



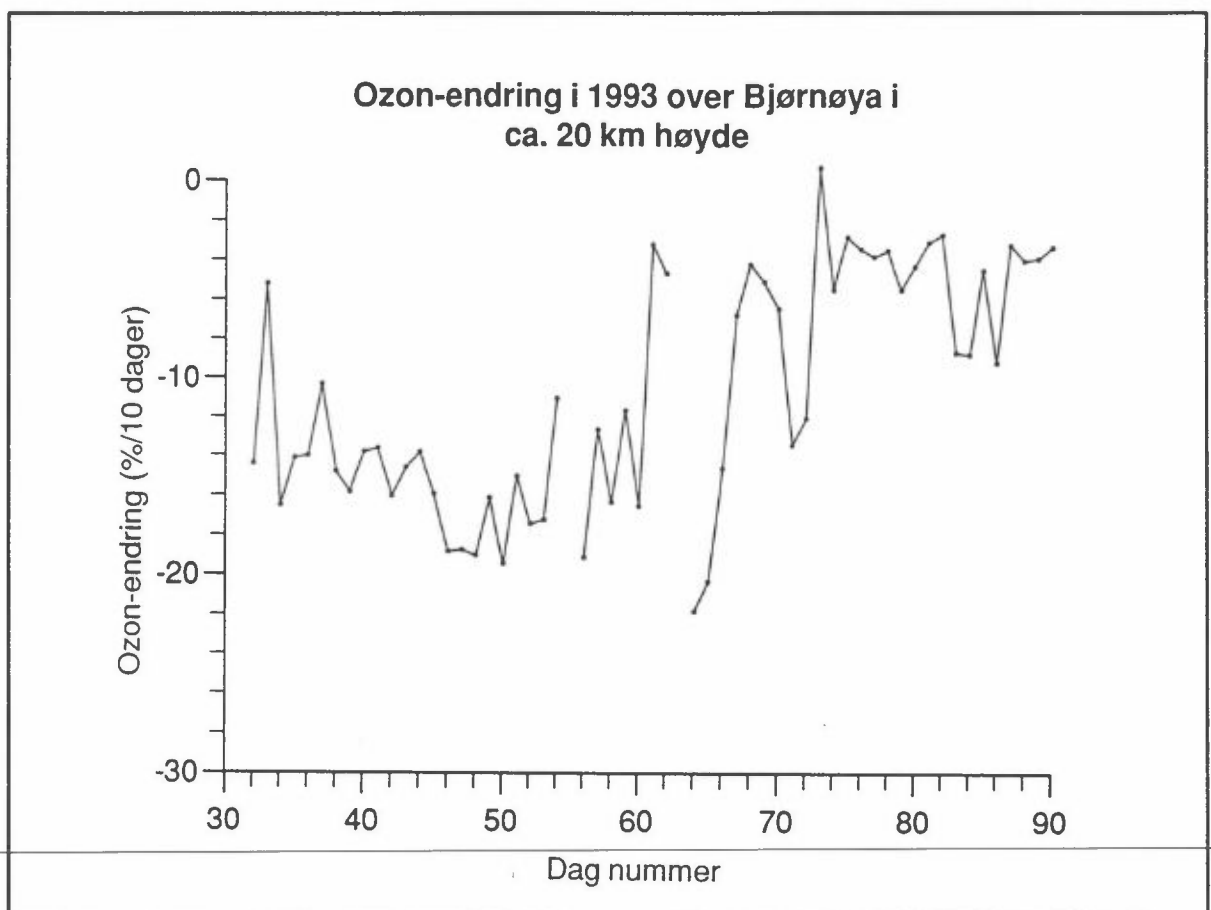
Rapport nr.: 529/93

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon: NILU

## Overvåking av ozonlaget

Et norsk og et globalt perspektiv





## 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 1, tlf. 02 - 57 34 00.

NILU OR : 27/93  
REFERANSE : O-8985 PR  
DATO : JULI 1993  
ISBN : 82-425-0483-0

# **Overvåking av ozonlaget**

## **Et norsk og et globalt perspektiv**

**Frode Stordal,  
Geir O. Braathen og Arne Dahlback**

Utført etter oppdrag fra  
Statens forurensningstilsyn

---

# Overvåking av ozonlaget

## Et norsk og et globalt perspektiv

Frode Stordal,

Geir O. Braathen og Arne Dahlback

### Sammendrag

Bakke-baserte målinger over Oslo viser en nedgang i totalozon. Dette er klart etter at dataene nå er analysert på nytt. Nedgangen har vært på omkring 3.3 % pr. tiår siden 1979. Målinger over Oslo fore-tatt med et satellitt-instrument viser en nedgang på omkring 6.8 % pr. tiår. Dette avviket mellom bakke- og satellitt-baserte målinger er ikke vesentlig større enn det som er tilfelle en del andre steder i Europa.

Høye konsentrasjoner av klormonoksid ClO, en gass som bryter ned ozon svært effektivt, har vært observert over Europa vinteren 1991/92. Denne gassen, hvis klorinnhold vesentlig stammer fra utslipp av klorfluorkarboner (KFK), ble dannet i forbindelse med skyer i stratosfæren i den kalde polarnatten og i forbindelse med utbruddet fra vulkanen Pinatubo på Filippinene i juni 1991. Dette kunne, hvis været hadde utviklet seg annerledes enn det gjorde våren 1992, ha ført til omfattende nedbrytning av ozon. I 1990-årene kan det altså ventes stor ozonnedbrytning på vårparten dersom værforholdene ligger til rette for det.

Satellittmålinger, som har vært foretatt siden 1979, viser at ozonlaget er svekket over store deler av den nordlige halvkule. Svekkingen skyldes sann-

synligvis økningen i atmosfærens innhold av klor og brom, som i det alt vesentlige stammer fra industrielle utslipp av KFK og haloner.

Alvorligere er situasjonen over Antarktis, der det såkalte "ozonhullet" har utviklet seg som en følge av økningen av klor og brom i stratosfæren. Ozonmengden er redusert med mer enn 50 % på vårparten over store deler av det antarktiske kontinentet.

Til tross for internasjonale avtaler som regulerer utslippene av KFK og haloner, vil klor- og brom-mengden i stratosfæren øke i flere år. Klormengden vil antakelig nå et maksimumsnivå mot slutten av 1990-årene. Den økende mengden av klor og brom i atmosfæren gir grunn til å vente en fortsatt nedgang i ozon, både på den nordlige og sydlige halvkule.

Svekkingen av stratosfærens ozonlag er et alvorlig globalt luftforurensningsproblem. Globale overvåkingsdata har spilt en viktig rolle i kartleggingen av problemet. Fordi den negative utviklingen trolig vil fortsette utover i 1990-årene, er fortsatt overvåking av ozonlaget nødvendig. NILU har, på oppdrag fra SFT, ansvaret for å koordinere ozonlagsovervåkingen i Norge.

## En svekking av ozonlaget vekker bekymring

Reduksjoner i stratosfærens ozonlag har vakt bekymring de siste årene. En svekking av ozonlaget fører til økning i ultrafiolett (UV) stråling, noe som kan skade mennesker, planter og dyr.

Denne rapporten beskriver utviklingen av ozonlaget, slik den er observert med instrumenter fra bakken og fra en satellitt (WMO/ UNEP, 1992). Utviklingen er beskrevet for Antarktis, der situasjonen er mest prekær, for den nordlige halvkule som helhet og for Europa og Norge spesielt.

Det har vært en viss diskusjon om ozonmålingene i Oslo, fordi det tidligere har sett ut som om det har vært en stor uoverensstemmelse mellom data observert med bakke- og satellitt-instrumenter. Dette problemet, som diskuteres i denne rapporten, anses nå å være løst.

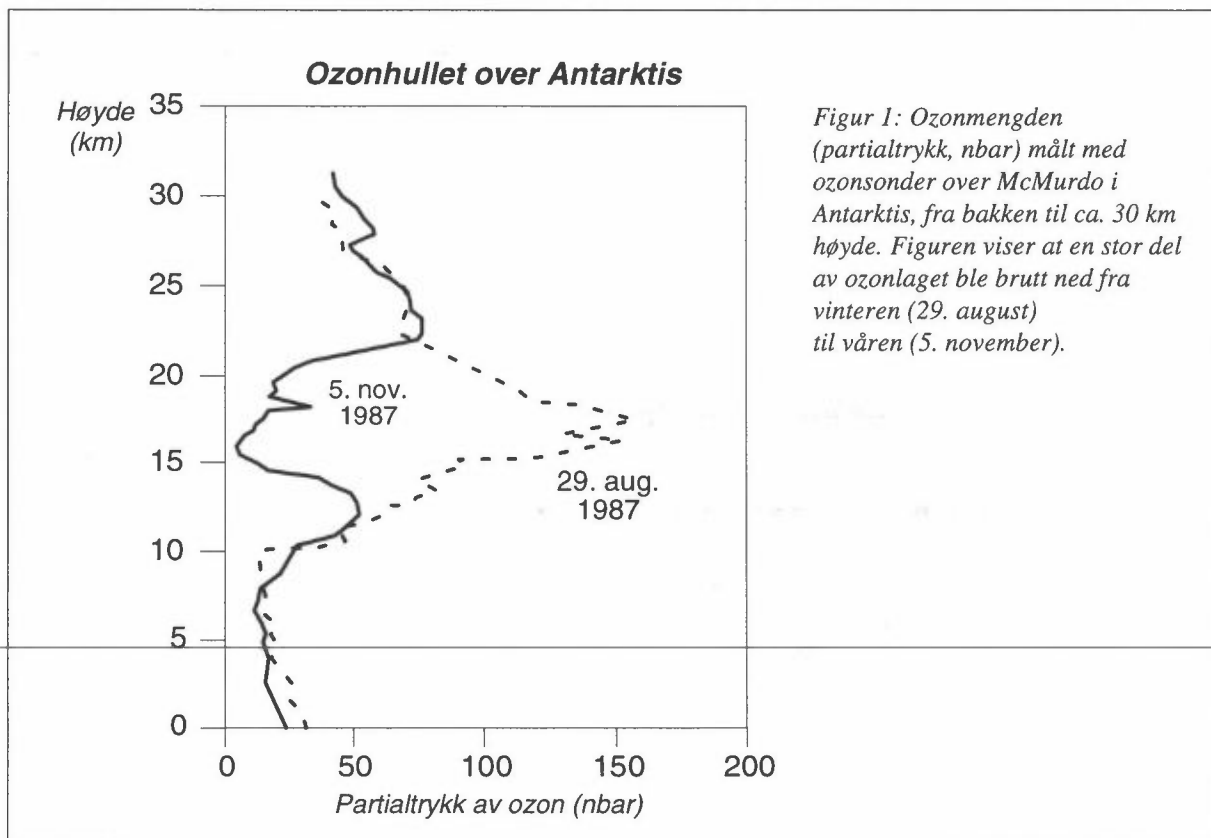
For å kartlegge og forklare endringene i ozonlaget på vår halvkule ble en europeisk og en amerikansk målekampanje gjennomført i nordområdene vinteren 1991/92. Enkelte konklusjoner kan trekkes allerede nå, men en rekke viktige måledata fra disse kampanjene er ennå ikke ferdig analysert.

Klor og brom, fra menneskelige utslipp, viser seg å spille en viktig rolle for svekkingen av ozonlaget. Kildene til stratosfærisk klor og brom blir beskrevet i rapporten. Den fremtidige utviklingen for disse stoffene blir også diskutert, i lys av internasjonale avtaler om reduksjoner i utslippene.

## Ozonhull over Antarkis hvert år

Den mest markerte svekkingen av ozonlaget finner sted over Antarktis, der det såkalte "ozonhullet" har utviklet seg som en følge av økningen av klor og brom i stratosfæren. Ozonmengden er redusert med mer enn 50 % på vårparten over store deler av det antarktiske kontinentet. Det har ført til større doser av UV-stråling, noe som kan skade en rekke organismer. I Antarktis er man særlig bekymret for plankton i havet som omgir ismassene. Nye forskningsresultater (Smith et al., 1992) viser en reduksjon i primær-produksjonen i havet. Hvilke konsekvenser dette får for den økologiske balansen i denne issonen er ennå ikke kjent.

Ozonhullet dukker opp hvert år i oktober måned, altså når det er vår på den sydlige halvkule. De



Tabell 1: Trender i totalozon (%/tiår med 95% konfidensintervall).

Sesong	TOMS: 1979-91			Bakke-basert: 26°N - 65°N	
	45°S	Ekvator	45°N	1979-1991	1970-1991
Des—Mar	-5,2 ± 1,5	+0,3 ± 4,5	-5,6 ± 3,5	-4,7 ± 0,9	-2,7 ± 0,7
Mai—Aug	-6,2 ± 3,0	+0,1 ± 5,2	-2,9 ± 2,1	-3,3 ± 1,2	-1,3 ± 0,4
Sep—Nov	-4,4 ± 3,2	+0,3 ± 5,2	-1,7 ± 1,9	-1,2 ± 1,6	-1,2 ± 0,6

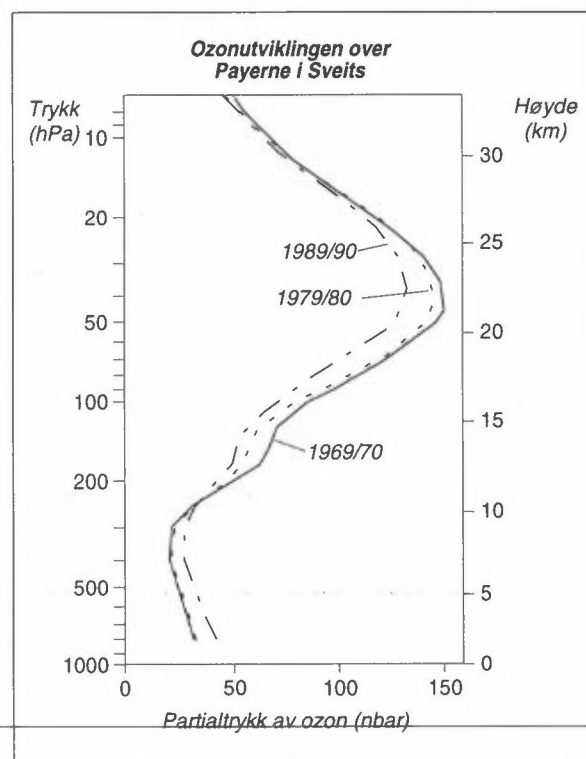
første årene var det mest utpreget annet hvert år pga. et meteorologisk fenomen som fører til variasjoner i transporten av ozon og varme fra ekvatoriale strøk til Antarktis. Situasjonen er stadig blitt forverret, og ozonhullet har vært av stort omfang i fem av de seks siste år. På det verste er reduksjonen i total-ozon (den totale mengden av ozon i en vertikal søyle fra bakken og gjennom hele atmosfæren) på mer enn 50%. I et høydeintervall fra 15-20 km er det store deler av våren praktisk talt ikke noe ozon over mesteparten av Antarktis. Dette har vært observert i en rekke ozonsonde-eksperimenter (Figur 1).

Ozonhullet i Antarktis ble første gang rapportert i 1985 av britiske forskere som registrerte unormalt lave mengder av ozon vha. målinger med et Dobson-spektrofotometer. Nøyere analyse av satellitt-målinger utført med instrumentet TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), som er ombord i Nimbus 7, bekreftet disse målingene og viste at betydelig ozonreduksjon hadde funnet sted siden slutten av 70-årene over hele det antarktiske kontinentet.

Oppdagelsen av ozonhullet kom som en overraskelse på forskerne. Riktignok ble det allerede tidlig i 1970-årene fremsatt teorier om at klorfluorkarbone kunne bryte ned ozonlaget, men på langt nær i et slikt omfang som man ser i Antarktis i oktober måned. Man kunne tenke seg både meteorologiske og kjemiske forklaringer på fenomenet. Målinger utført fra bakken, fra ballonger og fra fly som bl.a. kan fly opp til 18 km høyde og foreta målinger der ozon er sterkest uttynnet, har vist at det er en nøye sammenheng mellom høye konsentrasjoner av klormonoksid og lav konsentrasjon av ozon. Basert på felt-data og laboratorieeksperimenter der man simulerer forholdene i stratosfæren, kan man nå med stor grad av sikkerhet slå fast at det er klor- og brom-holdige forbindelser som er ansvarlige for nedbrytningen av ozon over Antarktis.

Årsaken til at ozon brytes ned i så stort omfang nettopp i Antarktis har sammenheng med at det foregår kjemiske reaksjoner i de såkalte polare stratosfæriske skyer. Selv om man i grove trekk kjenner mekanismene som får klor og brom til å bryte ned ozon, gjenstår det imidlertid fortsatt mye forskning før man har tilstrekkelig kunnskap om alle de prosesser som inngår.

## Ozon måles på den nordlige halvkule



Figur 2: Ozonmengden (partialtrykk, nbar) målt med ozonsonder over Payerne i Sveits fra bakken til ca. 30 km høyde. Figuren viser at gjennomsnittsmengden har gått ned i stratosfæren fra 1970 til 1990.

Satellittmålinger (TOMS), som har vært foretatt siden 1979, viser at ozonlaget er svekket over store deler av den nordlige halvkule. Svekkingen skyldes sannsynligvis økningen i atmosfærens innhold av klor og brom, som i det alt vesentlige stammer fra industrielle utslipp av KFK og haloner. Målingene viser at det på den nordlige halvkule på europeiske breddegrader har vært en nedgang i totalozon på 5-6% pr. tiår i vintermånedene i tidsrommet 1979-1991 (WMO/UNEP 1992; Tabell 1). Også i sommermånedene er det nå påvist en nedgang, som er på ca. 3% pr. tiår. I analysen som ligger til grunn for disse tallene har man fjernet bidraget fra kjente naturlige svingninger, bl.a. årstidsvariasjon og solflekksyklus. Det gir en større statistisk sikkerhet i resultatene. Ozonnedgangen bekreftes av bakke-målinger av total-ozon og av tyske og sveitsiske målinger utført med ozonsonder, som viser at konsentrasjonen av ozon i 20 km høyde er gått ned med ca. 0.5% pr. år fra slutten av 60-tallet og frem til idag (Figur 2).

Årsaken til ozonnedgangen på den *nordlige* halvkule kan være nedbrytning pga. klor og brom som kommer fra klorfluorkarboner og haloner. Dette er ett av de spørsmål forskerne internasjonalt i dag er opptatt av å finne et sikrere svar på. Fordi det er en stor naturlig variasjon i ozonlaget, bl.a. på våre bredder, på grunn av variasjoner i transporten som styres av været, kan det ikke helt utelukkes at de observerte ozonreduksjonene skyldes naturlige svingninger. Nyere forskningsresultater (WMO/UNEP, 1992, Browell et al., 1990, Kyrö et al., 1992) har imidlertid styrket antakelsen om at også nedgangen på den nordlige halvkule skyldes klor og brom, særlig vinteren 92-93 (Waters et al., 1993).

## Også nedgang i ozonmengden over Oslo

De bakkebaserte Dobson-målingene over Oslo viser en nedgang i ozonmengden både om sommeren og om vinteren. Nedgangen om vinteren har vært på omkring 5.3 % pr. tiår siden 1979 (tabell 2). Målinger over Oslo foretatt med satellitt-instrument (TOMS) viser en nedgang om vinteren på 10 % pr. tiår. Dobson-instrumentet viser en nedgang om sommeren på 1.7 % pr. tiår, mens TOMS viser en nedgang på 4.6 % pr. tiår. Dette avviket mellom bakke- og satellitt-baserte målinger skiller seg ikke

Tabell 2: Endring i ozonmengde i prosent pr. år for perioden 1.1.1979 til 31.12.1992. Tallene i parentes angir usikkerheten (standardavviket).

	Oslo	
	Dobson	TOMS
Des—Mar	-0,53 (0,23)	-1,0 (0,23)
Mai—Aug	-0,17 (0,15)	-0,46 (0,14)
Hele året	-0,33 (0,10)	-0,68 (0,12)

vesentlig fra det som er tilfelle en del andre steder i Europa.

Dataene fra endel av stasjonene i det verdensomspennende nett av Dobson-stasjoner har blitt reevaluert. Det har tidligere vært oppgitt større uoverenstemmelser mellom Dobson- og TOMS-målingene for Oslo. Etter at også Dobson-dataene for Oslo har blitt reevaluert (Larsen et al. 1992), er avviket mellom Dobson-målingene og TOMS-målingene av samme størrelse som det som finnes for en del andre Dobson-stasjoner i Europa.

Vi vil forsøke å forklare årsaken til uoverenstemmelsen mellom det gamle data-settet fra Dobson-målingene i Oslo og TOMS.

Ozonverdiene som måles blir rapportert til WMO's database i Toronto, noe som rutinemessig gjøres annen hver måned. Kalibreringstabellene fra 1977 ble brukt frem til sommeren 1986, da instrumentet deltok i en kalibrering i Arosa i Sveits. Det ble da utarbeidet nye kalibreringstabeller. Disse ble tatt i bruk fra august 1986. Tidligere data (dvs. 1977 - 1986), slik de var blitt rapportert til WMO, ble ikke korrigert. I 1980 ble den elektroniske delen av instrumentet byttet ut. Det er sannsynligvis dette som førte til at kalibreringstabellene ble endret i Arosa i 1986. I det reevaluerte data-settet benyttes kalibreringstabellene fra 1977 på rådataene fra 1978 til 1980. På rådataene fra 1980 og frem til idag benyttes kalibreringstabellene fra 1986. Denne antagelsen gir en tilfredsstillende overensstemmelse mellom Dobson-målingene og TOMS-målingene. Man kan også tenke seg at det har vært en drift i instrumentet mellom kalibreringene (Dahlback et al. 1992). Det er imidlertid på grunnlag av reparasjonen av elektronikken i 1980 den førstnevnte antagelsen ansees som den mest sannsynlige. Begge antagelsene gir imidlertid praktisk talt samme resultat med en trendanalyse.

Analysen av ozontrender observert med Dobson- og TOMS-instrumentene (Stolarski et al., 1992)

viser at det også andre steder, bl.a. i Europa, er visse forskjeller mellom de to teknikkene. Etter justeringene av Oslo-dataene skiller disse seg ikke lenger fra mange andre europeiske stasjoner når det gjelder avvik fra TOMS-baserte trendanalyser. For Europa har det samlet vært en nedgang på 3.8 % (Dobson) og 5.1 % (TOMS) pr. tiår om vinteren i perioden november 1978 - mars 1991. Tilsvarende reduksjoner for sommeren er 4.0 og 4.3 % pr. tiår. Tallene er klart signifikante, og det er således ingen tvil om at ozonlaget er svekket også i våre områder.

Årsaken til avviket mellom Dobson og TOMS skyldes antakelig i hovedsak at TOMS er ufølsom for variasjoner i mengden av ozon i troposfæren (Heese et al., 1992). I tidsrommet 1978-1991 har mengden av troposfæreozon vært økende, mens man for TOMS antar en konstant ozonmengde i troposfæren. Dette fører til at bakkeinstrumenter (som altså er følsomme for ozon både i troposfæren og stratosfæren) registrerer en noe mindre nedgang enn TOMS. Sagt på en annen måte, kan vi si at nedgangen i stratosfæreozon er blitt delvis maskert av en oppgang i troposfæreozon. Økningen i troposfæren skyldes utslipp av  $\text{NO}_x$  og hydrokarboner i forbindelse med forbrenning av fossilt brensel (f.eks. biltrafikk). Dette er også en uønsket utvikling da ozon er en giftig gass som vil kunne forårsake skade på mennesker, dyr og planter.

Avviket mellom Dobsonmålingene og TOMS-målingene for Oslo økte vinteren 1991/92. Årsaken til dette kan være en kraftig økning i konsentrasjonen av aerosoler (partikler) i stratosfæren som stammer fra vulkanutbruddet fra Pinatubo på Filippinene juni 1991. Aerosoler i stratosfæren påvirker målinger på en slik måte at den registrerte ozonmengden er lavere enn i virkeligheten. Denne effekten vil være størst om vinteren når solen står lavt. Modellberegninger tyder på at "aerosol-effekten" er størst for satellitt-målinger.

Satellittmålingene med TOMS-instrumentet har vært av stor betydning for bestemmelse av endringer i ozonlaget, særlig fordi disse dataene dekker hele jorden med god romlig oppløsning. Bakkeinstrumentene, særlig Dobson-spektrofotometrene, er også av vital betydning i overvåkingen. Begge instrumentene har sine sterke og svake sider. Uavhengige målinger med disse to teknikkene øker sikkerheten i trendanalysene. Det viser seg at det er betydelige geografiske variasjoner i forskjellene mellom TOMS- og Dobson-målingene. Det er der-

for nødvendig med bakke-instrumenter plassert på ulike steder.

Ozonreduksjonene som ble beskrevet i foregående seksjon (Tabell 1) gjaldt sonale midler, dvs. midler i ulike breddegradsbånd. På den nordlige halvkule er det imidlertid tildels store lokale variasjoner ved ulike lengdegrader i de observerte trendene. TOMS-instrumentet viser en klar reduksjon i ozontykkelsen over Oslo. Reduksjonen er mest markert om vinteren (10 % pr. tiår), men signifikant også om sommeren (4.6 % pr. tiår).

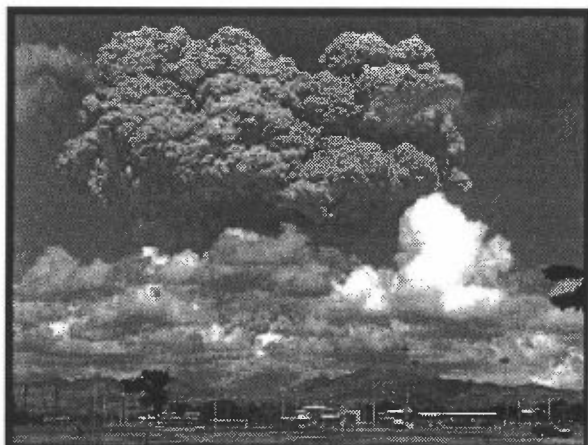
## Mengden av klor og brom i atmosfæren

Til tross for internasjonale avtaler som regulerer utslippene av KFK og haloner vil klor- og brommengden i stratosfæren øke i flere år. Klormengden vil antakelig nå et maksimumsnivå omkring år 2000. Den økende mengden av klor og brom i atmosfæren gir grunn til å vente en fortsatt nedgang i ozon, både på den nordlige og sydlige halvkule.

Den samlede konsentrasjonen av klorholdige forbindelser i stratosfæren (den delen av atmosfæren som strekker seg fra ca. 10 til ca. 50 km, og som bl.a. inneholder ozonlaget) har økt fra ca. 0.6 ppb (milliardtedeler) i 1960 til 3.5 ppb i dag. Det aller meste av det klor som fantes i stratosfæren i 1960 skyldtes naturlige kilder, bl.a. alger som slipper ut metylklorid,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ . Økningen som har funnet sted fra 1960 og fram til i dag skyldes i det alt vesentlige menneskelige utslipp av klorfluorkarboner og andre halokarboner. Alle disse stoffene er kjemisk sett lite reaktive, og de må blandes opp i stratosfæren for å brytes ned. Omkring 80% av det klor som i dag finnes i stratosfæren er altså menneskeskapt.

Vulkanutbrudd kan også tilføre stratosfæren noe klor, men dette bidraget er lite. Det er anslått at vulkanen El Chichón (1982) sendte ca. 40.000 tonn klor i form av saltsyre (HCl) direkte opp i stratosfæren. Dette blir lite sammenlignet med den årlige tilførsel av klor bundet i klorfluorkarboner som beløp seg til ca. 780.000 tonn i 1990. I tillegg kommer klor bundet i forskjellige andre halokarboner som tilsammen utgjør ca. 740.000 tonn, hvorav en god del når stratosfæren. Vulkanen Pinatubo på Filippinene hadde utbrudd i juni 1991. Svake økninger i stratosfærens innhold av klor ble





*Vulkanutbrudd kan tilføre stratosfæren store mengder med partikler.*

observert etter de to nevnte vulkanutbruddene, men tilførselen av klor fra vulkaner til stratosfæren har vært liten i forhold til det menneskelige bidrag.

Konsentrasjonen av klorfluorkarboner i troposfæren er godt kjent gjennom målinger en rekke steder i verden (også i Norge). Med kjennskap til hvor raskt disse forbindelsene siver opp i stratosfæren, og til hvordan de brytes ned av UV-strålingen der oppe, er det beregnet hvilke konsentrasjoner man forventer av klor i stratosfæren. Slike beregninger stemmer godt overens med de målinger som er utført. Målinger utført fra ballonger siden midten av 1970-tallet viser at konsentrasjonen av klorholdige stoffer i stratosfæren har økt jevnt og i takt med den økende konsentrasjon av klorfluorkarboner i troposfæren.

I dag er det totalt ca. 0.015-0.020 ppb bromholdige forbindelser i stratosfæren. Av dette regner man med at det menneskeskapede bidraget er på minst 30%, som stammer fra de to forbindelsene halon 1211 og halon 1301. Haloner anvendes i brannslukningsanlegg, og konsentrasjonen i atmosfæren av disse forbindelsene har i det siste økt med 15-20% pr. år. En annen viktig kilde for stratosfærisk brom er metylbromid,  $\text{CH}_3\text{Br}$ . Dette stoffet produseres naturlig i havet, men det slippes også ut ved menneskelig aktivitet.

Siden 1987 har det foregått internasjonale forhandlinger (Montreal-protokollen) om reduksjoner i utslipp av klorfluorkarboner og haloner. Fordi utslippene inntil for få år siden økte raskt, og fordi det er en viss treghet i atmosfærens tilpasning til nye utslipp, vil klormengden i stratosfæren øke ennå noen år framover, til tross for at utslippene

allerede avtar noe, og til tross for at reduksjonene vil bli sterkere i årene som kommer. Vi venter derfor en ytterligere svekking av ozonlaget utover i 1990-årene. Med de utslippene som er beregnet når Montreal-protokollen er lagt til grunn, vil klorinnholdet nå et maksimum på 4.1 ppb kort tid etter år 2000. I år 2027 vil mengden være resusert til 3 ppb, og først i år 2061 vil den være redusert til 2 ppb, som var nivået på den tiden da ozonhullet i Antarktis begynte å utvikle seg. Det er derfor trolig at ozonhullet ikke vil forsvinne helt før om ca. 70 år.

Det er under utvikling en rekke erstatningsstoffer for de regulerte klorfluorkarbonene. Noen slike inneholder også klor. Disse velges blant stoffer som lettere brytes ned i atmosfæren, og som derfor ikke vil bygge seg opp i så store konsentrasjoner. Derved får de også en kortere oppholdstid i atmosfæren, slik at effekten av utslipp vil være begrenset til en kortere periode. Effekten av slike utslipp vil imidlertid ikke være ubetydelig innen tisdrom på noen få tiår. Med forventede utslipp av slike erstatningsstoffer vil det maksimale klornivå bare i svært liten grad påvirkes av utslipp av erstatningsstoffer. Avtaketningen av klormengden rundt århundreskiftet vil imidlertid bli forsinket med noen få år. De akkumulerte skadevirkningene vil derfor bli noe større.

### **Målinger over Arktis vinteren 1991/1992 viser høyt klornivå**

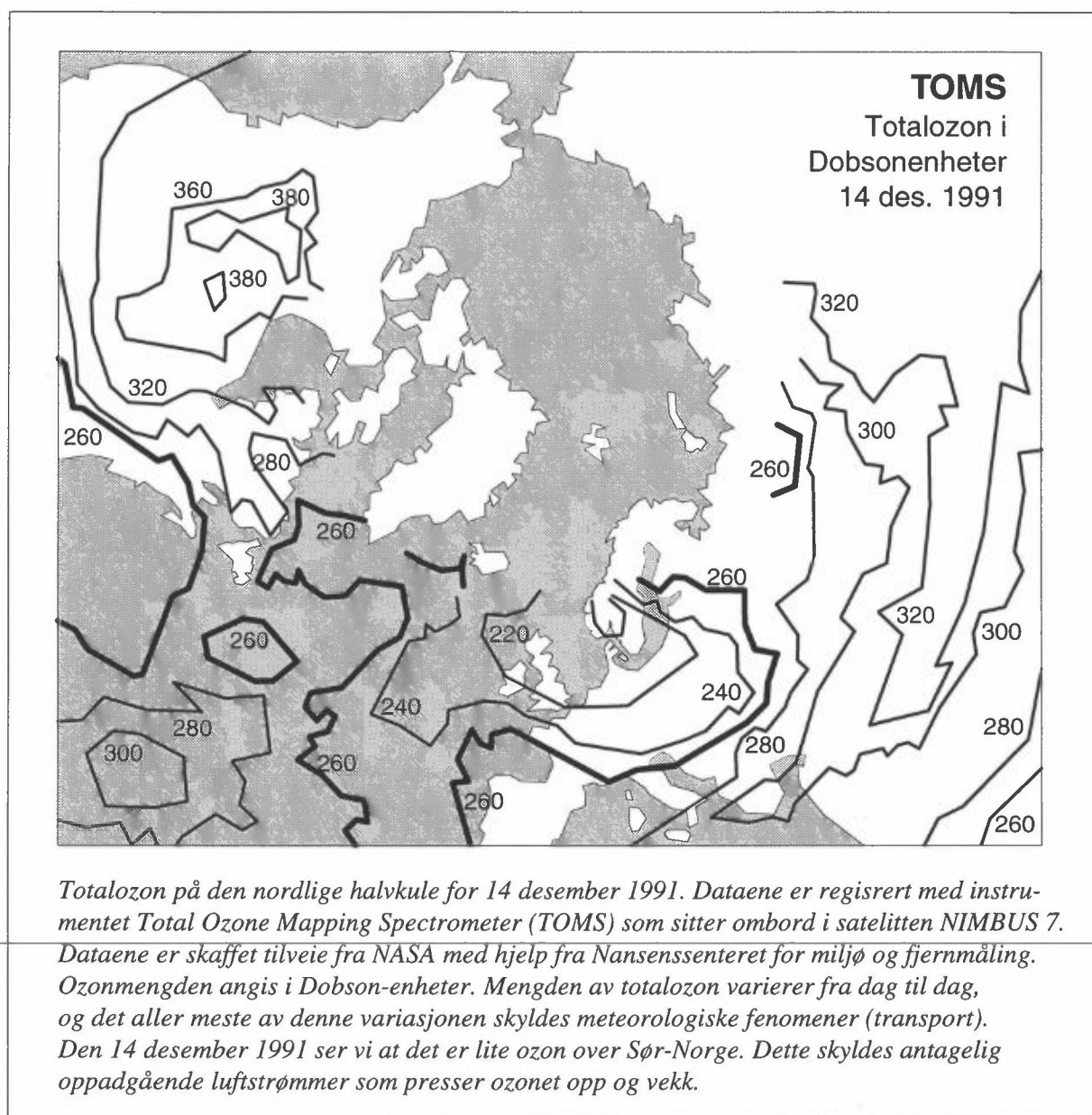
Høye konsentrasjoner av klormonoksid, ClO, en gass som bryter ned ozon svært effektivt, har vært observert over Europa vinteren 1991/92. Denne gassen, hvis klorinnhold vesentlig stammer fra utslipp av klorfluorkarboner (KFK), ble dannet i forbindelse med skyer i stratosfæren i den kalde polarnatten og i forbindelse med utbruddet fra vulkanen Pinatubo på Filippinene i juni 1991. Disse skyene, som dannes når temperaturen synker under ca.  $-80^{\circ}\text{C}$ , virker som katalysatorer for ozonnedbrytning. Dette kunne, hvis temperaturen i stratosfæren hadde vært lavere enn den var våren 1992, ha ført til omfattende nedbrytning av ozon. Januar og februar i 1992 var ved  $80^{\circ}\text{N}$  og i ca. 20 km høyde noe varmere enn gjennomsnittet for 1978-1992 (NOAA, 1992).

Det var vinteren 1991/92 to store målekampanjer

for stratosfæreozon, en europeisk (European Arctic Stratospheric Ozone Experiment, EASOE) og en amerikansk (Airborne Arctic Stratospheric Experiment II, AASE II). I tillegg skjøt NASA i september 1991 opp en ny satellitt (Upper Atmosphere Research Satellite, UARS) med en rekke instrumenter for måling av mange gasser, bl.a. ozon og ClO. Resultater fra begge målekampanjer viser at det var lite nitrogenoksider ( $\text{NO}_x$ ) i de deler av stratosfæren som er påvirket av vulkanen Pinatubo. Denne vulkanen slapp i juni 1991 ut store mengder svoveldioksid, som etter hvert er omdannet til sulfatpartikler. Den europeiske ozonkampanjen viste at det i de høydesjikt

man fant høy konsentrasjon av partikler var det lav konsentrasjon av  $\text{NO}_x$ , som beskytter ozonlaget ved at det binder aktivt klor i en passiv form ( $\text{ClONO}_2$ ) som ikke bryter ned ozon. Dette betyr at klorete får større spillerom enn vanlig til å bryte ned ozon.

Begge kampanjer og UARS fant høye konsentrasjoner av klor i formen ClO, som er en klor-komponent som bryter ned ozon effektivt. Over østkysten av USA og over Sibir ble det målt konsentrasjoner av ClO opp til 1.5 ppb. Dette er mer enn hva som var målt noen gang tidligere, selv i ozonhullet i Antarktis. ClO dannes ved reaksjoner i de polare stratosfæriske skyer. De høye konsen-

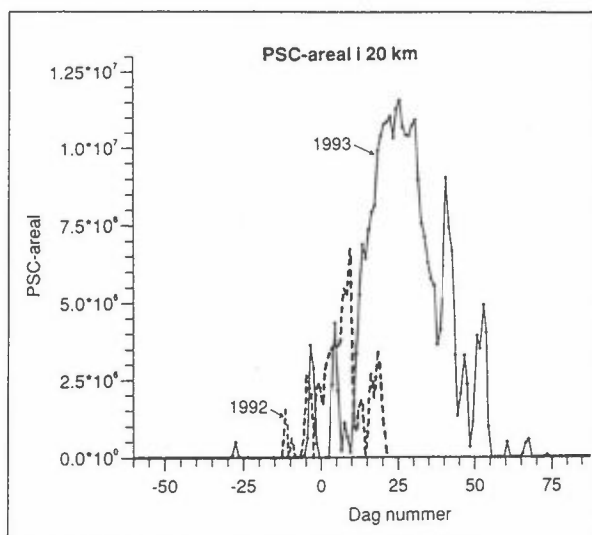


trasjonene kunne opprettholdes på grunn av partiklene fra Pinatubo, som forklart ovenfor.

## Tynt ozonlag over Europa og Arktis vinteren 1992/1993

Vinteren 1992/1993 ble på mange måter annerledes enn den foregående. For første gang var det sterke indikasjoner på kjemisk nedbryting av ozonlaget på grunn av menneskelig utslipp, særlig av klor.

I likhet med den foregående vinteren var det i store områder over Arktis kaldt nok til at det var skyer i stratosfæren. De lave temperaturene holdt seg imidlertid mye lenger utover vinteren og vårparten i 1993 (figur 3). Så sent som i begynnelsen



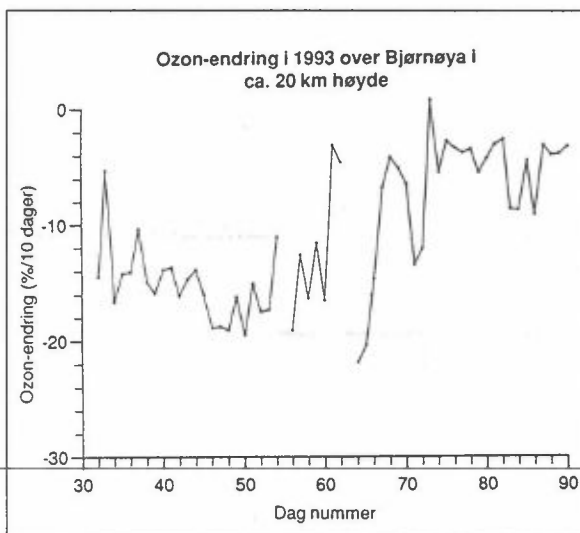
Figur 3: Areal av områder i stratosfæren i ca. 20 km høyde som hadde lave nok temperaturer til å danne is-skyer i 1992 og 1993.

av mars var det kaldt nok for skydannelse i et område som tilsvarer arealet nord for polarsirkelen, mens de kalde luftmassene forsvant allerede i slutten av januar året før.

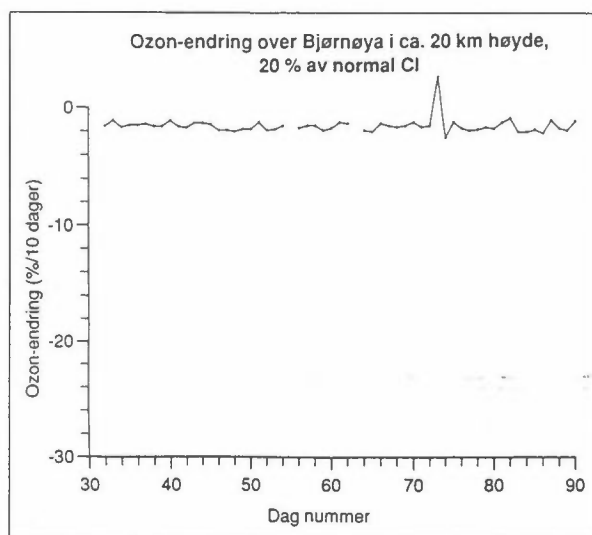
Modellberegninger foretatt ved NILU og Universitetet i Oslo viser at det i februar og mars var en markert kjemisk nedbryting av ozon. Den beregnede nedbrytingen er nokså lik det ozonunderskuddet som ble observert, i forhold til det som er normalt for årstiden. Påliteligheten av modellberegningene styrkes ved at de viser nivåer av ClO

svært nær det som ble observert med et satellitt-instrument (Waters et al., 1993). Det er også foretatt andre data-analyser som sterkt indikerer en kjemisk nedbryting av ozon våren 1993. Noen slike analyser trekker inn meteorologiske data, noe som er nødvendig fordi meteorologien påvirker ozonmengden på våre breddegrader på denne årstiden.

En modell som benyttes ved NILU for å studere ozonutviklingen beregner bevegelsen av luftmassene med den observerte vinden i stratosfæren. Vinddata kommer fra et europeisk værcenter i England. Langs luftmassenes baner beregnes effekten av kjemiske reaksjoner på ozon og en rekke andre kjemiske komponenter som kontrollerer ozonmengden, bl.a. nitrogen- og klorholdige gasser. Som et eksempel vises her beregninger av den kjemiske nedbrytingen i luftmasser som ankommer Bjørnøya i 20 km høyde. I gjennomsnitt var ozonmengden redusert med 10 % i løpet av den foregående 10-dagers perioden (figur 4). I enkelte tilfelle var ozonreduksjonen hele 30 %. Med naturlig konsentrasjon av klor i 20 km høyde ville nedbrytingen bare vært ca. 2 % i løpet av en 10-dagers periode (figur 5). En modell kan benyttes for å utføre eksperimenter som det ikke er mulig å utføre i virkeligheten. For eksempel kan vi finne ut hvor stor del av den beregnede ozonnedbrytingen som klormengden fra KFK står for. Ved å fjerne dette klore, og bare beholde det naturlige klore i



Figur 4: Beregnet nedbryting av ozon i ca. 20 km høyde over Bjørnøya i februar - mars 1993. Nedbrytingen er gitt i prosent pr. 10 døgn.



Figur 5: Beregnet nedbrytning av ozon i ca. 20 km høyde over Bjørnøya med 20 % av dagens klorkonsentrasjoner. Dette er det naturlige bidraget til stratosfærens klorinnhold.

modellen, reduseres ozonnedbrytningen drastisk. Det kan derfor konkluderes at ozonnedbrytningen våren 1993, i henhold til modellen, i alt vesentlig skyldes menneskelig aktivitet.

### Fortsatt ozonovervåking er nødvendig

Svekkelsen av stratosfærens ozonlag er et alvorlig globalt luftforurensningsproblem. Globale overvåkingsdata har spilt en viktig rolle i kartleggingen av problemet. Fordi den negative utviklingen trolig vil fortsette utover i 1990-årene, er fortsatt overvåking av ozonlaget nødvendig.

Reduksjoner i stratosfærens ozonlag har vakt bekymring de siste årene. Det globale overvåkingsnettverket har vist seg å være av svært stor betyd-

ning, langt større enn det man kunne se for seg da nettverket ble etablert på 1950-tallet. Svekkelsen av ozonlaget, som særlig utviklet seg på 1980-tallet, er det første eksempel på et genuint globalt luftforurensningsproblem. Global overvåking er derfor nødvendig. Nedgangen i ozon fra 1992 til 1993 har ytterligere aktualisert behovet for overvåking av ozonlaget.

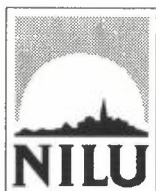
Nettverket av Dobson-spektrofotometere, et instrument som ble utviklet på 1920-tallet, utgjør ryggraden i det globale nettverket, som koordineres av World Meteorological Organization (WMO) ved deres World Ozone Data Center (WODC) i Toronto. Et annet instrument som også har vært i bruk lenge, særlig i det tidligere Sovjet, er M-83 filter-instrumentet. I den senere tid er Brewer-instrumentet tatt i bruk mange steder. Satellitt-instrumenter har spilt en viktig rolle i den globale overvåkingen siden slutten av 1970-tallet, særlig TOMS-instrumentet. Bakke- og satellitt-instrumentene utfyller hverandre i dagens overvåking. Ozonsonde-observasjoner spiller også en viktig rolle da de gir informasjon om høydefordelingen av ozon.

Ozonlagsforskning foregår ved en rekke institusjoner i Norge. Målinger av totalozon utføres i Oslo og Longyearbyen av forskere ved Universitetet i Oslo (Fysisk institutt), i Tromsø av Universitetet i Tromsø og i Ny-Ålesund av NILU. Ozonsonderinger som måler ozonets fordeling med høyden utføres av NILU i samarbeid med Det norske meteorologiske institutt. Teoretiske beregninger som støtte for måleresultater og for prognoser for ozonlagets utvikling foretas ved Universitetet i Oslo (Institutt for Geofysikk) og ved NILU. Analyse av satellitt-data gjøres ved Nansensenteret for miljø og fjernmåling i Bergen.

Alle de ovennevnte institusjoner deltok i den europeiske ozonkampanjen (EASOE) vinteren 1991/92, der NILU også spilte en sentral rolle som data- og koordineringssenter. NILU har på oppdrag fra SFT ansvaret for å koordinere ozonlagsovervåkingen i Norge.

## Referanser

- Browell, E.V., Butler, C.F., Ismail, S., Fenn, M.A., Kooi, S.A., Carter, A.F., Tuck, A.F., Toon, O.B., Proffitt, M.H., Loewenstein, M., Schoeberl, M.R., Isaksen, I. Braathen, G. (1990) Airborne Lidar Observations in the Wintertime Arctic Stratosphere: Ozone. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 4, 325-328.
- Dahlback, A., Braathen, G.O., Kåstad, B.A. og Stordal, F. (1992) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1991. Lillestrøm (NILU OR 52/92).
- Heese, B., Barthel, K. and Hov, Ø. (1992) A Comparison of Total Ozone Data from Satellite and Ground-Based Observations at Northern Latitudes. *J. Geophys. Res.*, 97, D4, 3825-3830.
- Kyrö, E., Taalas, P., Jørgensen, T.S., Knudsen, B., Stordahl, F., Braathen, G., Dahlback, A., Neuber, R., Krüger, B.C. Dorokhov, V., Yuskov, V.A., Rudakov, V.V., Torres, A. (1992) Analysis of the Ozone Soundings Made During the First Quarter of 1989 in the Arctic, *J. Geophys. Res.*, 97, D8, 8083-8091.
- Larsen, S.H.H., Svendby, T., Tønnessen, F. and Dahlback, A. (1992) Recalculated values of the total ozone amount over Oslo, 60° N, for the period 1979 - 1992. To appear in Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium, University of Virginia, Charlottesville, USA, June 4 - 13, 1992.
- NOAA (1992) Northern Hemisphere Winter Summary 1991-1992. Selected Indicators of Stratospheric Climate. Camp Springs, Maryland, National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate Analysis Center.
- Smith, R.C., Prezelin, B.B., Baker, K.S., Bidigare, R.R., Boucher, N.P., Coley, T., Karentz, D., MacIntyre, S., Matlick, H.A., Menzies, D., Ondrusek, M., Wan, Z. and Waters, K.J. (1992) Ozone Depletion: Ultraviolet Radiation and Phytoplankton Biology in Antarctic Waters. *Science*, 255, 952-959.
- Stolarski, R., Bojkov, R., Bishop, L., Zerefos, C., Staehelin, J. and Zawodny, J. (1992) Measured Trends in Stratospheric Ozone. *Science*, 256, 342-349.
- Waters, J.W., Froidevaux, L., Manney, G.L., Elson, L.S., Flower, D.A., Jarnot, R.F. and Harwood, R.S. (1993) Stratospheric ClO and ozone from the Microwave Limb Sounder on the Upper Atmospheric Research Satellite, *Nature*, 362, 597-602.
- WMO/UNEP (1992) Assessment of Stratospheric Ozone. Geneva, World Meteorological Organization.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)  
Norwegian Institute for Air Research  
Postboks 64, N-2001 Lillestrøm

RAPPORTTYPE OPPDRAKSRA PPORT	RAPPORT NR. OR 27/93	ISBN-82-425-0483-0	
DATO 9/7-93	ANSV. SIGN. P. Berg	ANT. SIDER 10	PRIS NOK 15,-
TITTEL		PROSJEKTLEDER G.O. Braathen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8985.PR	
FORFATTER(E) F. Stordal, G.O. Braathen og A. Dahlback		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRA GSGIVERS REF.	
OPPDRA GSGIVER Statens forurensningstilsyn Postboks 8100, Dep. 0032 OSLO			
STIKKORD Ozonlaget	Global forurensning	Overvåking	
REFERAT Rapporten beskriver den observerte svekkingen av ozonlaget. Det blir fokusert på globale endringer og på endringer over Europa og Norge. Utviklingen av atmosfærens innhold av klor og brom, som bryter ned ozonlaget, blir diskutert.			
TITLE Monitoring of the Ozone Layer: A Norwegian and Global Perspective.			
ABSTRACT The observed reduction of stratospheric ozone is described. The focus is on global changes and changes over Europe and Norway. The development of the atmospheric contents of chlorine and bromine compounds, which deplete the ozone layer, is discussed.			

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