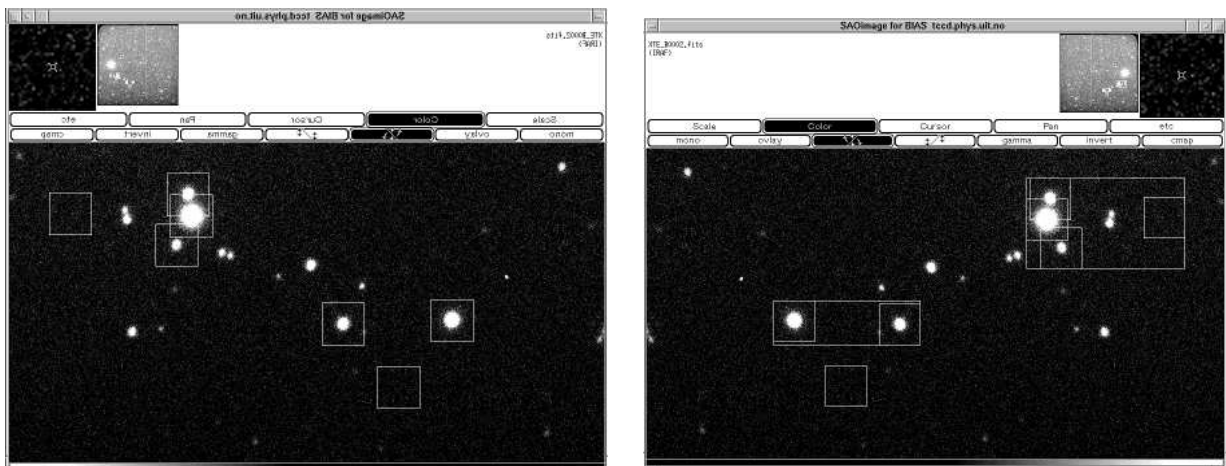
For å koble sammen FASU og CCD kontrolleren med kamerahodet trengtes en rekke kabler. Sammenkoplingen er vist i figuren nedenfor:



Figur 11.5. Kabler mellom de forskjellige enhetene: Kamerahode, FASU og CCD-kontroller (Foto R. Kamben Figur 3.6 i hans hovedfagsoppgave)

11.2.2 Programvare

En CCD-brikke er en meget følsom to-dimensjonal detektor. Den har høy linearitet og stort dynamisk område. Den egner seg meget bra for lange eksponeringer for å nå svake objekter. For å redusere støy må detektoren være kjølt ned helst til flytende nitrogen temperatur og utlesningen skje langsomt. For WET og kortperiodiske variable stjerner var korte eksponeringer hurtig utlesning prioritert. Det kunne derfor aksepteres høyere temperatur på detektoren. Vi brukte en Peltier kjøler som ga en kjøling på 50-70K fra ambient temperatur. For vinterbruk i Skibotn var dette OK, men for sommer og sørlige breddegrader var det i tillegg bygget inn mulighet for vannkjøling. Rask utlesning ble oppnådd ved kun å lese ut et vindu rundt hver stjerne. Vinduene kunne fritt velges på hele bildet, og ble lagret som en rekke små bilder etter utlesningen. Figuren nedenfor viser hvordan vinduer rundt stjerner velges og kan kombineres til et minste antall utlesninger.



Figur 11.6. Eksempel på valg av vinduer og utlesningsstrategi for TCP. På bildet til venstre er det merket 6 områder for utlesning. På bildet til høyre er disse redusert til tre. (Østensen 2000).

Roy utviklet et program *tcpcom* for å kommunisere med kamera, blender og lukker etc. Han lagde også program for å plukke ut områder på CCD-chipen som skulle leses ut (*phot*). Dette var basert på programmet *SAOimage*. Et eksempel er vist i figur 11.6. I den venstre delen av bildet er seks områder valgt for utlesning: objektstjerna, tre sammenligningsstjerner og to bakgrunnsområder uten stjerner. Siden noen av områdene er nær hverandre kan effektiviteten økes ved å lese ut kun 3 uavhengige områder som vist i det høyre i bildet.

Roy lagde også program for sanntidsfotometri (*rtp*). Det er et program som lar oss studere lyskurven, og trekke fra bakgrunn mens vi observerer. På denne måten kan støy og forstyrrelser fra skyer og nordlys kontrolleres. Han lagde også programvare for beregning av magnituder og Fourier-transform analyse av lyskurven for å kunne fylle WETs krav om samtidig kontroll av signal-støyforhold og periodiske variasjoner. Programvaren ble benyttet også på NOT og senere implementert på deres HigRes CCD kamera. Dette viste seg å være meget effektiv instrumentering for søk etter nye variable stjerner. En helt ny klasse variable stjerner (variable subdwarfs) ble oppdaget og beskrevet i Roys doktoravhandling. TCP ble brukt både på observatoriet i Litauen og på IAC80.

Da astrofysikkgruppa i Tromsø ble nedlagt ble TCP stasjonert på IAC80 der José González Pérez, også med doktorgrad fra Tromsø, ble ansatt som residerende astronom. Han skrev en brukerbeskrivelse på spansk. Det ble inngått en avtale med IAC i 2006 om at de skulle ha ansvaret for instrumentet i inntil 10 år, og eventuelt overta det hvis vi ikke krevde det tilbake. Det er nå overtatt av Astronomisk Institutt i Vilnius for bruk på Moletai Observatorium.

En komplett beskrivelse av TCP er gitt i Roy Østensen doktoravhandling (Østensen 2000).

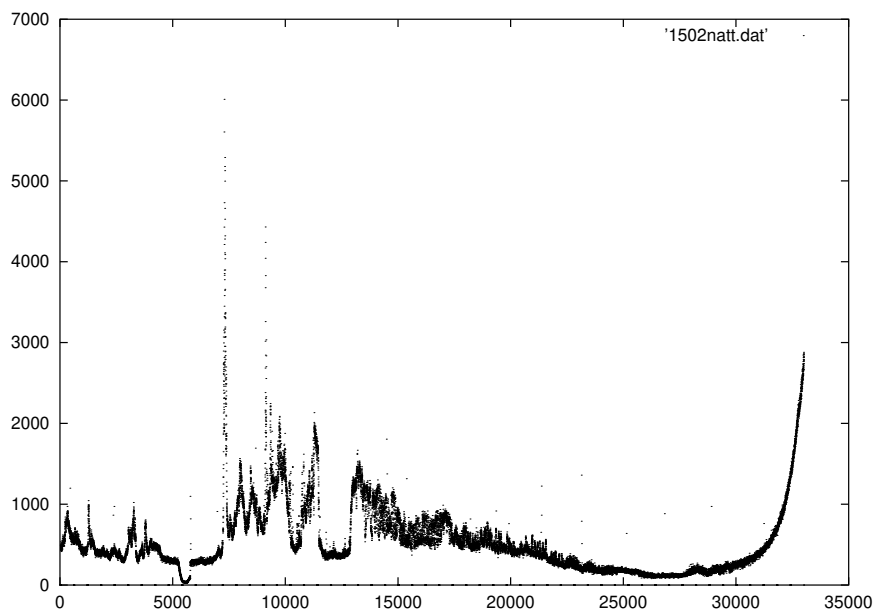
11.3 CCD fotometri i Nordlyssonen

Fra Robert Kambens hovedfagsoppgave

Det å observere pulserende stjerner i nordlyssonen ble lenge sett på som en umulig oppgave. Slike observasjoner krevde stabile forhold over lange perioder og det var vanskelig med den til tider høyst variable bakgrunn vi hadde i Skibotn på grunn av nordlyset. Et spesielt objekt som vi arbeidet mye med var AM CVn. Det består av to hvite dvergstjerner så nær hverandre at masse overføres fra den minste til den største via en akkreasjonsskive. I astrofysikkgruppa ble det gjennomført flere hovedoppgaver som analyserte fotometriske data og spektroskopiske data for dette objektet. Vi gjorde også teoretiske beregninger av spektret for akkreasjonsskiva. CCD fotometeret som Roy Østensen fikk bygget og utviklet programvare for, ble benyttet i en hovedoppgave av Robert Kamben 1999-2000 hvor han demonstrerte at med dette instrumentet kunne vi utføre presisjonsfotometri av pulserende stjerner ved Skibotn Observatorium. Etter 30 års forsøk var vi i mål.

11.3.1 Observasjoner med nordlysfotometer og TCP

Etter konstruksjon av instrument og programvare som del av Roy Østensens doktorgradsarbeide, fikk Robert oppgaven med å prøve instrumentet i Skibotn og finne ut hvordan man best kunne korrigere for nordlys. TCP ble montert første gang på teleskopet 8.12.1999. Noen problemer ble oppdaget, både med instrument og teleskop, men etter justeringer ble det observasjoner av tre hurtig variable stjerner i februar – mars 2000. Til å følge med på nordlysvariasjonene fikk han laget et enkanals nordlysfotometer med filter omkring den sterke nordlyslinjen på 4278 Å med en halverdibredde på 10Å. Figuren nedenfor viser observasjoner med nordlysfotometeret den 15. februar 2000.



Figur 11.7. Eksempel på nordlysmålinger med enkanals nordlysfotometer med filter 4278 Å. Observasjonene startet 15.2.199 kl 10:56 UT og sluttet 05:11 UT. X-aksen viser tid i sekunder fra start.

Vi ser at kraftig variabelt nordlys begynner ca. to timer etter start og varte i omtrent en time. Nordlyset stoppet brått. Månen er $\frac{3}{4}$ full og ga sterk bakgrunnsbelysning. Månelyset kom brått da månen kom over fjellet i sørøst, men ble svekket etter hvert som månen gikk ned i morgentimene. Nordlysaktiviteten var generelt høy i observasjonsperioden som var nær solflekkmaksimum.

Før observasjonene av de hurtigvariable stjernene startet ble det gjort en del testobservasjoner for å lære om instrumentet og observasjonsforholdene. Et sammendrag av observasjonsloggen er vist på neste side. I siste kolonne kan vi lese utetemperatur og temperatur på CCD-chipen som var kjølt med en peltierkjøler. Vi ser at den greidde en kjøling på ca. 30 grader i forhold til utetemperaturen.

Tabell 11.1. Observasjonslogg for tester og observasjoner med TCP i Skibotn 1999/2000.

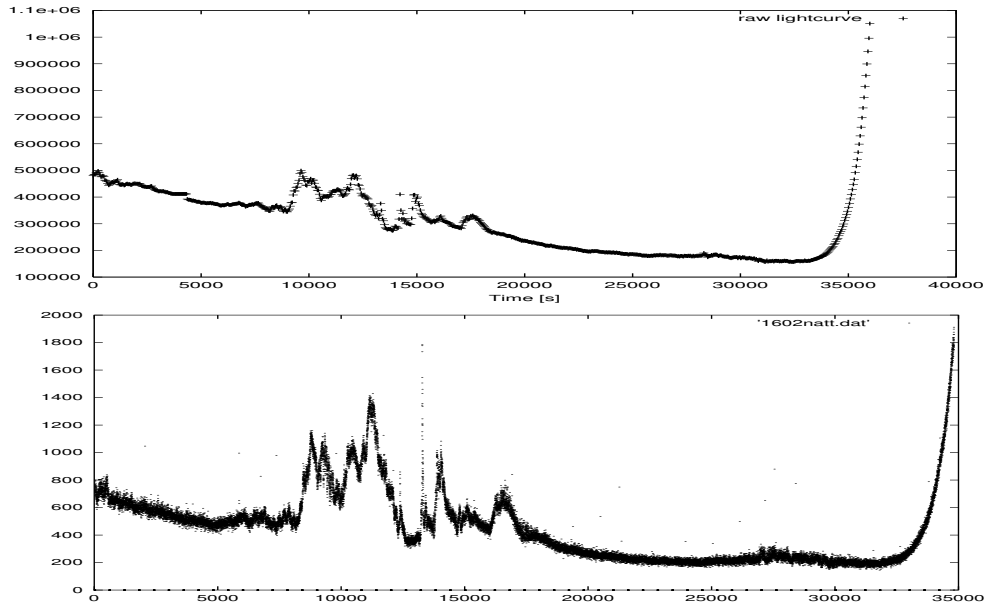
date	start/stop	object	type	mark	sky/temp(chip/out)
0812		M74	bvri		good, -50.08/-13.9
0812	2131	SAO52680	bvri		-/-13.1
0812	2223	HS2333+3927	bvri		nice
0812		M42			
0812		flats	bvri		
1112		NGC7013			
1812	1436	sky	flats	test	
1812		dome	phot	test	
1912		dome	phot	test	
0701		test Tromsø	phot	test	
1001		test Tromsø	phot	test	
1701	2330	GSC 1929+34	phot	first real	-/-5
1901	2215	SAO75202	photometry	75 files	-/-11.3
2701	2130	SAO77170	phot.	311 files	1/2 cloud, -44/-6.6
0702					
0802		sky	flats	good	
0802		SAO92511	phot.	408 files	
0802		AM CVn	phot.		
0802		WDS4700			
0902	2130	M1	bvri	good	-/0.6
0902		WDS4200	picture		
0902		GS1310:2140	phot.		
1402		dome	bias/flat		
1502		moon			
1502		flats	B		
1502	1900/0612	AMCVn	phot.	good	-/-10.2
1602		flats	B		
1602	1907/0615	AMCVn	phot.	good	-/-11
1702	1930/0630	AMCVn	phot.	good	-/-7.0
1702		flats	B		
2202		flats	B		
2202		VV47	PNN		
2202	2040/2209	AMCVn	phot.		good, -/-8
2202	0408/0535	GD358	phot.	good	
2302		flats	B		
2302	0000/0306	GD358	phot.	good	-/-12
2402		dome	phot		
1403		M3	picture		-37/-8
1403		M92			
1403	0121/0332	LX Ser	phot.	good	-38/-10.4
1603		moon	bvri		
1603		sky	flats		
1603		M1	bvri	good	
1603		M92	bvri	good	
1603	2111	LX Ser	phot.	good	-39.6/-9

Etter observasjonene i Skibotn ble TCP tatt med til NOT på La Palma og brukt til observasjoner for Roy Østensens doktorgradsarbeide (Østensen 2000).

11.3.2 Observasjon av hurtig variable

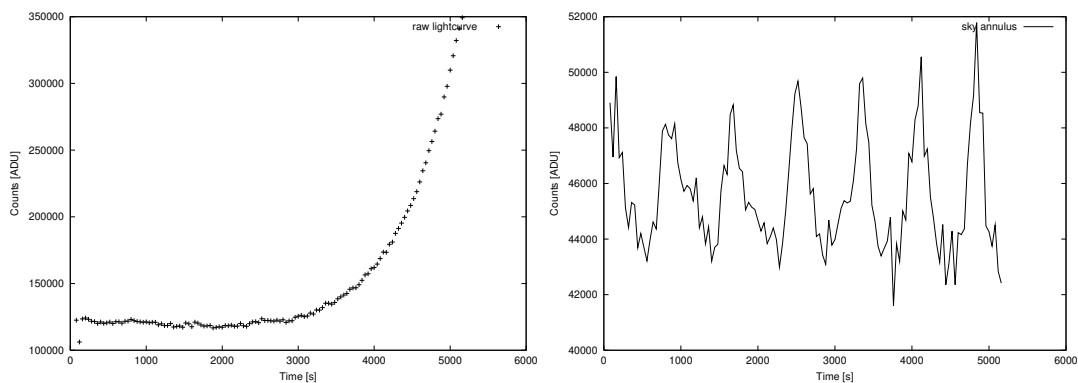
I oppgaven sin viste Robert resultatene for 3 hurtigvariable stjerner som han observerte:

- AM CVn, to nære hvite dvergstjerner, $V \approx 14$ mag, $P = 350s, 525s$: 15-17. feb.
- GD 358, pulserende hvit dvergstjerne dBV, $V = 13.5$, $P = 422-1087s$: 22 og 23 feb.
- LX Ser, formørkelsesvariabel kataklismisk variabel $V \approx 14$ mag, $P = 3t 48m$, 14 -16 mars



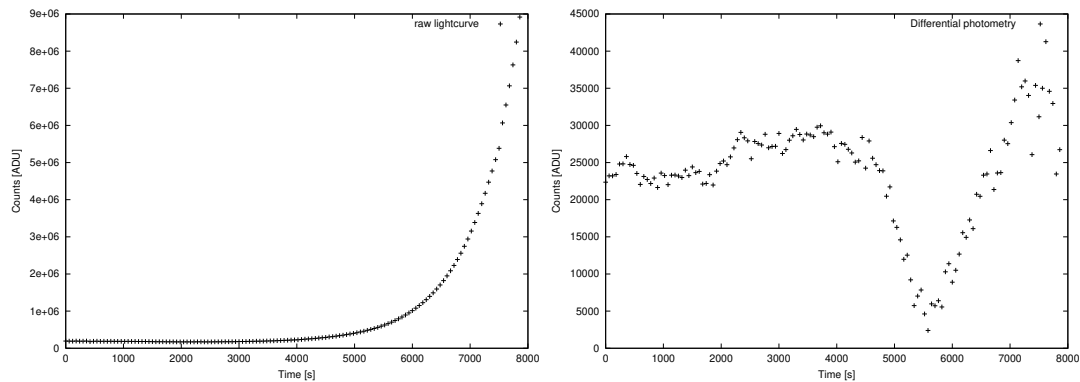
Figur 11.8. Rå lyskurve av AM CVn med start 16.2.2000 19:09 og slutt 5:10 UT. Det øverste panelet er fra TCP og det nederste fra nordlysfotometeret. (Kamben figur 5.8)

Et eksempel på differensiell fotometri vises for den pulserende hvite dvergen GD 258 nedenfor. Den er helium rik og har perioder mellom 7 og 18 minutter. Ved en kombinasjon av data fra satellitten TESS og bakkeobservasjoner er det funnet 43 perioder (Corsico et al. 2022). På grunn av interferens mellom de forskjellige svingemodene observerer vi amplitudevariasjoner av de dominerende periodene. Figuren nedenfor viser dette allerede ved rådata-analysen av en kort serie observert i Skibotn 22.02.00. Den dominerende perioden er omkring 14 minutter med økende amplitude.



Figur 11.9. GD 358 observert i Skibotn 22.2.00 med start 03:08 UT. Figuren til venstre viser rådata og den til høyre viser differensiell fotometri (Kamben Fig. 5.12).

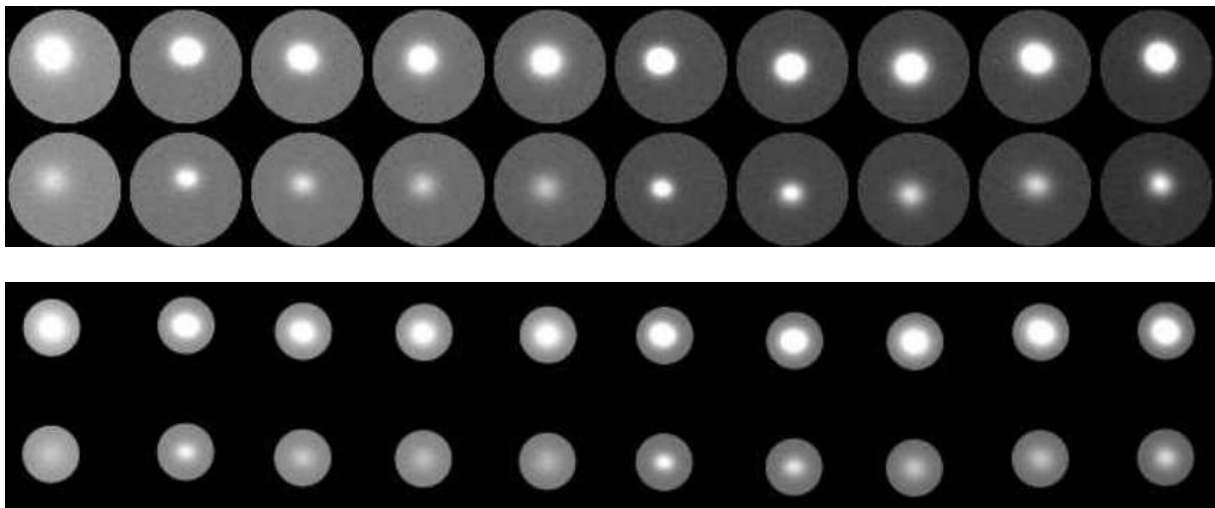
Et annet eksempel er rådata-analysen av LX Serpentis hvor vi ser en formørkelse i figur 11.10. Ved analyse av lyskurver av denne stjerna ble det omkring 2015 oppdaget en planet av super Jupiter størrelse i bane rundt dette dobbeltstjernesystemet.



Figur 11.10. LX Serpentis observert 14.3 start 1:21 og slutt 3:32 UT. Til venstre den rå lyskurven. Til høyre differensiell fotometri mellom den variable stjerna og en sammenligningsstjerne (Kamben Fig 5.13).

11.3.3 Reduksjon av data – to viktige forbedringer

Det at vi nå har en samling små bilder for hvert datapunkt gjør at vi kan korrigere både for ujevnheter i teleskopets bevegelser og for himmelbakgrunn på en ny måte. I serien nedenfor viser øvre rekke en variabel stjerne i en stor kunstig blenderåpning på fast plass i bildet. Vi ser at bildet i stjerna vandrer omkring. Ved å analysere fordelingen av piksler i bildet kan stjernas posisjon bestemmes og en mindre, kunstig blender legges rundt stjerna. På denne måten er stjerna alltid i sentrum og himmelbakgrunnen blir vesentlig svakere, som vist i nederste rekke av bilder.

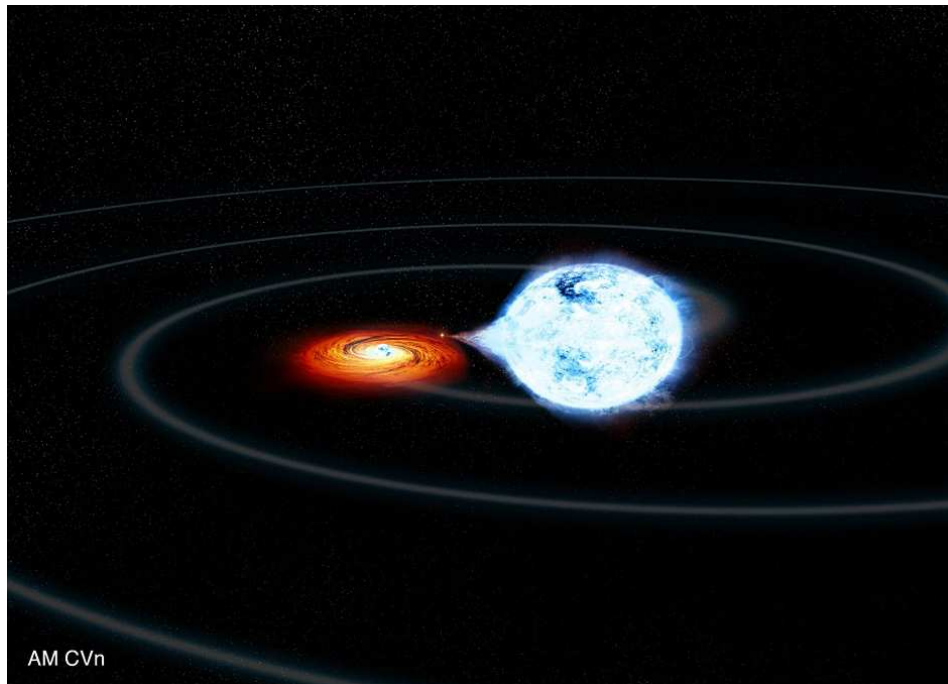


Figur 11.11 Eksempel på sentrering av stjerne i kunstig forminsket blender (Kamben Fig 6.1)

I tradisjonell fotometri observeres himmelbakgrunn i en blender uten stjerner, f.eks kanal 3 i TTP, eller ved veksling mellom to blendere i Choppingfotometeret (kap. 4.4). TCP gir oss to muligheter: enten ved et vindu uten stjerner som vist i figur 11.6 eller ved å trekke fra bakgrunn i en ring rundt bildet av stjerna etter at dette er sentrert som vist i figur 11.7. Den siste metoden gir mindre bakgrunnslys og den viste seg å være mest effektiv for korrigering for nordlys.

Siden vi har lange serier med varierende luftmasser korrigeres det til slutt for ekstinksjon bestemt ved observasjon av utvalgte, konstante stjerner.

11.3.4 Mer om AM CVn



Figur 11.12. AM CVn består av to hvite dvergstjerner i ekstremt tett bane med periode omkring 18 min – hvor den tyngste primærstjerna trekker masse fra den lettere sekundærstjerna. Denne massestrømmen havner i en akreasjonsskive før den trekkes ned på overflaten av primærstjerna. Det vi observerer er variasjoner i lys fra akreasjonsskiva, som kan ha en spiralstruktur (Solheim 1998) Bildet er fra NASA/CXC/M. Weiss

I en WET-kampanje i 1990 med til sammen 142 timers observasjoner (Solheim 1998) ble det bestemt en rekke perioder for AM CVn. Den sterkeste var en periode på 525.6 s med amplitude 10.4 mma (milli magnitude). Denne perioden og en rekke svakere perioder med amplituder på 1-2 mma var alle relatert til en grunnperiode på 1050 s, som ble tolket for å være baneperioden. Det ble også observert en uavhengig periode på 1028.5 med amplitude 1.2 mma, som også kunne være baneperioden. Med denne tolkningen kunne den sterke perioden på 525 s og de andre harmoniske komponentene være et resultat av et bølgemønster som temporært dannet to spiralarmer i skiva. Dette mønsteret ville da rotere med en periode på 1050s, også kalt *superhump periode* og observert i mange kataklysmiske variable stjerner.

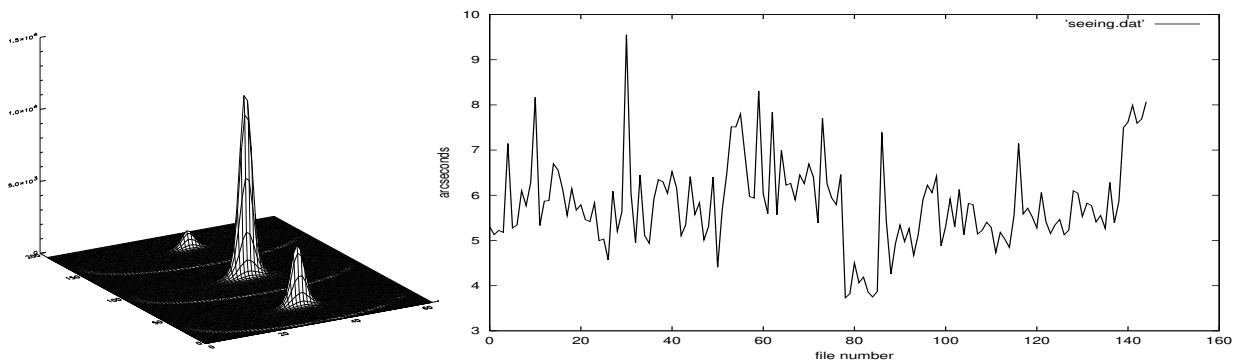
For å avgjøre dette spørsmålet søkte vi observasjonstid på det største teleskopet på La Palma Observatoriet: William Herchel teleskopet med diameter 4.2m. og fikk tid i 1996 til å observere en serie spektra med høy tidsoppløsning. De som observerte var Christophe Massacand og Bard Saadatjead. Dessverre forlot både Christophe og Bard astrofysikkgruppa før dataene ble analysert, så de ble arkivert. Men de ble funnet i arkivet på La Palma og analysert av Gijs Nelemans et al. (2001) og der ble det funnet en S-bølge i spektrene for perioden 1029 s og ingen variasjon for perioden 1051s. S-bølgen skyldes et område i akreasjonsskiven som varmes opp når partikkelstrømmen fra sekundærstjerna treffer skiven. Vi observerer en blåforskyvning av spekteret når den varme flekken kommer mot oss og en rødforskyvning når den beveger seg fra oss. Dette blir en S-kurve i hastighet målt i objektets

spektrum. Dermed var det avgjort at perioden på 1029 s eller 17.2 min er omløpsperioden for de to hvite dvergene i tett bane og 1050s perioden er en superhump-periode.

Direkte observasjon av omløpsperioden verifiserte vår modell om to hvite dverger og en akreasjons-skive. Dette er så interessant at denne type dobbeltstjerner er klassifisert som en egen familie variable stjerner som etter hvert har økt til over 25 medlemmer (Solheim 2010). Det holdes nå internasjonale workshops for forskere som jobber med AM CVn objekter hvert tredje år.

11.3.5 Observasjon av AM CVn

Robert Kamben observerte AM CVn tre netter, til sammen 33 timer og 20 min med gode observasjonsforhold. Selv beskriver han det som *perfect conditions and the system fully operating*. Under observasjonene hadde han en neste full måne, kraftige nordlysutbrudd og seeing mellom 5 og 10 buesekunder. Seeing ble estimert ut fra halv-verdibredden av en gaussisk punktspredningsfunksjoner for bildet av stjerna i blanderen. Et eksempel på variasjon av seeing er vist i figur 11.13 nedenfor. Vi ser at seeingen i gjennomsnitt er ca 6 buesekunder, men en kort periode omkring observasjon nr 80 er den under 4 buesekunder.



Figur 11.13. Det venstre panelet viser hvordan lyset fra stjerna fordeler seg i blanderen, også kalt punktspredningsfunksjonen (psf) for tre forskjellige observasjoner. Et mål for seeing er halvverdbredden av denne fordelingsfunksjonen. I høyre panelet er seeingen for AM CVn vist for natten 17.2.00 (Kamben Fig. 6.9 og 6.10)

Ved reduksjon av data brukte Robert bakgrunn i ring rundt stjerna og fant en sammenheng mellom amplitude for den sterkeste perioden og radius av blender. Han undersøkte også hvordan støy varierte med radius og tykkelse av ringen for bakgrunns-ringene. Han fant at 7 eller 5 piksler var best for blenderradius og 10 piksler for bakgrunns-ringene

På neste side vises rådata og reduserte data for den første observasjonsnatten 15-16.2 med mer enn 8 timers kontinuerlige observasjoner (figur 11.14). Vi ser i øverste panel at den rå lyskurven er fullstendig dominert av bakgrunshimmelen, med et kraftig nordlysutbrudd 2-3 timer etter start og en måne som langsomt går ned fra 4 timer og utover. Signalet fra objektet er ca. 10% over signalet fra bakgrunnsnivået. Når bakgrunn er trukket fra og det er korrigert for ekstinksjon, får vi lyskurvene i panel nr 2 og 3 for henholdsvis objekt og sammenligningstjerne. Enhet langs y-aksen i disse diagrammene er milli-intensitet (mi) som angir variasjoner i promille. Vi ser at sammenligningsstjerna varierer mindre enn 0.05 mi mens objektet varierer betydelig mer. Dette er tegn på at vi ha en variabel stjerne.

I de nederste panelene ser vi en Fourier Transform frekvensanalyse av disse to lyskurvene. Den nederste fra sammenligningsstjerna viser ingen periodiske variasjoner, men en hvit støy på ca. 1 mma (millimagitude). Det nest nederste panelet viser den variable stjerna med flere frekvenstopper, den sterkeste med amplitude litt under 10 mma ved en frekvens på 1.9 mHz som svarer til en periode på 526 s. Dette er den sterkeste svingeperioden på ca. 525 s som vanligvis observeres for AM CVn. Dette bekrefter at det er riktig objekt som er observert.

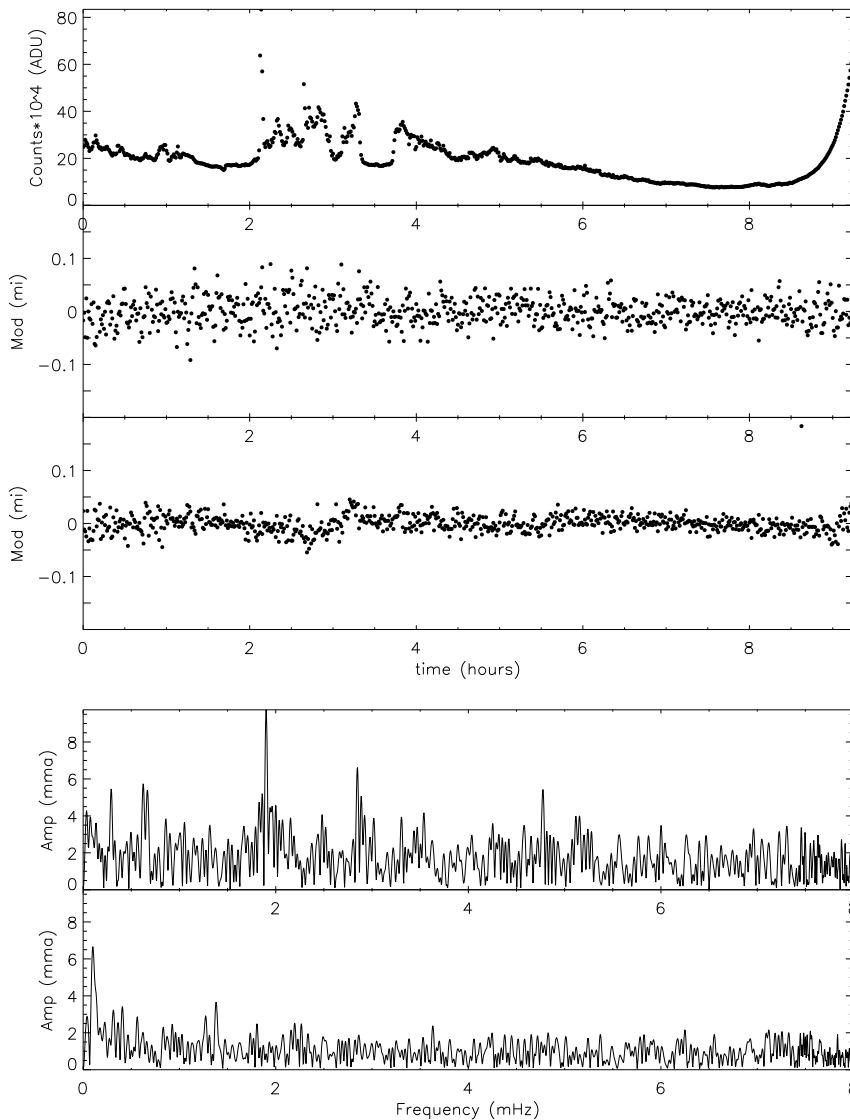
Tabell 11.2 Signifikante periodiske variasjoner i lyskurven for AM CVn 15-16.2 2000.

AMCVn 1502

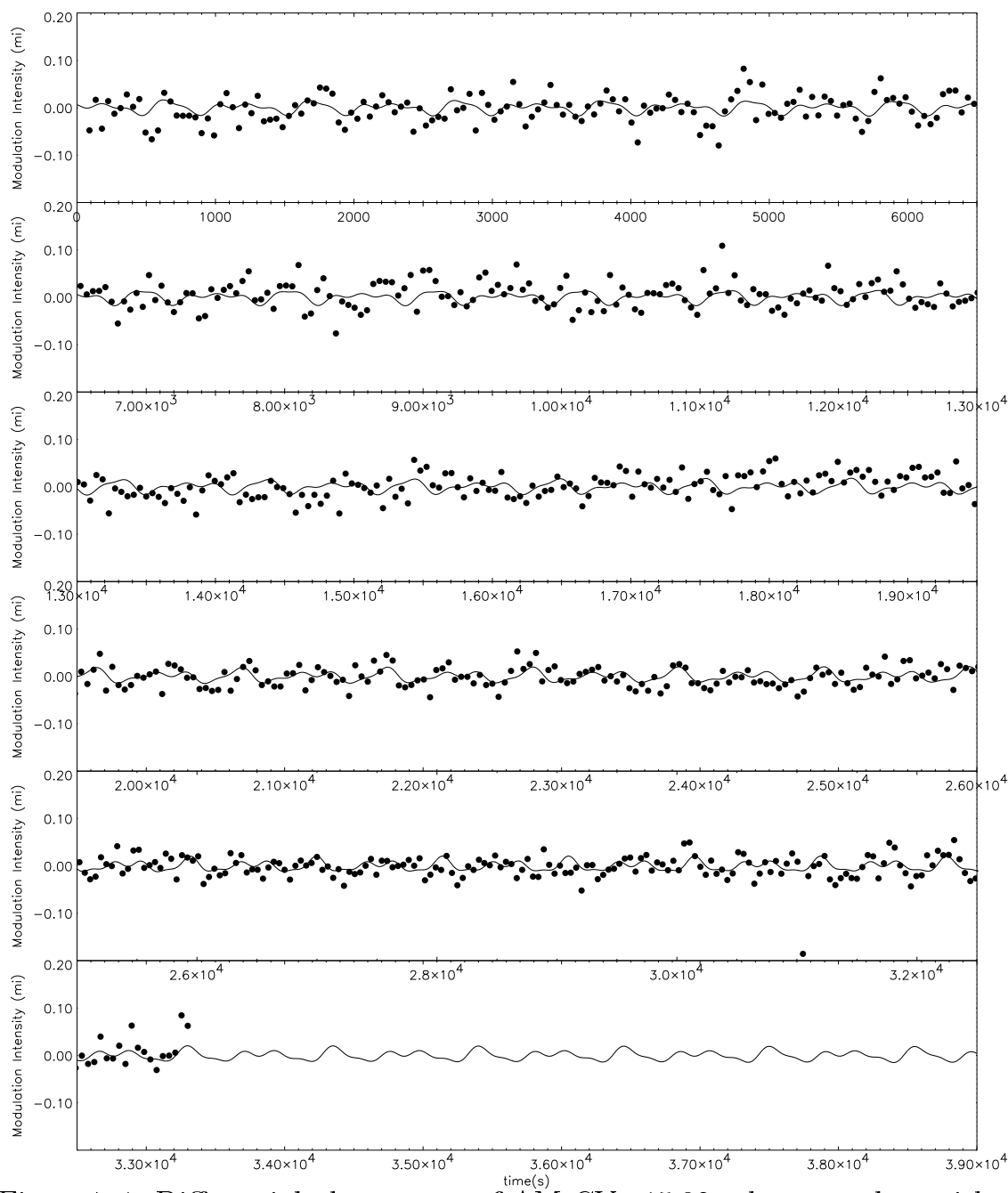
Average noise in the FT: 1.5

#	FREQ	AMPLITUDE	PERIOD	T_MAX	PHASE	WIDTH
1900.247	9.7446	526.25	141.28	-1.68682	14.3238	
2847.837	6.6218	351.14	304.07	0.84226	13.8195	
2887.585	5.0692	346.31	3.57	-0.06472	12.3886	
4774.629	5.4277	209.44	175.55	1.01673	15.3974	
7909.456	4.7784	126.43	28.83	-1.43287	15.5570	

Frekvens er gitt i mikroHz, amplituden i millimagnitude og perioden i sekund. Tmax er tidspunktet for første maksimum etter start, fasen er regnet i radianer ved start og width er usikkerhet i bestemmelse av frekvens



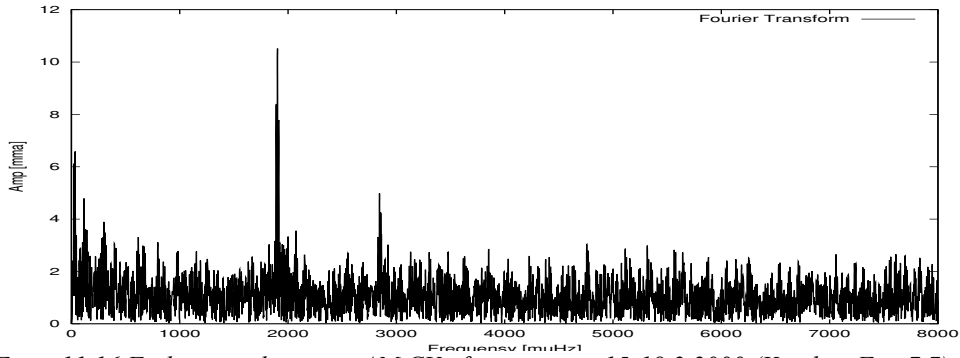
Figur 11.14. Observasjon og reduserte lyskurver og frekvensanalyse av AM CVn og sammenligningsstjerne natten 15-16.2.2000. Øverste panel viser rådata for objekt. Andre og tredje panel viser rådata trukket fra bakgrunn i ring for objekt og sammenligningsstjerne. De nederste panelene viser amplitudespektrum for objekt og sammenligningsstjerne (Kampen Fig 7.1).



Figur 11.15 Observasjon av AM CVn 15.2.00 sammen med simulert lyskurve basert på periode, amplituder og faser av signifikante periodiske variasjoner fra tabell 11.2 (Kamben Fig. 7.4).

Tabell 11.2 viser hvilke frekvenser eller perioder hvor signalet er tre ganger støynivået. Denne natten var det 5 signifikante perioder, neste natt var det tre og den siste natten var det 6 perioder. Da hadde den dominerende perioden på 526 s en amplitude på 12.8 mma. De signifikante periodene er brukt til å konstruere en syntetisk lyskurve som i figur 11.15 Den er her sammenlignet med de korrigerede observasjonene.

Siste trinn i analysen er å analysere de tre nettene samlet. Resultatet er vist som frekvensspektrum i figur 11.16



Figur 11.16 Frekvensspektrum av AM CVn for tre netter 15-18.2 2000 (Kamben Fig. 7.7)

En sammenligning med resultatene fra WET kampanjen i 1990 viser svært like resultater. (tabell 11.3) Begge observasjonsseriene viser et svakt signal ved baneperioden 1029 s og et sterkt signal ved en periode 526 s som er første harmoniske av superhump perioden 1051s (Kamben Fig 7.7). Alle tidligere observasjoner kan tolkes som en periode på 1051 s med to topper (Solheim 1984).

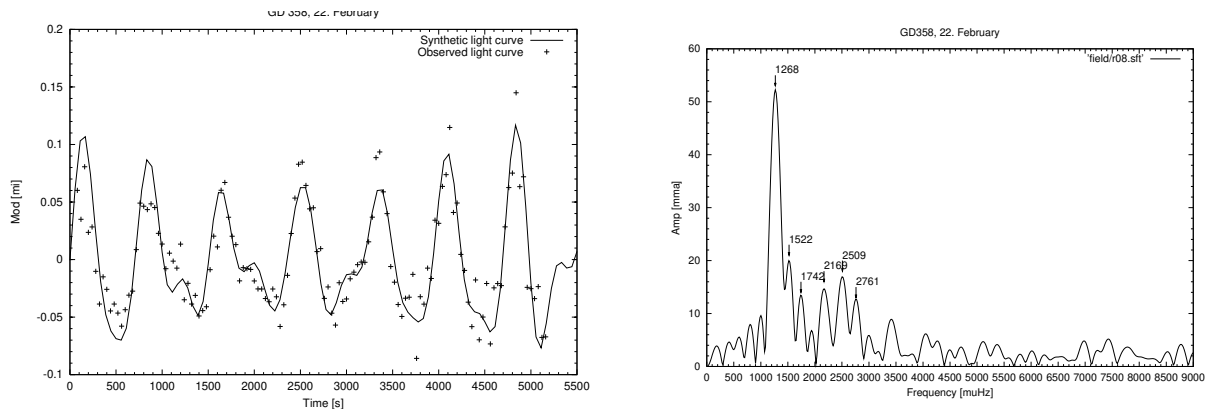
Tabell 11.3 AM CVn. WET 1990 Kamben 1999

Perioder (s)	Frekvens (miHz)	Periode (s)	Amplitude (mma)	Frekvens (miHz)	Periode(s)	Amplitude (mma)
Bane:1029s	972.8	1028.5	1.2	972.4	1028.3	2.8
Superhump 1051s						
1.harm 525.5s	1902.5	525.6	10,4	1902.3	525.7	10.5
2.harm 350.3	2853.8	350.4	2.9	2855.9	350.2	3.5
3.harm 262.8	3805.2	262.8	1.0	3851.5	259.6	2.8
4.harm 210.2	4756.4	210.2	1.25	4757.2	210.2	2.9

Tabellen viser at observasjonene til Robert Kamben med 50 cm Skibotn teleskop på 30 timer med TCP gir like gode resultat som 143 timer med WET kampanje observasjoner med flere og større teleskop fordelt jorda rundt (Solheim m. fl. 1998).

11.3.6 Observasjon av en pulserende hvit dvergstjerne GD 358

GD 358 er prototypen for en helium-rik pulserende hvit dvergstjerne. Den har mange perioder med store amplituder. Den ble observert to netter i Skibotn. Den første natten ble det observert en kort serie med tydelige variasjoner og god tilpasning mellom syntetisk og observert lyskurve som vist i figur 11.17:



Figur 11.17 Venstre panel viser Syntetisk lyskurve for GD 358 med observasjoner. Høyre panel viser frekvensanalyse av lyskurven med signifikante perioder markert (Kamben Fig.7.15 og 7.17).

11.3.4 Konklusjoner vedrørende TCP-fotometri i Skibotn

TCP har vist seg å være et meget velegnet instrument for observasjon under nordlysforhold i Skibotn. Deler av lyskurven med og uten nordlys ble analysert og det var ikke signifikant forskjell. Det betyr at korrigering av bakgrunn fra ring rundt stjerna fjerner virkningen av nordlyset. Typisk støy for en enkelt natt var 1.5 mma. Ved å sette sammen 3 netter ble støyen redusert til 1.2 mma. Dette var netter med månelys. Under observasjonene varierte bakgrunnen mellom 16.2 og 19.2 mag/arcsec²

Ved bruk av TCP er det mulig å gjøre presisjonsfotometri av stjerner ned 14.5 magnitudo. Dette er en kolossal forbedring fra en grense på 8 mag ved tradisjonell fotometri. Det betyr at et stort antall variable stjerner kan observeres med godt resultat i Skibotn.

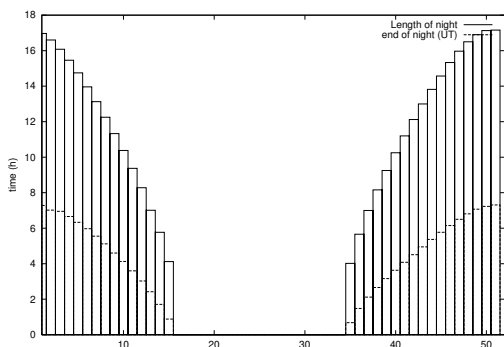


Figure 11.18 Lengde av observasjonsnetter hvor Sola er mer enn 10 grader under horisonten. Enhet på x-aksen er ukenr (Kamben Fig. 8.1)

Kamben observerte 6 netter hvor han måtte stoppe pga. morgenlyset. Han beregnet at det tilsvarte sola 10 grader under horisonten. Figur 11.15 viser at det gir mer enn 15 timers observasjonstid rundt vintersolhverv.

Han konkluderte med at TCP er velegnet for kontinuerlig fotometri av lange tidsserier. Kun en person er nødvendig for å operere teleskop og instrument. Siden det er et kostbart instrument foreslo han at det ble benyttet langt nord i de lange, mørke netter og på sørlige breddegrader senere på året. Da det ikke lenger var i bruk i Skibotn ble TCP brukt på IAC80 teleskopet på Tenerife i en lengre periode.

Konklusjonen er klar: Med TCP kunne Skibotn Observatorium utføre kontinuerlig fotometri av pulserende stjerner like godt som andre teleskop i WET-nettverket.

11.4 Forbedring av Teleskopet

Fra Frank Johannessens hovedfagsoppgave

Da Inge Strømmesen ble ansatt som driftsingeniør i 1990 startet han å bygge om teleskopstyringen fra analogt til digitalt system. Det var ferdig vinteren 1992/93. Vi annonserte etter en siv.ing student som kunne programmere teleskopstyring som en semester- eller diplomingeniøroppgave. Men ingen tok utfordringen før en tekniker ved Tromsø Satellittstasjon ønsket seg en hovedoppgave. Det var Frank Johannessen som i 2003 fullførte en masteroppgave med tittel «Improving the Skibotn Telescope Drive System.» Oppgaven ble utført ved siden av full jobb på Tromsø Satellittstasjon. Det førte til at han jobbet med teleskopet i en lengre periode. Ideen var å bruke fri programvare og lett tilgjengelige komponenter. Nedenfor er et sammendrag av Franks oppgave:

11.4.1 Forbedring av teleskopet

Da Frank undersøkte teleskopet i 1999 fant han at steppermotorene var utslitt og elektronikken var ustabil. Mest kritisk var det med deklinasjonskjøringen, som ofte stoppet. Pekefunksjonen var dårlig, og teleskopet fulgte stjerner upresist. Det var behov for en autoguidet. Off-axis autoguiding med et 20 cm Cassegrain teleskop ble forsøkt, men koplingen mellom teleskop og guideteleskop var ikke stiv nok, slik at de to optiske akser ikke holdt seg stabile etter opplinjering. En ny adapter ble derfor konstruert. Denne hadde en arm som kunne skyves inn i feltet på teleskopet og flyttes omkring til den fant en passende guidestjerne langs ytterkant av feltet. Et speil i 45° vinkel sendte lyset ut til en CCD autoguidet. I tillegg ble også kuppelen automatisert slik at åpningen fulgte teleskopets bevegelse. En egen computer ble brukt til kuppelstyringen.

Opprinnelig var det planlagt å bruke et Linux program for styring av teleskopet, men Frank fant ikke noe fri programvare som kunne gjøre det. Det ble derfor et DOS operativsystem han endte opp med. Steppingmotorene av type SlowSyn ble også skiftet ut med samme type motorer. Alle tannhjul ble innsjert og funnet i utmerket stand – selv etter 20 års bruk.



Figur 11.19 Skibotnteleskopet i 1990-årene. Vi ser Celestron 8 på siden som guideteleskop. Pannekakefotometeret er koblet til en fokusforlenger.

Det var også sparsomt med dokumentasjon av teleskopets styringssystem så Frank samlet all tilgjengelig informasjon og beskrev alle teleskopets funksjoner i sin hovedfagsoppgave, som også inneholdt en brukerbeskrivelse. Han ble derfor konsulent for bruk av teleskopet til lenge etter at han fullførte sin hovedfagsoppgave og flyttet til Oslo-området.

11.4.2 Spektrograf og CCD kamera

I kapittel 8.4 har vi beskrevet byggingen av en studentspektrograf, som skulle være tilstrekkelig til å demonstrere spektra fra sterke stjerner. I årsrapportene er det skrevet at denne spektrografen ble koplet til teleskopet med en bunt optiske fibre med design av Ove Harang. I Franks oppgave fortelles om en u-VIEW fiberoptisk spektrograf og et Pictor CCD-kamera som ble brukt under testingen av teleskopet. Den optiske fiberbunten er koplet til teleskopet med en holder konstruert av Roy Østensen og også brukt til koplingen av TCP til teleskopet (se avsnitt 11.1)



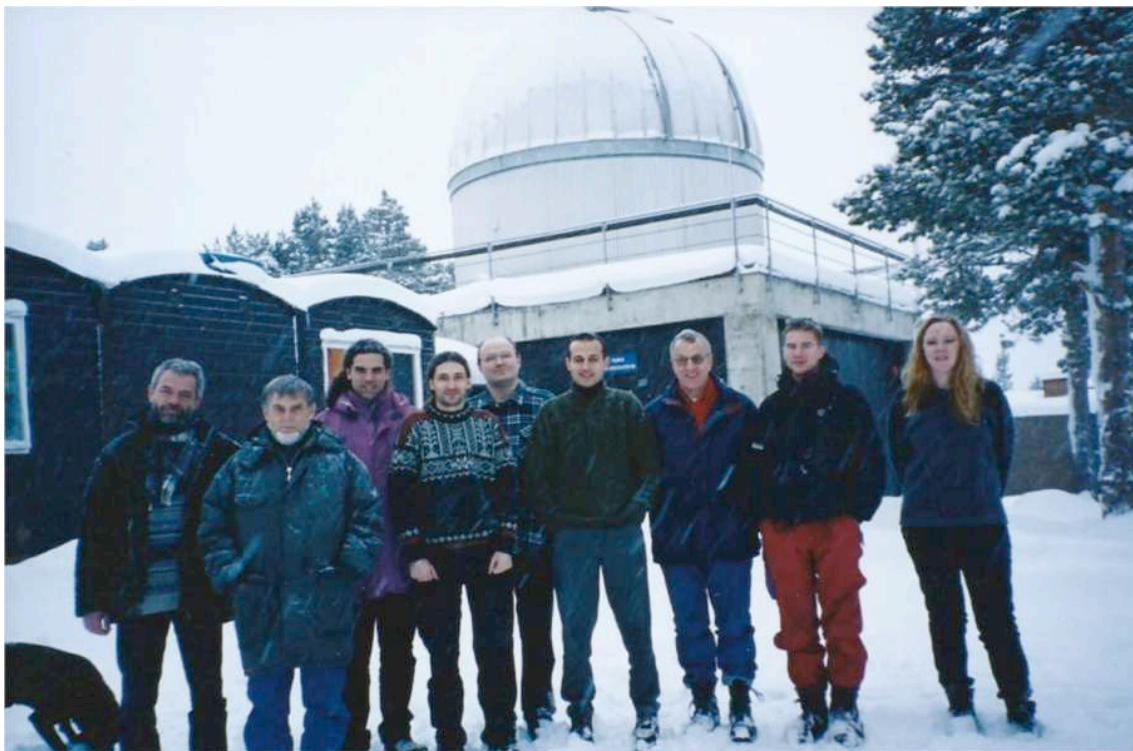
Figur 11.20 Frank Johannessen utfører service på teleskopet. Øverst tas hovedspeilet ut for vask. Nederst inspiserer Frank sekundær-speilholderen med sin fokuseringsmekanisme som består av en styringsleide. Da teleskopet ble levert, hadde den 3 stag for kollimering og fokusering. Siden disse hadde hver sin motor var det vanskelig å holde sekundærspeilet kollimert, og fokuseringen ble derfor bygget om til en tannstangsleide (se figur 8.6).

11.5 Slutten

På slutten av 1990-tallet ble det gjort en gjennomgang av forskning innen fysikk i Norge etter initiativ fra Forskningsrådet. Det ble der knesatt som et prinsipp at forskning skulle foregå i større grupper for å oppnå internasjonal tyngde. Selv om Astrofysikkgruppa i Tromsø hadde tung internasjonal forankring, adgang til førsteklasses teleskop på La Palma, og utdannet mange Cand. Scient. og Dr. Scient kandidater, var det kun én fast ansatt forsker ved gruppa, og det ble anbefalt at denne skulle termineres. Da var det ikke noen vei utenom å stoppe inntak av nye hovedfags- og doktorgradsstudenter og avslutte virksomheten. Jeg avsluttet høsten 2002, Frank i 2003 og José i juni 2004.

Torsten Aslaksen ble ansatt i min stilling, men kun med ansvar for lavere grads undervisning i astrofysikk. Han ble tilknyttet en forskningsgruppe i støvplasmafysikk. Han overtok ansvaret for observatoriet. Dette ble overført til Tromsø Astronomiske Forening (TRAF) i 2007. Torsten fortsatte undervisning i emnet Fys 120 sammen med José. De hadde studentekskursjoner til Skibotn hvor teleskopet ble demonstrert. Studentene fikk også et opphold ved observatoriet på Tenerife hvor José ble residerende astronom på IAC80-teleskopet.

Torsten forteller at da han kom tilbake etter en forskningstermin i 2007 var Fys-120 nedlagt. Da var det slutt med lavere grads undervisning i astrofysikk ved Universitet i Tromsø,

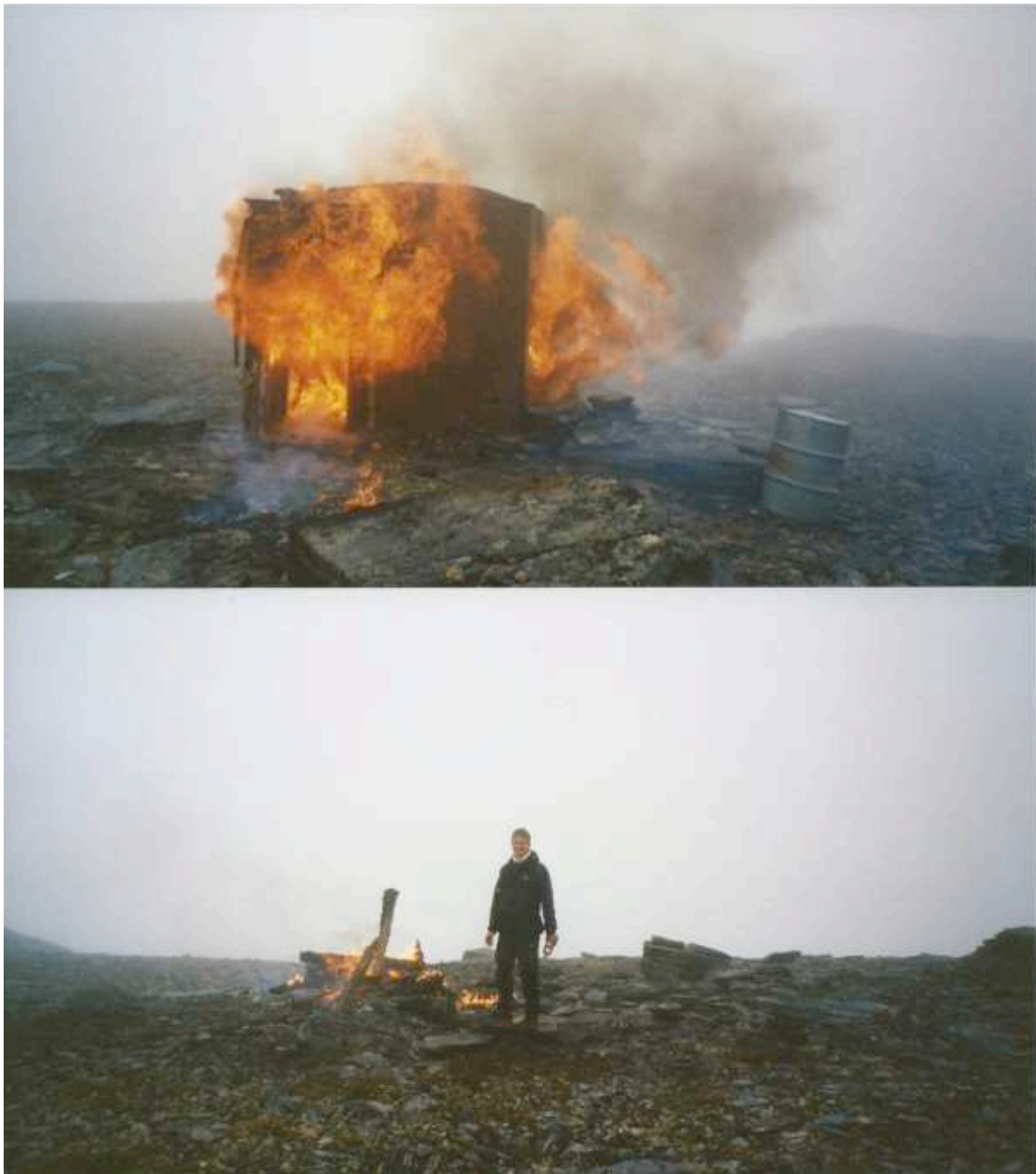


Figur 11.21 Astrofysikkgruppa på arbeidsutflukt til Skibotn Observatorium i november 1999. Fra venstre: Rimantas Janulis, Edmund Meistas, Jose Miguel Perez, Roy Østensen, Frank Johannessen, Mosab R. Nasser, Jan-Erik Solheim, Robert Kamben og Synnøve Johansen.

11.5.1 Observasjonshytta på Favresvarre

Noe som plaget meg, var at observasjonshytta på Favresvarre (figur 1.11) ikke var tatt ned. Vi kunne ikke etterlate oss noe som forsøplet fjellet. Den var etterlatt ulåst slik at tilfeldige

fjellvandrere kunne bruke den. Den ble brukt under bygging av ny kraftlinje over fjellet hørte vi. Etter rekognosering fant vi at hytta blåste full av snø om vinteren og at den var sterkt medtatt når snøen endelig tinte om sommeren. Robert, José og jeg gikk derfor opp sommeren 2002 medbringende en kanne bensin og tente fyr på hytta og gjemte unna det som ble igjen av metall til scooter-transport ned neste vinter. Denne påsatte brannen foregikk i tett tåke, så den ble nok ikke observert av noen.



Figur 11.22. Sluttet på observasjonshytta på Favresvarre.

En 30-års historie var da slutt.

Referanser

Roy Østensen, PhD oppgave 2000, *Time Resolved CCD Photometry. Development of a multi-windowing system and tests on variable subdwarf stars.*

Robert Kamben, hovedfagsoppgave 2000, *Stellar CCD Photometry in the Auroral Zone,*

Frank Johannessen, hovedoppgave 2003, *Improving the Skibotn Telescope Drive System*

J.M. Gonzalez Pérez, R. Østensen og Jan-Erik Solheim, 1999, *The Tromsø CCD Photometer, Astrophysics with the NOT, Proceedings of the conference held in Turku in August 12-15, 1998,* H. Kartunen og V. Pirola (red), s. 202-204.

Jose Gonzalez Pérez, *brukerbeskrivelse av TCP, (på spansk)*

A. H. Córscico et al. 2022, *Pulsating hydrogen-deficient white dwarfs and pre-white dwarf dwarfs observed with Tess. III. Asteroseismology of the DBV star GD 358,* Astronomy and Astrophysics, Vol 659, Article 30

R. Janulis 2003, *Further development of the Tromsø CCD Photometer,* Baltic Astronomy, Vol, 12, 205-210.

E.G. Meistas og R. Janulis 2002, User Guide of the Tromsø CCD Photometer,

G. Nelemans, D. Steeghs og O. J. Groot 2001, *Spectroscopic evidence for the binary nature of AM CVn,* Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol 326, s 621-627.

J.-E. Solheim og E.G. Meistas (Red) 1999, *11th European Workshop on White Dwarfs in Tromsø, Norway,* ASP Conference Series Vol 169, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, ISBN: 1-58381-058-7, 577 sider.

J.-E.Solheim, R. Kamben, R. Østensen og T. Thomassen 2001, *Pulsating White Dwarfs and Danceing Aurora, 12th European Workshop on White Dwarfs,* ASP Conference Proceedings, Vol. 226. Edited by J. L. Provencal, H. L. Shipman, J. MacDonald, and S. Goodchild. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, ISBN: 1-58381-058-7, s 347

J.-E. Solheim et al. 1998, *Whole Earth Telescope observatios of AM Canum Venaticorum – discoseismology at last,* Astronomy and Astrophysics, Vol 332, s 939-957.

J.-E. Solheim, E.L. Robinson, R.E. Nather og S.O. Kepler 1984, *The 1051 s period of the interacting binary white darf AM CVn,* Astronomy and Astrophysics, Vol 135, s 1-11.

R. Østensen 2000, *Time-Resolved photometry wiith the NOT,* i The NOT in the 2000's. Proceedings of the workshop held on La Palma April 12-15,2000. Edited by Nils Bergvall, Leo O. Takalo, and Vilppu Pirola, Published by the University of Turku, Tuorla Observator, Fin, ISBN 951-29-1827-7, s. 139-150.

R. Østensen og J.-E. Solheim, 2000, *Results from the Tromso CCD Project,* Baltic Astronomy, Vol 9., s 411-424.



Figur 11.23. TCP på utstilling i forelesningssalen på Moletai Observatoriet i Litauen, september 2024.



Figur 11.24. Romuldas Kalytis, Jan-Erik og Rimantas Janulis i Vilnius september 2024.

Vedlegg. Astrofoto med Skibotnteleskopet (TRAF – kap. 12)



Figur 11.25. Lille Manultåken, NGC 651. Lysstyrke 10,1. Foto Ketil Vegum og Børge Irgens med ZWO CCD ASI183MM Pro. Ensfarget.

12. Tromsø Astronomiforening overtar

Steinar Thorvaldsen, Tromsø Astronomiforening (TRAF)

12.1 Innledning

Skibotn-teleskopet var i mange år det eneste «profesjonelle» teleskopet i Norge – og ble primært brukt til å undervise studenter i observasjonsteknikker og for innsamling av observasjoner til mastergrader ved universitetet. Ved observatoriet ble det prøvd ut instrumenter og gjort observasjoner av forskjellige typer stjerner. Skibotn-observatoriet består av et bygg med kuppel. Inne i kuppelen står teleskopet, og under kuppelen er det et kontrollrom hvorfra teleskopet styres. Ved siden av teleskopbygget er det enkle bygg med oppholdsrom og soverom.

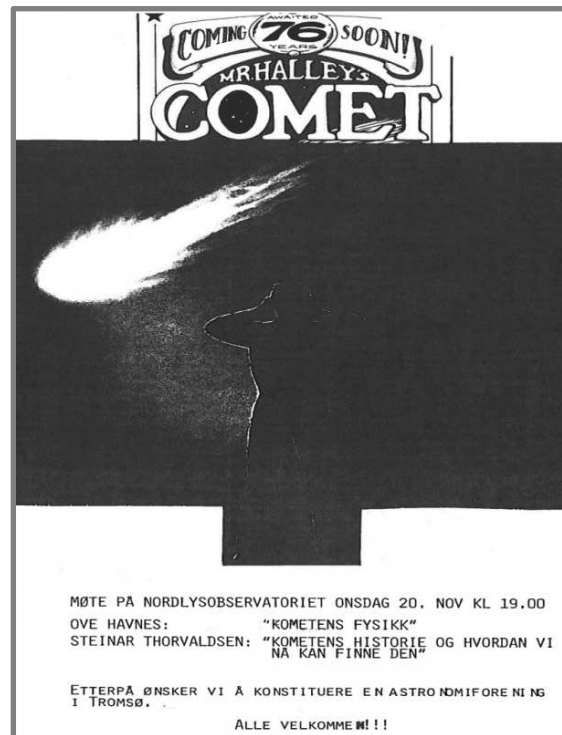
Astrofysikkgruppen ved Universitetet i Tromsø, som sto for drift av teleskopet, ble nedlagt rundt 2004, men undervisningen i grunnkurset i Astrofysikk (Fys-120) fortsatte fram til 2007. Kurset hadde samlinger i Skibotn, og teleskopet ble brukt for visuelle observasjoner når været tillot det.

I 2007 ble det inngått en formell avtale mellom Tromsø Astronomiforening (TRAF) og Institutt for fysikk og teknologi ved UiT om ansvar og drift av observatoriet på Skibotn med tilhørende bygninger. TRAF er en lokal forening som samarbeider med *Norsk Astronomisk Selskap*. Denne type avtaler for observatorier og teleskoper er ikke uvanlig når utstyrets dager i strengt vitenskapelige tjeneste kan sies å være talte. Selv har jeg vært med i astronomiforeningen i Aalborg nord i Danmark, som har ansvar for *Urania Observatoriet* der det befinner seg en 10 tommer refraktor fra 1897. Dette instrumentet sto opprinnelig på Frederiksberg i København, og ble brukt av den kjente astronomen Ejnar Hertzsprung til hans mest berømte arbeide, Hertzsprung-Russel diagrammet. I 1988 ble teleskopet flyttet til Aalborg og driftes av astronomiforeningen der.

12.2 Tromsø Astronomiforening (TRAF)

Tromsø Astronomiforening ble stiftet i november 1985 (se bildet), samtidig med at Halley's komet var i anmarsj. Foreningen har vært virksom etter dette, med månedlige medlemsmøter i sesongen. I forbindelse med astronomiske begivenheter har det også vært flere store arrangementer for publikum. Spesielt har solformørkelser og sterke kometer vakt interesse, ikke minst kometene Hyakutake i 1996 og Hale-Bopp i 1997, der både TV, radio og aviser hadde store oppslag og reportasjer. I mange år ble også årets *Astronomidag* arrangert ved Tromsø Museum i desember, med foredrags-holdere som Erik Tandberg, Knut Jørgen Røed Ødegård, Øyvind Grøn m.fl. TRAF arrangerte også en Astronomisk fotokonkurranse i 2010, der de beste bildene ble publisert i tidsskriftet *Astronomi*, inklusive forsiden. Vi var også med å strøme astronomiske begivenheter ut til verden. Blant annet ble våre levende bilder av Venuspassasjen 6. juni 2012 vist direkte på NASA-TV, i tillegg til NRK og VG-TV.

Etter overtakelsen av Skibotn-observatoriet i 2007, utførte medlemmer i TRAF mye dugnadsarbeid. Seks enkeltrom pluss stue og kjøkken i tilknytning til



Figur 12.1. Tromsø Astronomiforening stiftes i 1985

observatoriet ble pusset opp. Alle rommene ble malt både innvendig og utvendig, nytt gulvbelegg lagt, og nye senger, sofaer og kjøkkenløsning kom på plass.

12.3. Ny optikk

TRAF har regelmessig hatt observasjonsturer til Skibotn. Men hovedteleskopet kom ikke til sin fulle nytte for oss. Teleskopbygningen og teleskopmekanikken fungerte bra, men hovedspeilet på teleskopet var imidlertid tilpasset en bestemt type forskning (fotometri og astrometri). Med 5 meters brennvidde $f/10$ ble det et veldig lite utsnitt av stjernehimmelen som kunne observeres visuelt eller med vanlige astrokamera. Hovedspeilet hadde 50 cm diameter, mens sekundærspeilet var på hele 30 cm! TRAF bestemte derfor i 2009 at vi ville oppgradere optikken for å øke nytteverdien og gi nye muligheter for visuelle observasjoner og astrofotografering. Det opprinnelige Ritchey-Chretien optiske systemet ville da bli endret til et Newton-system.

Oppgraderingen og et nytt hovedspeil på 50 cm ville kreve en del penger. Budsjettet var på kr 40.000. Vi solgte andelsbrev i teleskopet for kr 500 pr. stykke, noe som skaffet oss halvparten av pengene. Westin-fondet bidro også med kr 10.000. Dermed kunne vi bestille det nye speilet fra Galaxy Optics. Tekniske spesifikasjoner på speilet er diameter på 20 tommer, $f/4.97$ med brennvidde 99.4 tommer og nøyaktighet $\lambda=0.152$ bølgelengde. Teleskoprøret ble litt forlenget i den bakre enden. Forlengeren ble laget av elever ved Breivika videregående skole. Instrumentet benyttes nå i Newtonfokus. Arbeidet med den optiske oppgraderingen ble i først og fremst tatt hånd om av *Torsten Aslaksen, Sven Erik Grydeland og Anders Olsen*. En stor takk og honnør til dem!



Figur 12.2. Nytt 50 cm hovedspeil og sekundærspeil i teleskopets Newton system. Foto Pål Tengesdal.



Figur 12.3. Teleskopets bakre del er litt forlenget. De tre ved teleskopet er Roy Andre Lyså, Lena Lyså og Anne-Kristin Tengesdal. Foto Pål Tengesdal.

12.4 First light

Den 26. februar 2011 arrangerte TRAF observasjonstur til Skibotn med 7 deltakere. En skoleklasse fra Hatteng skole ønsket også å være med på begivenheten, selv om det var skyer først på kvelden. Fjelltoppene i nærheten kunne i alle fall beskues.

Men utpå kvelden klarnet det opp! Øyeblikket var kommet for å se utover i universet med ny lyssterk optikk. Torsten Aslaksen guidet oss gjennom en imponerende observasjonsserie: Først tre åpne hoper: M35, NGC 2158 og 2420. Deretter Eskimotåken (NGC 2392). Så fulgte ni galakser: NGC 2903, M95, M96, M105, NGC 3384, NGC 3389, M51, NGC 5195, NGC 6207. Vi avsluttet med Kulehopen M13, Saturn og Krabbetåken M1. Resultatene var imponerende! Galaksene og tåkene sto nesten spikret opp i all sitt velde og prakt rett foran øynene våre. Jeg har observert med flere amatørteleskoper, men det ga en ny dimensjon å se det hele gjennom et så stødig og kraftig instrument.

12.5 Nytt styresystem

Teleskopets styringssystem ble første gang modernisert i perioden 1999 til 2002, og teleskopet ble fra da av styrt av en PC. Teleskopets og monterings historie ble beskrevet i hovedoppgaven av Frank Johannessen (2003) (kapittel 11.4). Drivsystemet ble rehabilitert og oppgradert av han til et DOS-basert GOTO-system basert på Mel Bartels program *Scope.exe*, hvor han også brukte enkoderne ved motorene. Kuppelen ble synkronisert til å følge teleskopets bevegelser.

Men den utdaterte siden ved systemet var etter hvert at motorene mottar signaler fra printerporten på en gammel DOS/Windows95 PC, noe som ikke lenger er gangbar teknologi. Det fungerte ikke optimalt. Et moderne system med enkle GOTO-funksjoner var ønskelig. Vi måtte finne et passende system som kunne erstatte den gamle PC'en og styreprogrammet. Vi prøvde å søke på nettet etter andre Lorenz-teleskoper i verden som hadde fulgt med i den tekniske utviklingen. Men dette var forgjeves, trolig fordi firmaet som produserte teleskopet hadde gått konkurs kort tid etter at teleskopet i Skibotn var levert.

Det var behov for å anvende teleskopert visuelt og fotografisk, både av en observatør til stede i kuppelen, og fjernstyrt fra kontrollrommet i nærheten. Senere kan hende også fjernstyrt av en bruker lokalisert på et annet sted. Styresystem må dermed fungere med alle disse løsningene. En visuell observatør vil trenge en håndkontroll til å kjøre teleskopet for å finne objekter i form av et GOTO-system med en database av objekter som kan velges, og synkroniseres med stjernehimmelen på stedet. Håndkontrolleren som skal brukes i selve observatoriet må tåle ganske mange kuldegrader.



Figur 12.4. Ketil Vegum presenterer resultater fra tekniske tester av det nye styresystemet på møte i Tromsø Astronomiforening. Foto Steinar Thorvaldsen.

I dag finnes det etablert tekniske standarder innen astronomiske instrumenter, som ASCOM og INDI, som støtter slike oppsett. Man trengte dermed et styresystem som kan generere signalene som de eksisterende motorene ved teleskopet krever, og som kan styres fra en PC (Windows eller Linux) med moderne ASCOM eller INDI drivere. Det var flere slike systemer å velge imellom, både kommersielle og med åpen kildekode. Vi satset etter en del testing på *OnStep*, et open source system som kan brukes med enkle og billige mikrokontrollere som Arduino. Dette er en moden programvare med et stort brukerforum. OnStep gir mulighet for styring av RA og DEC og GOTO-funksjonalitet, samt styring fra håndkontroll, android/iOS og PC samt en del andre funksjoner.

Arbeidet med oppgraderingen av driversystemet er nå under slutføring og er først og fremst tatt hånd om av Ketil Vegum, Børge Irgens, Ragnar Kalleberg, Anders Olsen, Odd-Asbjørn Brovold og Torsten Aslaksen. En stor takk og honnør til dem! Tannhjul og akslinger er også smurt.

12.6 Barnas Turlag

Vi har i mange år hatt besøk av Barnas Turlag på observatoriet, gjerne med Pål Tengesdal som primus motor. Pål var også i mange år TRAFs kontaktperson for observatoriet. Universitetets Feltstasjon i Skibotn ligger et par hundre meter fra observatoriet og har gode overnattingsmuligheter. Så å si hvert år har TRAF hatt fast opplegg, der vi har holdt foredrag og viste stjernehimmelen på fulltegnede week-ender. På formiddagen har vi ofte laget planetløype der avstanden til planetene i vårt solsystem er markert med bilder langs stien. De som går den lengste turen kan komme helt ut til dvergplanet Pluto.



Figur 12.5. Elever fra Hatteng skole i kø for å se i teleskopet. Foto Pål Tengesdal.

Barn kan få mange opplevelser ved å se på stjernehimmelen. Astronomi er en av de naturvitenskapene som egner seg best til formidling og fasinasjon for barn og unge siden så mye av faget er visuelt. Jeg glemmer aldri den gangen en av deltakerne hadde en Eureka- opplevelse og plutselig ropte med høy røst: *Æ ser den, æ ser den, æ ser Nordstjerna!* Skibotn-observatoriet har et stort potensial for rekruttering av framtidige realfagsstudenter.

Vi håper mange kan få glede av teleskopet i årene som kommer. Hjemmesiden for TRAF er:

<https://tromsoastronomi.no/>

Noen referanser

Ole Fastrup (1997). *Urania kikkerten 1897-1997 – og menneskene bag*. Astromedia Forlag.

Frank Johannessen (2003). *Improving the Skibotn Telescope Drive System*. Hovedoppgave UiT.

Steinar Thorvaldsen (2011). *Astronomisk fotokonkurranse*. [Astronomi](#) nr. 1, s. 54-59.

Steinar Thorvaldsen (2013). [The Transit of Venus on the Midnight Sun Observed from the Tromsø Region](#). *The Journal of Astronomical Data*, 19, 1, s. 193-198.

Steinar Thorvaldsen og Børge Irgens (2023). *Strømming av astronomiske begivenheter. Tips og inspirasjon til hvordan dele himmelens begivenheter med flere mennesker*. [Astronomi](#) nr. 4, s. 60-63.



Figur 12.6. I åpningen for teleskopet ser vi Christian Johansen og Torsten Aslaksen som venter spent på at kvelden skal komme. Foto Steinar Thorvaldsen



Vedlegg 1. Astrofoto med Skibotnteleskopet fra observasjonsturer i 2023 og 2024

Disse er plassert i tidligere kapitler:

Figur 4.9 Malstrømgalaksen M51. Lysstyrke 8,4. Foto Solveig Løvseth med Canon EOS 7D.

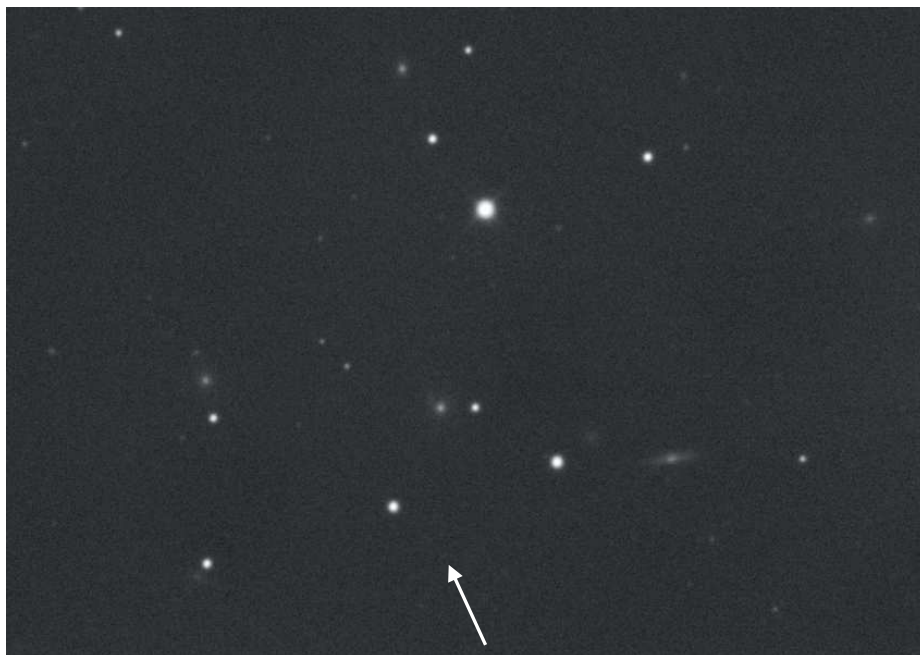
Figur 5.13. Sigargalaksen M82. Lysstyrke 8,4. Foto Solveig Løvseth med Canon EOS 7D

Figur 10.23. Sigargalaksen M82. Lysstyrke 8,4. Foto Ketil Vegum og Børge Irgens med ZWO CCD ASI183MM Pro og bruk av LRGB-filteer for sammensetning av farger.

Figur 12.10. Lille Manualtåken, NGC 651. Lysstyrke 10,1. Foto Ketil Vegum og Børge Irgens med ZWO CCD ASI183MM Pro. Ensfarget.



Figur 12.11. The Hidden Galaxy, IC 342. Lysstyrke 9,1. Foto Ketil Vegum og Børge Irgens med ZWO CCD ASI183MM Pro. Ensfarget



Figur 12.12. IC 2738. Lysstyrke 15,3 (Blått lys). Foto Ketil Vegum og Børge Irgens med ZWO CCD ASI183MM Pro.

Vedlegg 2. Oppgradering av Skibotn teleskopet til GOTO system.

Ketil Veggum

Vinteren 2021/2022 begynte en ny oppgradering av Skibotn teleskopet. Systemet til Frank Johannesen (kap 11.4) var litt for vanskelig å bruke. Teleskopet hadde litt ujevn gange i tracking fordi styringssignalet til stepmotorene varierte litt. Dermed ble teleskopet ikke så aktuelt til å bruke til fotografering. Var det mulig å styre teleskopet på en annen måte slik at det ble enklere å bruke?

Første trinn var å prøve å kjøre motorene på en annen måte enn med den opprinnelige PC'en. Dette ble gjort med et eget kort som var laget for å styre stepmotorer med godt resultat. Her fant vi også ut hvor fort vi turte å kjøre teleskopet uten ulyder. Det var nå behov for å finne noe som kunne styre kikkerten med riktig tracking. Gjerne et GOTO system.

Etter en del leiting ble mikrokontrollersystemet *OnStep* funnet og vurdert. Dette så positivt ut. *OnStep* er et åpent kildekode prosjekt med egen brukergruppe og forum der flere mikrokontrollere kunne brukes. Vi prøvde *ESP32*, og måtte finne ut en del om koplinger, pinneplasseringer og parametersettinger for giring, maks fart, akselerasjon, oppbremsing etc. Mye av utviklingen kunne gjøres hjemme, bare tilkoplede noen dummy stepmotorer. Dermed ble turene til Skibotn kun for å verifisere utviklings-skrittene.

ESP32 har serieport og *bluetooth* innebygd. *OnStep* har laget en app for nettbrett og mobiltelefon. Denne app'en kunne kombineres med *Skysafari*, og dermed hadde vi både kart og GOTO system. I tillegg har *OnStep* støtte for fokusmotor, også via USB/seriekommunikasjon. Den har også seriekommunikasjon over USB, men under utviklingen hadde ikke jeg (Ketil) en egnet programvare på PC for styring, så det fikk vente litt, så mye ble basert på nettbrett og *Skysafari*.

Printkort med *OnStep* og mikrokontrolleren *ESP32* måtte dermed stå oppe i kuppelen, mens stepmotorkontrollerene står nede i kontrollrommet. Vanlige små signaler ble for svake og for mye støy på overføringen. *Bluetooth* signalene var heller ikke sterke nok til at *OnStep* kunne stå nede. Løsningen ble å benytte noen kretser for bedre overføring av signaler, og protokollen *RS485* ble valgt. Her ble signalet differensiert på to tråder, og samlet i den andre enden. Vi hadde behov for fire signal: RA puls, RA retning, DEC puls og DEC retning, så overføringen skjer på en kabel med 8 ledere. Nettverkskabel har dette, og når den i tillegg hadde skjerming ble en slik skaffet. Dette viste seg å fungere fint, så nå kunne vi styre teleskopet fra kuppelen. Vi hadde *first light* med dette utstyret 30 september 2022. Objektene *M101* og *M51* ble fotografert som enkeltbilder i tillegg til visuelle observasjoner. Det ble også koplet til en *raspberry PI*, som er en liten datamaskin med *linux operativsystem* og *kstar* programvare. Seriekommunikasjonen over USB virket.

Trackinghastigheten var ca. 0.3% feil. En guidefeil på ca. 1 buesekund RMS ble målt med *kstar/PHD2*. Dermed ble det også litt bom og leiting med GOTO. Dette kunne justeres i *onstep* med parametersettinger med å måle ut feilen. Vi er ikke helt i mål enda og bommer ca. ¼ grad når posisjonen er ca. 180 grader fra synkroniseringspunktet, men regner med å få det enda bedre til.

Litt seinere ble det tatt i bruk en rask linux-maskin med *kstar* programvare. *OnStep* har standard *Meade LX-200* protokoll. Dermed var det mulig å styre kikkerten fra PC Det som manglet nå var en handkontroll for å slippe å bruke privat utstyr. *OnStep* har en løsning med *Smart Hand Contoller*, med en ny *ESP32*, men etter en del testing ble dette for vanskelig å få stabilt, så denne løsningen ble satt til side.

PC'en med *kstar* har støtte for *Joystick* (styrepinne), og med denne kan vi navigere i RA/DEC retninger, samt endre hastighet, så dette ble løsningen så langt.

Så har det vært noen tekniske problemer: Giringen på systemet er ikke helt riktig, dermed blir GOTO posisjonering litt feil, og tracking litt feil. Feilen er ikke større enn at kikkerten peker ca. ¼ grad feil etter å ha rotert 180 grader. Nye tall for giring er funnet, men ikke verifisert enda. (sommer 2024).

Sommeren 2024 ble det arbeidet med å kunne styre kuppelen, og det er godt håp å få dette til innen høsten 2024. 9 juli fikk vi til å rotere kuppelen med 5 Volt styresignaler, og lese av informasjon når den roterer.

Ved observatoriet i Skibotn er det satt opp to små *Pulsar* kupler (figur 13.7). Disse har datastyring. Med litt arbeid har jeg funnet ut kommunikasjonen og protokollen de bruker. Det er en *Arduino Nano prosessor (AVR Atmega 328P)*. Med denne skal kuppelen kunne kjøres som en standard *Pulsar* kuppel med protokoller som finnes både for *Linux/kstar* og *Windows/NINA*. Dette er nå klart til testing, men ikke gjennomført pr 6. aug 2024.

I tillegg til *OnStep* fokus hadde det vært greit med en egen fokuskontroller uavhengig av *OnStep*. Dette øker fleksibiliteten av utstyret. Programvare til slik fokuser er funnet på internett, men skrevet om noe slik at også manuell fokusering er lett å få til. Dermed har vi manuell elektronisk fokuser, datastyrt fokuser og autofokus. Fokuseren koples til via USB på computer, som en standard «Smartfokuser» som det finnes drivere til i linux /PC miljøene.

Etter oppgraderingen kan utstyret kjøres med standard kommersielle produkter som:

- Montering: Meade LX 200 (*onstep* løsningen m/fokuser)
- Kuppel *Pulsardome* (egenutviklet programvare basert på Pulsarkommunikasjon)
- Fokus: Smartfokus (justert programvare for internett)

Målet er at kuppelen skal være synkronisert med teleskopet vinteren 2024/2025.

Det skal bli spennende å se hva vi får til med dette store teleskopet videre.

Referanser:

onstep Telescope Mount Goto Controller: <https://onstep.groups.io/g/main>

Arduino IDE: <https://www.arduino.cc/en/software>

Fokuser: <https://github.com/w0anm/Another-Arduino-Focuser>

Pulsardome: Ingen kjente referanser til protokoll

Vedlegg 3: Skibotn Observatorium august 2023



Figur 12.13. Skibotn Observatorium fra luften 23.8.2013. Foto: Erlend A. Danielsen

13. Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO) og fremtiden

Magnar Gullikstad Johnsen

Skibotn har lenge vært kjent som et sted med gode observasjonsforhold av himmelen pga. sitt tørre klima og forholdsvis gode skydekke-statistikk. Allerede på 60-tallet ble det etablert observasjoner av himmelen der i regi av Nordlysobservatoriet i Tromsø og grupper som bedrev rakettoppskytninger fra Andøya. Fra 1971 før etableringen av det permanente astronomiske observatoriet, foregikk denne aktiviteten på Olderbakken like ovenfor Skibotn. Dette er beskrevet i kapittel 2.2.

13.1 Innledning

Ove Harang bedrev utvikling av instrumenter og utførte observasjoner av den øvre atmosfæren parallelt med den astronomiske aktiviteten som etter hvert ble etablert på Olderbakken. Blant annet ble tidlige eksperimenter med videoopptak av nordlys gjennomført. Spektrografiske observasjoner, målinger med zenith-fotometer, scanningfotometer og lidarmålinger foregikk også. Ved etableringen av det nye astronomiske observatoriet mot slutten av 70-tallet, ble Nordlysobservatoriet flyttet fra Olderbakken til en plass like ved det astronomiske observatoriet og utvidet med 5 brakker (kap. 3.7) som vist i i figur 13.1.



Figur 13.1. Eget bygg for nordlysstudier ble oppført i Skibotn rundt 1980. De fire brakkene til høyre, ble senere flyttet til motsatt side av det astronomiske observatoriet og brukt til overnatting. Mer om byggevirksomheten i kapittel 8.

Det ble også tatt imot gjesteinstrumenter som magnetometer, riometer og kamera fra institutter i Japan, Tyskland og Norge ble holdt i drift med støtte fra Nordlysobservatoriet i Tromsø. Det kom også besøkende grupper med egne instrumentbrakker som vist i figur 13.2.



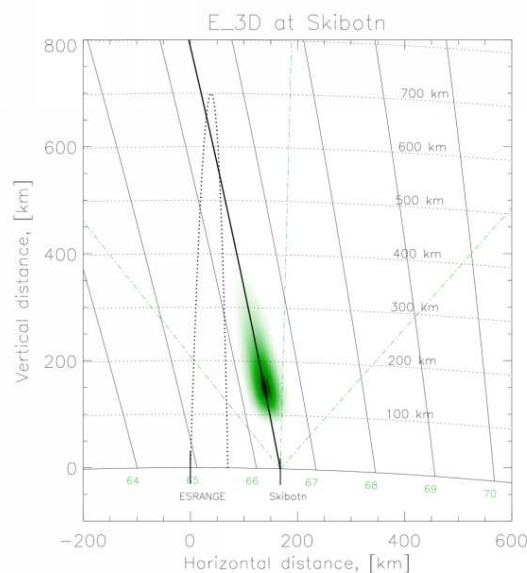
Figur 13.2 Besøkende gruppe med egen instrumentbrakke.

På midten av 90-tallet kom Mike Kosch fra Max Planck-Instituttet für Arenomi og senere University of Lancaster på banen og startet observasjoner. Kosch oppgraderte den gamle astronomihytta som tidligere hadde huset T21 på Olderbakken og noen år fungerte som amatørastromiobservatorium. Observatoriet fikk dermed moderne All-sky-kamera og Fabry-Perot Interferometer i drift. Nordlysobservatoriet støttet denne virksomheten med vedlikehold og ved å reise dit å bytte diskere på ukentlig basis. Denne støtten opphørte rundt 2002 fordi mengden resurser som ble brukt på det ikke svarte til budsjettene. Skibotn ble fortsatt brukt av Mike Kosch på kampanjebasis i tilknytning til Heating-eksperimenter på Ramfjordmoen helt frem til 2007. I samme periode ble også Skibotn etablert som stasjon i det svenske ALIS-nettverket for tomografisk avbildning av nordlyset. Takket være Mike Kosch ble observasjonshyttene holdt noenlunde ved like og intakte i mange år.

13.2 Site selection for EISCAT 3D

Undertegnede var i 2011 ansatt ved Institutt for Fysikk og Teknologi for å jobbe med “site selection”-prosessen for EISCAT_3D og skrive en anbefaling om plassering av det nye anlegget. Flere plasser i Troms (eks. Øverbygd, Ramfjordmoen) og Nordland (Andøya) ble evaluert og vurdert for dette. Våren 2011 var jeg tilstede ved EISCAT User Meeting i Uppsala, hvor Bjørn Gustavsson (nå professor ved UiT IFT) holdt et innlegg, hvor han lanserte Skibotn som et mulig kandidat for EISCAT_3D sin «core site». Delvis inspirert av dette ble Skibotn evaluert og man konkluderte at fra et praktisk så vel som vitenskapelig ståsted var dette det optimale stedet. Faktorer som ble pekt på var:

- Stedets relativt lette tilgjengelighet.
- Stedets beliggenhet trukket inn fra havet som muliggjør plassering av passive mottakerantennene rundt anlegget i flere 10-talls kilometers avstand i alle retninger.
- Stedets plassering i forhold til et rakettskytefelt.
- Mulighet for å finne flate nok arealer i Skibotn-dalen som også tillot utplassering av mindre satellitt-antennefelt for interferometriske målinger
- De utmerkede optiske forholdene for komplimenterende optiske målinger av den øvre atmosfæren
- Og ikke minst det faktum at UiT allerede hadde både Feltstasjon og observatoriefasilitet i området.



Figur 13.3. Geometrien til en tenkt raketbane fra ESRANGE og rakettenes flukt gjennom partikkelnedbøren som skaper nordlys på Skibotns magnetfeltlinje.

13.3 TGO etablerer seg ved observatoriet

Mot slutten av 2011 fikk jeg jobb ved Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO). TGOs hovedoppgaver kan grovt deles i tre med vekt på de to første; jordmagnetiske målinger i Norge og Arktis, radarmålinger av den øvre atmosfære og håndtering av gjesteinstrumentering ved NT-fakultetet sine feltstasjoner på Ramfjord-

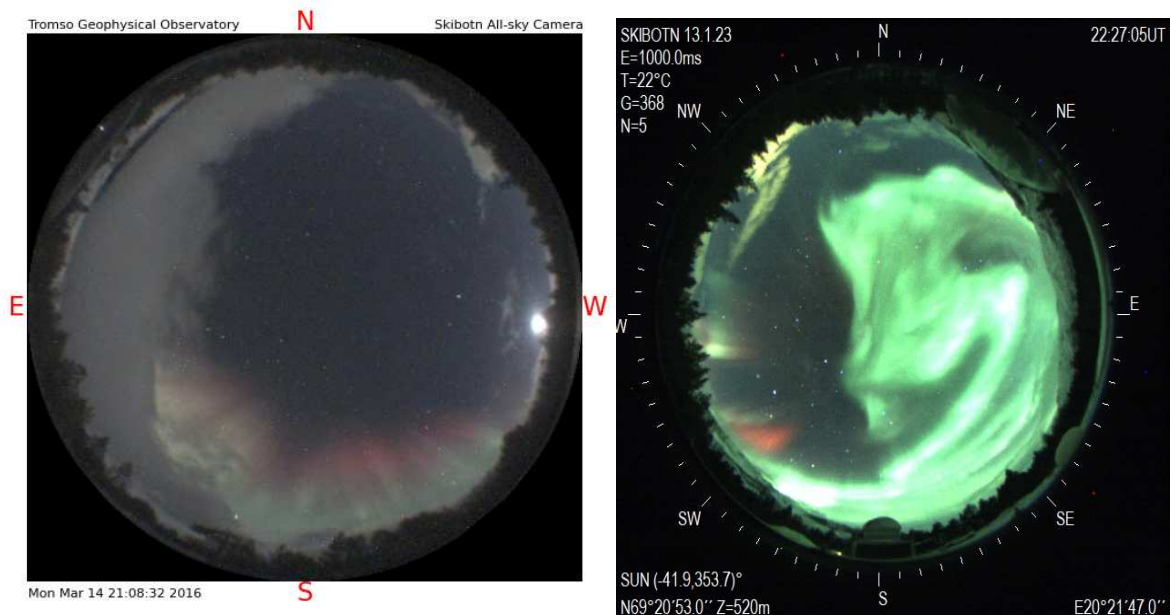
moen og i Adventdalen på Svalbard. Spesielt er gjesteinstrumenteringen på Ramfjordmoen nært knyttet til ønsket om å måle i samkvem med EISCATs anlegget. Med planleggingen av EISCAT_3D underveis og etter hvert beslutningen om at det nye systemet skulle legges til Skibotn, var det naturlig å se Skibotn Observatorium i sammenheng med dette.

Jeg reiste ut på befarings høsten 2012. Da hadde ikke vitenskapelige observasjoner blitt utført på stedet siden 2007, og forfallet var åpenbart. Nordlysbrakka rett vest for teleskopbygget hadde fremdeles strøm og varmen sto på, men taket var lekk. Den tidligere amatørstronomihytta var fremdeles intakt og i brukbar stand.

En ny befarings ble gjennomført våren 2013. Da hadde nordlysbrakka mistet strømmen pga. jordfeil og vannlekkasjen i taket hadde økt kraftig. Under et besøk ved observatoriet senere samme år fant jeg en stor sopp som vokste rett ut av dørterskelen mellom to rom inne i brakka! Vannskadene på brakka ble vurdert som så store at kondemnering var eneste mulighet. Endelig sommeren 2022, ble brakka fjernet etter flere år med akselererende forfall.

Sommeren 2013 fikk TGO også etablert nye målinger i Skibotn; en fremdeles intakt riometerantenne ved observatoriet ble koblet opp til et eldre, analogt riometer utstyrt med ny analog-digital konverter. For å få dataene over til servere i Tromsø ble en egen dedikert bredbåndsforbindelse via satellitt montert. Den første sesongen med målinger bekreftet Skibotns observasjonspotensiale og nettverksforbindelsen viste seg å virke tilfredsstillende. Etter samtaler med prof. Jøran Moen ved UiO ble vi dermed enige om å flytte deres all-sky-observasjoner fra Andøya til Skibotn og en ny svært følsom multispektral all-sky imager med tilhørende GNSS-mottaker for måling av ionosfæriske scintillasjoner, ble montert høsten 2014.

Med permanente all-sky-observasjoner med et vitenskapelig kamera på plass fra 2014, kan man si at Nordlysobservatoriets ære er rehabilitert med hensyn på denne typen observasjoner. I 2015 fikk man også montert et eget farge all-sky-kamera for skydekkeovervåking, formidling til turister og andre interesserte.



Figur 13.4. Nordlys observert med all-sky kamera fra Skibotn

13.4 Jean Lilensten etablerer seg på Observatoriet

Vinteren 2012-13 var prof. Jean Lilensten fra Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG) invitert til Tromsø for å holde Harang-forelesningen hos Academia Borealis. I foredraget sitt fortalte han om hans arbeid med å måle polarisasjonen i nordlyset og hvordan man vha. målinger fra Svalbard hadde klart å bekrefte at den røde linjen faktisk er polarisert. Dette var grensesprengende oppdagelser, spesielt ettersom muligheten for dette hadde blitt avfeid for flere tiår siden og blitt det var en sementert oppfatning at lyset ikke er polarisert. Dagen etter forelesningen møtte jeg tilfeldigvis Jean på bussholdeplassen i Fr. Langes gate hvor han mildt oppgitt prøvde å dekode rutetabellen for bussene for å komme seg på besøk til

Nordlysobservatoriet. Jeg forbarmet meg over ham, og sammen tok vi bussen opp til og spaserte dit langs Prestvannet. Underveis fortalte jeg ham om Skibotn-observatoriet og mulighetene for å gjennomføre målekampanjer derfra. Dette la grunnlaget for et langvarig samarbeid og vennskap.

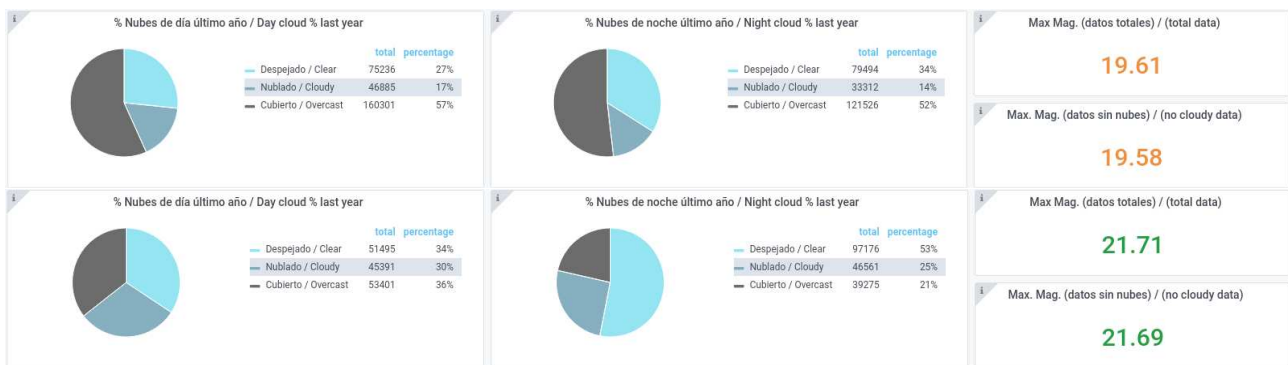
I januar 2014 ble dermed den første polarisasjonskampanjen i Skibotn gjennomført og stedet og forholdene ble vurdert med svært stor entusiasme fra de franske kollegaene. Siden, med unntak av covid-årene, har man normalt gjennomført to målekampanjer hvert år og gruppen som har vært involvert har økt i størrelse hvor forskere fra det Belgiske Instituttet for Romforskning og kollegaer fra Nederland også har deltatt. Flere oppdagelser rundt hvilke emisjoner i nordlyset som er polarisert samt hva som påvirker polarisasjonsvinkelen er gjort. Store forbedringer på instrumenteringen er utført og arbeidet har produsert en jevn strøm av vitenskapelige publikasjoner. Kampanjene har også avstedkommet svært grundige undersøkelser av hvordan lysforurensningen arter seg i Skibotn da polarisert lysforurensning kan stå i fare for å kontaminere målingene av nordlysemisjonene, og man har utvidet spektret av observasjoner til spektrografi og testing av optiske nordlysinstrumenter for satellitter.

I de påfølgende årene ble sakte, men sikkert flere instrumenter satt i drift; f.eks. flere riometere. I 2017 ble TGO kontaktet av folk fra Dept. Fisica de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense i Madrid. Disse var involvert i et stort EU-prosjekt (Stars4All) med fokus på lysforurensning og dens påvirkning på biologi og astronomi. De ønsket å sette opp et zenith-fotometer (TESS-W) for overvåking av lysforurensningen i Nord-Norge. Skibotn ble valgt til dette formålet og våren 2018 kom instrumentet i drift.



Figur 13.5. Bildet viser TESS-fotometeret i Skibotn med de optiske nordlyskuplene og teleskopbygget i bakgrunnen bak trærne. Foto: Magnar G. Johnsen

I tillegg til å måle magnituden på nattehimmelen i zenith, måler også instrumentet temperaturen på himmelen for å etablere hvorvidt det er skyer eller ikke. Dataene sendes i sanntid til server i Madrid og er åpent tilgjengelig for alle. Instrumentet fortsetter å måle, og det har med tiden utviklet seg en vesentlig database for dataene. For å sammenligne med Tromsø, har man også satt i drift tilsvarende instrument på Nordlysobservatoriet fra 2021. Figurene på neste side viser hvor overlegen Skibotn er både mht. skydekke og mangel på lysforurensning.



Figur 13.6. Statistikk for Tromsø (øverst) og Skibotn (nederst) mht skydekke og himmel magnitude. Melkeveien er ikke synlig for magnituder under 20, man kan mao. ikke se den i Tromsø. Skibotn når derimot det mørkeste nivået stjernehimmelen teoretisk sett kan ha i zenith, som er magnitude 22.

13.5 Optisk fiber kabel og flere gjesteinstrumenter

En viktig milepæl for observasjonene i Skibotn var da det endelig ble lagt optisk fiber til observatoriet, sommeren 2018. Dette har vært helt nødvendig for å åpne opp for mer instrumentering og observasjoner. I dag er allerede optiske instrumenter fra Japan og radioinstrumenter fra Institutt for Fysikk og Teknologi ved UiT utplassert som en tilføyelse til TGOs egne observasjoner.

TGO selv har i samarbeid med UNIS på Svalbard montert nok et all-sky kamera som del av Boreal Auroral Camera Constellation som har instrumenter både i Finland og på Svalbard. I samarbeid med Universitetet for Elektrokommunikasjon i Tokyo er det montert et all-sky kamera som inngår i deres arbeid med maskinlæring, kunstig intelligens og automatisk deteksjon av nordlys.

I løpet av 2023 ble flere optiske instrumenter flyttet fra Ramfjordmoen til Skibotn og det vil tilkomme flere andre instrumenter, bl.a. høyhastighetskameraer av typen EMBLA fra University of Southampton. Det er også etablert en nordlysspektrograf og et nytt spektralriometer. Til sammen er det nå en samling av rundt 20 optiske og passive radioinstrumenter ved observatoriet.

13.6 Planer for fremtiden

Med fullføringen av EISCAT_3D forventes det at etterspørselen om plass til gjesteinstrumenter skal øke betraktelig. Allerede er flere grupper på venteliste for å plassere sine instrumenter. Fasilitetene i Skibotn er i skrivende stund på full kapasitet og det er ikke plass til flere instrumenter. NT-fakultetet meldte inn behov om nye fasiliteter i februar 2021. Dette inkluderer:

- Riving av brakkeriggen koblet til teleskopbygget.
- Oppføring av nytt «service-bygg» i tilknytning til Teleskopbygget. Dette skal inneholde kjøkken, toalettfasiliteter, oppholdsrom, teknisk rom, instrumentrom og overnatting begrenset til noen få senger for personell som skal utføre observasjoner om natten. Bygget vil være like høyt som plattformen rundt teleskopet og muliggjøre kampanjebaserte observasjoner fra taket med tilgang fra egnet instrumentrom inne.
- Nytt bygg for observasjoner av atmosfæren med 10-15 optiske kupler og tilhørende tekniske rom og fasiliteter, med mulighet for utvidelse.

Proessen med reguleringsplan for å muliggjøre denne utvidelsen er satt i gang. I reguleringsplanen planlegges også areal i tilknytning til eller nærheten av observatoriet, for å kunne etablere større antennefelter for passivt mottak av signaler fra andre steder i Fennoskandia, slik som Tromsø, Andøya, Sodankylä, Kiruna osv.



Figur 13.7. TGOs observasjonsfasiliteter i Skibotn fotografert mot nord fra taket på teleskopbygget i forbindelse med et besøk etter en EISCAT konferanse i juli 2024. Nytt nordlysobservatorium er tenkt bygd der hvor observasjonshytte og den røde brakka står (Foto: Inger Solheim).

For å dekke de umiddelbare behovene, har TGO fått planert et område for å sette opp en midlertidig brakkerigg som vil kunne huse 4-8 optiske kupler. Riggen vil oppføres stegvis, og den første brakken er allerede på plass. Søknadsprosessen om å få ta den i bruk er i gang, og man vil forhåpentlig vis i løpet av sommeren 2023 ha den klar for observasjoner i tide til oppstarten av EISCAT_3D. Bildet under viser TGOs observasjonsfasiliteter slik de ser ut i skrivende stund. De to hvite, astronomiske kuplene er tenkt til automatiserte polarisasjonsmålinger av nordlyset og for å dekke andre kampanjebaserte behov.

Det er uvisst hvor lang tid prosessen frem imot et nytt observatorium vil ta, dette er i hendene til universitetsledelsen ved UiT. EISCAT_3D er den største enkelt-investering innen forskningsinfrastruktur fra den norske staten noensinne. Man bør derfor kunne forvente at man ønsker å maksimere det vitenskapelige utbyttet av et slikt anlegg og stimulere til at norske forskere får mest mulig utbytte av det.

13.6 Konklusjon

Som vertskap for denne infrastrukturen i Norge og med en lang og ærerik tradisjon innen studier av den øvre atmosfære, står UiT Norges Arktiske Universitet i en særstilling og Skibotn Observatorium blir et viktig strategisk verktøy. For å maksimere det vitenskapelige utbyttet og for å stimulere til den beste vitenskapen og samarbeidet utad, er det viktig at infrastruktur som kan bygge opp under EISCAT_3D og å utnytte Skibotns fulle observasjonspotensiale, kommer på plass.

Som eier av Skibotn Observatorium, er det både et spørsmål om ære og hva som er gode strategiske valg, at observatoriet utvikles og tilpasses til de neste 50 årene med grensesprenkende vitenskapelig arbeid.

Referanser

TESS:

J. Zamorano et al. *STARS4ALL Night Sky Brightness Photometer*, International Journal of Sustainable Lighting 35 (2016) 49-54

Polarisasjonsmålinger:

Bosse, Léo; Lilensten, Jean; Gillet, Nicolas; Brogniez, Colette; Pujol, Olivier; Rochat, Sylvain; Delboulbé, Alain; Curaba, Stephane; Johnsen, Magnar Gullikstad. *Night light polarization: Modeling and observations of light pollution in the presence of aerosols and background skylight or airglow*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 2023

Robert, Barthélemy, Cessateur, Woelfflé, Lamy, Bouriat, Johnsen, Brändström, Biree. *Reconstruction of electron precipitation spectra at the top of the upper atmosphere using 427.8 nm auroral images*. Journal of Space Weather and Space Climate. 2023

Bosse, Léo; Lilensten, Jean; Gillet, Nicolas; Brogniez, Colette; Pujol, Olivier; Rochat, Sylvain; Delboulbé, Alain; Curaba, Stephane; Johnsen, Magnar Gullikstad. *At the source of the polarisation of auroral emissions: experiments and modeling*. Journal of Space Weather and Space Climate 2022 ;Volum 12.(7)

Bosse, Léo; Lilensten, Jean; Johnsen, Magnar Gullikstad; Gillet, Nicolas; Rochat, Sylvain; Delboulbé, Alain; Curaba, Stephane; Ogawa, Yasunobu; Derverchère, Philippe; Vauclair, Sébastien. *The polarisation of auroral emissions: A tracer of the E region ionospheric currents*. Journal of Space Weather and Space Climate 2022 ;Volum 12.(7)

Léo Bosse, Jean Lilensten, Nicolas Gillet, Sylvain Rochat, Alain Delboulbé, Stephane Curaba, Alain Roux, Yves Magnard, Magnar G. Johnsen, Unni-Pia Løvhaug, Pierre-Olivier Amblard, Nicolas Le Bihan, Maxime Nabon, Hanane Marif, Frédérique Auriol, Camille Noûs, *On the nightglow polarisation for space weather exploration*, J. Space Weather Space Clim. 10 35 (2020) DOI: 10.1051/swsc/2020036

Barthélemy, Mathieu; Lamy, Hervé; Vialatte, Anne; Johnsen, Magnar Gullikstad; Cessateur, Gaël; Zaourar, Naïma. *Measurement of the polarisation in the auroral N 2 427.8 nm band*. Journal of Space Weather and Space Climate 2019 ;Volum 9.

Lilensten, Jean; Barthélemy, Mathieu; Besson, Gérard; Lamy, Hervé; Johnsen, Magnar Gullikstad; Moen, Jøran Idar. *The thermospheric auroral red line Angle of Linear Polarization*. Journal of Geophysical Research - Space Physics 2016; Volum 121 (7). ISSN 2169-9380.s doi: 10.1002/2016JA022941.

J. Lilensten, Mathieu Barthélemy, G. Besson, Hervé Lamy, Magnar G. Johnsen, Jøran Moen, *The thermospheric auroral red line Angle of Linear Polarisation.*, Journal of Geophysical Research: Space Physics, Volume 121, Issue 7, pp. 7125-7134, 2016

Lilensten, J.; Bommier, V.; Barthelemy, M; Lamy, Herve; Bernard, D; Moen, Jøran Idar; Johnsen, Magnar Gullikstad; Løvhaug, Unni Pia; Pitout, Frederic. *The auroral red line polarisation: modelling and measurements*. Journal of Space Weather and Space Climate 2015; Volum 5 (A26). ISSN 2115-7251.s doi: 10.1051/swsc/2015027.

Vedlegg

Forskningsrådets infrastrukturprosjekt: EISCAT_3D Norway 2014

EISCAT_3D er et fasestyrt radarsystem for observasjoner av nordlyssonen for å studere den øvre atmosfæren og dens kobling med verdensrommet. Dette Forskningsrådsprosjektet er Norges investeringsbidrag til EISCAT_3D fase 1 og medlemskap i den internasjonale organisasjonen EISCAT Scientific Association (EISCAT).

EISCAT_3D fase 1 skal bestå av sender og mottaker i Skibotn i Troms, samt to mottakeranlegg i Sverige og Finland, omtrent 130 km fra Skibotn. Radarene måler elektromagnetiske bølger som sprer seg i atmosfæren og som reflekteres tilbake til mottakerne. EISCAT_3D målinger har langt høyere oppløsning i rom og tid enn det det er mulig å oppnå med nåværende systemer. EISCAT_3D er et «landemerke» på den Europeiske ESFRI veikartet for forskningsinfrastruktur og eies og drives av EISCAT.

Når det nye anlegget blir operativt, vil EISCAT-instrumentene bestå av EISCAT_3D fase 1 og EISCAT Svalbard Radarene. Målingene brukes til å studere plasmafysikk i rommet som for eksempel de fysiske prosessene i nordlyset, klimaendringene og romværet. Andre forskningsområder er kartlegging av romsøppel, og studier av meteorer og støvpartikler.

Forskere i Norge og andre land støtter utviklingsarbeidet med innspill til EISCAT Association og forbereder sin forskningsaktivitet med den nye radaren. EISCAT-infrastrukturen brukes av romforskere i Norge, inkludert forskningsprosjekter finansiert fra Norges forskningsråd og fra det europeiske forskningsrådet. Den fremmer internasjonalt samarbeid og etablering av andre forskningsinstrumenter i Nordregionen; og den brukes til å lære opp neste generasjon romeksperter i Norge



Figur 13.8 EISCAT 3D I Skibotn februar 2023. Anlegget består av 100 containere med elektronikk som hver skal betjener 100 antenner på taket av containeren. Til sammen blir det 10 000 antenner. Disse er nå montert og under innkjøring (2024). Foto: <https://eiscat.se>

Skibotn anlegget skal både sende og motta signaler. Det skal sendes med en effekt 10MWWD på en frekvens 233 MHz. I tillegg er det planlagt 5 mottagersteder med 5 000 antenner hver: Karesuvanto (Finland) og Kaiseniemi (Sverige) pluss tre til. Mer informasjon på EISCAT 3D nettsted – linker på neste side.

14. Lenker

Logger fra feltstasjonsturene skrevet av Jan-Erik Solheim og Svein Sivertsen, transkribert av Svein Sivertsen:

https://drive.google.com/drive/folders/1OicJwjyxc-XThKbcQTrN_T_L9ZN7Emnq

Hovedfagsoppgaver innlevert til Unviversitetsbibliotektet iTromsø:

Høydalsvik, Stein, 1980, Hovudfagsoppgåve, Institutt for matematiske realfag, Universitetet i Tromsø: *Fotoelektriske observasjonar av stjerneokkultasjonar ved måneranda.*

<https://hdl.handle.net/10037/3444>

Thomassen (nå Voie), Tommy, 1996, Hovedfagsoppgave, Mat. Nat. Fakultet, Universitetet i Tromsø, *Presisjonsfotometri ved Skibotn Observatorium.* <https://hdl.handle.net/10037/35119>

Kamben, Robert, 2000, Master Thesis, University of Tromsø, Faculty of Science, Department of Physics, Astrophysics Group: *Stellar CCD Photometry in the Auroral Zone*

<https://hdl.handle.net/10037/34113>

Skibotn Feltstasjon: https://uit.no/infrastruktur/enhet?p_document_id=675269

Skibotn Feltstasjon arkitektur: <https://arkitekturguide.uit.no/items/show/1190>

EISCAT 3D prosjekt: https://en.uit.no/prosjekter/prosjekt?p_document_id=487937

EISCAT 3D side med oppdaterte bilder: <https://eiscat.se/eiscat3d-information/>

Tromsø Geofysiske Observatorium (TGO): <https://www.tgo.uit.no>

Tromsø Astronomiske forening (TRAF): <https://tromsoastronomi.no/>

Nordlysplanetariet: <https://nordnorsk.vitensenter.no/nb/nordlysplanetariet>

Nordisk Optisk Teleskop: <https://www.not.iac.es>

ALFOSC – The Alhambra Faint Object Spectrograph and Camera:

<https://www.not.iac.es/instruments/alfosc/>

15. Hovedfagsoppgaver og doktorgradsavhandlinger ved Astrofysikkgruppa

Navn	Årstall	Tittel	Nr
Hovedfagsoppgaver			
Hans Kristian Myrabø	1976	Stjernefotometri i Nordlyssonen	1
Roy Johansen	1978	En analyse av statistiske egenskaper ved kvasarene.	
Stein Høydalsvik	1980	Fotoelektriske observasjonar av stjerneokkultasjonar ved måneranda	2
Karl Emil Egge	1982	Fotometri og analyse av formørkelser i kontaktbinære stjerner	3
Jørgen Leiknes	1982	Pekuliære A-stjerners innfangning av interstellare støvkorn	
Jan Petter Pedersen	1982	Om atmosfærens effekt på infrarøde satellittmålinger av havets overflatetemperatur	
Knut Henriksen	1987	Astrometri i nordlyssonen	4
Oddgeir Kristiansen	1987	Statistiske resultater for nødpeiling med SARSAT/COSPAS systemet fra Tromsø	
Kjell Larsen	1987	Analyse av flarestjerneobservasjoner	
Per Ivar Emanuelsen	1990	Lyskurveanalyse anvendt på AM CVn	
Øystein Olsen	1992	Gravitational lenses CCD Imaging Using the Nordic Optical Telescope	
Anne Bruvold	1992	Analyse av hurtigfotometrisske observasjoner av den varme hvit dverg stjerna PG 1159-035	
Liv Torill Kjeldsen	1993	Korrelasjonsanalyse av multikanals fotometriske observasjoner av polaren AN UMa	
Halvard Olderlund	1993	Stråling og baner for energetiske partikler i Primærstjernas magnetosfære i AM Her objekt	
Roy Østensen	1993	QSO 2237+0305 cleaned: results from four years of gravitational lens monitoring with the NOT	
Torbjørn Bremnes	1994	Gravitational Microlensing of Large Sources Lightcurve Fluctuations	

S. Bard	1995	Syntetic Spectra for the Accretion Disc in AM CANUM VENATICORUM based on Stellar Atmosphere Models	
Tommy Thomassen Voijs	1996	Presisjons fotometri ved Skibotn observatorium	5
Tanja Kramer Nymark	1996	Effects of irradiation on the secondary star in a tight binary system, exemplified by AM Canum Venaticorum	
Ramin F. Aminzade	1998	Tidsserieanalyse av hurtigfotometriske data fra EC 15330-1403	
Dima Semionoff	1998	Modelling of the accretion disc spectra	
Robert Kamben	2000	Stellar CCD Photometry in the Auroral Zone	6
Frank Johannessen	2003	Improving the Skibotn Telescope Drive System	7
Doktorgradsavhandlingar			
Roy Østensen	2000	Time Resolved CCD Photometry	
Mosab R. Nasser	2001	NLTE Accretion Disc Models for the AM CVn Systems	
Jose Gonzalez Perez	2004	From Close Binary White Dwarfs to White Dwarfs	
Erika Pakstiene (Litauen)	2000	Kurs – fullført doktorgrad ved Vilnius Universitet	

Nummer i siste kolonne er oppgaver utført ved Skibotn Observatorium

16. Personer i Astrofysikkgruppa og forprosjektet

Faste ansatte				Adresse nå
1	Jan-Erik Solheim	1971-2002	professor	Bærum
2	Lennart Berger	1977-86	ingeniør	Tromsø
3	Jan Arvid Jensen	1986-90	ingeniør	ukjent
4	Inge Strømmesen	1990-95	ingeniør	Tromsø
5	Torfinn Roaldsen	1996-2002	ingeniør	død
6	Janne-Grethe Løkvoll	1996-2020	stasjonsjef	Kongsberg
Forprosjekt/Stajoner i Troms				
7	Tore Nergård	1971-74	mekaniker	ukjent
8	Reidar Persen	1977-99?	mekaniker	død
9	Øyvind Worum	1973-75	ingeniør	Bjarkøy
10	Fred Klokkervoll	1973-75	ingeniør	Tromsø
11	Sturla Pedersen	1971-73	student	ukjent
12	Odd Fjordheim	1971-72	student	Tromsø
13	Martin Bratfos	1971-72	student	Jessheim
Temporære				
14	Svein Sivertsen	1971-80	vit.ass/am.	Vestby
15	Ragnar Kalleberg	1974-80	obs.ass	Grimstad
16	Jostein Bønes	1975-76	amanuensis	Bønes
17	Rolf Stabell	1975-76	førsteam.	Bærum
18	Bjørn R. Pettersen	1980-87	stipendiat	Hallingbygd
19	Kaare Aksnes	1980-88	prof II	Bærum
20	Torsten Aslaksen	1986-87	obs.ass	Tromsø
21	Birgitta Larsson	1988-91	stipendiat	Karlstad
22	Stefan Larsson	1988-91	stipendiat	Karlstad
23	Ana Ulla	1989-90	stipendiat	Vigo
24	Edmund Meistas	1991-98	amanuensis II	Vilnius
25	Christophe Massacand	1992-95	post.doc	Bergen
Hovedfagstudenter				
26	Roy Johansen	1974-78		Skedsmo
27	Hans Kristian Myrabo	1974-76		Verma
28	Karl Emil Egge	1975-83		Levanger
29	Stein Høydalsvik	1978-80		Tromsø
30	Jørgen Leiknes	1979-82		ukjent
31	jan Petter Pedersen	1980-82		Tromsø
32	Knut Henriksen	1982-87		Tromsø
33	Oddgeir Kristiansen	1984-87		Oslo
34	Kjell Larsen	1984-87		ukjent
35	Per Ivar Emanuelsen	1988-90		Tromsø
36	Anne Bruvold	1989-92		Tromsø
37	Øystein Olsen	1989-92		Trondheim
38	Liv Torill Kjeldsen	1989-93		Tromsø
39	Halvard Olderlund	1990-92		Tromsø
40	Roy Østensen	1990-93		Oslo
41	Bard Saadatnejad	1992-95		Oslo
42	Torbjørn Bremnes	1992-94		Paris
43	Tommy Thomassen	1995-96	T.Voie	Tromsø
44	Tanja Nymark	1994-96		Stockholm
45	Ramin F. Aminzade	1996-98		Tromsø
46	Dima Semionoff	1996-98		Vilnius
47	Robert Kamben	1999-2000		Trondheim
48	Frank Johannessen	1999-2003		Kløfta
Doktorgradsstudenter				
40	Roy Østensen	1996-2000		Oslo
49	Mosab R. Nasser	1998-2001		ukjent
50	Jose Gonzalez Perez	1998-2004		Bleik
51	Erika Pakstiene	2000		Vilnius