

Programområde: **Luft**

Undersökningstyp: **Totalozon**

Författare: Se avsnittet ”Författare och övriga kontaktpersoner”.

Bakgrund och syfte med undersökningstypen

Miljö kvalitetsmålet Skyddande ozonskikt:

Ozonskiktet ska utvecklas så att det långsiktigt ger skydd mot skadlig UV-strålning.

Undersökningstypen syftar till:

- att långsiktigt kunna följa utvecklingen av det stratosfäriska ozonskiktet
- att kortsiktigt kunna följa utvecklingen vid episoder
- att ge indata till beräkningsmodeller
- att bidra till det internationella utbytet av data

Den direkta kopplingen till UV-strålning medför att verksamhet inom det nationella miljömålet *Säker strålmiljö* måste beaktas.

Strategi

Det finns dels ett kortsiktigt och dels ett långsiktigt perspektiv i övervakningen av ozonskiktet. Vid episoder krävs att man snabbt kan gå ut till allmänhet, media och beslutsfattare och ge relevant information om det aktuella tillståndet. Mätdata måste därför vara tillgängliga och av tillräcklig kvalitet för att möta dessa krav. På lång sikt krävs bestämd och bibehållen kvalitet, säker datalagring för att variationer ska kunna följas. Grundbultarna kan sägas vara kvalitet i mätningarna, säker lagring och tillgänglighet.

Övervakningen av ozonskiktet har bäring mot krav i

- Wienkonventionen 1985
- Montrealprotokollet 1987 (och dess efterföljare)

Statistiska aspekter

Med den kunskap och de förutsättningar som föreligger idag förmodas återväxten av ozonskiktet att ha påbörjats under innevarande decennium (2010–2020). Utgångspunkterna kan emellertid förändras exempelvis vad gäller användningen av vissa ozonnedbrytande ämnen i delar av världen. Det är därför viktigt att se långsiktigheten i mätningarna för att kunna säkerställa förändringar.

För att säkert kunna bedöma utvecklingen är kvaliteten av stor betydelse.

I Sverige står solen lågt under vinterhalvåret. De noggrannaste mätningarna erhålls genom mätning direkt mot solskivan när solen inte står för lågt. Därför erhålls de bästa mätningarna vid middagstid under vintern. För att inte snedfördela urvalet rapporteras mätningarna i huvudsak för tiden nära sann middag (när solen står som högst). Om det finns noggrannare mätningar vid annan tidpunkt under dygnet kan dessa komma ifråga. Tidpunkten för mätningen anges.

Mätningarna resulterar alltså i ett värde per dygn. Om instrumentet inte fungerat så kan det ibland vara aktuellt att interpolera från andra närliggande mätplatser eller att föra in ett värde från exempelvis satellitmätningar i databasen. Ursprunget är alltid angivet i databasen. Anledningen till att införa dessa värden är att erhålla en komplett databas. Eftersom värdena används för att beräkna månadsmedelvärden och om det saknas några dygn, vanligen i följd, kan medelvärdet bli något fel eftersom autokorrelationen är signifikant för ett par konsekutiva (i följd) dygn. Ett annat motiv är att databasen kan användas för modellering av exempelvis UV-strålning och att det då är bra att ha en komplett serie.

Plats/stationsval

Inom miljöövervakningens ram mäts totalozon vid två platser i Sverige, Vindeln och Norrköping. Att det inte är fler platser kan utöver kostnadsskäl motiveras av att ozonskiktets variationer sker på en lång respektive stor skala i tid och rum. Den typiska tidsskalan är dygn och den typiska rumsskalan ligger i intervallet 100–1000 km. Att ha färre än två platser i Sverige vore inte bra med tanke på landets storlek samt behov av uppbackning i händelse av avbrott på endera platsen.

Vid valet av mätplatserna har man beaktat fördelningen av totalozonstationer i det internationella nätet och tillgången till personal för övervakning av utrustningen. För att själva mätningen ska kunna utföras frekvent krävs en placering som ger en så fri horisont som möjligt.

Mätprogram

Variabler

Det som mäts är totalozon (D.U.) där enheten D.U. står för Dobson Unit (dobsonenhet). Totalozon är den integrerade mängden ozon i en vertikal pelare genom hela atmosfären, från jordytan till atmosfärens yttre gräns. Om alla ozonmolekyler i denna pelare samlades till jordytan med det tryck och den temperatur som råder där skulle skiktet med ren ozongas bli mycket tunt. Ett typiskt mätvärde 300 DU motsvarar ett skikt på endast 3 mm. Merparten av totalozonet, ca 90 %, befinner sig i stratosfären och där mellan 10 och 50 km höjd. Därav har begreppet ozonskiktet uppkommit.

Område	Företeelse	Mätvariabel	Metodmoment	Enhet / klassade värden	Prioritet	Frekvens och tidpunkter	Referens till provtagnings- eller observationsmetodik	Referens till analysmetod
Vindeln	Ozonskiktet tjocklek	Totalozon	Observationstyp	DU	1	Dagligen vid tillräcklig signal	Komhyr (1980)	Basher (1982)
Norrköping	Ozonskiktet tjocklek	Totalozon	Observationstyp	DU	1	Dagligen vid tillräcklig signal	Komhyr (1980)	Basher (1982)

Frekvens och tidpunkter

Mätningar utförs flera gånger per dygn. Efter manuell granskning väljs ett värde per dygn. Företrädesvis ett värde nära sann middag då mätsignalen (UV-strålningen) är som starkast.

Observations/provtagningsmetodik

Både Dobsonozonspektrofotometern och Brewer-ozonspektrofotometern, som används för mätning av totalozonet är beprövade instrument.

Mätningarna är en form av fjärranalys. I princip analyseras hur mycket UV-strålningen reduceras på grund av ozonets absorption vid sin passage genom atmosfären. Mätmetoden utvecklades av Dobson under 1920-talet. Den fundamentala mätningen sker emot solen när denna inte är skymd av moln (direktsolmätning). Mätningar går även att utföra under natten mot månen och under dagen mot himlen i zenit (zenitmätning). Den senare mätmetoden bygger på att man har tagit fram en empirisk relation mellan de så benämnda zenitmätningarna och direktsolmätningarna, Josefsson and Ottosson-Löfvenius (2008). Mätmetoder, felkällor och kalibreringsförfarande för Dobsoninstrumentet finns beskrivet av Komhyr (1980) och Basher (1982). I stort gäller principerna i dessa referenser även för Brewerinstrumentet, men skillnader finns, se exempelvis Kerr et al. (1984).

Det som egentligen mäts är relationen mellan radianterna (intensiteterna) av UV-strålningen vid ett antal utvalda våglängder. Genom att våglängderna är valda på ett smart sätt kan inflytandet av spridning och absorption av luftens molekyler och aerosoler elimineras och kvar blir effekten av absorptionen i ozon. Mängden av ozon i atmosfären räknas om till att motsvara mängden i en vertikal pelare det så kallade totalozonet.

För att kunna mäta totalozon noggrant med Dobson och Brewer-instrumenten krävs att solen kan observeras och att mätsignalen är tillräckligt stark. Under en stor del av vinterhalvåret är detta inte möjligt dels på grund av molnighet med även på grund av den lågt stående solen (svag signal). För att öka chansen till goda observationer med lågt stående sol utvecklades den så kallade fokuserade sol-metoden Josefsson (1992), (2003).

Utrustningslista

Vindeln:

1. Dobsonozonspektrofotometer #30 (lån från Meteorologiska institutionen vid Uppsala universitet, MIUU)
2. Kalibreringslampor (kvicksilver och halogen) till Dobson
3. Brewerozonspektroradiometer #006
4. PC till Brewern
5. Kalibreringslampor (kvicksilver och halogen) till Brewern

Norrköping:

1. Brewerozonspektroradiometer #128
2. PC
3. Kalibreringslampor (kvicksilver och halogen)
4. Några kretskort i reserv

Tillvaratagande av prov, analysmetodik

Mätvärdena av totalozon plottas regelbundet (ca en gång per vecka) och ställs i relation till långtidsmedelvärden för att notera tillfälliga episoder och långsiktiga trender. Vid dessa tillfällen lagras även värdena hos SMHI som är datavärd på en speciell filtjänst med uppbackning samt läggs ut på Internet.

Ungefär varannan månad överförs data till WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Data Centre) vilket gör dem internationellt tillgängliga.

Bakgrundsinformation

Data från närliggande mätplatser för totalozon och satellitmätningar av totalozon är värdefulla som komplement till övervakningen. I ett vidare perspektiv finns ett stort antal andra variabler som är av intresse för processtudier. Exempel på detta är UV-strålning, snötäcke, aerosoler.

Kvalitetssäkring

Eftersom både hotet mot och påverkan av ozonskiktet är av global natur krävs att monitorering eller övervakning av det stratosfäriska ozonet bedrivs med långsiktighet och med god kvalitet som mål. Dessutom är det av största vikt att data görs tillgängliga genom det internationella utbytet av data via WMO:s (The World Meteorological Organization) datacentre (WOUDC).

Internationella interkomparationer med tre till fem års mellanrum är basen för kvalitetssäkringen. På detta sätt blir de svenska mätningarna direkt spårbara till internationella referenser.

Där emellan utförs regelbundna mätningar mot lampor, så kallade standardlampptester. För Brewerinstrumentet utförs dessa mot en i instrumentet inbyggd lampa och kan därför göras minst en gång per dygn. För Dobsoninstrumentet utförs lampmätningarna manuellt en gång per månad. Denna metodik har visat sig ge en god beskrivning av instrumentens eventuella förändringar under tiden mellan interkomparationerna. Resultaten lagras på fil och plottas regelbundet.

Manuell granskning och bedömning av eventuell ändring i instrumentet sker i samband med detta.

Även jämförelser med data från satellit och andra närliggande stationer ger indikationer på om problem kan föreligga. Tidigare användes framförallt data från TOMS-instrumentet (Total Ozone Mapping Spectrometer) och under senare år har s.k. överpass data för Norrköping och Vindeln från de satellitbaserade instrumenten OMI (Ozone Monitoring Instrument) och SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography) använts. Värdena plottas regelbundet och större avvikelser analyseras för att utröna orsaken.

I Vindeln mäts totalozon både med Dobson- och Brewerinstrument. Denna redundans (dvs. instrumenten arbetar parallellt) är mycket värdefull för att säkerställa obruten tillgång till data och även för att övervaka kvaliteten. Spännande är att data har använts i en internationell studie, där Dobson och Brewerinstrument har jämförts, Staehelin et al. (2003).

Under våren 2011 deltog både Brewern och Dobson från Vindeln i en kampanjmätning i Sodankylä i norra Finland. Målet var att undersöka kvalitén vid mätning av totalozon vid låg solhöjd och låga temperaturer. Båda de svenska instrumenten visade sig hålla god kvalitet.

Den dagliga tillsynen av instrumenten är mycket viktig. Kontroll att solföljningen fungerar och daglig rengöring av ingångsoptiken är grunden för goda observationer. Snö, regn och smuts kan spolia kvaliteten.

Databehandling, datavärd

Först beskrivs behandlingen av data från Brewerspektroradiometrarna. När data samlats in för en specifik dag görs manuellt en rimlighetskontroll samt en bedömning av instrumentets stabilitet. Målet är att välja ut den observation med bäst kvalitet och som ligger närmast sann middag för dygnet. Detta värde tillsammans med observationsmetod och tidpunkten för observationen förs in i en fil och lagras därefter hos SMHI som är datavärd för totalozon. Denna information läggs direkt ut på en webbsida tillsammans med en enkel plottning. Samma information skickas i efterhand till WOUDC enligt av dem specificerat format.

Rutinen för Dobsoninstrumentet är något annorlunda. Mätproceduren är manuell, vilket medför en avsevärt lägre frekvens av mätningar. Efter manuell nedteckning av mätvärden följer en bearbetning i PC och värdena förs in i en tabell. Dessa data levereras ungefär en gång i kvartalet till datavärden och till WOUDC. Formatet är enligt WOUDC.

Efter en interkomparation (jämförelse med referensinstrument) kan det finnas anledning till justering av data. Om detta sker skickas de korrigerade värdena både till datavärden och till WOUDC.

Rapportering, utvärdering

Sedan 1996 finns alla data tillgängliga via Internet i ”nästan realtid”:

<http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/ozon>. De presenteras dessutom i form av grafer på webbsidan.

Tidigare har projektets data och kvalitetssäkring rapporterats i form av en i efterhand utgiven årsrapport. Dessa finns samlade nedan under Referenser. De senaste kan även laddas hem via:

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-ozon-1.3825>

Data rapporteras till WOUDC och finns därför även tillgängliga från deras webbplats

<http://www.woudc.org/>.

De plottningar av dygnsvärden, som görs löpande, visar direkt läget relativt historiska data. På detta vis kan man följa episoder men även den långsiktiga utvecklingen. En gång i månaden plottas månadsvärdena och sätts i relation till tidigare observationer. Detta för att tydligare illustrera de långsiktiga variationerna. Dessa plottningar läggs också ut på webben.

På SMHI:s webbplats skrivs även så kallade nyhetsartiklar när något speciellt inträffar. Det kan t.ex. röra sig om läget för årets ozonhål eller episoder med tunt ozonskikt över Sverige.

Kostnadsuppskattning

Att bedriva kvalitativa mätningar är inte bara resurskrävande det är även tidsödande.

Kostnaden för att driva två mätplatser för långsiktig övervakning av totalozonet är cirka 505 kkr per år (2011).

Fasta kostnader

Kostnaden för konsult i Vindeln är nu 84 kkr.

Kostnaden för regelbunden interkomparation vart tredje år av Brewerinstrumenten och vart fjärde för Dobson instrumentet blir i snitt cirka 100 kkr per år.

Övriga hårdvarukostnader är 15 kkr per år.

Utföra mätningar och delta i interkomparationer. Kontrollera data och eventuellt korrigera dem. Uppdatera SMHI:s webbplats och skicka data till SMHI:s som är datavärd och WOUDC. Kostnaden är 288 kkr/år motsvarar ca 350 timmar per år.

Analyskostnader

Kvalitetsgranska och ta fram månadssammanställningar. Plotta data och göra dessa tillgängliga. Utföra speciella studier av intressanta fall. Undersöka att mätmetodiken är den bästa möjliga. Skriva rapporter. Här skulle mycket kunna göras. Kostnaden ligger på ca 120 kkr (150 tim), men kan bli mycket högre om ambitionsnivån höjs.

Tidsåtgång uppskattning

Kostnadsslag	Tid (tim)	Kostnad (kkkr)
Vindeln konsult		84
Interkomparation	150	120
Övrig hårdvara		15
Datahantering m.m.	200	168
Analys	150	120
Summa	500	507

Övrigt

Ett generellt problem med övervakningen är att bibehålla kvaliteten i data. Grunden för detta är regelbundna interkomparationer. Budgeten har tyvärr inte medgett den frekvens som vore önskvärd, nämligen vartannat år för varje Brewerinstrument. Genom samordning med andra aktiviteter (UV-mätkampanjer) har vi lyckats att få till en interkomparation vart tredje år.

I Europa har en regional referens för Brewerinstrument etablerats vid Izaña, som är ett meteorologiskt observatorium på Teneriffa. Hitintills har Brewerinstrumenten kalibrerats genom interkomparationer på konsultbasis med hjälp av en kanadensisk privat firma (IOS). På sikt kan detta förändras och mer likna det system som finns för Dobsoninstrumenten.

Emellertid finns det för- och nackdelar med de två systemen. Att transportera ozonspektrofotometrar innebär risker. Det har hänt att Brewerinstrument har fått en stöt under transporten med följden att kalibreringen har ändrats rejält vilket är allvarligt för mätningarnas kvalitet. Detta talar för personliga besök av en mobil referens. Å andra sidan kan det vara bra och rationellt att samla flera instrument inklusive operatörerna på ett och samma ställe. Detta ger möjligheter till erfarenhetsutbyte och en stationär referens är garanterat mer stabil än en mobil. Å andra sidan har man vid en mobil referens personligen total tillgång till experten under ett antal dagar och man tappar inte data eftersom instrumentet och referensen mäter på ordinarie mätplats.

Det är ganska långt till Teneriffa och dessutom är det en egen tullzon. Därför har spanjorerna anordnat komparationer i södra Spanien, men det är ändå ganska långt dit från Sverige och det går åt cirka tre veckor. Det mobila alternativet som erbjuds av IOS kanske inte kommer att finnas kvar så många år till. Därför kan det i praktiken bli så att bara ett alternativ återstår.

Eftersom dessa interkomparationer är fundamentala för kvaliteten i mätningarna så följs utvecklingen noggrant.

Idag är elektroniken som används i instrumenten att anse som gammal. Med tanke på att Brewerinstrumenten står ute året runt så kan man förvänta sig att påfrestningarna kommer att sätta sina spår. Under år 2002 hade vi t.ex. läckage i Brewern i Vindeln. Under 2003 blev det oxid på ett kretskort i samma instrument vilket orsakade en lång period med underliga resultat. Under 2011 sviktade ett spänningsaggregat hos Brewern i Norrköping, ett problem som tog ett tag att lokalisera. Risken för problem kan förväntas öka med tiden.

Även mjukvaran (BASIC) som styr mätningarna med Brewerinstrumenten måste migreras då och då när PC hårdvaran går sönder. Just nu körs programmen i Windows NT respektive Windows XP.

Det är därför dags att fundera på en uppgradering av bl.a. elektroniken, allmän översyn av hårdvaran och en uppgradering av operativsystemen.

Författare och övriga kontaktpersoner

Ansvarig för undersökningstypen, Naturvårdsverket:

Lars Klintwall

Enheten för luft och klimat

Avdelningen för analys och forskning

Naturvårdsverket

106 48 Stockholm

Tfn: 010-698 12 82

E-post: lars.klintwall@naturvardsverket.se

Författare och Expert, SMHI:

Weine Josefsson

SMHI

601 76 Norrköping

Tfn. 011-495 81 83

E-post: fornamn.efternamn@smhi.se

Angående generella frågor för undersökningstyper:

Susanna Schröder

Enheten för natur och biologisk mångfald

Avdelningen för analys och forskning

Naturvårdsverket

106 48 Stockholm

Tfn: 010-698 12 39

E-post: susanna.schroder@naturvardsverket.se

Referenser

1. Basher R. E. (1982): Review of the Dobson spectrophotometer and its accuracy, Global Ozone Research and Monitoring Project report No.13, Geneva. WMO.
2. Josefsson W. (1988): Measurements of the Total Ozone in the Nordic Countries, SMHI, April 1988.
3. Josefsson W. (1988): Mätning av totalozon, SMHI, december 1988.
4. Josefsson W. (1990): Measurements of Total Ozone 1989, SMHI, March 1990.
5. Josefsson W. (1990): Upprustning av Ozonspektrofotometern Dobson #30, SMHI, No. 51, oktober 1990.
6. Josefsson W. (1991): Measurements of total ozone 1990. Rapport / Naturvårdsverket 3944, 68 p.
7. Josefsson W. (1992): Measurements of total ozone 1991. Rapport / Naturvårdsverket 4093, 56 p.
8. Josefsson W.A.P. (1992): Focused Sun Observations Using a Brewer Ozone Spectrophotometer, *J. Geoph. Res.*, Vol. 97, No. D14, pp.15, 813–15,817, Oct 20.
9. Josefsson W. och A. Zuber (1993): Ozonskiktet, vårt livsviktiga skydd - övervakas varje dag, pp.1–4, *Mätbladet*, Nr 15, Nov 93, Statens naturvårdsverk.
10. Josefsson W. (1993): Measurements of total ozone: rapport från verksamheten 1992. Rapport/Naturvårdsverket 4216, 62 p.
11. Josefsson W. (1996): Measurements of total ozone, National Environmental Monitoring 1993/94. Rapport / Naturvårdsverket 4405, 63 p.
12. Josefsson, W. (2003): Quality of Total Ozone Measured by the Focused Sun Method Using a Brewer Spectrophotometer, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 42., No.1, pp.74–82.
13. Kerr, J.B., McElroy, C., and Evans, V. (1984): The automated Brewer spectrophotometer, In Proc. Quadrennial Ozone Symposium, Halkidiki, Greece, 396–401.
14. Komhyr, W. D. (1980): Operations handbook - Ozone observations with a Dobson spectrophotometer. Global Ozone Research and Monitoring Project report No.6, WMO. (Published by) NOAA, ERL-ARL, Boulder, Colorado, 125 p.
15. Staehelin, J., J. Kerr, R. Evans, and K. Vanicek, (2003): Comparison of total ozone measurements of Dobson and Brewer spectrophotometers and recommended transfer functions, Global Atmosphere Watch report, No.149. WMO TD No. 1147. World Meteorological Organization.
16. Josefsson, W. and J.-E. Karlsson (1997): Measurements of total ozone 1994–1996. SMHI rapporter. Meteorologi och klimatologi 79, 31 p.
17. Josefsson, W. (2000): Measurements of total ozone 1997–1999. SMHI rapporter. Meteorologi och klimatologi 91, 38 p.
18. Josefsson, W. (2003): Quality of Total Ozone Measured by the Focused Sun Method Using a Brewer Spectrophotometer, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 42., No.1, pp.74–82.

19. Josefsson, W. (2003): Measurements of total ozone 2000–2002. Status report to Naturvårdsverket from SMHI http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15084!sakrapport-2000-2002.pdf
20. Josefsson, W. (2006): Measurements of total ozone 2003–2005. Status report to Naturvårdsverket from SMHI http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15083!sakrapport-2003-2005.pdf
21. Josefsson, W. and M. Ottosson Löfvenius (2008): Total ozone from zenith radiance measurements - An empirical model approach, Meteorologi Nr.130, ISSN 0283-7730 SMHI Meteorology <http://www.smhi.se/publikationer/total-ozone-from-zenith-radiance-measurements-an-empirical-model-approach-1.1736>
22. Josefsson, W. and M. Ottosson Löfvenius (2009): Measurements of total ozone 2006–2008. Meteorologi Nr.136, 32 p, ISSN 0283-7730 SMHI Meteorology.

Uppdateringar, versionshantering

Version 1:0, 2004-01-08. Omfattande uppdateringar av arbetsmaterial daterat 1997-05-26

Version 1:1, 2005-03-17.

Version 1:2, 2012-03-05. Allmän uppdatering