Statlig program for forurensningsovervåking

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon: NILU

Rapport nr.: 801/00

Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 1999



TA-1733/2000

NILU Norsk institutt for luftforskning

Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

- **luft og nedbør**
- **grunnvann**
- **vassdrag og fjorder**
- **havområder**
- **skog**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

- **gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.**
- **registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.**
- **påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.**
- **over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.**

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utslipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo, tlf. 22 57 34 00.

Forsidebilde: Observasjon av UV-stråling ved hjelp av et GUV-instrument og observasjon av stratosfærens ozonlag vha UV-synlig- spektrometeret SAOZ i Ny-Ålesund
Foto: Ove Hermansen, NILU

NILU OR 26/2000

NILU: OR 26/2000
RERERANSE: O-8985
DATO: Juni 2000
ISBN: 82-425-1180-2

Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 1999

Britt Ann K. Høiskar, Geir O. Braathen, Arne Dahlback*, Bojan R. Bojkov, Trond Svenøe, Kåre Edvardsen og Georg H. Hansen

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Postboks 1048, Blindern, 0316 Oslo

Utført etter oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn

Sammendrag

Det ble i 1999 ikke observert nedbrytning av ozon i Arktis i samme grad som tidligere på 90-tallet. Dette skyldes at det i 1999 var relativt høye temperaturer i stratosfæren i Arktis. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen. Dette forklarer de høye månedsmidlene for totalozon som ble observert i perioden januar-april i 1999.
Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1999. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.41% pr. år om vinteren, 0.53% pr. år om våren, 0.12% pr. år om sommeren og 0.23% pr. år om høsten. På årsbasis er nedgangen 0.31% pr. år. For Tromsø er det utført en trendanalyse for perioden 1985-1999 basert hovedsakelig på Dobson målinger. Det er også utført en trendanalyse for perioden 1979-1999, hvor man har benyttet en kombinasjon av Dobson- og TOMS-målinger. På årsbasis er nedgangen i Tromsø 0.16% pr. år, og for vårmånedene er nedgangen på 0.29% pr. år.

Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 Kjeller

Innhold

Side

Sammendrag 5

KAPITTEL 1: Målinger av totalozon i 1999 7
1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene 7
1.2 SAOZ-instrumentet 9

KAPITTEL 2: Målinger av ozonprofiler i 1999 10
2.1 Ozonsonder 10
2.2 Ozon-lidar 11

KAPITTEL 3: Ozonmålinger 1979-1999 11
3.1 Oslo 11
3.2 Tromsø 12
3.3 Spitsbergen 14

KAPITTEL 4: Sammenligninger av målinger fra forskjellige instrumenter 14
4.1 Innledning 14
4.2 Oslo 14
4.3 Tromsø og Ny-Ålesund 15

KAPITTEL 5: UV-målinger 16
5.1 Måleresultater 1999 16
5.2 Årsdoser 18
5.3 Målemetoder 18
5.4 Kalibrering og drift av UV-instrumentene 19

Appendix: Instrumentbeskrivelse 21
A.1 Dobson-spektrofotometeret 21
A.2 Brewer-spektrofotometeret 21
A.3 TOMS 21
A.4 SAOZ 22
A.5 GUV 22
A.6 Ozonlidar 22

Referanser 23

Sammendrag

De tre norske stasjonene som måler totalozon (ozonlagets tykkelse), Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund på Svalbard, viser månedsmidler for 1999 som gjennomgående ligger nokså nær langtids-månedsmidlene. I Oslo lå månedsmidlene for januar til mars 4-9% over månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989, mens månedsmiddelet for september lå 8% under langtidsmiddelet. For de øvrige månedene var avviket mellom månedsmidlene og langtidsmiddelet mindre enn ±4%. Til sammenligning lå alle månedsmidler i 1997 under månedsmiddelverdiene for 1979-1989. Målingene i Tromsø viste at månedsmidlene for mars og april lå henholdsvis 16 og 20% over månedmidlene for perioden 1950 til 1971. Også i august lå ozonverdiene godt over langtidmiddelet (11%). For de øvrige månedene var avviket mellom månedsmiddlene og langtidsmiddelet mindre enn ±4%. I Ny-Ålesund lå månedsmidlene i mars hele 18% over langtidsmiddelet for perioden 1984 til 1991. Det ble observert svært høye ozonverdier også i april. Månedsmiddelet var da 11% over langtidsmiddelet og den 6. april målte SAOZ-instrumentet en ozonverdi på hele 600DU.

Det ble i 1999 ikke observert nedbrytning av ozon i Arktis i samme grad som vintrene forut. De høye ozonverdiene i 1999 skyldes ikke nedgang i ozonnedbrytende stoffer, da konsentrasjonen av noen av disse fortsatt øker i stratosfæren. Årsaken er at det i 1999 var relativt høye temperaturer i stratosfæren i Arktis. Vinteren 1998/99 var temperaturen i stratosfæren høyere enn tidligere vintre på 90-tallet. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1999. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.41% pr. år om vinteren, 0.53% pr. år om våren, 0.12% pr. år om sommeren og 0.23% pr. år om høsten. På årsbasis er nedgangen 0.31% pr. år. Den nedadgående trenden har ikke vært jevn i perioden 1979-1999. For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1972 og fra 1985 til 1999. Den eldste måleserien er nå re-evaluert av NILUs Tromsø-avdeling i forbindelse med et doktorgradsarbeid ved Universitetet i Tromsø. Den nyeste måleserien (1985-99) danner grunnlaget for et nytt langtidsmiddel for Tromsø, som er brukt i denne rapporten. Den eldste måleserien vil bli tilgjengelig når doktorgradsarbeidet er publisert.

På Svalbard er det målt totalozon fra 1950 til 1969 og fra 1984 til d.d. De eldste måledataene må imidlertid re-evalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan foretas.

I Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund måles den ultrafiolette strålingen fra sola kontinuerlig med GUV-instrumenter. 1999 er det fjerde året med en komplett måleserie for alle tre stasjoner. UV-nivået angis med en UV-doserate eller UV-indeks som beskriver den biologiske effekten av UV-A og UV-B. Målingene bekrefter at de viktigste faktorene som påvirker UV-nivået er solhøyden, skymengden, ozonlagets tykkelse og refleksjonsegenskapene ved jordens overflate. UV-nivået kan variere svært mye fra dag til dag. Dette skyldes hovedsakelig varierende skydekke. Om sommeren ved klarvær er UV-nivået midt på dagen mer enn dobbelt så høyt i Oslo sammenlignet med Ny-Ålesund. Dette skyldes at solhøyden i Ny-Ålesund er lavere enn i Oslo. UV-nivået er ca. 50% høyere i Tromsø enn i Ny-Ålesund. Siden dagens lengde øker med breddegraden vil forskjellen i månedlig innstrålt UV-dose mellom de tre stasjonene være mindre enn for UV-dosen midt på dagen. Den høyeste månedsdosen i 1999 for Oslo og Ny-Ålesund var i juli måned, mens det for Tromsø ble registrert høyest månedsdose i juni.

For Oslo er det beregnet årsdoser siden 1995. I 1999 hadde Oslo en årsdose pa 334.1kJ/m^2 og dette er 14% mer enn det som var observert i 1998. Målingene av UV startet ca. ett år senere i Tromsø og Ny-Ålesund enn i Oslo, så her har vi årsdoser f.o.m. 1996. Tromsø hadde i 1999 den laveste årsdosen som er registrert siden målingene startet i 1996. Dette var også tilfelle for Ny-Ålesund som hadde en årsdose på 171.6J/m^2, 29% lavere enn i 1998.

Den høyeste strålingsintensiteten (dose-raten) i løpet av 1999 ble i Oslo målt den 18. juni. Doseraten midt på dagen var 140 mW/m^2. Dette svarer til en UV-indeks på 5.6. I Tromsø ble høyeste dose-rate, 96 mW/m^2, målt den 27. juni. I Ny-Ålesund ble høyeste dose-rate, 65 mW/m^2, registrert den 8. juni.

De tre GUV-instrumentene er blitt kalibrert i juni hvert år siden 1996. Disse kalibreringene viser at det er noe drift i instrumentene. Måledataene presentert i denne rapporten er korrigert for denne driften.

Både ved Universitetet i Oslo og Universitetet i Tromsø benyttes det to instrumenter for ozonlagsmåling, et Dobson-instrument og et Brewer-instrument. Brewer-instrumentet er delvis automatisk og muliggjør hyppigere målinger enn det som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Dobson-instrumentet gir foreløpig sikrere målinger i skyet vær og ved lav sol. Når måleforholdene er gode er det meget god overensstemmelse mellom Brewer og Dobson både i Tromsø og i Oslo. Stabiliteten til Brewer- og Dobson-instrumentene blir regelmessig sjekket. Begge Brewer-instrumentene har i 1999 blitt kalibrert mot et internasjonalt referanse-instrument. Stabiliteten til instrumentene har vært god.

Fra Ørland og Gardermoen sendes det jevnlig opp ozonsonder med ballong. Disse når under gode forhold opp til 35km høyde, dvs. over det meste av ozonlaget. Disse gir informasjon om høydefordelingen av ozon og er viktige for å øke forståelsen av de prosesser som forårsaker endringer i atmosfærens ozonmengde. Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytning av ozon i perioden september-november hvert år skjer i høydeområdet 14-24 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Våre sonderinger har imidlertid ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordelingen av ozon hos oss, men det er foretatt observasjoner som viser at det også i Arktis finner sted omfattende nedbrytning av ozon.

SAOZ-instrumentet (System for Analysis of Observations at Zenith) i Ny-Ålesund har vært i drift siden 1990. Dette instrumentet er bygget bl.a for å måle ved lav sol. Instrumentet viser relativt god overensstemmelse med andre tradisjonelle instrumenter. SAOZ-instrumentet er et godt supplement til Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund, siden det øker målesesongen med ca. 3 måneder.

Ozon-lidaren på ALOMAR-observatoriet på Andøya benyttes til å måle raske variasjoner i den vertikale fordeling av ozon-konsentrasjonen. Målingene er viktige for studium av de prosessene som påvirker endringene i ozonlaget.

Ozonsonde-programmet har i 1999, i tillegg til støtte fra SFT, også fått støtte fra Norges Forskningsråd og EU-kommisjonen. GUV-instrumentene i Tromsø og Ny-Ålesund samt Brewer-instrumentene i Oslo og i Tromsø er finansiert av SFT. Måleprogrammet og rapportering er gjort mulig gjennom det statlige prosjekt for ozonlagsovervåkning.

Ansvarlig for ozonmålinger ved Universitetet i Oslo og i Ny-Ålesund er Finn Tønnessen og Arne Dahlback (UiO). Målinger med Dobson-instrumentet i Oslo 1979-1993 er utført av Søren H. H. Larsen. Ansvarlig for ozonmålinger i Tromsø i 1999 har vært Trond Svenøe ved NILUs Tromsø-avdeling. Bojan Bojkov ved NILU er ansvarlig for ozonsonder fra Ørland og Gardermoen. Britt Ann Kåstad Høiskar ved NILU er ansvarlig for driften av SAOZ-instrumentet på Ny-Ålesund og GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund følges opp av Arne Dahlback og Trond Svenøe.

Lidar-målingene ved ALOMAR utføres som et samarbeid mellom Norsk Romsenter, NILU (Georg Hansen) og Forsvarets forskningsinstitutt (Ulf Hoppe).

Konklusjon

Måleprogrammet har i 1999 vært gjennomført etter planen og stort sett på samme måte som tidligere år.

I 1999 lå ozonverdiene i vårmånedene (januar-april) langt over langtidsmiddelet. Dette skyldes relativt høye temperaturer i stratosfæren ved våre breddegrader.

Tromsø og Ny-Ålesund hadde i 1999 de laveste årsdosene siden målingene startet i 1996. Oslo hadde en årsdose som var 14% høyere enn i 1998.

Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 1999

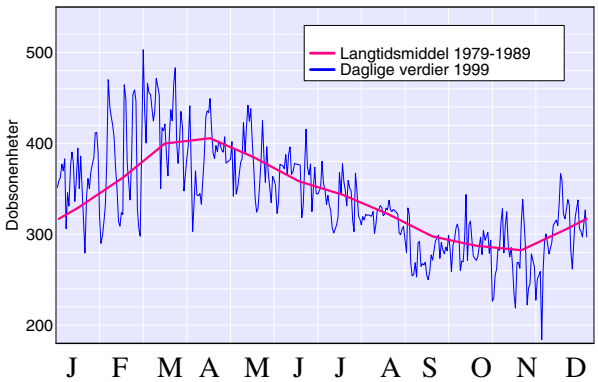
1. Målinger av totalozon i 1999

1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene

Totalozon (mengden av ozon i en kolonne fra jordoverflaten til toppen av atmosfæren) måles daglig i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund når observasjonsforholdene gjør dette mulig. Ved alle tre stasjoner benyttes Dobson-instrumenter. I Oslo og i Tromsø benyttes også det mer moderne Brewer-instrumentet. Alle tre stasjoner viste i 1999 verdier som lå nær langtidsmidlene. Store dag til dag-variasjoner spesielt om vinteren og våren, ble også registrert i 1999. Dette er typisk på våre breddegrader og skyldes meteorologiske variasjoner.

Oslo

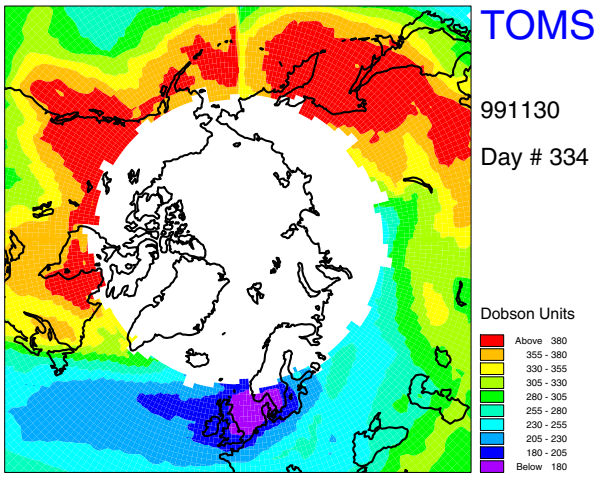
Daglige ozonverdier for Oslo i 1999, basert på målinger med Brewer-instrumentet, er vist i Figur 1 (Dahlback et al, 1999). Her er brukt Brewer irradiansforhold, se avsn. 4.2 og appendix A.2. Brewer irradiansforhold (317 nm/313 nm) fungerer svært bra i overskyet vær og for senitvinkler mindre enn ca. 85˚(Dahlback, 1999) og gir ozonverdier i god overensstemmelse med de man måler med Dobson-instrumentet, se avsn. 4.2. Dette har ført til at det for 1999 er svært få dager uten ozonmålinger. Det er bare i ekstreme tilfeller (skydekke med svært stor optisk dybde) at man ikke får pålitelige målinger. Slike dager er ikke med i datasettet. Den heltrukne, blå kurven viser de daglige verdiene, mens den røde kurven er månedsmiddel-verdiene for årene 1979-1989. Perioden fra 1979 til 1989 er valgt for beregning av langtids-middelet, siden det er en mulig sammenheng mellom solflekkaktivitet og totalozon, og denne perioden dekker én solflekksyklus. Det viser seg imidlertid at dette valget ikke er avgjørende. Det beregnete langtidsmiddel endrer seg svært lite hvis perioden økes til f.eks. 1979-1991 (månedsmiddelverdiene vil endre seg med mindre enn 4 DU).



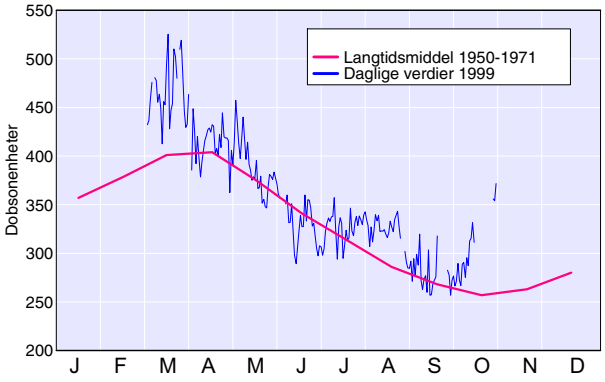
Figur 1. *Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1999. Den røde kurven viser månedsmidler fra 1979 til 1989.*

Årets høyeste verdi i Oslo, 503 DU, ble målt 1. mars. De høyeste verdiene måles normalt nettopp om våren. Dette har sammenheng med at transporten av ozonrik luft i stratosfæren fra ekvatorområdene mot høyere breddegrader er sterkest om våren. Om høsten er denne transporten svakere og de laveste verdiene måles derfor normalt på denne årstiden. Den laveste registrerte verdi, 184 DU, ble målt 30. november. TOMS målte en ozonverdi på 182 DU samme dag. Denne svært lave ozonverdien skyldes spesielle meteorologiske forhold. Figur 2 viser ozonverdiene målt med TOMS-instrumentet over nordlige halvkule 30. november. Et mini-hull passerte over Sør-Norge i løpet av denne dagen og resulterte i svært lave ozonverdier.

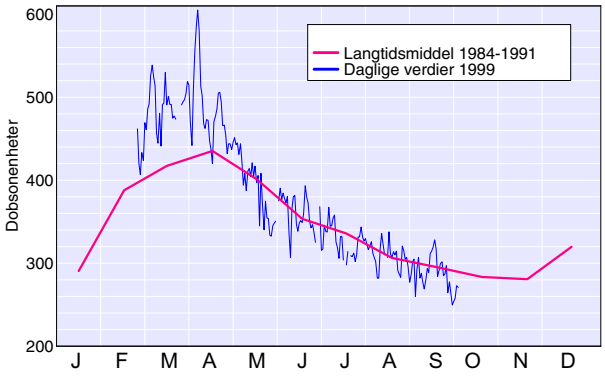
Et mini-hull er et dynamisk fenomen der et kraftig høytrykk i troposfæren trykker tropopausen opp-



Figur 2. *Ozonverdier målt med satellittinstrumentet TOMS over den nordlige halvkule 30. november 1999. Observasjonene viser et minihull over Sør-Norge. Satellittobservasjonene viser at minihullet passerte over Sør-Norge i løpet av dagen og beveget seg mot sør-øst.*



Figur 3. Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Tromsø i 1999. Den røde kurven er månedsmidlene fra 1950 til 1971.



Figur 4. Daglige ozonverdier målt med Dobson, GUV- og SAOZ-instrumentet i Ny-Ålesund 1999. Den røde kurven er månedsmidler fra 1984 til 1991.

over. Dette fører til at hele ozonprofilen presses oppover, noe som resulterer i lave verdier for totalozon (se avsn. 2.1). De lave ozonverdiene den 30.11 ble også forårsaket av transport av ozonfattig luft fra sydligere breddegrader. Den laveste verdien, 165 DU, ble målt ved ca. 55°N i Nordsjøen.

Månedsmidlene for 1999 lå nær månedsmiddelverdiene for 1979-1989. Avviket mellom månedsmidlene og langtidsmiddelet var mindre enn ±9% for samtlige måneder og flere av månedsmidlene lå høyere enn langtidsmidlet (Figur 5). Til sammenligning lå alle månedsmidler i 1997 under månedsmiddelverdiene for 1979-1989.

Tromsø

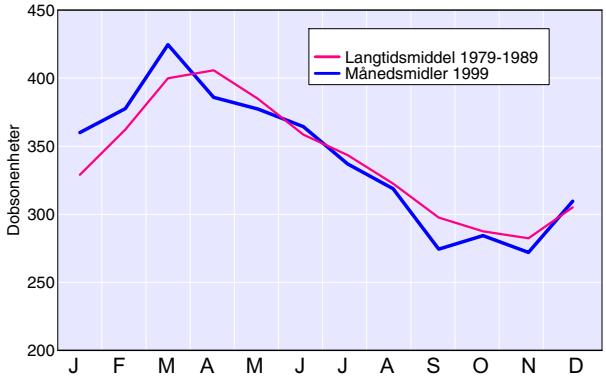
Målingene i Tromsø (Edvardsen, 1999) er vist i figur 3. De daglige verdiene er basert på målinger med Brewer-instrumentet. Langtidsmiddelet er basert på Dobson-målinger i perioden 1950-1971. Fra begynnelsen av november til midten av februar måles ikke totalozon fordi solen står for lavt eller er under horisonten. Når målinger på direkte sollys ikke er mulig benyttes ozonverdier basert på senitlysmålinger. Årets høyest målte verdi, 525 DU, ble registrert 17. mars, og den laveste, 257 DU, den 11. september. Normalt måles de laveste verdiene på høsten.

Ny-Ålesund

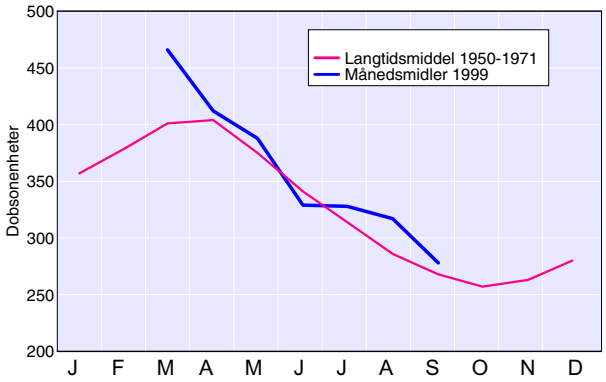
Dobson-instrumentet på Svalbard er plassert i Ny-Ålesund, og målingene utføres av personale fra Norsk Polarinstitutt. Analysen av rådataene foretas av Universitetet i Oslo (Dahlback et al, 1999). Dette instrumentet var plassert i Longyearbyen i perioden fra 1984 til 1994. Fra begynnelsen av oktober til slutten av mars måles ikke totalozon med Dobson-instrumentet fordi solen står for lavt eller er under horisonten. I 1999 ble det kun foretatt 58 gode observasjoner med Dobson-instrumentet mot 143 observasjoner i 1998. Dette skyldes i hovedsak bemanningsproblemer ved Norsk Polarinstitutt i Ny-Ålesund. De daglige ozonverdier for 1999 er derfor basert på målinger fra tre ulike instrumenter; Dobson-, SAOZ- og GUV-instrumentene. I mars, april og september er SAOZ-data benyttet, mens i perioden mai-august er ozonverdiene basert på målinger fra Dobson- og GUV-instrumentene. Målinger fra SAOZ- og GUV-instrumentene er i god overensstemmelse med Dobson-instrumentet, se Dahlback et al. (1995) og Braathen et al. (1998). Ozonverdiene observert i Ny-Ålesund er vist i figur 4. Målingene viser store varisajoner i ozonverdiene i vårmånedene. I mars og april lå ozonverdiene godt over langtidsmiddelet, og 6. april ble det målt en ozonverdi på hele 600 DU.

Figurene 5, 6 og 7 viser månedsmiddelverdiene for 1999 for henholdsvis Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Ozonverdiene for de tre stasjonene lå i 1999 nær langtidsmiddelet. For Oslo var månedsmiddlene for januar, februar og mars 4-9% høyere enn langtidsmiddelet for 1979-1989. I 1990-årene har månedsmidlene for disse månedene ellers ligget godt under langtidsmiddelet.

Månedsmidlene for Tromsø for perioden mars-september er vist i figur 6. Månedsmidlene lå godt over



Figur 5. Månedsmiddelverdiene for 1999 og månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989 for Oslo.



Figur 6. Månedsmiddelverdiene for 1999 og månedsmiddelverdiene for 1950 til 1971 for Tromsø.

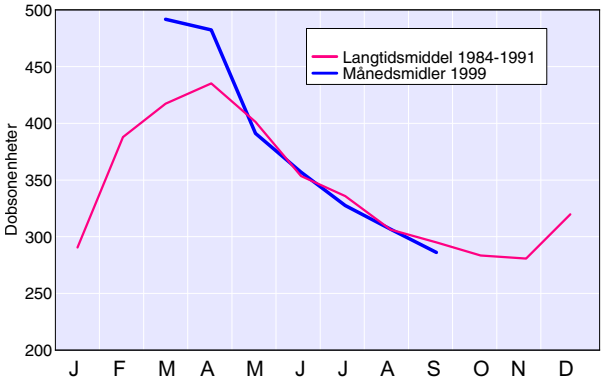
langtidsmiddelet for samtlige måneder untatt for juni og juli hvor månedsmiddelet lå 3-4% under langtidsmiddelet. Avviket var størst i mars da månedsmiddlene lå hele 16% over langtidsmiddelet.

For Ny-Ålesund er månedsmiddelverdiene basert på målinger fra Dobson-, SAOZ- og GUV-instrumentene. Månedsmidlene for perioden mars-september er vist i figur 7. I mars og april 1999 lå månedsmiddelet henholdsvis 18% og 11% over langtidsmiddelet for 1984-1991. For perioden mai-september var avviket mindre enn ±3% for alle måneder.

Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 1999 fra langtidsmiddelet for de tre stasjonene er vist i tabell 1.

Brewer-instrumentene i Oslo og Tromsø ble kalibrert i mai 1999 av International Ozone Services, Canada. Brewer- og Dobson-instrumentenes stabilitet blir også sjekket månedlig med kalibreringslamper for å kunne kompensere for drift i instrumentene.

Dobson-instrumentet i Oslo ble kalibrert i Arosa i juli 1999 i regi av WMO og var derfor ute av drift i ca. en måned i 1999. Forrige gang instrumentet ble kalibrert var på Tenerife i 1994, også da i regi av WMO. Dobson-instrumentet viste meget god stabilitet.



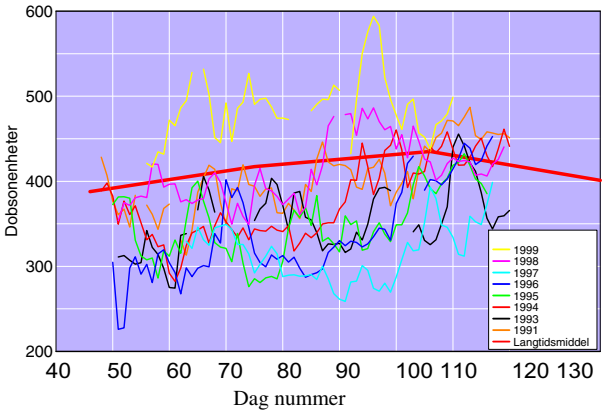
Figur 7. Månedsmiddelverdiene for 1999 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Ny-Ålesund.

Tabell 1. Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 1999 fra langtidsmiddelet for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

Måned	Oslo	Tromsø	Ny-Ålesund
Januar	+9	-	-
Februar	+4	-	-
Mars	+6	+16	+18
April	-5	+2	+11
Mai	-2	+3	-2
Juni	+1	-3	+1
Juli	-2	-4	-3
August	-1	+11	0
September	-8	+4	-3
Oktober	-1	-	-
November	-4	-	-
Desember	+2	-	-

1.2 SAOZ-instrumentet

SAOZ (System for Analysis of Observations from Zenith) har vært plassert på Ny-Ålesund, Svalbard, siden september 1990. Instrumentet er konstruert for å kunne måle totalkolonner av ozon og NO_2 når solen står nær horisonten. SAOZ-instrumentet kan med nåværende analysemetode bare benyttes når senitvinkelen er mellom 86° og 91°. Dobson- og GUV-instrumentene gir gode ozonverdier for senitvinkler mindre enn 75°-80°. SAOZ-instrumentet er derfor et godt supplement til Dobson-instrumentet slik at målesesongen på Ny-Ålesund øker med ca. tre måneder.



Figur 8. Daglige ozonverdier målt om våren med SAOZ-instrumentet i Ny-Ålesund i perioden 1991-1999.

Den totale målesesongen blir derfor ca. 15. februar til 1. november. Figur 8 viser daglige ozonverdier målt om våren i Ny-Ålesund i perioden 1991-1999. Figuren viser at ozonverdiene i 1999 lå langt over langtidsmiddelet og at dette året skiller seg klart fra de foregående årene.

2. Målinger av ozonprofiler i 1999

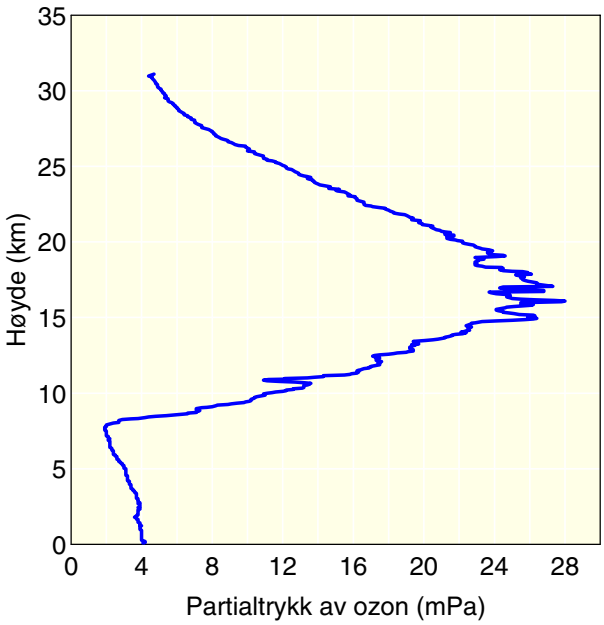
2.1 Ozonsonder

Ozonsonder sendt opp med ballong gir verdifull informasjon om høydefordelingen av ozon. Under gode forhold stiger ballongen til en høyde av 35 km. Blandings-forholdet mellom luft og ozon er tilnærmet konstant over ca. 25 km. Hvis sprekk-høyden for ballongen overstiger 25 km kan dermed den totale ozonmengde anslås siden det er kjent hvordan lufttrykket varierer med høyden.

Selve vertikalfordelingen av ozon gir informasjon som er nyttig for forståelsen av ozonvariasjoner som skyldes meteorologi og eventuell kjemisk nedbrytning. Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytningen av ozon i perioden september-november hvert år (ozonhullet) skjer i høydeområdet 14-24 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Ozonsonderinger i Arktis, derimot, har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordelingen av ozon. Både høydefordelingen av ozon og totalozon bestemt fra ozonsonder er nyttig for vurdering av totalozon målt med bakkeinstrumenter, spesielt om vinteren under vanskelige måleforhold. I 1999 er det sluppet 11 sonder fra Andøya og 46 fra Ørland i forbindelse med prosjektene THESEO-O_3LOSS (EU-prosjekt) og COZUV (NFR) som begge koordineres av NILU. Finansiering fra SFT har vært til god hjelp for disse prosjektene.

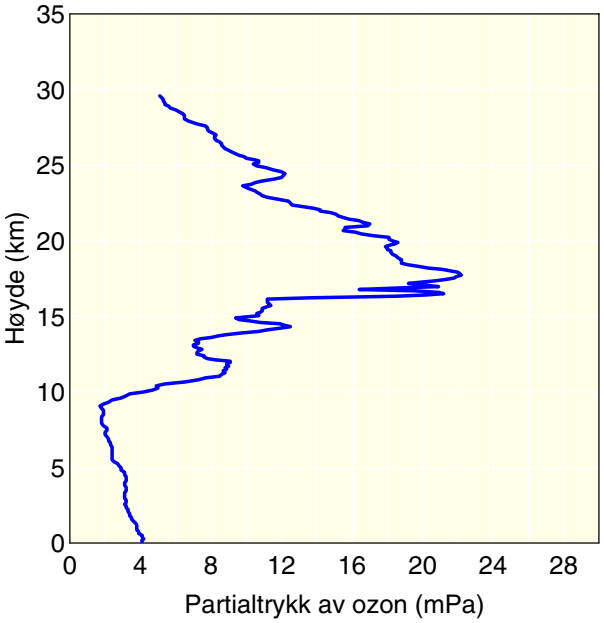
Figur 9 viser en typisk ozonprofil fra Ørland (22. februar 1999). I den nederste delen av atmosfæren (troposfæren) er ozonkonsentrasjonen lav. Fra ca. 7 km (stratosfæren) øker konsentrasjonen med høyden og når et maksimum i dette eksemplet ved ca. 17 km høyde. Ozonmangel i et høydeintervall kan både skyldes intrusjon av ozonfattig luft, hvilket er et dynamisk fenomen, eller det kan skyldes kjemisk nedbrytning av ozon. For å kunne si med sikkerhet om et ozonfattig intervall i en ozonprofil skyldes den ene eller andre av disse effektene må man bruke meteorologiske data for å tolke observasjonene.

Høyden for maksimal ozonkonsentrasjon varierer fra dag til dag men ligger i middel mellom 20-22 km. Over denne høyden avtar konsentrasjonen med høyden. Overgangen mellom troposfæren og stratosfæren kalles tropopausen. Tropopausehøyden vil variere med de meteorologiske forhold. En av årsakene til variasjon i den totale ozonmengde skyldes varierende tropopausehøyde. Høy tropopause vil gi lav totalozon, mens lav tropopause vil gi høy totalozon.



Figur 9. *Høydefordelingen av ozon over Ørland 22. februar 1999 målt med ozonsonde sendt opp med ballong. En total ozonverdi på 525DU ble målt denne dagen.*

Figur 10 viser en ozonprofil målt over Andøya 8. januar 1999. Maksimal ozonkonsentrasjon inntreffer her ved ca. 18 km høyde og tropopause høyden er ca 9 km.



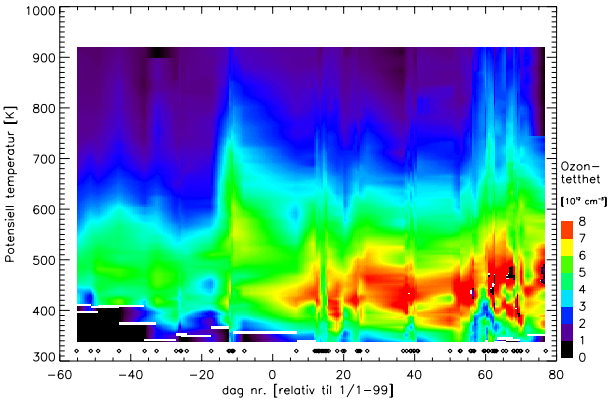
Figur 10. *Høydefordeling av ozon målt over Andøya 8. januar 1999 målt med ozonsonde sendt opp med ballong. En total ozonverdi på 373 DU ble målt denne dagen.*

2.2 Ozon-lidar

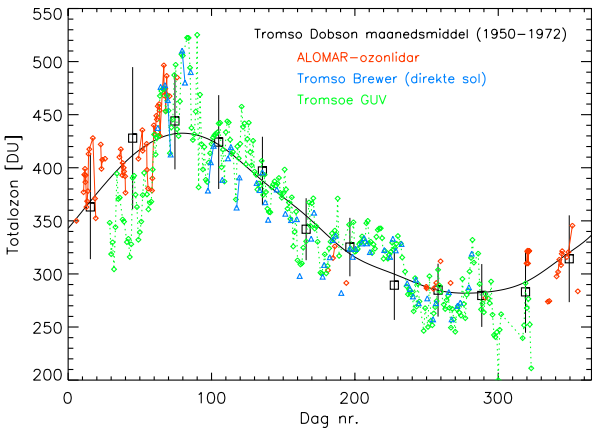
Ozon-lidaren ved ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research) på Andøya har vært i drift mesteparten av 1999. I april ble instrumentet sendt til produsenten for vedlikehold og ble installert på Andøya igjen i begynnelsen av juni. Det ble foretatt flest målinger de tre første månedene i 1999. I denne perioden er det 35 dager med målinger. På grunn av ekstremt dårlige værforhold ble det foretatt få målinger på høsten. Det ble ikke foretatt noen målinger i hele august og kun én i oktober. I de øvrige månedene er det fra 3 -10 dager med lidarobservasjoner.

Hovedformålene med lidaren er å dokumentere/studere utviklingen av ozonnedbrytningen utover vinteren, såvel som raske variasjoner i ozonets vertikale fordeling. Vinteren 1998/99 utviklet polarhvirvelen seg normalt tidlig på vinteren, men ble så kraftig forstyrret i midten av desember. I midten av februar kom så en kraftig stratosfærisk oppvarming som svekket polarhvirvelen ytterligere.

Figur 11 gir et bilde av hvordan ozonprofilen endret seg i løpet av vinteren 1998/99 og våren 1999. Diamantsymbolene markerer tidspunkter med målinger. Mellom hver måling er det foretatt en lineær interpolasjon. Man ser ganske fint den store stratosfæriske oppvarmingen rundt 15. desember 1998 (dag nr. -16) og så den endelige oppvarmingen i slutten av februar 1999 (rundt dag 55). Ved det tidspunktet blir det også sterk laminering i maksimumet av ozonlaget og nedover. Dette eksemplet viser at lidar-instrumentet er meget velegnet til å studere hurtige endringer i ozonprofilen som skyldes



Figur 11. *Ozonprofiler målt med ozonlidaren fra begynnelsen av november 1998 til midten av mars 1999. Diamantsymbolene nederst markerer tidspunkter med målinger; imellom er det lineær interpolasjon. Man ser ganske fint den store stratosfæriske oppvarmingen rundt 15. desember 1998 (dag nr. -16) og så den endelige oppvarmingen i slutten av februar 1999 (rundt dag 55). Ved det tidspunktet blir det også sterk laminering i maksimumet av ozonlaget og nedover.*



Figur 12. *Totalozon fra Tromsø og Andøya, som viser bidraget til måleserien som kan komme fra ozonlidaren (røde trekant). Det er tydelig at GUV-verdiene ligger systematisk under lidarverdiene i begynnelsen og slutten av måleperioden, dvs. ved store senitvinkler, mens overensstemmelsen er veldig bra etter dag 60.*

variasjoner i den meteorologiske situasjonen. Slike observasjoner er viktige for å kunne forstå prosessene som styrer utvekslingen av luft mellom polare og midlere bredder, noe som igjen er viktig for å kunne forstå ozonnedbrytningen som finner sted ved midlere breddegrader.

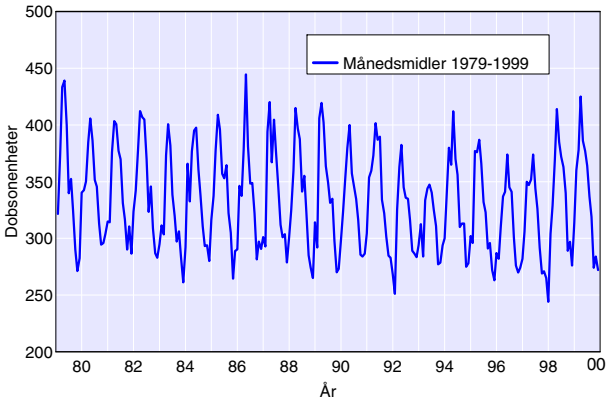
Figur 12 viser ozonverdier målt med ozonlidaren. Ozonverdiene er sammenlignet med målinger fra Brewer- og GUV-instrumentene i Tromsø. Ozonlidaren kan gi ozonverdier i polarnatten når hverken Brewer- eller GUV-instrumentene kan måle. Ozonlidaren er derfor et viktig supplement til målinger med de to andre instrumentene. GUV-instrumentet måler for lave ozonverdier tidlig på våren og sent på høsten, når solvinkelen er høy. Dette stemmer med observasjoner fra andre stasjoner, se avsn. 4.2.

3. Ozonmålinger 1979-1999

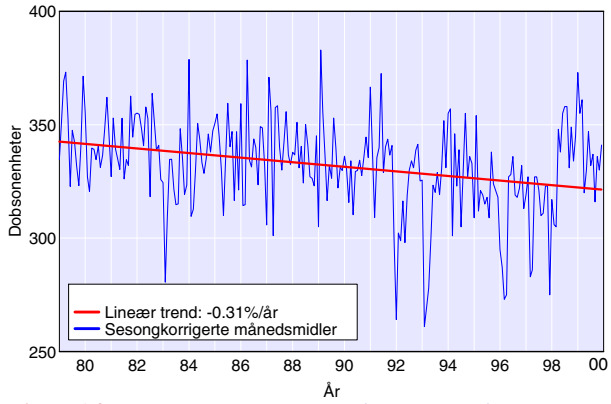
3.1 Oslo

Figur 13 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Oslo i perioden januar 1979 til desember 1999. Årstidsvariasjonene kommer her tydelig frem. Månedsmidlene er basert på målinger med Dobson-instrument #56 og Brewer-instrument #42. Den store årstidsvariasjonen, som er typisk for stasjoner på høye breddegrader, har sammenheng med transport av ozon fra kildeområdene i stratosfæren over ekvator. Denne transporten er størst om vinteren, og gir et maksimum i ozonmengden på vårparten. Svakere transport fra ekvator gir et minimum i totalmengden utpå høsten. I gjennomsnitt ligger april-middelet 40% høyere enn november-middelet.

Figur 14 viser på en annen måte enn i figur 13 hvordan månedsmidlene varierer fra 1979 til 1999 ved at

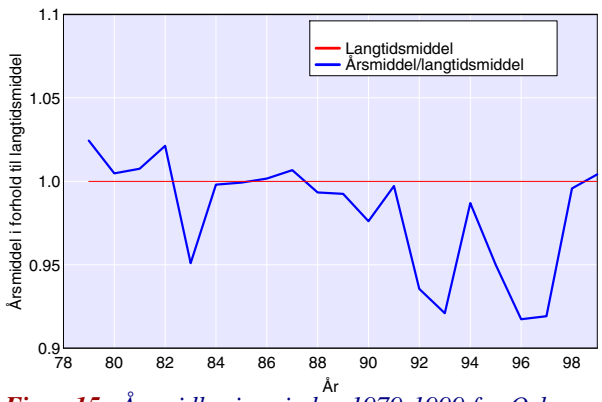


Figur 13. *Månedsmidler av ozonmengden over Oslo 1979 til 1999 basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentene.*



Figur 14. *Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1999 basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentene. Sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figur 13. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.*

sesongvariasjonene i denne perioden er fjernet ved å trekke fra langtids-månedsmiddelet og å legge til langtids-årsmiddelet. På denne måten går det tydeligere frem hvordan avviket fra måned til måned varierer gjennom perioden. Merk at ozonverdiene i figur 14 kun illustrerer variasjonene i månedmidlene gjennom måleperioden og må ikke oppfattes som totalozon siden sesongvariasjonene er fjernet. En trendanalyse på dette datasettet gir en nedgang på 0.31 % ± 0.06 % pr. år når alle fire årstider er inkludert. Nedgangen for vintermånedene desember-februar er 0.41% ± 0.17% pr. år og for vårmånedene mars-mai 0.53 % ± 0.14 % pr. år. For sommermånedene juni-august var det ingen signifikant trend, mens for høstmånedene er det beregnet en nedgang på 0.23% ± 0.07% pr. år. Som det fremgår av figur 14, har trenden ikke vært jevn i perioden 1979 til 1999. Grunnen til dette er sannsynligvis at de meteorologiske forhold, som har betydning for ozonlagets tykkelse, varierer fra år til år. Figur 15 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 1999 relativt til langtids-årsmiddelet (1979-1989). De lave verdiene i 1983, 1992 og 1993 kan ha sammenheng



Figur 15. *Årsmidler i perioden 1979-1999 for Oslo basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet i Oslo. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel for 1979-1989.*

med vulkanutbruddet fra El Chichón i Mexico i 1982 og fra Pinatubo, Filippinene, i 1991. Figuren illustrerer at 1990-årene bidrar sterkt til den nedadgående trenden beregnet for perioden 1979 til 1999. Årsmiddelet for 1999 lå derimot 4% over langtidsårsmiddel. Resultatet av trendanalysen er også vist i tabell 2.

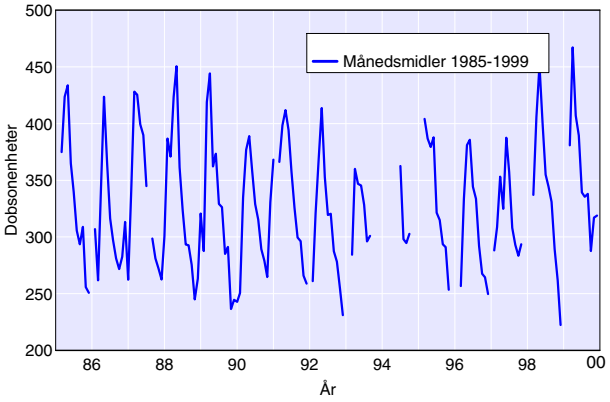
Tabell 2. *Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Oslo for perioden 1.1.1979 til 31.12.1999. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Data fra Dobson- og Brewer-instrumentene er benyttet. En trend større enn to standardavvik anses for å være statistisk signifikant.*

Årstid	Trend
Vinter: desember-februar	-0.41 (0.17)
Vår: mars-mai	-0.53 (0.14)
Sommer: juni-august	-0.12 (0.09)
Høst: september-november	-0.23 (0.07)
Hele året:	-0.31 (0.06)

3.2 Tromsø

For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1971 og fra 1985 til 1999. Disse dataene har blitt re-evaluert og vil bli presentert i sin helhet i et doktorgradsarbeid (Trond Svenøe, 1999) som er utført ved NILUs Tromsø-avdeling og Universitetet i Tromsø. Nedenfor er vist resultatene av en trendanalyse der Dobson-data for perioden 1985 til 1999 er anvendt.

Figur 16 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Tromsø i perioden januar 1985 til desember 1999. Månedsmidlene er her basert på målinger fra Dobson-instrumentet. Fra september 1993 til og med mai 1994 var Dobson-instrumentet ute av drift på grunn av en vannskade.

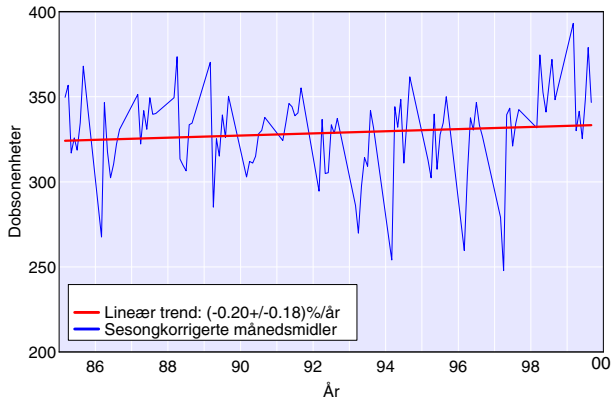


Figur 16. *Månedsmidler av ozonmengden over Tromsø 1985 til 1999 basert på målinger med Dobson-instrumentet.*

Dette gjør at det ikke er mulig å gjøre en trendanalyse på dette datasettet. En sammenligning av månedsmidler fra TOMS-instrumentene ombord på henholdsvis Nimbus-7, Meteor-3 og Earth Probe (se avsn. 3.1) og Dobson-instrumentet gir en midlere differanse på 1.4% ± 3.1%. Ved å kombinere disse datasettene er det mulig å beregne månedsmidler for de månedene Dobson-instrumentet ikke var i drift.

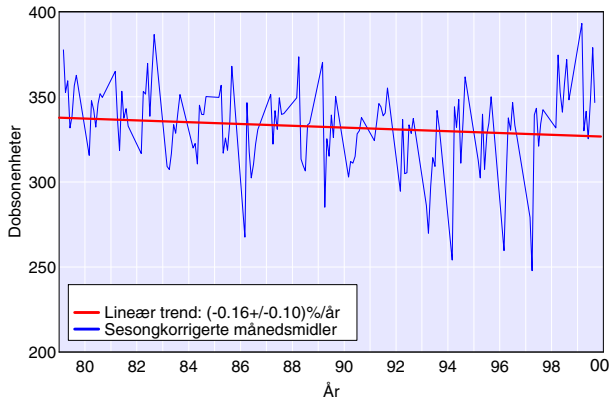
Som en del av det tidligere nevnte doktorgradsarbeidet (Svenøe, 1999) er målingene i Tromsø blitt homogenisert. Dette er gjort ved at Dobson-observasjonene i perioden november 1984 til juni 1990 er korrigert. I denne perioden var det bare utført direkte sol-observasjoner med C-paret og senitmålinger med CC'-parene (se appendix A1). Disse ligger som regel noen prosent over direkte sol-observasjoner utført med AD-parene, som brukes som referanseverdier. Man har brukt samme korreksjon for perioden 1985-90 som for perioden 1990-93. Grunnen til dette er at kalibreringen som ble gjort i Arosa i august 1990 er brukt for hele perioden. Dette har ført til at ozonverdiene for perioden 1985 til 1990 er redusert, noe som igjen betyr at man får en noe mindre trend enn med det ukorrigerte datasettet. Den trend man nå beregner stemmer bedre overens med den trend man får fra TOMS-instrumentene i det samme tidsrom.

Figur 17 viser variasjonen i ozonmengden over Tromsø 1985 til 1999 etter at sesongvariasjonene er fjernet. Dataene er basert på målinger fra Dobson- og Brewer-instrumentene, samt målinger fra TOMS for de månedene det ikke finnes Dobson- eller Brewer-data. Pga. manglende data er vintermånedene oktober-februar utelatt for hele perioden. En trendanalyse på dette datasettet (som inkluderer månedene mars - september) gir ingen signifikant trend (+0.20 ± 0.18 %).



Figur 17. *Variasjon i ozonmengden over Tromsø 1985-1999 basert på målinger med Dobson-instrumentet og TOMS -instrumentene. TOMS-data er benyttet til å beregne månedsmidler for de månedene i 1993/94 da Dobson-instrumentet var ute av drift. Sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figur 16. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.*

Det første TOMS-instrumentet, ombord på NIMBUS-7-satellitten, startet å måle totalozon i 1979 og var i drift frem til 1993. Ved å kombinere hele dette datasettet med Dobson-data fra Tromsø, samt data fra de øvrige TOMS-instrumentene er det mulig å beregne en trend for perioden 1979 til 1999. Resultatene fra denne trendanalysen er vist i figur 18. Igjen er vintermånedene (oktober til og med februar) ikke inkludert i analysen på grunn av manglende data. En trendanalyse på dette datasettet gir en ikke-signifikant negativ trend på -0.16% ± 0.10% pr. år på årsbasis. Endringen for vårmånedene mars-mai er -0.29% ± 0.20%,noe som heller ikke er signifi-



Figur 18. *Variasjon i ozonmengden over Tromsø 1979-1999 basert på målinger med Dobson-instrumentet og TOMS. Dataene fra 1979 til 1984 er i sin helhet basert på TOMS-målinger. I perioden 1985 til 1999 er månedsmidlene basert på Dobson-data, samt TOMS-data for de månedene det ikke finnes Dobson-data. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.*

kant. For sommermånedene juni-august observeres det en ikke-signifikant trend på -0.05 ± 0.11 %.

Resultatene av trendanalysen er også vist i tabell 3.

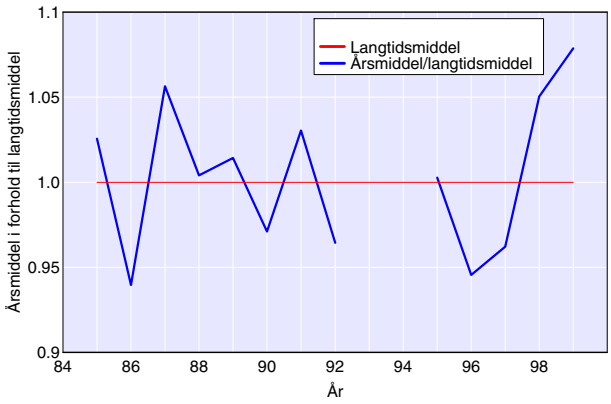
Tabell 3. Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Tromsø for perioden 1.1.1979 til 31.12.1999 og perioden 1.1 1985 til 31.12 1999. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Data fra Dobson-instrumentet og TOMS-instrumentet er benyttet. En trend større enn to standardavvik anses for å være statistisk signifikant.

Årstid	Periode	Trend
Vår: mars-mai	1985-1999	-0.09 (0.37)
Sommer: juni-august	1985-1999	+0.54 (0.17)
Hele året: mars-september	1985-1999	+0.20 (0.18)
Vår: mars-mai	1979-1999	-0.29 (0.20)
Sommer: juni-august	1979-1999	-0.05 (0.11)
Hele året: mars-september	1979-1999	-0.16 (0.10)

Figur 19 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1985 til 1999 basert på Dobson-målinger i perioden februar - oktober. 1993 og 1994 er utelatt pga. manglende data.

3.3 Spitsbergen

For Spitsbergen har vi en måleserie fra 1950 til 1969 (Longyearbyen) og fra 1984 til 1997 (Longyearbyen og Ny-Ålesund). Disse dataene bør re-evalueres før en trendanalyse kan utføres. Arbeidet med re-evaluering av Svalbard-dataene utføres av NILUs Tromsø-avdeling som en del av et doktorgradsarbeid (Trond Svenøe, 1999).



Figur 19. Årsmidler i perioden 1985-1999 for Tromsø basert på målinger med Dobson-instrumentet i Tromsø. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel for 1950-1972. Data for vintermånedene november, desember og januar er ikke inkludert i årsmiddelet.

4. Sammenligninger av målinger fra forskjellige instrumenter

4.1 Innledning

Vi ser her på sammenligninger av målinger utført med Dobson- og Brewer-spektrofotometrene samt GUV og TOMS. Disse instrumentene og deres måleprinsipp er beskrevet i Appendix 1.

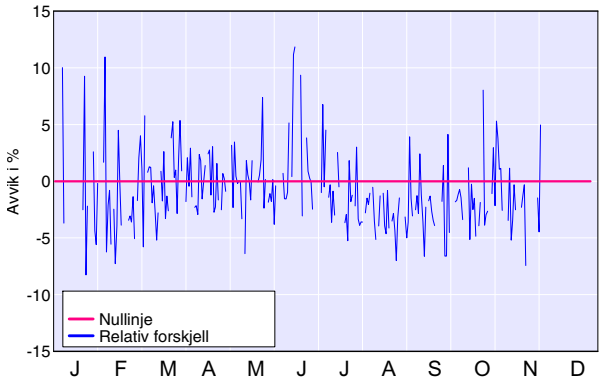
Både Dobson-, Brewer-, TOMS-, SAOZ- og GUV-instrumentene benytter seg av en optisk metode for bestemmelse av ozonmengden i atmosfæren. Felles for alle er at de registrerer svekkingen av sollys ved flere bølgelengdebånd. Bølgelengdene som det måles på er imidlertid forskjellig for instrumentene. Dobson- og Brewer-instrumentene måler på det direkte sollyset eller på det spredte sollyset fra senit, mens TOMS-instrumentene måler sollyset som spres tilbake fra atmosfæren. SAOZ-instrumentet skiller seg fra de andre ved at ozonmengden bestemmes fra målinger på lys fra senit i den synlige delen av spekteret. GUV-511- og GUV-541-instrumentene måler irradiansen, dvs. strålingen fra alle retninger som faller på en horisontal flate, mens de øvrige måler strålingen som kommer fra en bestemt retning. Skyer og partikler i atmosfæren vil påvirke resultatene i varierende grad fra instrumenttype til instrumenttype. Lyset som måles av de forskjellige instrumentene har ikke passert gjennom nøyaktig samme del av atmosfæren. I tillegg måles det ikke på samme tidspunkt. Alle disse momentene bidrar til at instrumentene ikke gir eksakt samme resultat når de daglige målinger sammenlignes. Imidlertid bør middelverdier over en lengre tidsperiode (f.eks. over en måned) skille seg lite fra instrument til instrument.

4.2 Oslo

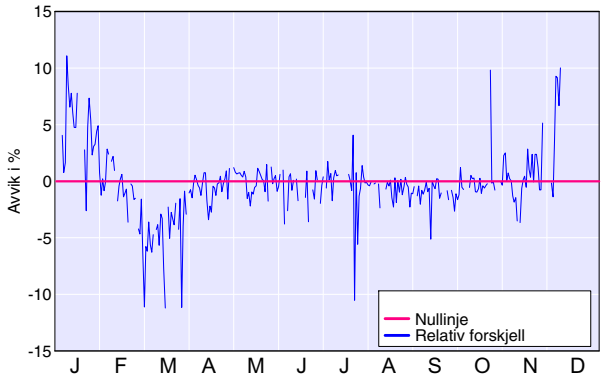
Det ble foretatt 74 observasjoner med Dobson-instrumentet i 1999. En sammenligning av ozonverdier fra Dobson- og Brewer-instrumentene gir et avvik på 1.1% ± 4.2%, og viser at kvaliteten på ozonverdier beregnet fra Brewer global-irradians-målinger er god.

Figur 20 viser prosentvis avvik i ozonverdiene målt med Brewer- og TOMS-instrumentet for Oslo i 1999. Ozonverdiene fra Brewer er beregnet fra global irradians-målingene. Det er god overensstemmelse mellom de to datasettene. Avviket er -0.8 % på årsbasis, og standardavviket er 4.0%.

Figur 21 viser prosentvis avvik for GUV-511 i forhold til Brewer-instrumentet i Oslo i 1999. Her er avviket på årsbasis -0.1 % med et standardavvik på 3.2%. Avvikene er størst om vinteren når solen er lav. Både GUV-målingene og Brewer-målingene er



Figur 20. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer- og TOMS-instrumentene for Oslo i 1999, 100•(Brewer-TOMS)/Brewer.

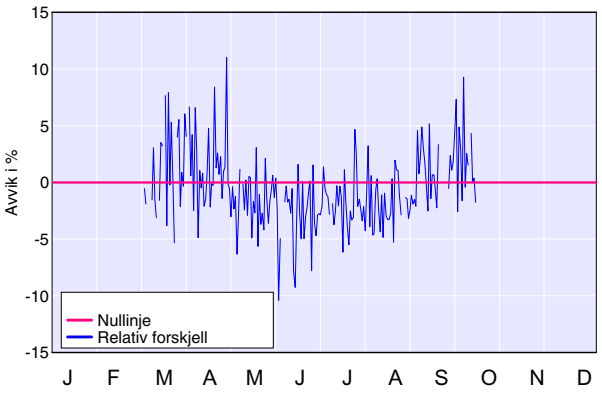


Figur 21. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer- og GUV-instrumentene for Oslo i 1999, 100•(Brewer-GUV)/Brewer.

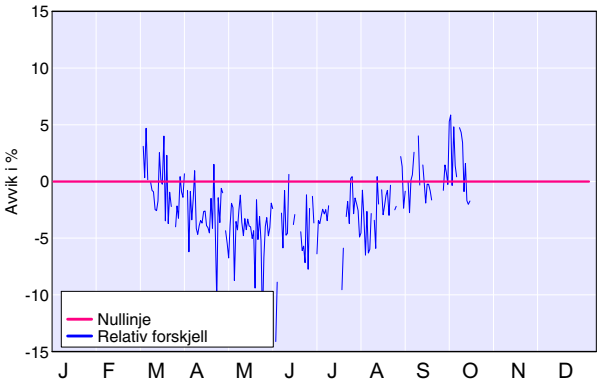
følsomme for endringer i ozonprofilen ved høy solvinkel. Dette er det tatt høyde for i analysen av Brewer-målingene, men ikke i analysen av GUV-målingene. Dette kan forklare de relativt store avvikene som observeres i desember og januar når solvinkelen er høy. Fra figur 21 ser man at GUV-instrumentet måler for høye ozonverdier i mars. Dette skyldes i hovedsak at man i analysen av GUV-målingene i dag bruker en beregnet spektral respons i stedet for en målt. I 1999 ble spektralresponsen til GUV-instrumentene i Oslo og Tromsø målt og det arbeides nå med å inkludere disse i analysen.

4.3 Tromsø og Ny-Ålesund

Figur 22 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til TOMS i Tromsø. Her er brukt både direkte-sol- og senitmålinger fra Brewer-instrumentet. Det relative avviket er -0.6%, med et standardavvik på 3.3%. Figur 23 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til GUV i Tromsø. Det relative avviket er her -2.3%, med et standardavvik på 3.1%. Figur 22 og figur 23 viser at det er en klar årstidsvariasjon i ozonverdiene fra Brewer-instrumentet. Dette fenomenet er observert tidligere når man benytter Brewer direkte-sol og Brewer senitmålinger. Årsaken



Figur 22. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer og TOMS for Tromsø i 1999, 100•(Brewer - TOMS)/Brewer.

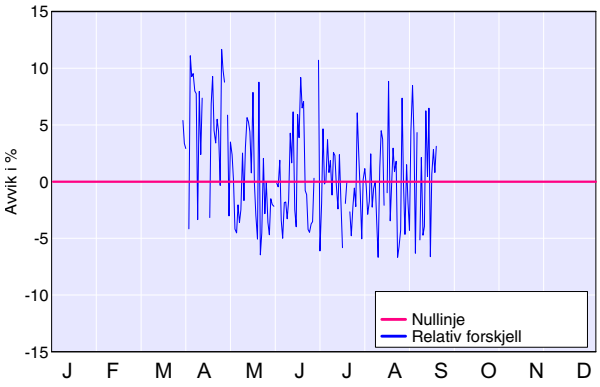


Figur 23. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer og GUV for Tromsø i 1999, 100•(Brewer - GUV)/Brewer.

er ukjent, men det er interessant å merke seg at en slik årsvariasjon ikke ble observert i Oslo hvor ozonverdiene beregnes fra globale irradians målinger, se figur 20 og 21.

Datamaterialet fra Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund er for lite (58 dager med observasjoner) til å brukes i en sammenligning av data fra ulike instrument. Her vises derfor en sammenligning av måleserien presentert i avsn. 1.1 for Ny-Ålesund (basert på målinger fra Dobson-, GUV- og SAOZ-instrumentene) og satellittmålinger fra TOMS-instrumentet. Figur 24 viser det prosentvise avviket mellom de to måleseriene. Det relative avviket var på 0.8%±4.4%.

Resultatet av sammenligningene mellom Brewer, Dobson, TOMS og GUV-511 er vist i tabell 4 og 5. Overensstemmelsen mellom de fire instrumentene er meget god for senitvinkler mindre enn omtrent 70˚, dvs. vår, sommer og høst. For senitvinkler større enn 70˚ blir målingene for alle instrumenttypene påvirket av ozonprofilen. Ozonmålingene om vinteren er derfor usikre selv med Dobson-instrumentet.



Figur 24. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson-, GUV- og SAOZ-instrumentene og TOMS-instrumentet for Ny Ålesund i 1999.

Tabell 4. Avvik i prosent for TOMS (T) og GUV (G) i forhold til Brewer (B) 1999. Tallene i parentes angir standardavviket. Her er brukt Brewer irradians forhold.

Stasjon	(B-T/B)	(B-G)/B
Oslo	-0.8 (4.0)	-0.1 (3.2)
Tromsø	-0.6 (3.3)	-2.3 (3.1)

Tabell 5. Avvik i prosent for Brewer (B), GUV (G) og TOMS (T) i forhold til Dobson (D) for 1999. Tallene i parentes angir standardavviket

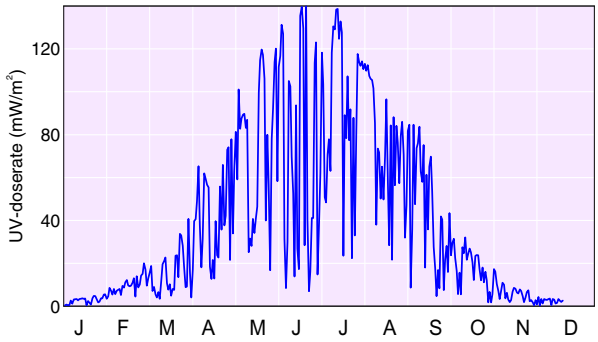
Stasjon	(D-B)/D	(D-G)/D	(D-T)/D
Oslo	-1.3 (4.1)	2.4 (4.2)	-1.6 (3.9)

5. UV-målinger

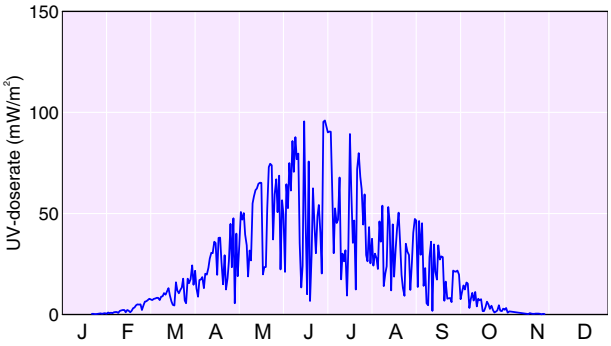
5.1 Måleresultater 1999

Det norske UV-nettverket består av 8 fem-kanals GUV-instrumenter. NILU har ansvaret for driften av instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Statens strålevern har ansvaret for de øvrige fem instrumentene. Målingene i Oslo startet i februar 1994, mens målingene i Tromsø og Ny-Ålesund kom i gang i juli 1995. 1999 er dermed det fjerde året med komplett måleserie for de tre stasjonene.

Figurene 25, 26 og 27 viser timesmiddel av UV-dose-raten midt på dagen (mellom 10:30 og 11:30 GMT) for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. UV-dose-raten er et mål på den samlede biologiske effekten av UV-A og UV-B stråling (se avsnitt 5.3). Enheten for dose-rate er mW/m^2 men den kan også angis ved en UV-indeks. UV-indeks 1 tilsvarer 25 mW/m^2. Høyeste verdi i Oslo i 1999, 140 mW/m^2, ble målt 18. juni som tilsvarer en UV-indeks på 5.6. Den høyeste målte verdi i Tromsø, 96 mW/m^2 (UV-indeks 3.8), ble målt 27. juni. Maksimal-verdien i Ny-



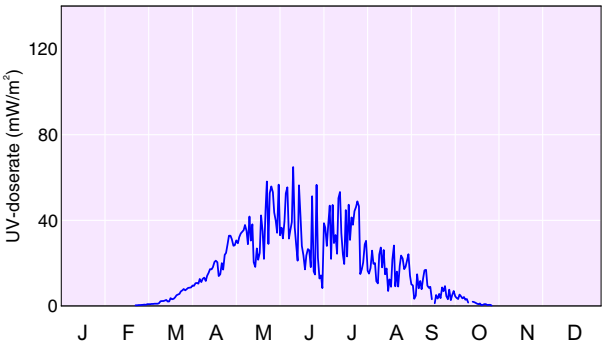
Figur 25. UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.98 til 31.12.98 målt med GUV-511-instrumentet ved Universitetet i Oslo.



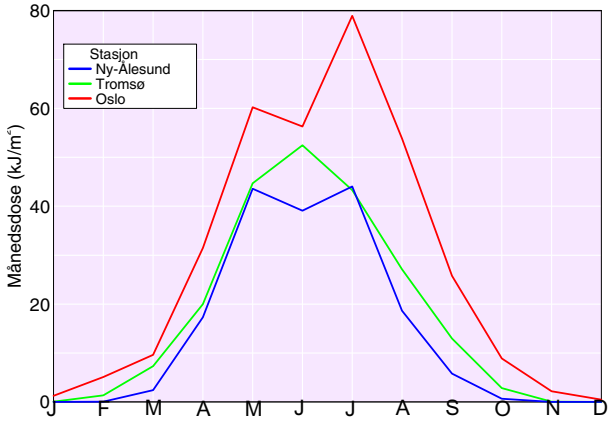
Figur 26. UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.98 til 31.12.98 målt med GUV-541-instrumentet ved Universitetet i Tromsø.

Ålesund, 65 mW/m^2 (UV-indeks 2.6) ble registrert 8. juni. De høyeste nivåene vil normalt inntreffe i sommermånedene når sola står høyest på himmelen. De viktigste faktorene som påvirker UV-strålingen er solhøyde, skyer, ozonlagets tykkelse og refleksjon fra bakken (albedo). Årstidsvariasjonen i dose-raten som skyldes solhøyden kommer tydelig frem i figurene 25, 26 og 27. De store variasjonene i dose-raten fra dag til dag skyldes hovedsakelig varierende skydekke, men varierende ozonmengde spiller også en viktig rolle. I 1999 er det flere eksempler på at skyer kan dempe UV-strålingen med mer enn 95%. På den andre siden har vi også eksempler på at skyer kan gi en økning i UV-strålingen på mer en 10% sammenlignet med klarvær. Dette kan inntreffe i delvis skyet vær når himmelen omkring sola er skyfri. Den direkte solstrålingen vil dermed være som i klarvær mens den diffuse stråling vil kunne øke på grunn av refleksjon fra skyer nær sola. Effekten av skyer er tilnærmet bølgelengdeuavhengig slik at skyer demper UV-A og UV-B i like stor grad.

Figur 28 viser UV-månedsdosen for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i 1999. Måneds-dosen er den samlete dosen i løpet av en måned. De raske dag til dag-variasjonene som skyldes varierende skydekke mid-



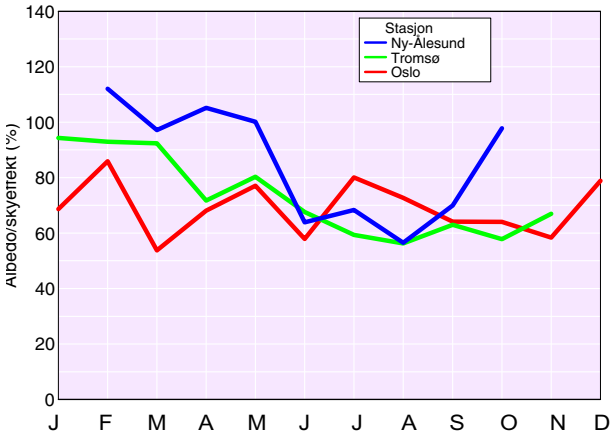
Figur 27. UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.98 til 31.12.98 målt med GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund.



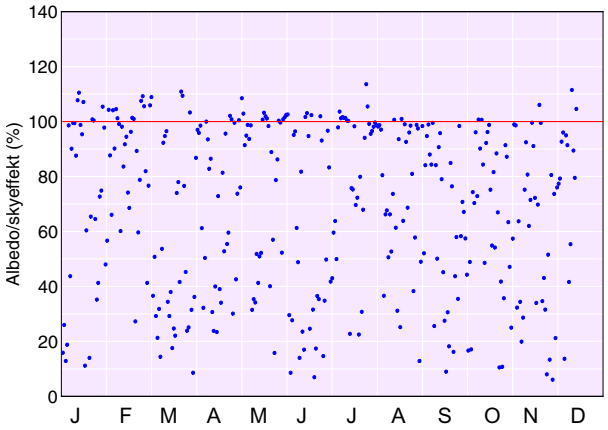
Figur 28. Månedlige integrerte UV-doser i 1999 målt med GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

les bort, og nivåforskjellene mellom stasjonene kommer tydeligere frem. Om sommeren vil dagens lengde øke med breddegraden. Derfor vil forskjellen i månedsdose være mindre enn for dose-raten midt på dagen. Oslo har klart de høyeste månedsdosene, bortsett fra i juni måned hvor Tromsø har omtrent like høy månedsdose. Forklaringen på dette resultatet er illustrert i figur 29 som viser albedo/skyeffekten for hver måned for de tre stasjonene. Albedo/skyeffekten (avsnitt 5.3) beskriver transmisjonen i prosent av klarværsverdien for null bakkerefleksjon (barmark). I juni var albedo/skyeffekten i Oslo 57%, mens den var 68% for Tromsø.

Figur 30 viser albedo/skyeffekt for Oslo for hver dag i 1999. Hvert punkt representerer den daglige verdien mellom kl. 10:30 og 11:30 GMT. Den horisontale linjen representerer klarværsverdien (100%) uten snø på bakken. I flere tilfeller er verdien mindre enn 10% som betyr at skyer demper UV-nivået med mer enn 90%. De høyeste verdiene inntreffer om vinteren med maksimalverdi opp til 110%. Dette er tilfeller med klarvær og snø på bakken. Om sommeren er maksimalverdien omkring 100%. Figurene 31 og 32 viser albedo/sky-effekt for Tromsø og Ny-



Figur 29. Albedo/skyeffekter for hver måned i 1999 målt med GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Hvert punkt viser månedsverdien av UV-dosen i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon.

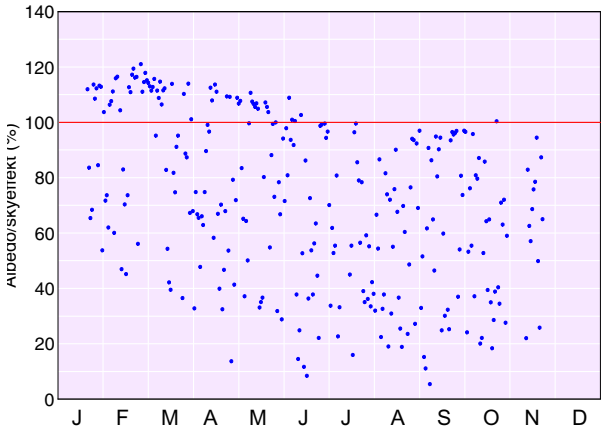


Figur 30. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Oslo i 1999 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelverdien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.

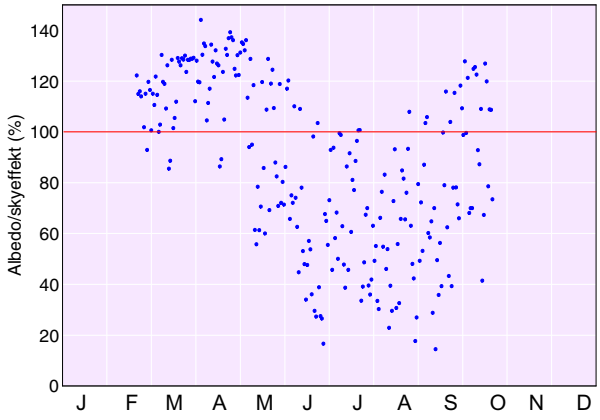
Ålesund. Disse skiller seg fra Oslo med høyere maksimal-verdier.

De høyeste verdiene (opp til 140%) inntreffer i Tromsø og Ny-Ålesund. Dette skyldes antagelig at omgivelsene er fullstendig dekket av snø, mens Oslo har en del bare områder om vinteren (bare gater og hustak). Det er også mulig at snødekket i Tromsø og Ny-Ålesund har høyere albedo enn snødekket i Oslo.

Som nevnt tidligere, skyldes de store dag til dag-variasjonene i UV-dose-raten (figurene 25, 26 og 27) først og fremst variasjon i skydekket og totalozon. Figur 33 viser timesmiddelet av UV-dose-raten man ville ha hatt midt på dagen for Oslo, Tromsø og Ny-

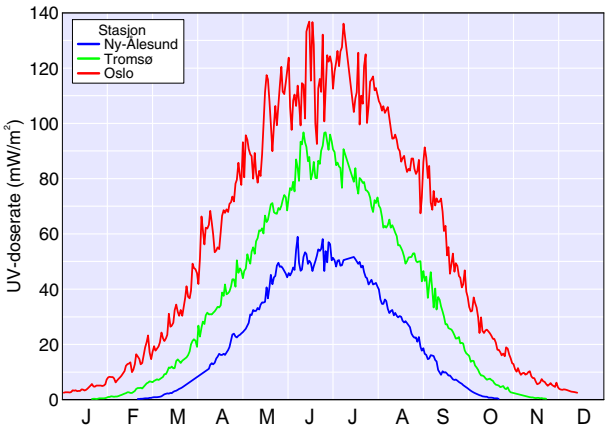


Figur 31. *Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Tromsø i 1999 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelverdien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.*



Figur 32. *Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Ny-Ålesund i 1999 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelverdien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.*

Ålesund hvis man fjerner skyer og refleksjon fra bakken. Dette er oppnådd ved å kombinere resultatene i figurene 30, 31 og 32 og i figurene 25, 26 og 27. På denne måten kommer effekten av varierende totalozon på UV-dose-raten tydelig frem. Ved å sammenligne resultatene i figurene 25, 26 og 27 med resultatene i figur 33 er det klart at varierende skydekke har større betydning på UV-nivået enn variasjon i ozonlagets tykkelse. Når effekten av skyer og bakkealbedo er fjernet ser man at UV-dosen for



Figur 33. *UV-dose-raten midt på dagen under antagelse av klarvær og null bakkerefleksjon for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund for 1999.*

Oslo, som forventet, ligger klart høyere enn Ny Ålesund og Tromsø gjennom hele året.

5.2 Årsdoser

UV-nettverket har vært i drift siden midten av 1995, og vi begynner derfor etterhvert å få en del data som kan bidra til å detektere endringer i mengden av UV-stråling på årsbasis. Måleserien er ennå for kort til å kunne begynne rapportering av en trend, men det vil være nyttig å rapportere årlige UV-doser som en miljøindikator. For Oslo finnes data for hele 1995, mens det for de to andre stasjonene kun finnes data fra sommeren 1995. For Tromsø og Ny-Ålesund vil det derfor kunne regnes årsdoser fra 1996. Årsdoser for de tre stasjonene i nettverket er gjengitt i tabell 6.

Tabell 6. *Årlige doser av UV-B-stråling (kJ/m^2) for 1995-98 observert ved de tre stasjonene i nettverket.*

År/Stasjon	Oslo	Tromsø	Ny-Ålesund
1995	334.1		
1996	330.4	241.8	211.3
1997	361.2	257.2	198.5
1998	293.1	255.8	220.9
1999	334.4	212.1	172.6

Det er viktig å være oppmerksom på at variabiliteten i denne parameteren vil være ganske stor pga. endringer i skydekke fra år til år.

5.3 Målemetoder

GUV-511 måler irradiansen (stråling som faller på en horisontal flate fra alle retninger) i fire kanaler i UV-området. Senterbølgelengdene er 305 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm, med en båndbredde på

ca. 10 nm. I tillegg har GUV-511 en kanal for måling av irradiansen mellom 400 og 700 nm. Dette er den såkalte PAR-strålingen (Photosynthetically Active Radiation) som er viktig for fotosyntesen. I Oslo benyttes et GUV-511-instrument, mens i Tromsø og Ny-Ålesund benyttes GUV-541-instrumenter. I GUV-541-instrumentet er PAR-kanalen erstattet av en UV-B-kanal med senterbølgelengde 313 nm. Ellers er instrumentet identisk med GUV-511. Denne kanalen vil være nyttig for ozonmålinger og bestemmelse av UV-doser ved lav sol. Detektorene i instrumentet er oppvarmet og holdes konstant på 40˚C. Dette sørger for å smelte rim og snø på inngangsoptikken. Instrumentet har ingen bevegelige deler og er fullstendig automatisk. Data logges hvert minutt.

Det er vanlig å dele den ultrafiolette solstrålingen inn i tre områder: UV-A, UV-B og UV-C. Den langbølgete UV-A-strålingen (320-400 nm) absorberes praktisk talt ikke av ozon. UV-B (280-320 nm) absorberes delvis av ozon, slik at ozonmengden i atmosfæren er av stor betydning for hvor mye UV-B-stråling som når jordens overflate. Den kortbølgete UV-C-strålingen (200-280 nm) absorberes svært effektivt av ozon (O_3) og oksygen (O_2) slik at ingenting når jordens overflate. Det skal svært lite ozon til for å absorbere all stråling i UV-C-området. For mange biologiske systemer er følsomheten for UV-B-strålingen mye større enn UV-A-strålingen, men siden intensiteten av UV-A-strålingen er mye større enn UV-B-strålingen, er begge av betydning for planter, dyr og mennesker. Den biologisk effektive UV-dosen beskriver den samlete virkning av alle bølgelengder i UV-A og UV-B, og man tar hensyn til at den biologiske effekten er bølgelengdeavhengig. Dette betyr at UV-B tillegges mye større vekt enn UV-A ved hjelp av et virkningspektrum. I denne rapporten er det benyttet et idealisert virkningsspektrum som er anbefalt av WMO og Commission Internationale de l'Eclaire (McKinlay og Diffey, 1987).

Mens dose-raten er den biologisk effektive UV-stråling ved et gitt tidspunkt, er UV-dosen den samlete dosen over et bestemt tidsrom. Det er vanlig internasjonalt å bruke enheten W/m^2 for dose-rate og J/m^2 for UV-dose. Dette er imidlertid ikke helt korrekt, siden de forskjellige bølgelengdene er tillagt forskjellig vekt pga. virkningsspekteret. En har imidlertid valgt å benytte de samme enheter slik at de er sammenlignbare med verdier fra andre UV-nettverk.

I tillegg til overvåkning og forskning vil resultater fra UV-nettverket i Norge benyttes til å informere publikum om hvordan UV-nivået varierer. WMO anbefaler at middelverdien av UV-dose-raten over en time midt på dagen angis ved en UV-indeks. UV-indeksen fremkommer ved å multiplisere dose-raten i W/m^2 med 40. Dette betyr at den største UV dose-raten målt i Oslo i 1999, 0.140 W/m^2, får en UV-indeks på 5.6. I Oslo vil UV-indeksen i klarvær normalt øke fra 0.1 midtvinters til 4-6 om sommeren. Modellberegninger utført ved NILU viser at normal UV-indeks for klarvær 21. juni er 9.6 på Mallorca og 10.6 på Kanariøyene.

De viktigste faktorer som bestemmer UV-nivået ved jordens overflate er solhøyden, ozonmengden, skyer og refleksjonsegenskapene ved bakken. Ved å kombinere målinger med GUV-instrumentet og strålingstransportberegninger kan både den biologisk effektive UV-dosen og den totale ozonmengde bestemmes. Ved bestemmelse av UV-doser benyttes alle UV-kanalene (305 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm). Totalozon bestemmes fra forholdet mellom 320 nm- og 305 nm-kanalene. Dette forholdet er svært lite påvirket av skyer, og det er derfor ikke nødvendig (untatt i ekstreme tilfeller) å korrigere for skyer. I tillegg kan effekten av skyer og albedo (bakkerefleksjon) på UV-dosene kvantifiseres med en albedo/skyeffekt ved hjelp av målinger i en av UV-A-kanalene siden UV-A er upåvirket av ozon. Albedo/skyeffekten defineres som forholdet mellom målt irradians i 340 nm-kanalen og irradians for 340 nm-kanalen i klarvær med null bakkerefleksjon multiplisert med 100. I klarvær med lav bakke-albedo (barmark) vil albedo/skyeffekten være 100. I klarvær med nysnø på bakken vil albedo/skyeffekten kunne være opp til 140. Dette betyr at nysnø kan øke UV-dosen med 40%. En albedo/skyeffekt på f.eks. 40 om sommeren betyr at skydekket reduserer UV-nivået med 60% (siden bakkealbedoen er svært liten om sommeren kan denne reduksjonen tilskrives skyer). Effekten av skyer og albedo er lite bølgelengdeavhengig slik at sky/albedo-effekten gjelder både i UV-B og i UV-A.

Siden GUV-instrumentene kan benyttes til å bestemme både UV-doser, totalozon og effekter av skyer og bakkerefleksjon, er det mulig å avgjøre om eventuelle fremtidige endringer i UV-nivået skyldes en endring i den totale ozonmengde eller en eller flere av de andre faktorer.

5.4 Kalibrering og drift av UV-instrumentene

Et GUV-511-instrument har vært i drift i Oslo siden februar 1994. I 1995 anskaffet NILU to nye GUV-541-instrumenter, finansiert av SFT, mens Statens Strålevern anskaffet fem. Disse instrumentene inngår i det norske UV-nettverket. NILU har ansvar for driften av instrumentene i Oslo (opprettet 15. februar 1994), Tromsø (opprettet 20. juli 1995) og Ny-

Ålesund (opprettet 1. juli 1995). De resterende fem instrumenter ble satt i drift i januar 1996.

De syv nye GUV-541-instrumentene ble i mai 1995 kalibrert mot et SUV-100-spektroradiometer hos produsenten Biospherical Instruments Inc. i San Diego, California, USA. Dette spektroradiometeret er med i et nettverk av instrumenter i Antarktis og Arktis i regi av det amerikanske National Science Foundation (Booth et al., 1994). Data fra det norske UV-nettverket vil dermed kunne sammenlignes med data fra dette amerikanske nettverket. De syv nye GUV-instrumentene ble også kalibrert i Biospherical Instruments kalibrerings-laboratorium.

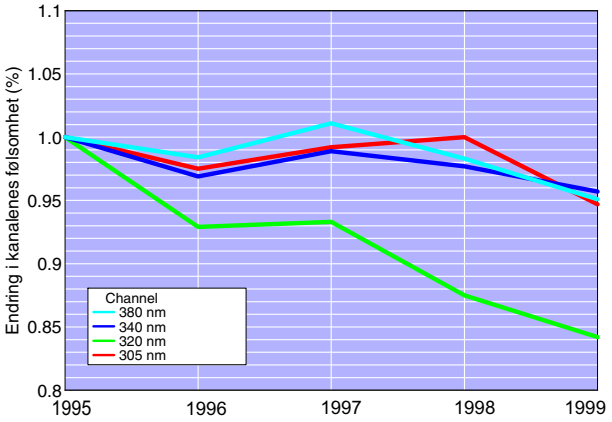
Det gamle GUV-511-instrumentet ble kalibrert mot de syv nye GUV-541 i Oslo juni 1995. Et av Statens Stråleverns GUV-instrumenter fungerer som et referanse-instrument for nettverket. Dette instrumentet blir jevnlig kalibrert ved Statens Stråleverns kalibreringslaboratorium. Minst én gang pr. år vil de øvrige GUV-instrumentene bli kalibrert mot det reisende referanse-instrumentet på hver stasjon. Minst én gang pr. år vil referanse-instrumentet også bli kalibrert i Biospherical Instruments Inc. kalibrerings laboratorium.

GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund er knyttet til internett via PC, og rådata overføres automatisk til NILUs eksterne database. Rådata blir her analysert og UV-doserater, totalozon, samt sky- og albedo-effekter blir beregnet. Dataene er til enhver tid tilgjengelig for norske forskningsmiljøer.

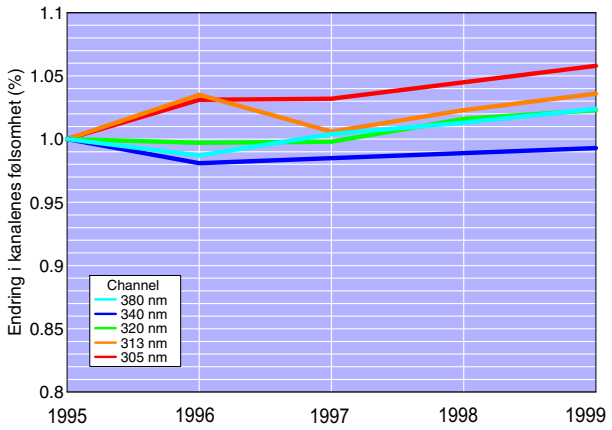
I mai 1999 ble referanse-instrumentet kalibrert hos Biospherical Instruments. I juni 1999 ble instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund kalibrert mot referanse-instrumentet. Referanse-instrumentet blir flyttet til hver stasjon slik at det ikke blir brudd i måleseriene. Ved disse re-kalibreringene blir endringene i kanalenes følsomhet bestemt. I 1999 har Bjørn Johnsen fra Statens Strålevern beregnet nye kalibreringskoeffisienter for perioden 1995-1999 for alle GUV-instrumentene i UV-nettverket (Johnsen, 1999). Dette ble gjort for å oppnå mer konsistente datasett.

Endring i kanalenens følsomhet i 1996,1997, 1998 og 1999 relativt til kalibreringen i mai/juni 1995 er vist for instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i henholdsvis Figur 34, 35 og 36. Verdier mindre enn 1 betyr at følsomheten har avtatt i forhold til 1995, og verdier større enn 1 betyr at følsomheten har økt.

For Oslo-instrumentet var den samlede driften fra 1995 til 1997 på 320nm-kanalen ca -7%, mens den var mindre enn 1.2% på de øvrige kanalene. Fra 1997 til 1999 ble følsomheten på 320nm-kanalen redusert med ytterligere 11%, slik at den samlede



Figur 34. *Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-511-instrumentet i Oslo fra 1995 til 1999.*



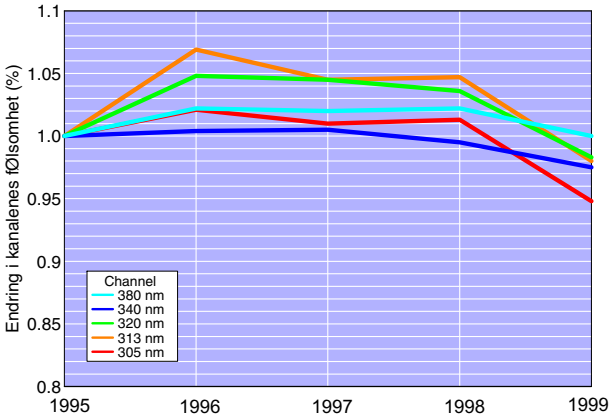
Figur 35. *Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Tromsø fra 1995 til 1999.*

drift fra 1995 til 1999 for 320nm-kanalen var -19%. De øvrige kanalene hadde en samlet drift på -4.5% til -5.2% fra 1995 til 1999.

For GUV-instrumentet i Tromsø var driften fra 1995 til 1999 mindre enn ±6% for alle kanalene. 340nm-kanalen har fått redusert følsomhet, mens de andre kanalene har fått økt følsomhet.

For GUV-instrumentet i Ny-Ålesund var det fra 1995 til 1997 en positiv drift for alle kanaler (dvs. økt følsomhet) som varierte fra 0.5 til 4.5%. Fra 1997 til 1999 alle kanalene en negativ drift på mellom 2 og 6.5%. Den samlede driften fra 1995-99 var størst for 305nm-kanalen (5.5%), mens de andre kanalene hadde en drift på mindre enn 2% i denne perioden.

For alle måledata som er presentert i denne rapporten er det antatt en lineær drift på grunnlag av verdiene i vist i figurene. Kvaliteten på måledataene ville kunne øke hvis hver stasjon ble utstyrt med en lampe-enhet for relativ kalibrering. En slik relativ kalibrering kunne dermed utføres på hver stasjon f.eks. én gang pr. måned. En slik lampeenhet er planlagt



Figur 36. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund fra 1995 til 1999.

utviklet ved NILU i forbindelse med utvikling av NILU-UV-instrumentet, som er NILUs egenutviklede UV-instrument.

Så lenge driften holder seg innenfor 2-3% pr. år vil ikke feilen bli stor ved å anta lineær drift. Kanalen for 320nm i Oslo-instrumentet er et problem, og det planlegges å sende instrumentet tilbake til produsent for å skifte ut filteret til denne kanalen. Instrumentet vil da bli kalibrert på nytt, slik at det ikke blir noe brudd i måleserien.

Appendix: Instrumentbeskrivelse

A.1 Dobson-spektrofotometeret

Dobson-instrumentet (Komhyr, 1990) måler et intensitetsforhold ved to forskjellige bølgelengder i den ultrafiolette delen av solspekteret. Den ene bølgelengden absorberes sterkt av ozon og den andre svakt. Den sikreste metoden er å måle direkte mot solen. Siden det målte intensitetsforholdet er bestemt av bl.a. ozon-mengden, kan denne beregnes. Instrumentet kan måle på fem forskjellige bølgelengdepar: A, B, C, D og C'. Standardmetoden er å benytte en kombinasjon av A- og D-paret, en såkalt AD-måling. Dette reduserer virkningen av spredning i atmosfæren og SO_2-innholdet i atmosfæren. I Oslo har C-paret vært benyttet i stor grad. Grunnen er at AD-målinger krever høyere sol enn C-paret for å gi pålitelige målinger. Med C-målinger blir derfor målesesongen betydelig utvidet. I de senere år har AD-målinger blitt benyttet i sommerhalvåret hyppigere enn tidligere. Dessuten benyttes CD-målinger som gir gode målinger høst og vår. Med Dobson-instrumentet er det også mulig å bestemme ozonmengden ved å måle på direkte månelys.

Ozonmengden kan også bestemmes fra senitlysmålinger. Slike målinger benyttes i stor grad på våre breddegrader. Dette skyldes at skyet vær og lav sol om vinteren umuliggjør direkte solmålinger. I en senitlysmåling måles det spredte sollyset fra senit. Ozonmengden bestemmes ved et kurvekart som viser sammenhengen mellom ozonmengde, solhøyde og det målte intensitetsforhold. Et slikt kurvekart bestemmes på grunnlag av et stort antall samtidige solmålinger (som gir ozon-mengden direkte) og senitlysmålinger. Senitlysmålinger er mer usikre enn direkte solmålinger. Dette skyldes at det målte senitlys, i tillegg til absorpsjon pga. ozon, også påvirkes av høydefordelingen av ozon. Dette gjelder spesielt når solen står lavt på himmelen. Dessuten påvirkes senitlysmålinger av skyer. Ved også å måle med C'-paret, som påvirkes svært lite av ozon, kan man empirisk lage skykorreksjons-tabeller. Både AD-, CD- og C-parene benyttes ved senitlysmålinger.

A.2 Brewer-spektrofotometeret

I første rekke skiller Brewer-instrumentet seg fra Dobson-instrumentet ved at det kan registrere etter et oppsatt program (Brewer-manual, 1990). Selv om instrumentet i stor grad er automatisert, krever det hyppig ettersyn, og ozonverdiene må kontrolleres. Fordelen med Brewer-instrumentet er at man kan foreta et mye større antall målinger enn hva som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Mens Dobson-instrumentet benytter to eller fire bølgelengder i UV-området, benytter Brewer-instrumentet fem. Ozonmengden kan bestemmes ved å måle direkte sollys, direkte månelys eller spredt lys fra senit. Brewer-instrumentet muliggjør også måling av SO_2 og UV-B-spekteret fra 290 til 320nm. Med Brewer-instrumentet i Oslo er det også mulig å måle NO_2-innholdet i atmosfæren. Senitlysmålinger med Brewer-instrumentet gir med eksisterende analysemetoder ikke tilstrekkelig nøyaktige ozonmålinger. Flere grupper i Norden har etterlyst nye og bedre observasjons- og analysemetoder. Både ved Universitetet i Oslo, Universitetet i Tromsø og NILU er det satt i gang arbeid for utvikling av alternative metoder for bestemmelse av totalozon ved hjelp av senitlys. En metode som går ut på å bestemme ozonmengden fra UV-B-spekteret (Stamnes et al., 1991) ble testet på måledata fra den Nordiske instrumentsammenligningen i 1993 (Dahlback et al., 1994). Metoden fungerte tilfredstillende på det begrensete datasettet som var tilgjengelig. Fordelen med denne metoden er at skyer påvirker ozonmålingene betraktelig mindre enn ved senitlysmålinger. Dette skyldes at irradiansen (direkte + diffus stråling) er mindre følsom for skyer enn senitlys (diffus stråling).

A.3 TOMS

Satellittene NIMBUS 7 og Meteor 3 benyttet et ozonmåleinstrument, TOMS (Total Ozone Mapping

Spectrometer). Ultrafiolett stråling fra solen trenger ned i atmosfæren, passerer ozonlaget hvor noe absorberes, deretter reflekteres den gjenværende ultrafiolette strålingen fra bakken og skyene i troposfæren, og lyset passerer ozonlaget en gang til med ytterligere absorpsjon. Strålingsintensiteten registreres av satellitten. Ved å måle svekkingsgraden og benytte strålingstransport-beregninger, bestemmes hvor mye ozon lyset har passert. Ved målingene benyttes flere bølgelengder. Denne teknikken har mye til felles med senitlysteknikken, som benyttes med Dobson- og Brewer-instrumentet. Ingen av TOMS-instrumentene i Nimbus 7- og Meteor 3-satellittene er imidlertid lenger i drift. TOMS instrumentet på Nimbus 7-satellitten var i drift fra 1979 til 1993, mens instrumentet på Meteor 3-satellitten var i drift i perioden 1991-1994. To nye TOMS-instrumenter ble satt i drift i annet halvår i 1996 (den amerikanske Earth Probe og den japanske ADEOS). Dessverre sluttet ADEOS-satellitten å fungere i slutten av juni 1997 pga. problemer med en kabel fra solcellepanelene. For øyeblikket er det derfor data fra TOMS-instrumentet ombord på Earth Probe som blir benyttet.

A.4 SAOZ

SAOZ (System for Analysis of Observations at Zenith) er et instrument som er konstruert for bl.a. å måle ozonmengden i atmosfæren ved lav sol. Dobson- og Brewer-instrumentene gir med dagens observasjons- og analysemetoder vanligvis usikre ozonmålinger når solen står lavere enn 5-10 ˚over horisonten. Grunnen til dette er blant annet at den ultrafiolette strålingen som Brewer- og Dobson-instrumentet måler, blir for svak ved lav sol. SAOZ derimot benytter absorpsjons-bånd rundt 510nm (Chappuis-båndet), dvs. i den synlige delen av solspekteret hvor ozon absorberer mye svakere enn i den ultrafiolette delen. Målinger med SAOZ-instrumentet vil derfor gi best resultater ved lav sol, og siden instrumentet kan måle selv når solen står 1˚ under horisonten, er instrumentet velegnet på høye breddegrader. Med nåværende analysemetoder gir SAOZ ikke gode resultater når solen står høyere enn 4˚ over horisonten. I Ny-Ålesund kan derfor instrumentet ikke benyttes i store deler av sommerhalvåret fordi solen står for høyt over horisonten selv ved midnatt. Men SAOZ er et viktig supplement til målinger med Dobson-instrumentet siden målesesongen blir utvidet med ca. 3 måneder.

A.5 GUV

GUV-511 (Ground-Based Ultraviolet Radiometer) måler irradiansen (strålingen som faller på en horisontal flate) ved fire bølgelengder i UV-området. Kanalene har senterbølgelengder ved 305nm, 320nm, 340nm og 380nm, med en båndbredde på ca. 10nm. Ved å kombinere forholdet mellom 305-kanalen og en av de andre kanalene kan totalozon bestemmes vha. strålingstransport-beregninger. Overensstemmelsen mellom GUV og Dobson, og GUV og Brewer er svært god, og i tillegg er effekten av skyer på de målte ozonverdier svært liten (Dahlback, 1996). Et GUV-511-instrument har vært i drift i Oslo sammenhengende siden februar 1994. I juli 1995 ble Tromsø og Ny-Ålesund utstyrt med GUV-541-instrumenter finansiert av SFT. GUV-541-instrumentet skiller seg fra GUV-511-instrumentet ved at den bredbåndete kanalen (400-700nm) er erstattet av en 313nm-kanal med 10nm båndbredde. Denne kanalen er planlagt benyttet til ozonmålinger ved lav sol og vil supplere måleperioden til Dobson- og Brewer-instrumentene i Tromsø og i Ny-Ålesund.

A.6 Ozonlidar

Ozon-lidaren ved ALOMAR består av en kraftig lyskilde (laser) som kan sende ut kortvarige lyspulser i rask rekkefølge. Varigheten av lyspulsene er ca. 10ns (10^{-8}s) og disse pulsene sendes ut 200 ganger pr. sekund (200Hz). I tidsrommet mellom to lyspulser blir det lys som returneres av atmosfæren fanget opp av et stort teleskop og sendt til en følsom detektor. Retur-signalet blir detektert flere millioner ganger pr. sekund. Dette betyr at man kan registrere hvor mye lys som sendes tilbake fra forskjellige høyder i atmosfæren. En ozon-lidar sender ut lys ved to forskjellige bølgelengder, 308nm og 353nm. Lys ved den første bølgelengden blir absorbert av ozon, mens lys ved 353nm ikke absorberes av ozon. Ved å sammenligne retursignalet ved disse to bølgelengdene kan man regne ut hvor mye ozon det er i hvert høydeintervall. Den vertikale oppløsningen bestemmes av hvor hyppig man samler inn retursignalet. Ved ALOMAR brukes en innsamlings-frekvens på 1.4MHz. Dette gir en vertikal oppløsning på 100m.

Tidsoppløsningen, dvs. hvor ofte man får en ny ozon-profil, avhenger av hvor lenge man må samle inn retursignalet for å få nok fotoner til å gi et brukbart signal/ støyforhold. Dette bestemmes av effekten på laseren. Man kan også øke tidsoppløsningen ved å redusere innsamlingsfrekvensen, men da blir den vertikale oppløsningen redusert.

Mer informasjon om lidarens virkemåte finner man i Kåstad et al. (1993).

Referanser

Booth, C.R., Lucas, T.B, Morrow, J.H., Weiler, C.S. and Penhale, P.A. (1994) The United States National Science Foundation/Antarctic Program's Network for Monitoring Ultraviolet Radiation. In: *Ultraviolet radiation in Antarctica. Measurements and biological research*. Ed. by C.S. Weiler and P.A. Penhale. Washington, D.C., American Geophysical Union, (AGU Antarctic Research Series, 62). pp.17-37.

Braathen, G.O., von der Gathen, P., Kyrö, E., Rummukainen, M., Mikkelsen, I.S., Fast, H., Dorokhov V., and Gil M. (1997) Temporal evolution of ozone in the polar vortex during the nine winters from 1988-89 to 1996-97. In: *Proceedings of the fourth European Symposium on Polar Stratospheric Ozone, 22 to 26 September 1997.* (European Commission, Air pollution research report 66.) pp. 249-252.

Braathen, G.O, Dahlback, A., Svenøe, T., Bojkov, B. and Hansen, G. H. (1998) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1997. Kjeller (NILU OR 56/98).

Brewer (1990) MKIV spectrophotometer operations manual. OM-BA-CO1/B, May 1, 1990.

Dahlback, A. (1999) Personlig kommunikasjon.

Dahlback, A., Tønnessen, F. (1999) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund og Brewer- og Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1999. (Måledata).

Dahlback, A. (1996) Measurements of biologically effective UV-doses, total ozone abundance and cloud effects with multi-channel moderate bandwidth filter instruments. *Appl. Opt*., 35, 6514-6521.

Dahlback, A., Braathen, G.O. and Stordal, F. (1995) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1994. Kjeller (NILU OR 20/95).

Dahlback, A., Kylling, A., Koskela, T. and Svenøe, T. (1994) Radiative transfer modelling. In: *Nordic intercomparison of ultraviolet and total ozone instruments at Izaña from 24 October to 5 November 1993*. Ed. by Koskela, T. Helsinki, FMI (*Meteorological Publications, 27*) pp. 97-104.

Hansen, G., Svenøe, T., Chipperfield, M.P., Dahlback, A. and Hoppe, U.-P. (1997) Evidence of substantial ozone depletion in winter 1995/1996 over Northern Norway. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 799-802.

Edvardsen, K. (1999) Ozonmålinger med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Tromsø. (Måledata).

Svenøe, T. (1999) Re-evaluation of the Tromsø ozone record from 1935 to 1971 and 1984 to 1999, to be published.

Høiskar, B.A.K., Dahlback, A., Vaughan, G., Braathen, G.O., Goutail, F., Pommereau, J.-P. and Kivi, R. (1995) Seasonal variations in airmass factors for ozone — computations based on climatology data. Presented at the Third European Symposium on Polar Stratospheric Ozone 18-22 September 1995, Schliersee, Germany. Kjeller (NILU F 48/95).

Høiskar, B.A.K., Dahlback, A., Tellefsen, C.W., Braathen, G.O., (1997) Retrieval of total ozone abundances from the UV region of spectra recorded with an UV-visible spectrometer. *Appl. Opt.,* 36, 7984-7991.

Johnsen, Bjørn, (1999) Rapport på driftsfaktorer for UV-nettverkets GUV-instrumenter, Statens Strålevern.

Komhyr, W.D. (1990) Operations handbook. Ozone observations with a Dobson spectrophotometer. (WMO Global Research and Monitoring Project, Report no.6).

Kåstad, B.A. and Braathen, G.O. (1993) Specification of an ozone lidar for daylight measurements. Lillestrøm (NILU OR 18/93).

Larsen, S.H.H. (1993) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo 1979-1993. (Måledata).

McKinlay, A.F.and Diffey, B.L. (1987) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema on human skin. *CIE J*., 6, 17-22.

Orsolini, Y.J., Hansen, G., Hoppe, U.P., Manney, G.L. and Fricke, K. (1997) Dynamical modelling of wintertime lidar observations in the Arctic: ozone laminae and ozone depletion. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 123, 785-800.

Stamnes, K., Slusser, J. and Bowen, M. (1991) Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. *Appl. Opt.*, 30, 4418-4426.

WMO (1995) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994. Geneva (World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project, Report no. 37).

Norsk institutt for luftforskning

Postboks 100, N-2027 Kjeller

Rapporttype: Oppdragsrapport	**Rapport nr.:** OR 26/2000	ISBN 82-425-1180-2 ISSN 0807-7207	
Dato **21.06.2000**	**Ansv. sign.** Øystein Hov (sign.)	**Antall sider:** **28**	**Pris:** **NOK 110,-**

Tittel:
Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling.
Årsrapport 1999

Prosjektleder:
Geir O. Braathen

NILU prosjekt nr.:
O-8985

Forfattere:
Britt Ann K. Høiskar, Geir O. Braathen, Arne Dahlback, Trond Svenøe, Georg H. Hansen og Kåre Edvardsen

Tilgjengelighet: *
A

Oppdragsgivers ref.

Oppdragsgiver:
Statens forurensningstilsyn
Postboks 8100 Dep.
0032 Oslo

Stikkord: Stratosfæreozon	UV-stråling	Måledata

Referat:
Rapporten presenterer måledata for totalozon, vertikalfordelingen av ozon og UV-stråling ved norske målestasjoner i 1999. For Oslo er trenden i totalozon for tidsrommet 1979 - 1999 beregnet. For Tromsø er trenden for 1979 - 1999 beregnet.

Title:
Monitoring of the atmospheric ozone layer and natural ultraviolet radiation. Annual report 1999.

Abstract:
Data for total ozone, the vertical distribution of ozone and UV radiation at Norwegian measurement sites are given for the year of 1999. The trend in total ozone for Oslo for the time period 1979 - 1999 has been calculated. The trend in total ozone for Tromsø has been calculated for the 1979 - 1999 time periods.

* *Kategorier:*

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



Statens forurensningstilsyn

Postboks 8100 Dep.
0032 Oslo
Telefon: 22 57 34 00 - Telefax: 22 67 67 06
Internett: http://www.sft.no/



Norsk institutt for luftforskning

Instituttveien 18, postboks 100, 2027 Kjeller
Telefon: 63 89 80 00 - Telefax: 63 89 80 50
Internett: http://www.nilu.no/