



SWEDISH  
ENVIRONMENTAL  
PROTECTION  
AGENCY

# Delprogramsbeskrivning

## Ozonedbrytande ämnen

---



Version 2.0: 2021-08-24

Programområde: Luft

Författare: Johan Mellqvist, Chalmers

Ansvarig handläggare: Lars Klintwall, Naturvårdsverket

## 1. Innehåll

1.	Innehåll.....	2
2.	Sammanfattning.....	3
3.	Bakgrund .....	4
4.	Syfte.....	4
5.	Undersökningar som ingår i delprogrammet med övervakningsmanualer samt övriga styrdokument.....	5
5.1.	Övervakningsmanualer (undersökningstyper).....	5
5.2.	Övriga styrdokument.....	5
6.	Utformning av delprogrammet och datainsamling.....	5
6.1.	Val av provtagningspunkter – stationsnät .....	5
6.2.	Data som samlas in av delprogrammet.....	5
6.3.	Information som krävs från andra inventeringar/delprogram .....	6
7.	Resultatredovisning .....	6
7.1.	Tillgängliggörande av insamlad miljöinformation.....	6
7.2.	Offentlig statistik och internationell rapportering .....	6
7.3.	Datavärdskap och tillhandahållande av data .....	7
7.4.	Förväntade dataanvändare.....	7
8.	Kvalitetsarbete.....	7
8.1.	Kvalitetsrutiner.....	7
8.1.1.	Planera.....	7
8.1.2.	Genomföra.....	7
8.1.3.	Utvärdera.....	8
8.1.4.	Förbättra .....	8
9.	Ansvarig organisation och utförare .....	8
10.	Övrigt .....	8
11.	Referenser.....	8
12.	Versionshantering.....	11

## 2. Sammanfattning

Delprogram		Versionsnr
Övervakning av ozonnedbrytande ämnen		2.0
Syfte	Mätning av kolumnen av ozonnedbrytande ämnen (trender) samt framtagande av offentliga forskningsdata. Underlag för uppföljning av miljömålet ”Skyddande ozon”.	
Undersökningar	Högupplöst infraröd solabsorptionsmätning med FTIR	
Stationsnät	Harestua (60.2 N, 10.7 O). Ingår i nätverket NDACC (23 stationer globalt)	
Kort beskrivning av vad som mäts	Atmosfärskolumn och koncentrationshöjdprofiler av ozon, reservoarsubstanser för klor, fluor och kväve samt flera troposfäriska gaser av relevans för atmosfärskemi och klimat.	
Styrdokument	Mätningar och spektralutvärdering görs i enlighet med riktlinjer från NDACC.	
Underlag till nationella miljömålsindikatorer	För miljömålet Skyddande ozonskikt kommer mätningar att ge underlag till preciseringarna: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vändpunkten och återväxt</li> <li>• Ofarliga halter ozonnedbrytande ämnen</li> </ul>	
Dataleveranser	Nationell eller internationell rapportering: <a href="ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/ames/ftir/">ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/ames/ftir/</a> <a href="ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/hdf/ftir/">ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/hdf/ftir/</a>	
Rapporter/data-produkter	<p><i>Senaste rapport:</i></p> <p>Fredricsson, M., et al. (2021). Nationell luftövervakning - Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m. 2019. För Naturvårdsverket. IVL Rapport C 584.</p> <p><i>Data-produkter:</i></p> <p>HCl-kolumn och -profil, HF-kolumn, HNO<sub>3</sub>-kolumn, N<sub>2</sub>O-kolumn och -profil, O<sub>3</sub>-kolumn och profil, HCFC-22-kolumn CFC-12-kolumn, CH<sub>4</sub>-kolumn och -profil, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>-kolumn, CO-kolumn och -profil</p>	
Ansvarig organisation	IVL Svenska Miljöinstitutet / Chalmers	

### 3. Bakgrund

Inom det globala nätverket NDACC (Network of the Detection of Atmospheric Composition Change- <http://www.ndacc.org>), vilket är aktivt sedan 1991, mäts idag den totala mängden av olika ämnen i atmosfären. Detta görs genom att mäta infraröda spektra av solen och ur dessa utvärdera den totala mängden (totalkolumnen) av ämnet som solljuset passerat. Ämnena som mäts är relevanta för det stratosfäriska ozonet men har i många fall även påverkan på klimat och luftkvalitet.

I Harestua (10.75 O, 60.2 N), 50 km norr om Oslo, har solabsorptionsmätningar inom NDACC bedrivits sedan 1994, men några av de 17 stationer i nätverket, bl.a. Jungfraujoch, har varit verksamma sedan 1986. I atmosfären varierar kolumnerna av olika ämnen starkt med breddgrad, vilket försvårar beräkningen av atmosfäriska trender från en enstaka mätstation eftersom dess värden i viss mån beror på den atmosfäriska cirkulationen, och trendanalys i ett nätverk är sålunda mer tillförlitligt. I den övre atmosfären ovan 10 km, vid ca 60 N, uppstår varje år en polarvirvel, vilken bildar en transportbarriär mellan den arktiska och mellanlatitudinella luften. Innanför denna polarvirvel uppstår ozonuttuning beroende på att klor, som transporterats upp till stratosfären (med hjälp av så kallade freoner), reagerar på ispartiklar och övergår från de kemiskt inaktiva formerna väteklorid (HCl) och klornitrat (ClONO<sub>2</sub>) till klormonoxid (ClO) vilken bryter ner ozon katalytiskt. Summan av HCl och ClONO<sub>2</sub> står för merparten av klor i den övre atmosfären, ovan 10 km, på mellanlatitud. Ungefär 20–30 % av ozonkolumnen i Arktis bryts på detta sätt ner under kalla vintrar.

Utföraren mäter ca 1 gång i veckan den atmosfäriska kolumnen (den totala mängden som solljuset passerat) samt i vissa fall den vertikala koncentrationsprofilen de ämnen som listats i avsnitt 6.2.

### 4. Syfte

I samband med att hotet mot ozonskiktet blev alltmer uppenbart under 1970–80-talen tillkom Wienkonventionen till skydd av ozonskiktet 1985 samt Montrealprotokollet 1987 och senare dess tillägg. Inom ramen för dessa behövdes nationella och internationella mätningar av de ämnen som bryter ner ozonskiktet. Detta för att få en uppfattning om hur stor omfattningen är av dessa ämnen och hur snabbt deras koncentrationer i atmosfären ändras.

För närvarande behövs mätningarna av följande skäl:

- utföra och rapportera högupplösta atmosfärskolumnmätningar med FTIR av flera olika föroreningar i de övre luftlagren vid Harestua solobservatorium.
- ingå i ett globalt nätverk för att följa upp internationella konventioner.
- använda den databas med mätdata som byggts upp av nätverket som underlag till WMO:s utvärdering av Montrealprotokollet som återkommer vart fjärde år.
- använda nätverkets data för att validera satellitmätningar.
- ge underlag för miljökvalitetsmålet Skyddande ozonskikt.
- ge forskningsunderlag för kolumner av ozonedbrytande gaser (HCl, ClONO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, CFC:er).
- ge forskningsunderlag för kolumner av klimatgaserna N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och CFC:er.
- ge forskningsunderlag för förändringar av gaser med relevans för atmosfärskemi: CO och etan.

Riksdagen har beslutat om sexton nationella miljökvalitetsmål varav ett är Skyddande ozonskikt. Indikatorer på tillståndet är att fortlöpande mäta de ämnen som bryter ner ozonskiktet. I ett annat delprogram mäts ozonskiktets tjocklek, och i ytterligare ett delprogram mäts mängden UV-strålning. En mycket viktig komponent är också att

tillhandahålla aktuell och korrekt information till beslutsfattare, media och allmänheten. Det senare har drivit på framtagandet av ett UV-index och att informationen löpande görs tillgänglig via Internet.

## **5. Undersökningar som ingår i delprogrammet med övervakningsmanualer samt övriga styrdokument**

### **5.1. Övervakningsmanualer (undersökningstyper)**

Delprogrammet ligger inom Programområde Luft och heter Ozonnedbrytande ämnen. Någon övervakningsmanual/undersökningstyp är inte framtagen.

### **5.2. Övriga styrdokument**

De mätningar som utförs i Harestua är ackrediterade enligt NDACC:s riktlinjer (<http://www.ndaccdemo.org/data/protocols>).

## **6. Utformning av delprogrammet och datainsamling**

### **6.1. Val av provtagningspunkter – stationsnät**

Inom NDACC (<http://www.ndacc.org>) finns det 23 mätstationer med infraröd solabsorptionsmätning (sol FTIR). Nätverket har förhållandevis god täckning på det norra halvklotet vid mellan- och nordlig latitud men det är betydligt glesare vid ekvatorn. Stationen vid Harestua i Norge (60.2 N, 10.7 O) kringgärdas av mätstationer vid Kiruna (67.8 N, 20.4 O), Sankt Petersburg (59.9 N, 29.8 O) och Bremen (53.1 N, 8.8 O).

Mätstationen i Harestua etablerades av Chalmersforskare redan 1994, några år efter att Montrealprotokollet ratificerades. Orsaken till att Norge valdes var att mäta på 60 N samt att platsen behövde ha bra solstatistik och ligga relativt högt över havet för att undkomma påverkan av vattenånga. Mätningarna vid Solobservatoriet i Harestua etablerades i samarbete med NILU ([www.nilu.no](http://www.nilu.no)). Vid etablerandet stod soltornet ledigt och hade en befintlig solföljare som kunde användas de första tio åren.

### **6.2. Data som samlas in av delprogrammet**

Storheten totalcolumn är ett mått på den integrerade mängden gas i en vertikal pelare på mätplatsen. Denna anges i enheten molekyler per ytenhet (molekyler/cm<sup>2</sup>). Koncentrationsprofiler ges generellt som relativ enhet, dvs. ppb (parts per billion 10<sup>-9</sup>). Osäkerheten i kolumnmätningarna beror på flera faktorer och är bland annat beroende av molnigheten och solhöjden. Enskilda värden i databasen har därför varierande osäkerhet, sannolikt i intervallet 2-5 %. Precisionen är något bättre (se artiklar i referenslista för en mer detaljerad beskrivning). Koncentrationsprofilerna är behäftade med större fel än kolumnerna och generellt kan endast ett fåtal oberoende höjdlager tas fram ur data. För varje koncentrationsprofil anges en s.k averaging kernel (Rodgers 2000). Dessa kan användas av avancerade användare för att simulera hur mycket information man p koncentrationshöjdprofiler det är möjligt att erhålla ur mätningen (Rodgers et al. 2003) samt hur modelldata skall modifieras för att bäst motsvara mätningen. Vid Harestua utför Chalmers även mätning av tryck, temperatur och luftfuktighet.

Följande ämnen mäts:

- HCl - Väteklorid (vertikal kolumn och profil)
- HF - Vätefluorid (vertikal kolumn)
- HNO<sub>3</sub> - Salpetersyra (vertikal kolumn)
- ClONO<sub>2</sub> - Klornitrat (vertikal kolumn)
- N<sub>2</sub>O - Dikväveoxid (lustgas) (vertikal kolumn och profil)
- O<sub>3</sub> - Ozon (vertikal kolumn och profil)
- HCClF<sub>2</sub> - Klordifluormetan (HCFC-22) (vertikal kolumn)
- CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> - Difluordiklormetan (CFC-12) (vertikal kolumn)
- CH<sub>4</sub> - Metan (vertikal kolumn och profil)
- C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> - Etan (vertikal kolumn)
- CO - Kolmonoxid (vertikal kolumn och profil)

### 6.3. Information som krävs från andra inventeringar/delprogram

Det finns för närvarande inga krav på information från andra delprogram. Dock angränsar programmet till delprogrammen ”Ozonskiktets tjocklek” samt ”Marknära ozon”.

## 7. Resultatredovisning

### 7.1. Tillgängliggörande av insamlad miljöinformation

Harestua-mätningarna lagras på NDACC-databasen, med ca 1 års fördröjning. För Harestua-stationen finns kolumndata för 11 ämnen lagrade för perioden 1994 t.o.m. 2020 i ASCII formatet NASA Ames. Det bör noteras att vi befinner oss i en övergångsperiod, då samtliga data kommer att utvärderas med en ny mjukvara (SFIT4) och sedan lagras som binära profiler i formatet HDF4. Detta format ger användaren möjlighet att få tillgång till koncentrationsprofiler i tillägg till kolumn, samt bättre information om datakvalitet. Denna övergång kommer att genomföras gradvis och blir först färdig under 2022. Idag finns ozon, väteklorid och metan tillgängliga mellan 2009 och 2020. För att hantera HDF4 behövs en speciell mjukvara (HDF viewer), vilken kan laddas ner kostnadsfritt från internet.

Om data saknas kan man kontakta [joan.mellqvist@chalmers.se](mailto:joan.mellqvist@chalmers.se).

Vartannat år görs en samlad sakrapportering från verksamheten inom Programområde Luft. Den senaste rapporten avser data t.o.m. 2019:

Fredricsson, M., Danielsson, H., Hansson, K., Pihl Karlsson, G., Nerentorp, M., Potter, A., Hansson, H.C., Areskoug, H., Tunved, P., Mellqvist, J., Lindström, B., Nanos, T., Andersson, S., Carlund, T., Leung, W. (2021). [Nationell luftövervakning - Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m. 2019. För Naturvårdsverket. IVL Rapport C 584.](#)

### 7.2. Offentlig statistik och internationell rapportering

Mätningarna utförs med stöd av Wienkonventionen till skydd av ozonskiktet 1985 samt Montrealprotokollet 1987 och senare dess tillägg. Programmet bidrar med data till uppföljningen av miljökvalitetsmålet Skyddande ozonskikt. Data rapporteras till NDACC-nätverket (se 7.3) och används bl.a. i WMO:s rapport som uppdateras med några års mellanrum.

### 7.3. Datavårdskap och tillhandahållande av data

Rådata inklusive testdata och de dagliga filerna lagras varje månad i Chalmers databas. Mätdata utvärderas inom ett år från de mätts för att sedan laddas upp på NDACC:s databas (<http://www.ndacc.org>). Inom NDACC används olika markbaserade mätningar för att mäta olika ämnen i atmosfären.

Dessa sparas som NASA Ames (Ascii) och som HDF filer (binärt format) på följande länkar:

- a) <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/ames/fir/>
- b) <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/hdf/fir/>

### 7.4. Förväntade dataanvändare

Utvärderingar av resultat i form av en skriven rapport levereras vartannat år (se avsnitt 7.1 ovan). Rapporten innehåller redovisning av resultat samt en enklare analys.

Förutom användning av data inom det globala NDACC-nätverket ger programmet input för att uppdatera Naturvårdsverkets indikator ”Halten klor i atmosfären” (Sverigesmiljomal.se).

NDACC-data är tänkta att användas för att beräkna trender av atmosfäriska kolumner av olika ämnen, för att validera satellitmätningar och för att jämföras mot atmosfäriska modeller i syfte att öka förståelsen för kemiska processer och cirkulation. Data från NDACC ingår idag i en stor mängd vetenskapliga publikationer.

## 8. Kvalitetsarbete

### 8.1. Kvalitetsrutiner

#### 8.1.1. Planera

Mätningarna görs inom ramen för NDACC-nätverket. Där finns rutiner för hur man skall mäta, utvärdera och kvalitetssäkra data. Det anordnas möten och aktiviteter flera gånger om året inom detta nätverk för att diskutera och utveckla mätningarnas användbarhet och kvalitet.

Chalmers svarar för att mätosäkerhet kontinuerligt kvantifieras och dokumenteras. Alla sådana kvalitetsdata ska finnas tillgängliga för Naturvårdsverket vid behov.

#### 8.1.2. Genomföra

De spektrala mätningarna med FTIR-instrumentet i Harestua genomförs av en mätningenjör från Chalmers samt personal på Harestua-observatoriet. Mätningarna är inte helautomatiska utan kräver en operatör som genomför manuella mätningar. Dock görs detta generellt från fjärran via internet. Ca. en gång per månad genomförs en resa till mätstationen för att fylla flytande kväve, genomföra mer omfattande instrumentkalibreringar och tanka av data. Man mäter solspektra i flera olika våglängdsområden genom att rotera in ett filter framför solljuset. Varje spektrum tar ca 2 min att mäta, och man mäter 3 sådana spektra per filterområde. Hela proceduren tar ca 1 timme, och den genomförs generellt vid låg solhöjd, ca kl. 8-10 på morgonen samt hög solhöjd kl. 12-14. Vid varje mättillfälle mäts också ett absorptionsspektrum genom att skicka ljus från en infraröd lampa genom en gascell som fyllts med en bestämd mängd kalibrergas (HBr) (se nedan). Utföraren kommer även att delta i ett årligt arbetsmöte för NDACC, ett möte där forskare inom nätverket träffas och diskuterar kvalitetssäkrings- och teknikfrågor, förutom faktiska resultat.

### 8.1.3. Utvärdera

Ur de uppmätta solspektra analyseras kolumnen av olika ämnen. Analysen görs med en avancerad programvara som tagits fram inom NDACC (SFIT 2). Ny förbättrad mjukvara (SFIT 4) utvecklas ständigt inom NDACC, och vi jobbar regelbundet med att implementera dessa förbättringar. Resultaten publiceras på NDACC-databasen inom ett år från att spektra har mätts. Eftersläpningen beror på att man behöver ta fram komplementär information (tryck, temperatur, luftfuktighet) samt kvalitetsgranska data. Detta förfarande är mer rationellt att genomföra för en större mängd spektra än för få, men vid önskemål kan ”nära realtidsinformation” tas fram. Spektralanalysen görs av mätningenjör, medan metodutveckling genomförs av senior forskare. Rådata inklusive testdata och de dagliga filerna lagras varje månad i Chalmers databas. Mätdata utvärderas inom ett år från att de mätts för att sedan laddas upp på NDACC:s databas (<http://www.ndacc.org>). Datahantering, utvärdering samt uppladdning till NDACC-databasen sköts av mätningenjör och kvalitetsgranskning av senior forskare.

Ur de uppmätta spektra kan man identifiera huruvida instrumentet bibehåller sin optiska linjaritet och har erforderlig spektral upplösning och ljusinsläpp. En kvalitetsparameter är det s.k. RMS-värdet, vilket motsvarar roten av den kvadratiske skillnaden mellan det uppmätta och spektralt anpassade spektret. När RMS-värdet når ett tröskelvärde så filtrerar man bort data. För att kunna korrigera mätningarna för att instrumentet inte fungerar perfekt så används en gascell som är fylld med ämnet HBr vid lågt tryck. Sådana celler har tagits fram av NCAR i Boulder och används nu av alla FTIR-mätstationer. Cellen sätts in i ljustrålen från en infraröd källa och sedan mäts absorptionsspektra av HBr med FTIR-instrument. Från dessa mätningar tas korrektionsfaktorer fram med en mjukvara (Linefit) som utvecklats av Helmholtzinstitutet i Karlsruhe.

### 8.1.4. Förbättra

Inom NDACC genomförs bl.a. gemensam utveckling av spektroskopi och utvärderingsrutiner. Det används bl.a. s.k. ”Round robin-tester”, där spektra av ett ämne skickas runt till hela nätverket för spektralutvärdering och jämförelse av resultat.

## 9. Ansvarig organisation och utförare

Projektansvarig: Karin Sjöberg, IVL

Genomförande: Johan Mellqvist, Chalmers Tekniska Högskola

## 10. Övrigt

Inom NDACC utvecklas spektroskopi för att förbättra utvärdering av befintliga ämnen samt möjliggöra analys av nya substanser. Utvärderingen baseras på spektroskopiska data (tvärsnitt) som hela tiden förbättras. Dessa nya tvärsnitt utvärderas löpande inom NDACC för att se om man får bättre RMS i spektralanpassningen och bättre överensstämmelse mot andra mätningar.

## 11. Referenser

1. Chipperfield M.P., Burton, M., Bell, W., Paton-Walsh, C., Blumenstock, T., Coffey, M.T., Hannigan, J.W., Mankin, W.G., Galle, B., Mellqvist, J., Mahieu, E., Zander, R., Notholt, J., Sen, B., and Toon (1997), On the use of HF as a reference for stratospheric observations, G.C., JGR, 102, D11, 12,901-12,919.



2. Paton-Walsh C., W. Bell, T. Gardiner, N. Swann, P. Woods, J. Notholt, H. Schutt, B. Galle, W. Arlander and J. Mellqvist (1997). An uncertainty budget for ground-based FTIR column measurements of HCl, HF, N<sub>2</sub>O and HNO<sub>3</sub> deduced from results of side-by-side instrument intercomparisons. *J. Geophys. Res.*, vol 102, 8867 - 8873, 1997.
3. Galle, B., Mellqvist, J., Arlander, D.W., Flöisand, I., Chipperfield, M., and Lee (1999), Ground based FTIR measurements of stratospheric species from Harestua, Norway during Sesame and comparison with models, A.M., *J. Atmos. Chem.*, 32, 1, 147-164, *Journal of Atmospheric Chemistry*
4. Mellqvist, J. (2002) Ground-based FTIR observations of chlorine activation and ozone depletion inside the Arctic vortex during the winter of 1999/2000. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* D20, no. 107, pp. 2156-2202. DOI: 10.1029/2001JD001080.
5. Yurganov, L., Blumenstock, T., Grechko, T., Hase, E., Hyer, E., Kasischke, E., Koike, M., Kondo, Y., Kramer, I., Leung, F., Mahieu, E., Mellqvist, J., Notholt, J., Novelli, P., Rinsland, C., Scheel, H., Schulz, A., Strandberg, A., Sussmann, R., Tanimoto, H., Velazco, V., Zander, R. & Zhao, Y. (2004) A Quantitative Assessment of the 1998 Carbon Monoxide Emission Anomaly in the Northern Hemisphere Based on Total Column and Surface Concentration Measurements. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 109, pp. D15305. DOI: 10.1029/2004JD004559.
6. Yurganov, L., Duschatelet, P., Dzhola, A., Edwards, D., Hase, F., Kramer, I., Mathieu, E., Mellqvist, J., Notholt, J., Novelli, P., Rinsland, C., Scheel, H., Schulz, A., Strandberg, A., Sussmann, R., Tanimoto, H., Velazco, V., Zander, R. & Zhao, Y. (2004) Increased Northern Hemispheric Carbon Monoxide Burden in the Troposphere in 2002 and 2003 Detected from the Ground and from Space. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 4, pp. 4999-5017.
7. Dils, B., De Mazière, ..& Mellqvist, J. (2005) Comparisons between SCIAMACHY and ground-based FTIR data for total columns of CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5, pp. 2677-2717.
8. Strong, K., Wolff, M., Kerzenmacher, T., Walker, K., Bernath, P., Blumenstock, T., Boone, C., Catoire, V., Coffey, M., Mazière, M., Demoulin, P., Duchatelet, P., Dupuy, E., Hannigan, J., Höpfner, M., Glatthor, N., Griffith, D., Jin, J., Jones, N., Jucks, K., Kuellmann, H., Kuttippurath, J., Lambert, A., Mahieu, E., McConnell, J., Mellqvist, J., Mikuteit, S., Murtagh, D., Notholt, J., Piccolo, C., Robert, C., Schneider, M., Schrems, O., Semeniuk, K., Senten, C., Stiller, G., Strandberg, A., Taylor, J., Têtard, C., Toohey, M., Urban, J., Warneke, T. & Wood, S. (2008) Validation of ACE-FTS N<sub>2</sub>O measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8, pp. 4759-4786. DOI: 10.5194/acp-8-4759-2008.
9. Vigouroux, C., De Mazière, M., Demoulin, P., Servais, C., Hase, F., Blumenstock, T., Kramer, I., Schneider, M., Mellqvist, J., Strandberg, A., Velazco, V., Notholt, J., Sussmann, R., Stremme, W., Rockmann, A., Gardiner, T., Coleman, M. & Woods, P. (2008) Evaluation of tropospheric and stratospheric ozone trends over Western Europe from ground-based FTIR network observations. *Atmospheric Chemistry and Physics* 8, no. 23, pp. 6865-6886. DOI: 10.5194/acp-8-6865-2008.

10. Dupuy, E., Walker, K., Mellqvist, J. (2009) Validation of ozone measurements from the Atmospheric Chemistry Experiment (ACE), *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 287-343
11. de Laat A. T. J.; Gloudemans A. M. S.; Schrijver H....Mellqvist, J., et al. (2010), Validation of five years (2003-2007) of SCIAMACHY CO total column measurements using ground-based spectrometer observations, *ATMOSPHERIC MEASUREMENT TECHNIQUES* 3(5), 1457-1471
12. de Laat, A., Gloudemans, A., Schrijver, H., Aben, I., Nagahama, Y., Suzuki, K., Mahieu, E., Jones, N., Paton-Walsh, C., Deutscher, N., Griffith, D., De Maziere, M., Mittermeier, R., Fast, H., Notholt, J., Palm, M., Hawat, T., Blumenstock, T., Hase, F., Schneider, M., Rinsland, C., Dzhola, A., Grechko, E., Poberovskii, A., Makarova, M., Mellqvist, J., Strandberg, A., Sussmann, R., Borsdorff, T. & Rettinger, M. (2010) Validation of five years (2003-2007) of SCIAMACHY CO total column measurements using ground-based spectrometer observations. *Atmospheric Measurement Techniques* 3, no. 5, pp. 1457-1471. DOI: 10.5194/amt-3-1457-2010.
13. Angelbratt, J., Mellqvist, J., Simpson, D., Jonson, J., Blumenstock, T., Borsdorff, T., Duchatelet, P., Forster, F., Hase, F., Mahieu, E., De Maziere, M., Notholt, J., Petersen, A., Raffalski, U., Servais, C., Sussmann, R., Warneke, T. & Vigouroux, C. (2011) Carbon monoxide (CO) and ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) trends from ground-based solar FTIR measurements at six European stations, comparison and sensitivity analysis with the EMEP model. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, no. 17, pp. 9253-9269. DOI: 10.5194/acp-11-9253-2011.
14. Johansson, J., Mellqvist, J., Samuelsson, J., Offerle, B., Lefer, B., Rappengluck, B., Flynn, J. & Yarwood, G. (2014) Emission measurements of alkenes, alkanes, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub> from stationary sources in Southeast Texas over a 5 year period using SOF and mobile DOAS. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 119, no. 4, pp. 1973-1991. DOI: 10.1002/2013jd020485.
15. Johansson, J., Mellqvist, J., Samuelsson, J., Offerle, B., Moldanova, J., Rappengluck, B., Lefer, B. & Flynn, J. (2014) Quantitative measurements and modeling of industrial formaldehyde emissions in the Greater Houston area during campaigns in 2009 and 2011. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 119, no. 7, pp. 4303-4322. DOI: 10.1002/2013JD020159.
16. Rodgers, C. D. (2000) *Inverse methods for atmospheric sounding - theory and practice*, Series on Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, World Scientific Publishing, Singapore.
17. Rodgers, C. D. and Connor, B. J (2003) Intercomparison of Remote Sounding Instruments, *J. Geophys. Res.*, 108, doi:10.1029/2002JD002299.
18. Vigouroux, C., Blumenstock, T., Coffey, M., Errera, Q., Garcia, O., Jones, N., Hannigan, J., Hase, F., Liley, B., Mahieu, E., Mellqvist, J., Notholt, J., Palm, M., Persson, G., Schneider, M., Servais, C., Smale, D., Tholix, L. & De Maziere, M. (2015) Trends of ozone total columns and vertical distribution from FTIR observations at eight NDACC stations around the globe. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15, no. 6, pp. 2915-2933. DOI: 10.5194/acp-15-2915-2015.

## **12. Versionshantering**

Version 1.0: 2019-11-20 Första versionen

Version 2.0: 2021-08-24 Omfattande revidering genomförd