



LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2008

Rapportnr: 2009:59

ISSN: 1403-168X

Utgivare: Länsstyrelsen i Västra Götalands län, miljöskydds-enheten

Rapporten finns som pdf på www.lansstyrelsen.se/vastragotaland under Publikationer/Rapporter.

Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2008

För Länsstyrelsen i Västra Götaland,
Miljöskydds enheten och Naturvårdsverket

Per Erik Karlsson
Docent

Gunilla Pihl Karlsson
Fil Dr

Håkan Pleijel
Professor

Jenny Klingbeg
Doktorand

2009-03-31

Arkivnummer:U2578

Rapporten godkänd:
2009-03-31



John Munthe
Avdelningschef

Innehållsförteckning

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	4
1 INLEDNING	5
2 BAKGRUND	5
2.1 OZONETS BILDNING OCH VERKAN.....	5
2.2 FAKTORER SOM STYR FÖREKOMSTEN AV OZON NÄRA MARKEN	5
3 SYFTE	8
4 MÅLVÄRDEN FÖR OZON	8
4.1 NATIONELLA MILJÖMÅL FÖR OZON.....	8
4.2 NATIONELLA MILJÖKVALITETSNORMER FÖR OZON.....	9
5 BESKRIVNING AV FÄLTSTATIONEN VID ÖSTADS SÄTERI	10
5.1 TEKNISK BESKRIVNING AV MÄTNINGARNA.....	11
6 OZONHALTER VID ÖSTADS SÄTERI 2008	13
6.1 GENERELLT OM OZONFÖREKOMSTEN VID ÖSTADS SÄTERI OCH RÅÖ.....	18
6.2 OZONINDEX FRÄMST AVSEDDA FÖR ATT UPPSKATTA INVERKAN PÅ MÄNNISKORS HÄLSA	18
6.3 OZONINDEX FRÄMST AVSEDDA FÖR ATT UPPSKATTA INVERKAN PÅ VÄXTLIGHETEN	19
7 METEOROLOGISKA MÄTNINGAR VID ÖSTADS SÄTERI 2008	20
8 TIDSTRENDER FÖR OZONFÖREKOMST OCH METEOROLOGI VID ÖSTADS SÄTERI OCH RÅÖ/RÖRVIK	21
8.1 TRENDER FÖR OZONINDEX VID ÖSTAD SÄTERI OCH RÅÖ/RÖRVIK.....	21
8.2 DIVERGERANDE MÅNADSMEDELVÄRDEN VID ÖSTAD SÄTERI OCH VID RÅÖ	22
8.3 FÖRÄNDRAD OZONFÖREKOMST ANALYSERAD SOM MÅNADSMEDELVÄRDEN PÅ TIMBASIS VID ÖSTADS SÄTERI OCH RÅÖ.....	23
8.4 FÖRÄNDRAD METEOROLOGI VID ÖSTADS SÄTERI.....	26
8.5 SAMBANDEN MELLAN DYGNVARIATIONER I OZONHALTER OCH LUFTTEMPERATURER VID ÖSTADS SÄTERI OCH RÅÖ.....	28
8.6 DISKUSSION KRING OZONFÖREKOMSTEN VID ÖSTADS SÄTERI RESPEKTIVE RÅÖ.....	30
8.6.1 Tidigare hypoteser.....	30
8.6.2 Faktorer som styr ozonförekomsten i landsbygds miljön i västra Sverige.....	30
8.7 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER VAD GÄLLER TIDSTRENDER FÖR OZONFÖREKOMSTEN VID ÖSTADS SÄTERI OCH RÅÖ/RÖRVIK.....	31
9 REFERENSER	31

Förord

IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Göteborgs Universitet har sedan 1987 mätt halterna av ozon i luften nära marken vid Östads Säteri, beläget i Alingsås kommun vid sjön Mjörn, ca 45 km nordost om Göteborg. Parallellt har olika meteorologiska parametrar mätts.

Mätningarna fram till och med 2003 bedrevs främst i samband med olika experimentella verksamheter. Länsstyrelsen i Västra Götaland har finansierat en sammanställning av dessa mätningar utifrån ett övervakningsperspektiv (Karlsson m.fl., 2004). Efter 2004 har mätningarna vid Östads Säteri bedrivits huvudsakligen i syfte att övervaka ozonförekomsten och meteorologin i Västra Götalands inland men även med tillämpning för det Europeiska samarbetet ICP Vegetation, inom ramen för konventionen om långväga transporterade luftföroreningar (LRTAP). Mätningarna har finansierats gemensamt av Länsstyrelsen i Västra Götalands län och av Naturvårdsverket. För året 2008 finansierades verksamheten av Länsstyrelsen i Västra Götaland (diarienummer 502-36686-2008) och Naturvårdsverket (avtal 501 0806).

Sammanfattning

I denna rapport redovisas mätningarna av ozonhalter och meteorologi vid Östads Säteri för perioden 1 april – 30 september 2008. Dessa mätningar har sammanställts och olika exponeringsindex och målvärden har beräknats, vilka är relevanta bl. a. för Sveriges nationella miljökvalitetsmål och miljökvalitetsnormer. Förekomsten av ozon jämförs med den vid mätstationen Råö, belägen på Onsalahalvön söder om Göteborg samt med mätningar vid Prestebakke, en mätstation i Norge strax över gränsen från Dalsland. Trender för ozonförekomsten vid Östads Säteri sedan 1993 analyseras och diskuteras med avseende på förändrade emissioner av ozonbildande ämnen samt förändringar i klimatet.

Ozonbelastningen var under 2008 något lägre vid Östads Säteri jämfört med Råö, men skillnaden var inte lika stor som tidigare år. Miljökvalitetsnormen för ozon som gäller från 2010 till skydd för människors hälsa överskreds under 2008 både vid Råö och Östads Säteri. Miljökvalitetsnormen till skydd för växtligheten som gäller från 2020 överskreds kraftigt både vid Östads säteri och Råö. Periodmedelvärdet april – september vid Östad var fortsatt över det generationsmål som gäller inom miljömålet *Friske Luft*. Även det maximala timmedelvärdet överskred generationsmålet. Det målvärde som används inom LRTAP konventionen för att skydda skogen, AOT40 dagtid 1 april – 30 september, överskreds vid Östads Säteri under 2008.

Periodmedelvärdena för ozonhalter vid Råö/Rörvik under sommaren visar en uppåtgående tendens med ca $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen mellan åren 1990 och 2008. De maximala 8-timmars och 1-timmars medelvärdena för Rörvik/Råö visar signifikant minskande trender, $1,6$ och $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen för 8-timmars respektive 1-timmars medelvärden. Den tidigare ökande skillnaden i månadsmedelvärden för ozonhalter mellan Östads säteri och Råö/Rörvik har under 2000-talet reverserat och minskar. Vid en jämförelse av två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2005-2008, är det tydligt att ozonhalterna nattetid har ökat vid Råö/Rörvik framför allt under juni och september.

En jämförelse av meteorologin vid Östads Säteri mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2005-2008, visar på en förändring av klimatet med högre lufttemperatur men också ökad luftfuktighet, mer molnighet och mindre blåsig. Vindriktningen har gått mot mer sydliga vindar.

Sambanden mellan dygnsvariationen i ozonhalter och lufttemperatur utnyttjas i en nyutvecklad metod för att beräkna AOT40 utifrån periodmedelvärden för ozonhalt, t ex uppmätta med enkla diffusiva provtagare. Sambanden mellan den dygnsvisa variationen i ozonhalter och variationen i lufttemperaturer visade sig vara desamma vid Östads Säteri vid en jämförelse mellan perioderna 1993-1995 och 2006-2008. Sambanden var också liknande vid en jämförelse mellan Östads Säteri och Råö för året 2008. Detta visar att den föreslagna metoden är robust både över tiden och mellan platser i eller i närheten av Västra Götaland.

1 Inledning

Sedan 1987 har IVL Svenska Miljöinstitutet och Göteborgs Universitet gemensamt bedrivit experimentell forskning vid Östads Säteri kring inverkan av marknära ozon på växtligheten. I samband med experimenten har halterna av ozon i omgivningsluften mätts under olika perioder och på olika höjd över marken. Omfattande meteorologiska mätningar har genomförts under de flesta år. Resultaten från dessa mätningar har redovisats i en tidigare rapport till Länsstyrelsen i Västra Götalands län (Karlsson m.fl., 2004). På senare år har den experimentella verksamheten avslutats men mätningarna av ozonhalter och meteorologi har fortsatt, främst motiverat utifrån miljöövervakningsaspekter. De parallella mätningarna av ozonhalter och meteorologi ger möjligheter till forskning och utveckling vad gäller att förklara variationer i lokal ozonförekomst utifrån variationer i vädersituationer och klimat.

Denna rapport redovisar mätningar av ozon och meteorologi vid Östads Säteri för perioden 1 april – 30 september 2008. Dessa mätningar jämförs med tidigare historiska mätdata från Östads Säteri, samt med mätdata från andra mätstationer för ozon i Sverige och sydöstra Norge, främst mätstationen vid Råö, som är belägen på Onsalahalvön söder om Göteborg.

2 Bakgrund

2.1 Ozonets bildning och verkan

Ozon bildas nära marken genom en serie komplicerade kemiska reaktioner som drivs av energin från solljuset. De viktigaste utgångsämnen för ozonbildning är kväveoxider (NO_x) och flyktiga organiska kolväten (VOC). Ozon är ett starkt oxiderande ämne som i luften är skadligt både för människors hälsa och för växtligheten. Ozon orsakar en för tidig dödlighet för ett betydande antal människor i Europa årligen. Ozonbelastningen i Sverige beräknas förorsaka ett betydande skördebortfall för svenskt jordbruk på i storleksordningen 5-15 % årligen och en nedsättning av skogens tillväxt med ca 2 %.

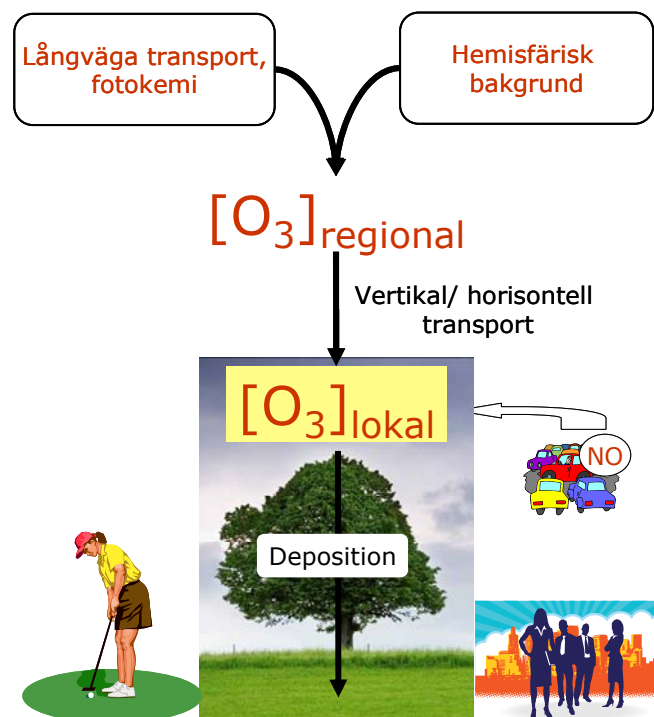
2.2 Faktorer som styr förekomsten av ozon nära marken

Koncentrationen av ozon i luften nära marken vid en viss plats och vid en viss tidpunkt i landsbygds miljön i Västra Götaland är beroende av flera olika processer, varav de viktigaste är de storskaliga utsläppen av ozonbildande ämnen, den storskaliga meteorologin över Europa samt den lokala meteorologin. I detalj kan vi lista processerna enligt nedan:

- Utsläpp av ozonbildande ämnen över Europa och över hela norra halvklotet
- Bildningen av ozon genom komplicerade kemiska reaktioner utgående från ozonbildande ämnen, drivet av energin från solljuset
- Den långväga, horisontella transporten av ozonbildande ämnen och av ozon över land och vatten

- Depositionen av ozon mot mark, växtlighet och vatten
- Den vertikala transporten av ozon från högre liggande luftlager mot luftlagren närmast marken
- Nedbrytning av ozon genom kemiska reaktioner med vissa ämnen, framför allt kvävemonoxid

Några av processerna illustreras i Figur 1.



Figur 1. En förenklad illustration av några av de processer som är av betydelse för koncentrationerna av ozon nära marken. De processer som främst illustreras är den vertikala transporten av ozon från högre mot lägre liggande luftlager samt depositionen mot mark och växtlighet. Inverkan av utsläpp från trafiken i tätorter finns även illustrerad.

Ozonhalterna i luften nära marken i kustnära områden är relativt höga därför att nedtransporten av ozon från högre liggande luftlager är effektiv på grund av mycket vind, samtidigt som depositionen av ozon mot vattenytan är relativt låg. När luftmassorna kommer in över land ökar depositionen på grund av att depositionshastigheten mot mark och växtlighet är avsevärt högre jämfört med den mot vatten. Under dagtid är nedtransporten från högre liggande luftlager fortfarande hög, vilket gör att ozonhalterna förblir förhållandevis höga. Nattetid minskar emellertid nedtransporten av ozon kraftigt i samband med lufttemperaturinversioner och medföljande stabilisering av luftlagren. Detta gäller i synnerhet topografiskt lågt liggande områden (Karlsson m.fl., 2007a). Depositionshastigheten mot mark och växtlighet minskar även den, men inte i samma utsträckning. Resultatet kan bli att ozonhalterna nära marken blir mycket låga nattetid för topografiskt lågt liggande platser i inlandet. Ozonhalterna kan bli extra låga när inversionsförhållanden kombineras med utsläpp av NO från tätt trafikerade områden.

Ozonbildningen i Västra Götaland påverkas i viss mån av regionala utsläpp av ozonbildande ämnen. Vid nuvarande nivå är dock betydelsen av dessa utsläpp begränsad (Langner m.fl., 2004). Utsläppen av ozonbildande ämnen på Europeanivå är enligt EMEPs sammanställningar i minskande (Gauss m.fl., 2008) och mellanårsvariationen är liten. Istället orsakas den stora mellanårsvariationen i ozonförekomst i södra Sverige av variationer i det storskaliga vädret över Europa, vilket i sin tur avgör hur mycket av utsläppen av ozonbildande ämnen över Europa som transporteras upp till våra breddgrader. (Andersson m.fl., 2006, Tang m.fl., 2008). Betydelsen av utsläpp av ozonbildande ämnen över hela norra halvklotet är sannolikt i ökande. Det har beräknats att ca en tredjedel av den ozonbildning som sker över södra Sverige beror av utsläpp av ozonbildande ämnen över Nordamerika och Sydostasien (Derwent m.fl., 2004).

Mätlokaler för ozon i landsbygdsmiljö runt om i södra och mellersta Sverige kan indelas i tre olika kategorier beroende på geografiska förutsättningar, se Tabell 1 (Karlsson m.fl., 2004, Karlsson m. fl., 2007b). Som nämnts ovan påverkar den lokala meteorologin depositionen av ozon mot mark och vatten, såväl som den vertikala transporten av ozon från högre liggande luftlager mot luftlagren närmast marken. Olika ozonförekomst vid olika kategorier av platser bekräftades av resultaten från periodvisa mätningar av ozonhalter och meteorologi vid platser i landsbygdsmiljö runt om i Västra Götaland (Karlsson m.fl., 2007a). Detta förklarar varför man ofta finner en lägre ozonförekomst vid Östads Säteri, jämfört med Råö.

Tabell 1. Uppdelning i tre olika kategorier av mätlokaler för marknära ozon i landsbygdsmiljö i södra och mellersta Sverige (modifierad från Karlsson m.fl., 2004, 2007b).

Benämning	Beskrivning	Ozonförekomst	Ingående mätlokaler
Kustnära	Mätlokaler som är belägna mycket nära kusten.	Frekventa över-skridanden av målvärden	Rörvik/Råö, Aspvreten
Höglänta	Mätlokaler som är belägna utpräglat högt över angränsande landskap..	Frekventa över-skridanden av målvärden	Vavihill, Norra Kvill
Låglänta	Mätlokaler som ej är belägna utpräglat högt över omgivande landskap. Detta innebär inte nödvändigtvis att dessa lokaler är belägna i ett slättlandskap.	Målvärden överskrids sällan	Östads Säteri, Asa, Grimsö

3 Syfte

Arbetet i föreliggande rapport har syftat till:

- Att mäta och dokumentera ozonhalterna vid Östads Säteri under sommarhalvåret 2008, i relation till de olika ozonindex som används inom de svenska miljömålen och miljökvalitetsnormerna.
- Att mäta och dokumentera meteorologiska data vid Östads Säteri under sommarhalvåret 2008.
- Att uppskatta ozonbelastningen under år 2008 vid Östads Säteri i förhållande till den vid Råö, på Onsalahalvön strax söder om Göteborg.
- Att uppskatta långsiktiga förändringar av ozonbelastningen vid Östads Säteri samt vid Råö.

4 Målvärden för ozon

4.1 Nationella miljömål för ozon

I den av riksdagen antagna propositionen 2000/2001:130 ”Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier” anges s.k. del- och generationsmål. Delmålen avser förorenings- och utsläppsmål som skall vara uppfyllda relativt snart och vad gäller ozon till senast 2010. Generationsmål avser motsvarande typ av mål som delmålen, men skall vara uppfyllda på längre sikt, till ca 2020. De del- och generationsmål som för närvarande gäller för marknära ozon redovisas i Tabell 2. Målvärdena för ozon inom miljökvalitetsmålet *Frisk Luft* är under omprövning.

Tabell 2. Del- och generationsmål i det svenska miljömålsarbetet som f n gäller för marknära ozon inom miljökvalitetsmålet *Frisk Luft*. En uppdelning har gjorts av vad som kan anses relevant för människors hälsa respektive växtligheten.

Delmål 2010		Generationsmål 2020	
Hälsa	Växtligheten	Hälsa	Växtligheten
Det maximala 8-timmarsmedelvärdet bör ej överskrida 120 µg m ⁻³ .	-**	Halter som inte bör överskridas är 70 µg m ⁻³ som åttatimmarsmedelvärde och 80 µg m ⁻³ som timmedelvärde.	Halter som inte bör överskridas är 50 µg m ⁻³ som medelvärde för sommarhalvåret

* Här finns ett förslag om ett reviderat delmål till skydd för hälsa. Halterna av marknära ozon skall inte överskrida 100 µg/m³ som åtta timmarsmedelvärde år 2015. Värdet beräknas som ett glidande medelvärde under de senaste tre åren och får överskridas högst 35 dagar per år.

** Här finns ett förslag om ett nytt delmål till skydd för växtligheten. Till år 2015 ska ozonhalten under växt-säsongen uppnå en acceptabel exponering för att undvika skador på växtligheten, d.v.s. värdet på AOT40 april - september ska underskrida 20 000 µg m⁻³ timmar. Delmålet ska beräknas som ett medelvärde över de senaste fem åren.

4.2 Nationella miljö kvalitetsnormer för ozon

Miljö kvalitetsnormer för utomhusluft i Sverige finns i förordningen SFS 2001:527 (Utfärdad: 2001-06-07, Ändring införd: t.o.m. SFS 2007:771). Dessa miljö kvalitetsnormer baserar sig i huvudsak på EU's direktiv om ozon i luften (2002/3/EG).

Här följer några olika utdrag ur miljö kvalitetsnormen som är relevanta för ozonets inverkan på människors hälsa och på vegetationen:

9 a § Till skydd för människors hälsa och i den utsträckning som det är möjligt med hänsyn till hur ozonbildande ämnen transporteras i luften och bildar ozon, skall det eftersträvas att ozon efter den 31 december 2009 inte förekommer i utomhusluft med mer än i genomsnitt 120 mikrogram per kubikmeter luft.

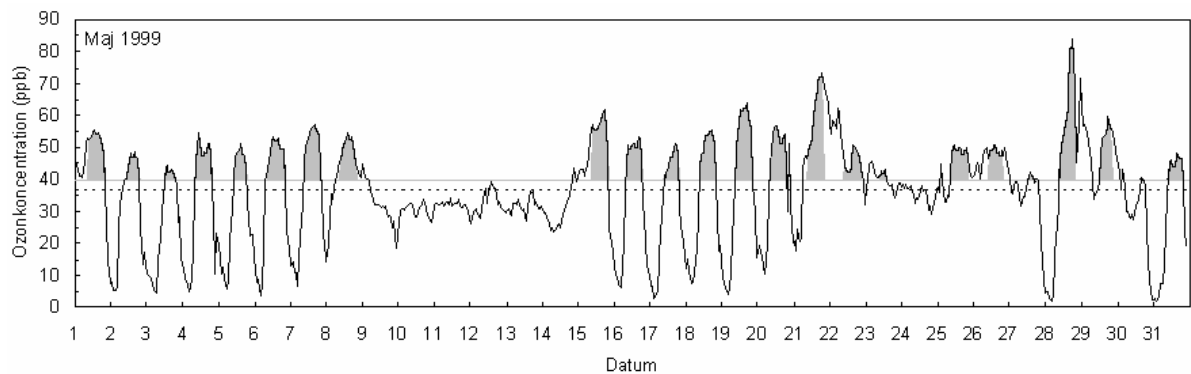
Medelvärde skall avse ett dygnsvärde som beräknas på följande sätt. Ett åttatimmarsmedelvärde skall bestämmas för varje timme. Varje åttatimmarsmedelvärde bestäms som medelvärdet av de åtta senaste timmarnas uppmätta värden. Dygnsvärdet bestäms som det högsta av de under dygnet bestämda tjugofyra åttatimmarsmedelvärdet. Det första åttatimmarsmedelvärdet avser tiden från kl. 17.00 det närmast föregående dygnet till kl. 1.00 det aktuella dygnet och det sista åttatimmarsmedelvärdet avser tiden från kl. 16.00 det aktuella dygnet till kl. 24.00 samma dygn. Förordning (2004:661).

9 b § Till skydd för växtligheten och i den utsträckning som det är möjligt med hänsyn till hur ozonbildande ämnen transporteras i luften och bildar ozon, skall det eftersträvas att ozon inte förekommer i utomhusluft

1. från och med den 1 januari 2010 till och med den 31 december 2019 med mer än 18 000 mikrogram beräknat enligt exponeringsindex AOT 40 och bestämt som ett genomsnittligt värde under en femårsperiod,
2. efter den 31 december 2019 med mer än 6 000 mikrogram beräknat enligt exponeringsindex AOT 40.

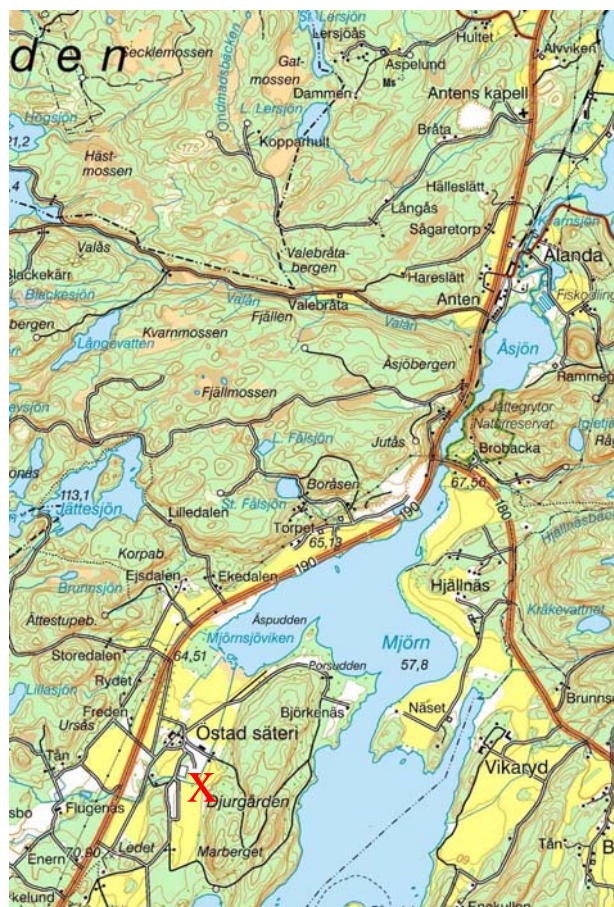
Exponeringsindex AOT 40 avser värde för summerade överskridanden av en viss halt ozon under en viss tidsperiod. Exponeringsindex AOT 40 uttrycks i mikrogram per kubikmeter luft gånger timme och beräknas på följande sätt. Under perioden från och med den 1 maj till och med den 31 juli varje år skall det för varje timme mellan kl. 8.00 och 20.00 bestämmas ett timmedelvärde för ozonhalten. Varje timmedelvärde bestäms som skillnaden mellan den koncentration av ozon som överstiger 80 mikrogram per kubikmeter luft och 80 mikrogram per kubikmeter luft. Skillnaderna summeras först för varje dag och sedan till en totalsumma för hela perioden. Förordning (2004:661).

Beräkningar av AOT40 illustreras i Figur 2, utifrån en mätserie av ozonhalter 1 m över marknivån vid Östads säteri under maj 1999.



Figur 2. Ozonhalten mätt på 1 m höjd vid Östad Säteri, som ligger i ett låglänt jordbrukslandskap i Västra Götalands län. Den streckade linjen visar medelvärdet för perioden. Den grå linjen visar tröskelvärdet 40 ppb och den skuggade arean representerar överskridandet av 40 ppb under dagtid (AOT40). För perioden i figuren var AOT40 = 2 409 ppb-timmar. En ppb motsvarar ca $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5 Beskrivning av fältstationen vid Östads Säteri



© Bakgrundskartor Lantmäteriet, dnr 106-2004/188

Figur 3. Karta med mätlokalen vid Östads Säteri markerat med ett rött kryss.

Östads Säteri är beläget ca 45 km nordost om Göteborg (57° 54' N, 12° 24' Ö, 62 m över havsnivån, Figur 3), vid sjön Mjörns västra strand. Egendomen omfattar ca 5000 hektar med mestadels skog, blandat med en del åkermark. Rakt väster om försöksområdet ligger ett stort skogsområde, Risveden.

5.1 Teknisk beskrivning av mätningarna

Mätningar av ozonhalter i omgivningsluften och meteorologiska parametrar sker vid Östads Säteri över ett öppet fält. Fältet är svagt sluttande åt sydost. Avståndet till högre växtlighet är minst 50 m. En detaljerad beskrivning av de olika mätningarna vid Östads Säteri ges i Tabell 3.

Tabell 3. En översikt över de mätsystem som använts vid Östads Säteri 2008.

Parameter	Utrustning	Kommentar
Ozonhalter i luft	UV instrument, Thermo Environmental.	Instrumentet mäter kontinuerligt vid en punkt, 5m över marknivå. Noggrannhet ca $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ozoninstrumentet kalibrerades vid två tillfällen under året, 08-04-04 samt 08-12-15.
Vindmätning, horisontell riktning och hastighet 9 m över marknivå	Young. Wind Sentry anemometer & Vane	Skålkors. Noggrannhet ca $\pm 0.1 \text{ m/s}$ (tröskelvärde för igångsättning ca 0.5 m/s), vindriktning ca 10° .
Luft temperatur, relativ fuktighet	Rotronic, Hygroclip	Givare är placerade i mekaniskt ventilerade strålningskydd. Noggrannhet ca $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Kalibrering före och efter mätsäsongen. Temperaturen har kalibrerats genom att givaren placerats i en plexiglasbehållare tillsammans med en termometer, certifierad till $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Fuktigheten har kalibrerats genom att givarna placerats i därför avsedda behållare. I behållaren placeras en duk som indränks med saltlösningar. Behållare, duk samt saltlösningar köps från ROTRONIC AG. Den relativa fuktigheten kalibreras vid 80 och 35%.
Mätning av temperatur-differens mellan 9 och 1 m	2 st. termoelement typ Koppar/Konstantan	Placerade i mekaniskt ventilerade strålningskydd. Noggrannhet ca $\pm 0.1^\circ\text{C}$.
Ljusstrålning, mätt som PAR (photosynthetic active radiation)	LICOR, Model Li-190SA, LiCor, Lincoln, NE, USA	Kalibrerad av FDS Mätsystem i Skara mot en globalstrålnings mätare. Noggrannhet ca $\pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Givarna mäter fotosyntetiskt aktivt ljus, vilket uttrycks i $\mu\text{mol kvanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Vid fullt solljus mitt på sommaren uppmäts värden på ca $1500 \mu\text{mol kvanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En faktor 2 kan användas för att konvertera mellan globalstrålning, uttryckt i W m^{-2} , och fotosyntetiskt aktivt ljus.
Logger, GSM kommunikation	Campbell CR10, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA	Ozonhalterna mäts 16 gånger per timma med ett luftintag placerat 5 m över marknivå och alla individuella mätvärden loggas. Meteorologiska parametrar mäts varje minut men endast timmedelvärden loggas. Varje natt överförs data till en centraldator på IVL Svenska Miljöinstitutet..

Olika ozonexponeringsindex har beräknats över olika tidsperioder. För en viss tidsperiod accepterades ej databortfall överstigande 15 %. Ozondata från EMEPs mätstationer i Sverige är framtagna inom den nationella Miljöövervakningen, finansierad av Miljöövervakningsenheten vid Naturvårdsverket. IVL ansvarar för 7 av de totalt 8 stationer som ingår i programmet 2008.

Dessa mätningar beskrivs på IVLs hemsida, www.ivl.se. Observera att det gjordes en flyttning av mätstationen vid Rörvik till Råö 2002-01-01. Mätningarna av ozonhalter vid Prestebakke, strax innanför Norska gränsen från Dalsland finansieras av Statens Forurensningstilsyn (SFT) i Norge och preliminära data för 2008 används med tillstånd från Tor Johannesen. Data har erhållits från NILU, Wenche Ås.

En översikt över datatillgänglighet för ozon- och meteorologiska mätningar för perioden 1 april – 30 september 2008 visas i Tabell 4. Datatillgängligheten var under året nära 100 % vad gäller ozonmätningarna. Datatillgängligheten för temperatur- och luftfuktighetsmätningarna var tyvärr ganska dåligt, vilket beror på att utrustningen generellt börjar bli ålderstigen. Databortfallet för lufttemperatur och fuktighet blev hela månaden april samt en stor del av augusti. Mätningarna av temperaturdifferens mellan 1 och 9 m över mark kunde tyvärr endast genomföras fullt ut för augusti och september.

Tabell 4. En översikt över databortfall vad gäller timvärden för ozon och meteorologi under perioden 1 april – 30 september 2008.

	% saknade timvärden				
	Ozon	Lufttemperatur/ RH	Difftemp	Vind	Strålning
apr - sep	0	19	62	0	0
apr	1	81	100	0	0
maj	0	0	100	0	0
jun	0	3	100	0	0
jul	0	0	74	0	0
aug	0	29	0	0	0
sep	0	0	0	0	0

6 Ozonhalter vid Östads Säteri 2008

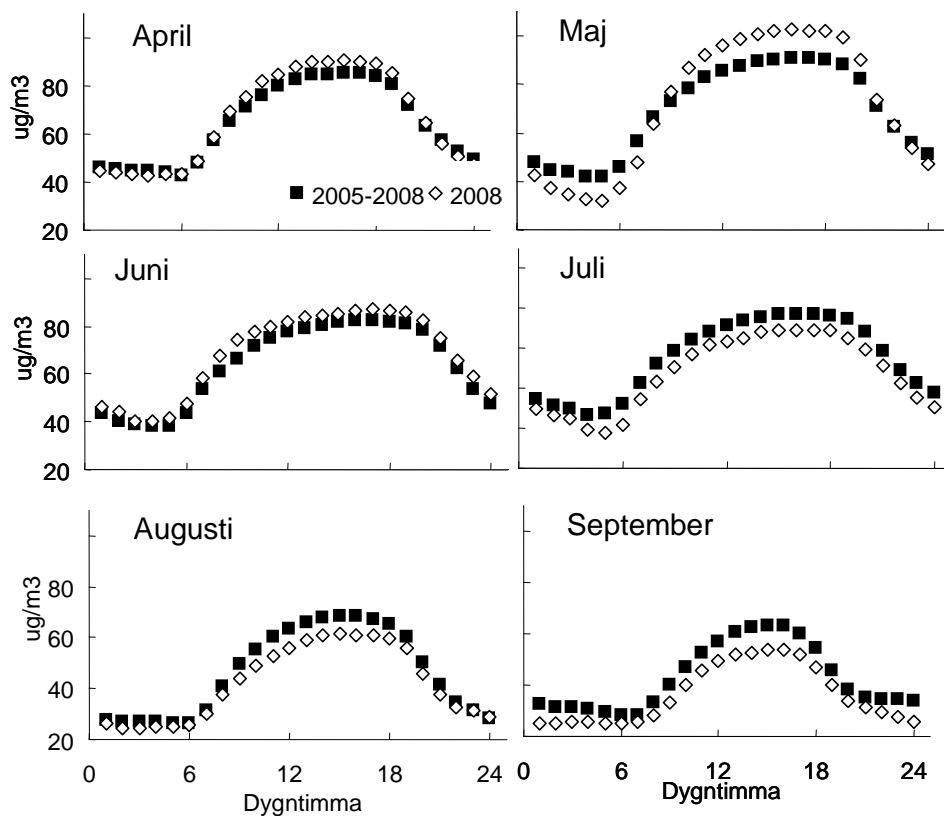
Ozonhalter och olika ozonindex, beräknade från timvisa mätningar av ozon vid Östads Säteri under sommarhalvåret 2008, visas i Tabell 5 och 6 samt i Figur 4.

Tabell 5. En sammanställning av ozonmätningar i omgivningsluften vid Östads Säteri 1 april – 30 september 2008. Ozonhalter anges som $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sammanställningen grundar sig på timvisa mätningar av ozonhalter 5 m ovan mark. Ett antal olika ozonindex för att beskriva inverkan av ozon på människors hälsa redovisas, vilka används inom EUs direktiv om ozon i luften, inom de Svenska miljökvalitetsnormerna samt inom det nationella miljömålet *Frisk Luft*. Enligt miljökvalitetsnormerna bör det glidande 8-timmarsmedelvärdet ej överstiga $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ från år 2010. Generationsmålet till år 2020 inom miljökvalitetsmålet *Frisk Luft* är att periodmedelvärdet dygnet runt 1 april – 30 september inte skall överskrida $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ samt att timmedelvärdet inte skall överskrida $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Eventuell tangering eller överskridande av miljökvalitetsnormen redovisas med understrukna siffror i tabellen nedan. Målvärdena för ozon inom miljökvalitetsmålet *Frisk Luft* är under omprövning.

	Glidande 8-timmarsmedelvärde			Timmedelvärde			6.1.1.1.1.1.1.1 Periodmedelvärdede		
	Maxvärde	Antal dagar med max värde	Antal dagar med max värde	Maxvärde	Antal dagar med max värde	Antal dagar med max värde	Dygnet runt	KI 20-08 (natt)	KI 08-20 (dag)
		$>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$>70 \mu\text{g}/\text{m}^3$		$>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$>80 \mu\text{g}/\text{m}^3$			
apr - sep	<u>138</u>	6	107	143	0	91	55	39	71
apr	<u>136</u>	2	27	143	0	28	66	49	84
maj	<u>138</u>	3	31	140	0	30	71	47	96
jun	<u>122</u>	1	26	126	0	20	68	53	83
jul	90	0	14	98	0	8	48	31	64
aug	86	0	7	97	0	4	42	29	55
sep	83	0	2	85	0	1	36	27	46

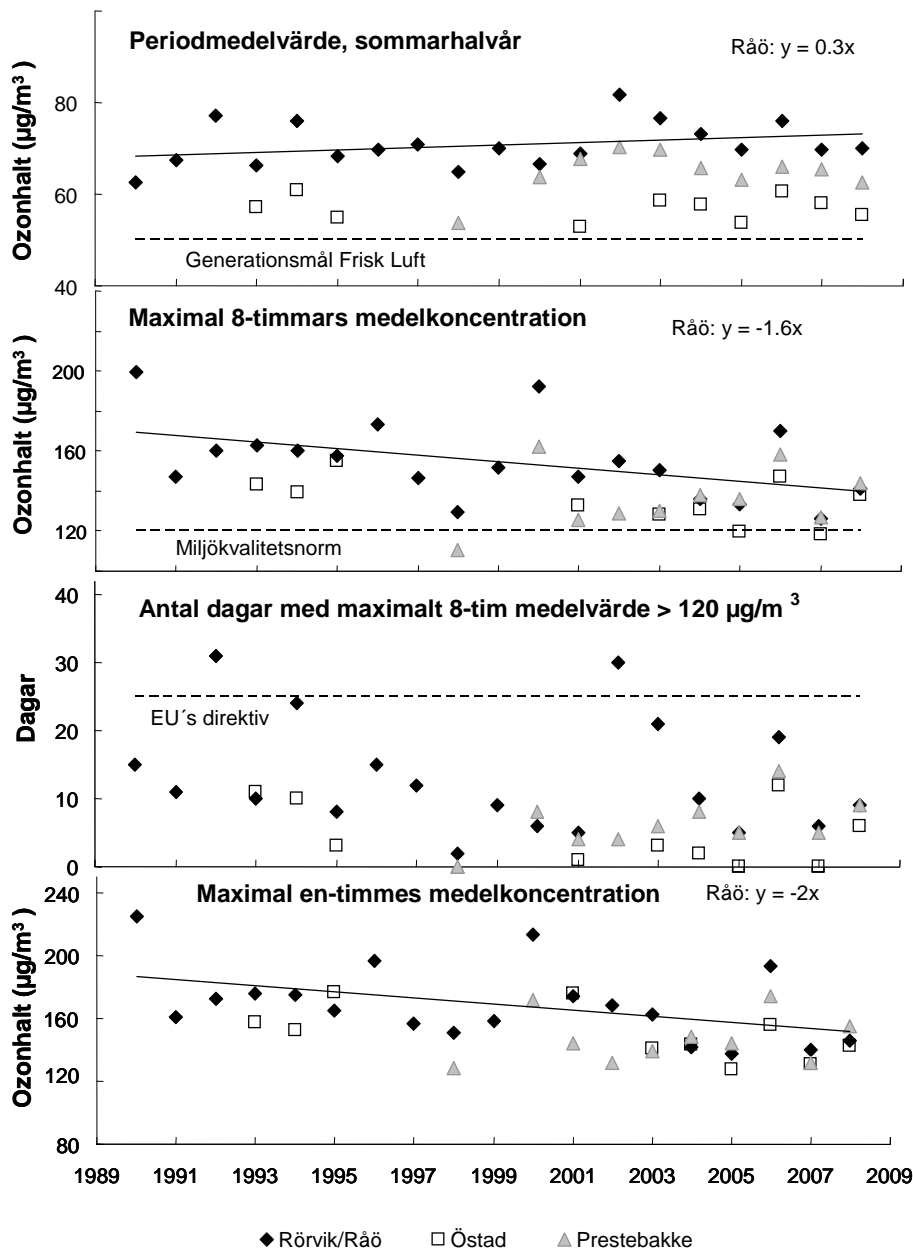
Tabell 6. En sammanställning av ozonmätningar i omgivningsluften vid Östads Säteri 1 april – 30 september 2008. Ett antal olika ozonindex redovisas vilka används för att beskriva inverkan av ozon på växtligheten inom EUs direktiv om ozon i luften, inom Sveriges miljökvalitetsnormer samt inom LRTAP konventionen. Enhet $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar. AOT40 dagtid har beräknats baserat både på astronomiskt uträknad tidpunkt för solens upp och nedgång samt mellan klockslagen 08:00 – 20:00. Enligt miljökvalitetsnormerna skall AOT40 dagtid under perioden maj-juli (kl. 08-20) ej överskrida $18\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar från år 2010 och ej överskrida $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar från år 2020. Eventuell tangering eller överskridande av miljökvalitetsnormerna (till 2010 respektive 2020) redovisas med understrukna siffror i tabellen nedan.

	AOT40	
	Astronomiska ljusa timmar	kl 08-20
apr - sep	13831	13702
maj-jul	<u>10274</u>	<u>10086</u>
apr	3475	3518
maj	<u>6686</u>	<u>6661</u>
jun	3284	3123
jul	304	302
aug	78	78
sep	5	20



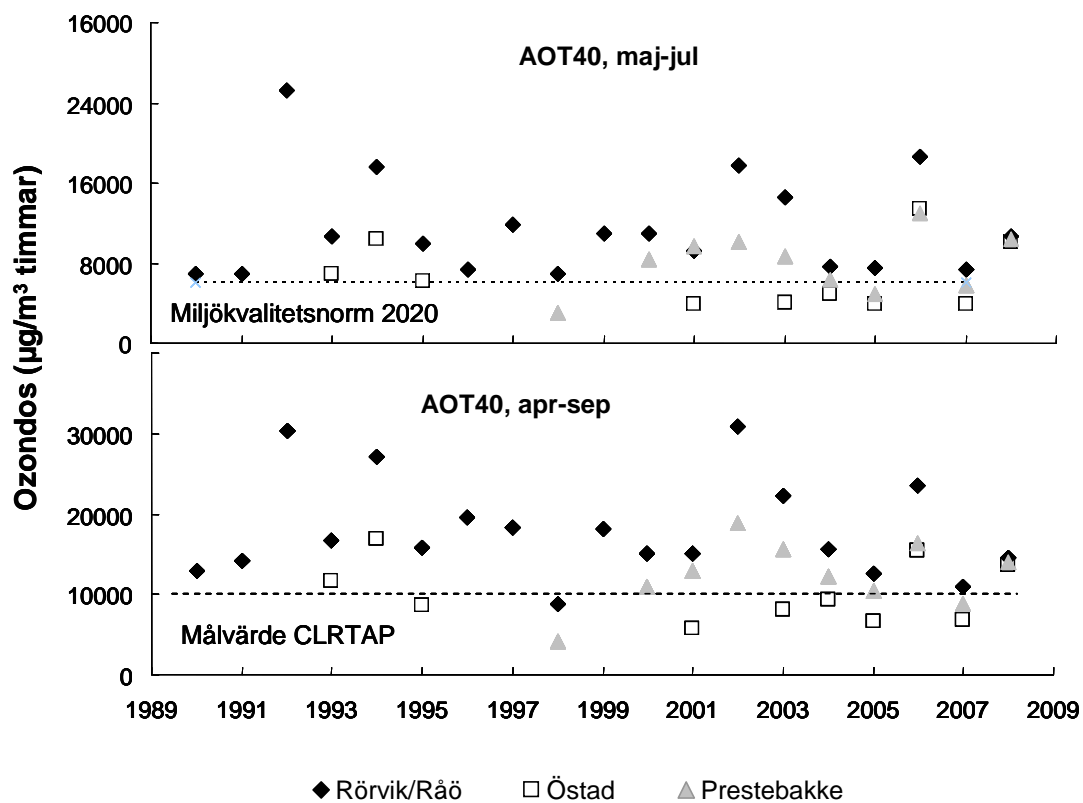
Figur 4. Ozonhalter 5 m över marken vid Östads Säteri under året 2008, beräknat som medelvärde per månad uppdelat per dygnstimma (ofyllda symboler). Dessutom visas motsvarande värden uttryckt som medelvärden under 4 år, 2005-2008 (fyllda symboler).

I Figureerna 5 och 6 visas tidsutvecklingen sedan 1990 av olika ozonindex vid Östads Säteri och vid Rörvik/Råö, tillsammans med värden från Prestebakke i sydöstra Norge, just över gränsen från Dalsland. Den sistnämnda mätstationen kan användas för att bedöma ozonförekomsten i inlandet i länets nordvästra del. Data för Prestebakke 2008 är preliminära. En särskild jämförelse mellan Östads Säteri och Råö/Rörvik, för de ozonindex som ingår i miljö kvalitetsnormerna, visas i Figur 7.

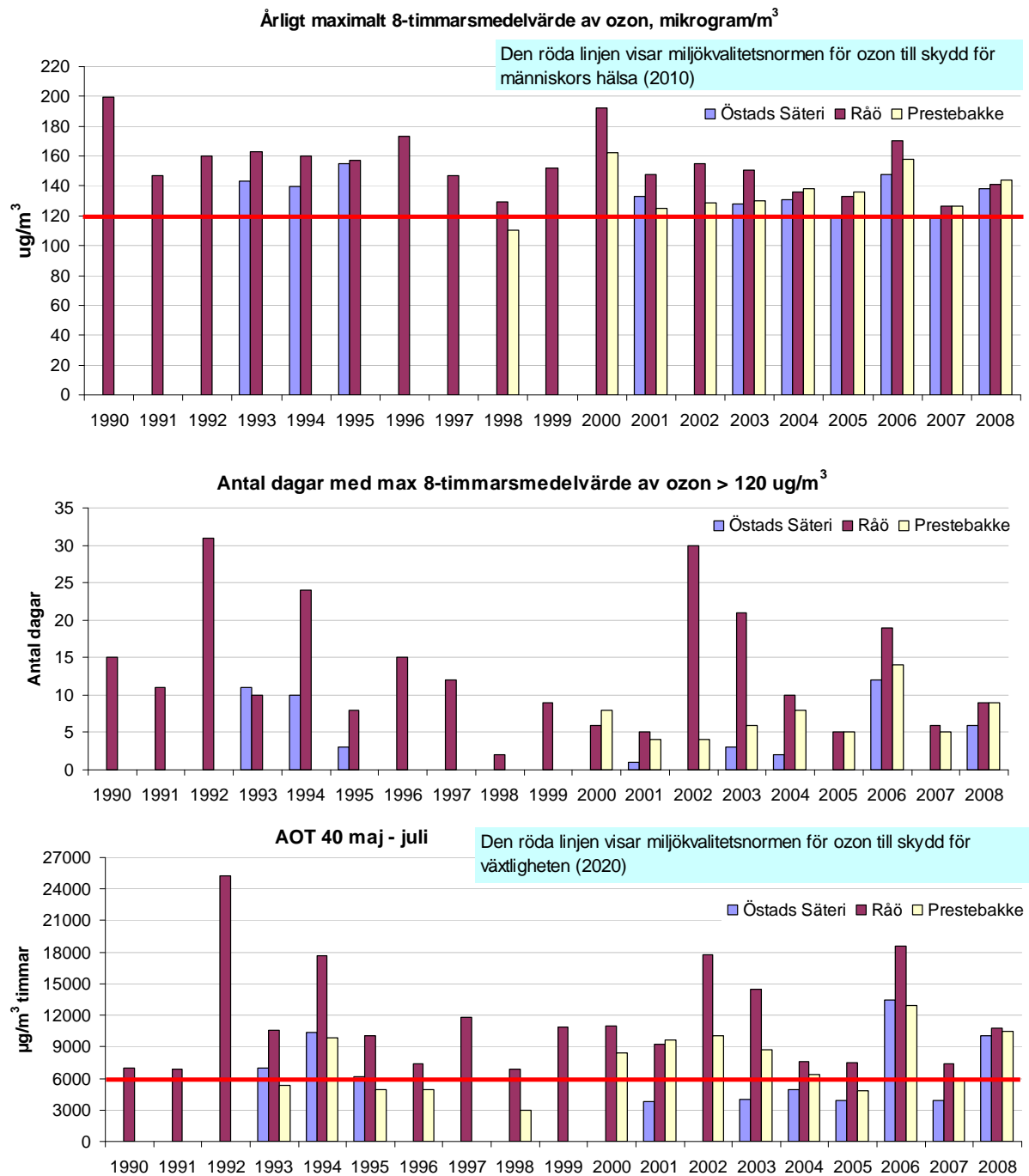


Figur 5. Olika ozonindex som i första hand beskriver inverkan på människors hälsa, beräknade från timvisa mätningar av ozonhalter med instrument vid Östads Säteri, Råö samt vid Prestebakke i SÖ Norge under åren fram t. o. m. 2008. Den horisontella streckade linjen i översta diagrammet indikerar värdet för generationsmålet inom *Frisk Luft*. Den horisontella streckade linjen i näst översta diagrammet indikerar det målvärde som gäller inom miljö kvalitetsnormen. Den horisontella streckade linjen i näst nedersta diagrammet indikerar de antal dagar med överskridande av målvärdet som tillåts årligen från år 2010 inom EU's direktiv om ozon i luften, räknat som ett medelvärde över tre år. De heldragna trendlinjerna avser Råö.

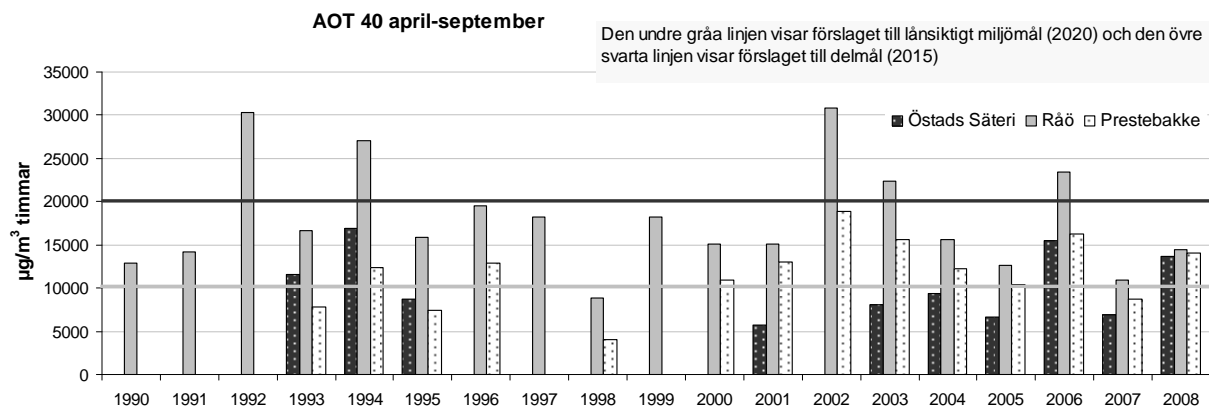
Förändringarna är statistiskt signifikanta vad gäller max 8-timmars och max 1-timmars medelvärden vid Råö, enligt Mann-Kendall analys. Vad gäller Östads säteri och Prestebakke finns inga signifikanta trender.



Figur 6. Olika ozonindex som beskriver inverkan på växtligheten, beräknade från timvisa mätningar av ozonhalter med instrument vid Östads Säteri, Råö/Rörvik samt Prestebakke i SÖ Norge. Horisontella linjen i övre diagrammet indikerar den miljökvalitetsnorm som gäller efter 2020 till skydd för växtligheten. Horisontella linjen i undre diagrammet indikerar det målvärde som används inom LRTAP konventionen till skydd för skogen. Inga förändringarna är statistiskt signifikanta, enligt Mann-Kendall analys.



Figur 7. Olika ozonindex som används som grund för miljö kvalitetsnormerna för ozon nära marken, beräknade från timvis mätningar av ozonhalter med instrument vid Östads Säteri, Råö/Rörvik samt vid Prestebakke redovisade för de år då data finns tillgängliga. Horisontella linjen i övre diagrammet indikerar den miljö kvalitetsnorm som gäller från 2010 till skydd för människors hälsa. Horisontella linjen i nedre diagrammet indikerar den miljö kvalitetsnorm som gäller från 2020 till skydd för växtligheten.



Figur 8. Värden för AOT40 mellan april och september beräknade från timvis mätningar av ozonhalter med instrument vid Östads Säteri, Råö/Rörvik samt vid Prestebakke. AOT40 april-september har föreslagits att användas inom miljö kvalitetsmålet Frisk Luft för ozon till skydd för växtligheten Horisontella översta svarta linjen indikerar förslaget delmål till 2015. Undre, horisontella grå linjen indikerar långsiktigt miljömål till 2020. Värden visas för de år då datatäckningen för perioden 1 april – 30 september, respektive 1 maj – 31 juli, överstiger 85 %.

6.1 Generellt om ozonförekomsten vid Östads Säteri och Råö 2008

Ozonförekomsten i södra Sverige var under 2008 måttlig i förhållande till de närmast föregående åren. En lång period med högtrycksbetonat väder i maj månad resulterade i en hög ozonförekomst i södra Sverige, vilket också syns på de månadsvisa medelvärdena uppdelat i dygnstimmar för Östads säteri för maj 2008, i jämförelse med medelvärden för maj 2005-2008 (Figur 4). Medelvärdet dygnet runt för ozonhalten 5 m över mark i omgivningsluften vid Östads Säteri för perioden 1 april – 30 september var $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Liksom tidigare år var motsvarande värde för Råö högre, $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Båda dessa värden överskrider det generationsmål för ozon som anges under det nationella miljömålet *Frisk Luft*, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.2 Ozonindex främst avsedda för att uppskatta inverkan på människors hälsa

Det maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozon vid Östad för året 2008 var $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Motsvarande värde för Råö var $141 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Således uppmättes värden både vid Råö och vid Östads Säteri över den miljö kvalitetsnorm som gäller från 2010, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, och som avser ozonets inverkan på människors hälsa. Det dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozon överskred under året målvärdet $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under 9 dagar vid Råö och 6 dagar vid Östad. Det maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozonkoncentrationen vid Prestebakke var under året $144 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket även det överskrider miljö kvalitetsnormen. Detta värde är dock preliminärt.

Det maximala timmedelvärdet för ozonhalterna vid Östad under 2008 var $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Motsvarande värde för Råö var $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det maximala timmedelvärdet för ozon skall enligt

de nuvarande generationsmålen inom miljömålet *Frisk Luft* ej överskrida $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket det dock gör med bred marginal vid både Östad och Råö. Timmedelvärdet överskred $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid Östads Säteri under 107 av sommarens totalt 183 dagar mellan 1 april och 30 september 2008.

6.3 Ozonindex främst avsedda för att uppskatta inverkan på växtligheten

AOT40 dagtid under månaderna maj-juli 2008 vid Östads Säteri var $10100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar. Miljökvalitetsnormen för ozon som gäller från år 2020 till skydd för växtligheten, $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, överskreds således kraftigt vid Östad år 2008. Motsvarande värde för Råö var $10700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, vilket även det kraftigt överskred målvärdet inom miljökvalitetsnormen.

AOT40 dagtid under april – september används inom LRTAP konventionen till skydd för skogsträd, men är också ett värde som skall rapporteras till EU inom EU direktivet. Det är även på förslag att användas inom miljökvalitetsmålet Frisk Luft till skydd för växtligheten. Värdet för AOT40 april - september vid Östads Säteri för år 2008 var $13700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, vilket är över det nya målvärde som används inom LRTAP konventionen, $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar. Motsvarande AOT40 dagtid under april – september vid Råö var $14500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, vilket även det är över målvärdet inom LRTAP konventionen.

- **Ozonbelastningen var under 2008 något lägre vid Östads Säteri jämfört med Råö, men skillnaden var inte lika stor som tidigare år.**
- **Miljökvalitetsnormen för ozon som gäller från 2010 till skydd för människors hälsa överskreds under 2008 både vid Råö och vid Östads Säteri samt även vid Prestebakke.**
- **Miljökvalitetsnormen till skydd för växtligheten som gäller från 2020 överskreds kraftigt både vid Östads Säteri, Råö och vid Prestebakke.**
- **Periodmedelvärdet april – september vid Östad var fortsatt över det generationsmål som gäller inom miljömålet *Frisk Luft*. Även det maximala timmedelvärdet överskred generationsmålet.**
- **Det målvärde som används inom LRTAP konventionen för att skydda skogen, AOT40 dagtid 1 april – 30 september, överskreds under 2008 vid Östads Säteri, Råö samt Prestebakke.**

7 Meteorologiska mätningar vid Östads Säteri 2008

Medelvärden och summeringar per månad och för sommarhalvåret för olika meteorologiska mätningar vid Östads Säteri visas i Tabell 6 och 7. Jämförelser av meteorologiska data för två perioder, 1993-1995 och 2005-2008 beskrivs under sektion 8.4 nedan.

Tabell 6. Meteorologiska data ifrån Östad 2008. Lufttemperatur, VPD (luftens vattenångtrycksdeficit) samt ljus är uppmätta 1 m över mark, vind är mätt 9 m över mark. Avg, medelvärde; 24h, 24-timmars; VPD, luftens partiella vattenångtrycksdeficit. För beräkningar dagtid används kl 08-20, för nattetid 20-08.

	Lufttemperatur				Luft VPD *		Ljus **	Vindhastighet ***				
	24h avg	24h max	24h min	Avg 20-08 natt	Avg 08-20 dag	24h avg	Avg 08-20 dag	Avg 08-20 dag	24h avg	24h max	Avg 20-08 natt	Avg 08-20 dag
apr – sep	-	-	-	-	-	-	-	509	1.6	19.7	0.8	2.4
apr	-	-	-	-	-	-	-	458	1.8	15.2	0.9	2.7
maj	11.4	28.2	-1.8	6.3	16.5	5.9	10.2	704	1.4	14.4	0.5	2.3
jun	14.1	29.5	1.4	10.5	17.6	5.5	9.1	657	1.9	18.9	1.0	2.7
jul	17.4	32.2	5.4	13.6	21.2	6.1	10.6	598	1.4	12.2	0.7	2.1
aug	-	-	-	-	-	-	-	374	1.7	19.7	1.0	2.3
sep	11.5	22.0	0.6	9.5	13.5	2.1	3.5	265	1.5	12.9	1.0	2.1

* Luftens partiella vattenångtrycksdeficit anges som kPa.

** Ljus anges som fotosyntetiskt aktivt ljus ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Vid klart väder när solen står som högst mitt i sommaren är maximalt värde ca $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

*** Vindhastighet anges som m/s.

Tabell 7. Meteorologiska data ifrån Östad 2008. Vindriktning dagtid, 9 m över marknivå.

	Vindriktning (antal timmar inom vindsektorer *)							
	0 - 45	45 - 90	90 - 135	135 - 180	180-225	225 - 270	270 -315	315-360
apr – sep	972	172	162	617	1139	526	115	179
apr	196	38	42	135	158	43	10	16
maj	141	27	29	118	113	121	45	48
jun	74	35	20	101	242	158	20	12
jul	144	33	27	107	202	87	19	24
aug	113	17	23	91	255	85	11	60
sep	304	22	21	65	169	32	10	19

* gradtal utav max 360 grader, beräknat endast för dagtid (08:00 – 19:59, svensk normaltid)

8 Tidstrender för ozonförekomst och meteorologi vid Östads Säteri och Råö/Rörvik

Eftersom mellanårsvariationen vad gäller ozonförekomst är mycket stor kan tidstrender endast analyseras för långa tidsserier. Kompletta tidsserier (19 år, 1990-2008) som inkluderar hela sommarhalvåret finns endast för Råö/Rörvik. För enskilda månader finns dock långa tidsserier även för Östads Säteri. De månader då det finns mest ozondata från Östads Säteri är juni, juli, augusti samt september. Därför analyseras tidstrender för dessa månader.

8.1 Trender för ozonindex vid Östads Säteri och Råö/Rörvik

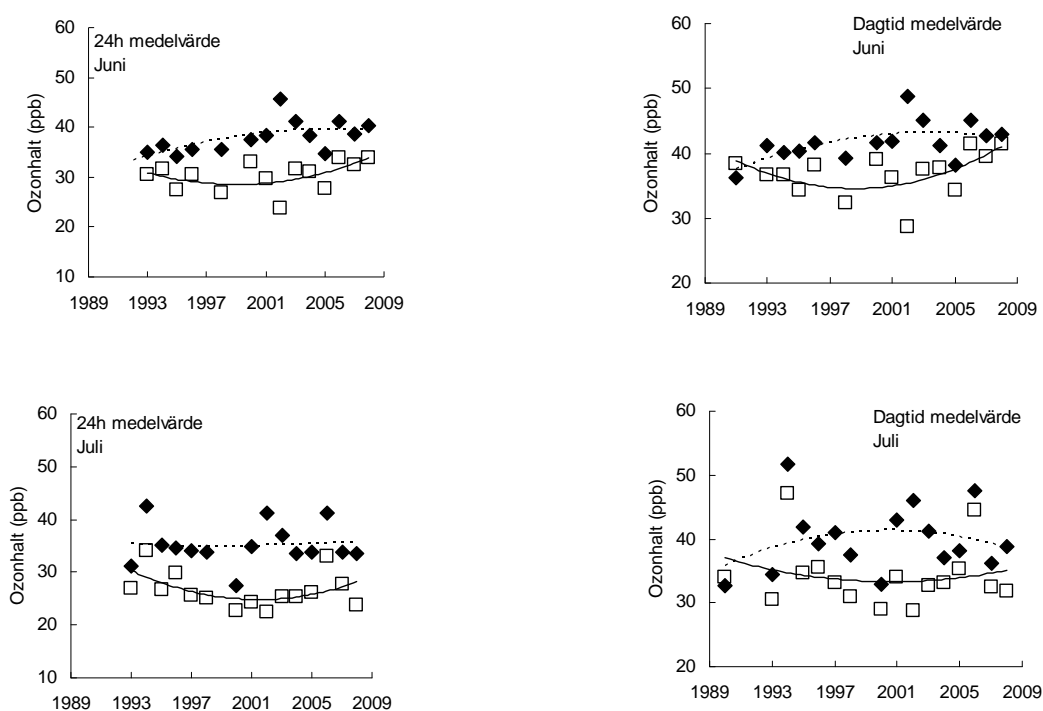
Medelvärdena för ozonhalter vid Råö under perioden 1 april – 30 september, beräknade dygnet runt, visar en uppåtgående tendens för perioden 1990-2008 (Figur 5). Uppgången ligger på ca $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen, men är i nuläget inte statistiskt signifikant. Motsvarande tillgängliga periodvärden för Östads Säteri och Prestebakke visas i Figur 4, men dessa mätserier är av mindre omfattning. De maximala 8-timmars- och 1-timmesmedelvärdena för Rörvik/Råö visar signifikant minskande trender (Figur 5). Minskningen ligger på $1,6$ och $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen för 8-timmars- respektive 1-timmesmedelvärden.

Det finns två förändringar i den storskaliga ozonbildningen som påverkar ozonförekomsten i Sverige. Dels minskar de korta perioderna med mycket höga ozonhalter orsakade av långväga, sammanhållna transport av ozonbildande ämnen från starkt förorenade områden i centrala och södra Europa. Dels ökar bakgrundnivån av ozon beroende på en ökad betydelse av global transport av ozonbildande ämnen över hela norra halvklotet. Dessa förändringar påverkar ozonförekomsten i Sverige i olika riktningar. En ökning av ozonförekomsten i bakgrundsluft beräknad som medelvärden över långa tidsperioder har påvisats för Atlantiska vindar på Irlands västkust (Derwent m.fl., 2007) samt i norra Sverige (Karlsson m.fl., 2007c).

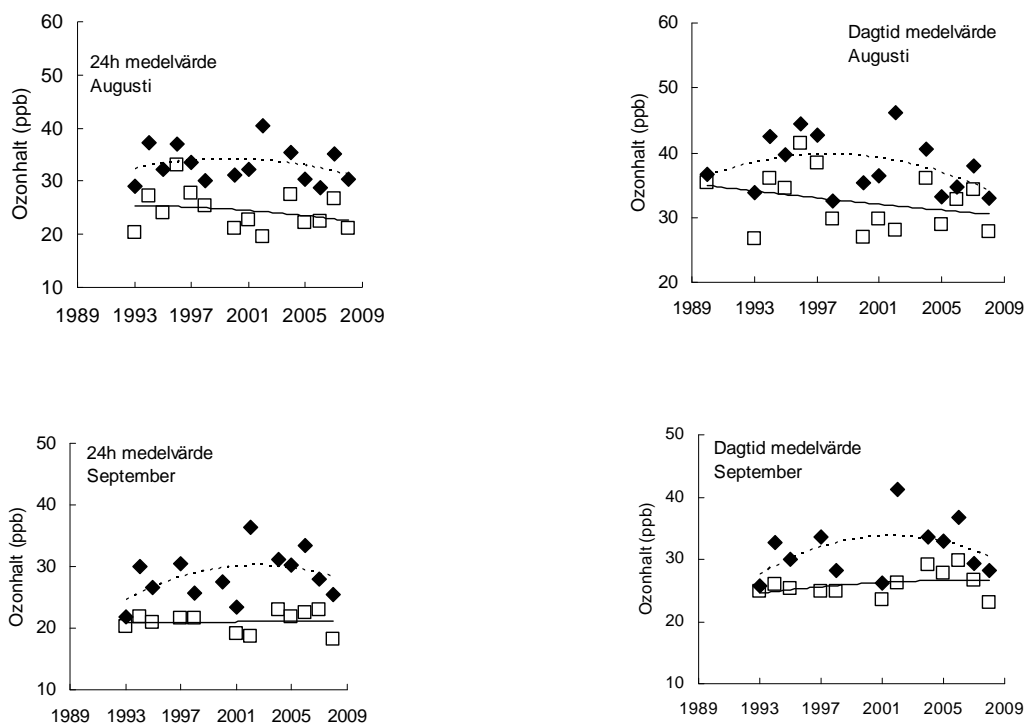
Periodmedelvärden för ozonhalter vid Råö/Rörvik under sommaren visar en uppåtgående tendens med ca $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen mellan åren 1990 och 2008. De maximala 8-timmars- och 1-timmesmedelvärdena för Rörvik/Råö visar signifikant minskande trender, $1,6$ och $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen för 8-timmars- respektive 1-timmesmedelvärden.

8.2 Divergerande månadsmedelvärden vid Östad Säteri och vid Råö

Månadsmedelvärdena för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö, beräknade dygnet runt samt dagtid (Figur 9 och 10), uppvisade i flera fall divergerande trender under slutet av 1990-talet och början av 2000-talet. Vid Råö tenderade halterna att öka, medan de tenderade till att minska vid Östads Säteri. Under 2000-talet har dock denna divergerande trend avstannat och reverserat.



Figur 9. Månadsmedelvärden för ozonkoncentrationer vid Östads Säteri (ofyllda kvadrater) och Råö (svarta romber) fram t.o.m. 2008, uppmätta med ozoninstrument på timbasis, för juni och juli. Figurerna i vänstra kolumnen anger ozonmedelkoncentrationer dygnet runt medan högra kolumnen anger medelkoncentrationer dagtid (kl 08-20). Angivna linjer är trendlinjer för Råö (streckat) och för Östad (heldraget). Trendlinjer har baserats på polynomfunktioner för att möjliggöra eventuella ickelinjära relationer. Endast månader och år med data för både Östad och Råö är medtagna.

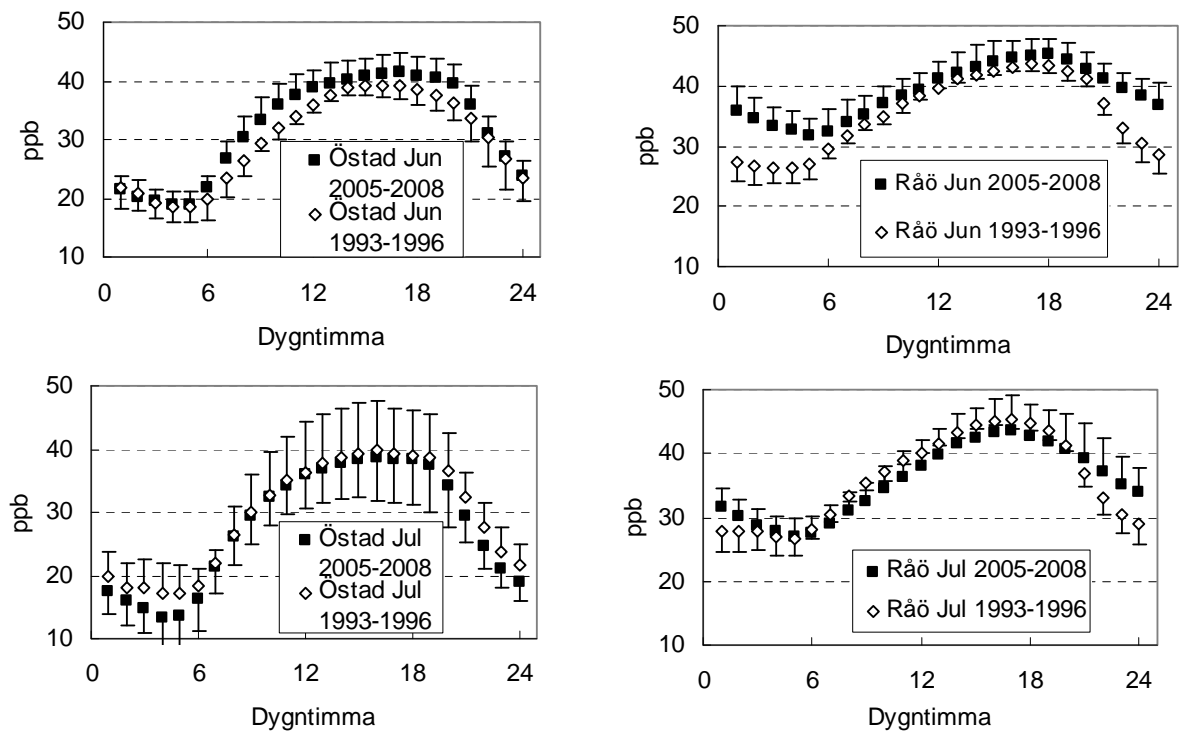


Figur 10. Månadsmedelvärden för ozonkoncentrationer vid Östads Säteri (ofyllda kvadrater) och Råö (svarta romber) fram t.o.m. 2008, uppmätta med ozoninstrument på timbasis, för augusti och september. Figurerna i vänstra kolumnen anger ozonmedelkoncentrationer dygnet runt medan högra kolumnen anger medelkoncentrationer dagtid (kl 08-20). Angivna linjer är trendlinjer för Råö (streckat) och för Östads (heldraget). Trendlinjer har baserats på polynomfunktioner för att möjliggöra eventuella icke-linjära relationer. Endast månader och år med data för både Östads och Råö är medtagna.

Den tidigare ökande skillnaden i månadsmedelvärden för ozonhalter mellan Östads Säteri och Råö/Rörvik har under 2000-talet reverserat.

8.3 Förändrad ozonförekomst analyserad som månadsmedelvärden på timbasis vid Östads Säteri och Råö

För att erhålla mer information om förändringarna i ozonförekomst vid respektive Östads Säteri och Råö, har vi analyserat ozonhalterna per månad uppdelat på olika dygnstimmar, Figur 11 och 12. Vi har analyserat två perioder med relativt god datatäckning vid båda platserna, med tolv års mellanrum, perioderna 1993-1996 samt 2005-2008. Analysen gjordes för månaderna juni - september och datatäckningen var acceptabel för alla månader förutom för Östads september 1996. Data för denna månad har uteslutits för båda platserna.



Figur 11. Månadsmedelvärden uppdelat per dygnstimma för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för juni och juli. Analyserna är uppdelade på två perioder med tolv års mellanrum, 1993-1996 och 2005-2008. I figurerna presenteras således medelvärden för vardera perioden. Spridningsmåttet visar standardavvikelsen mellan åren som ingår i respektive period.

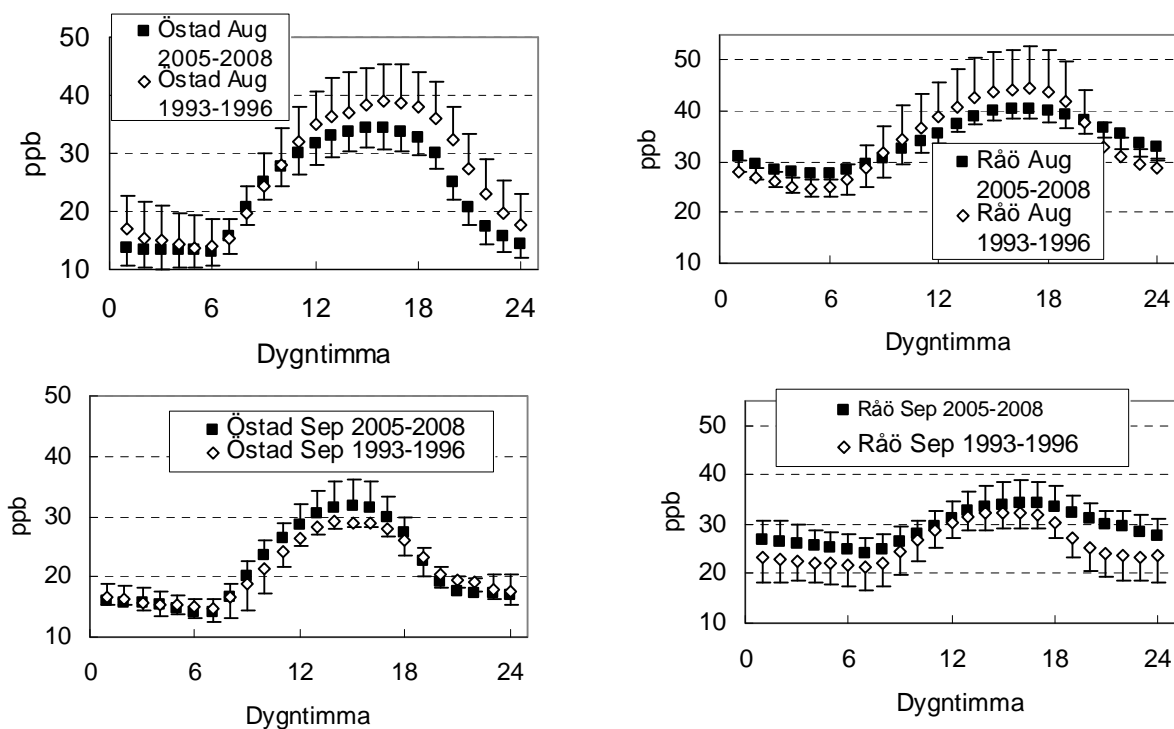


Figure 12. Månadsmedelvärden uppdelat per dygnstimma för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för augusti och september. Analyserna är uppdelade på två perioder med tolv års mellanrum, 1993-1996 och 2005-2008. För Östads säteri fanns inte månadsmedelvärde för ozonhalt för september 1996. Året 1996 har därför inte medtagits för medelvärdes bildningen för den tidiga perioden varken för Östads Säteri eller för Råö. I figurerna presenteras således medelvärden för respektive period. Spridningsmåttan visar standardavvikelsen mellan åren som ingår i respektive period.

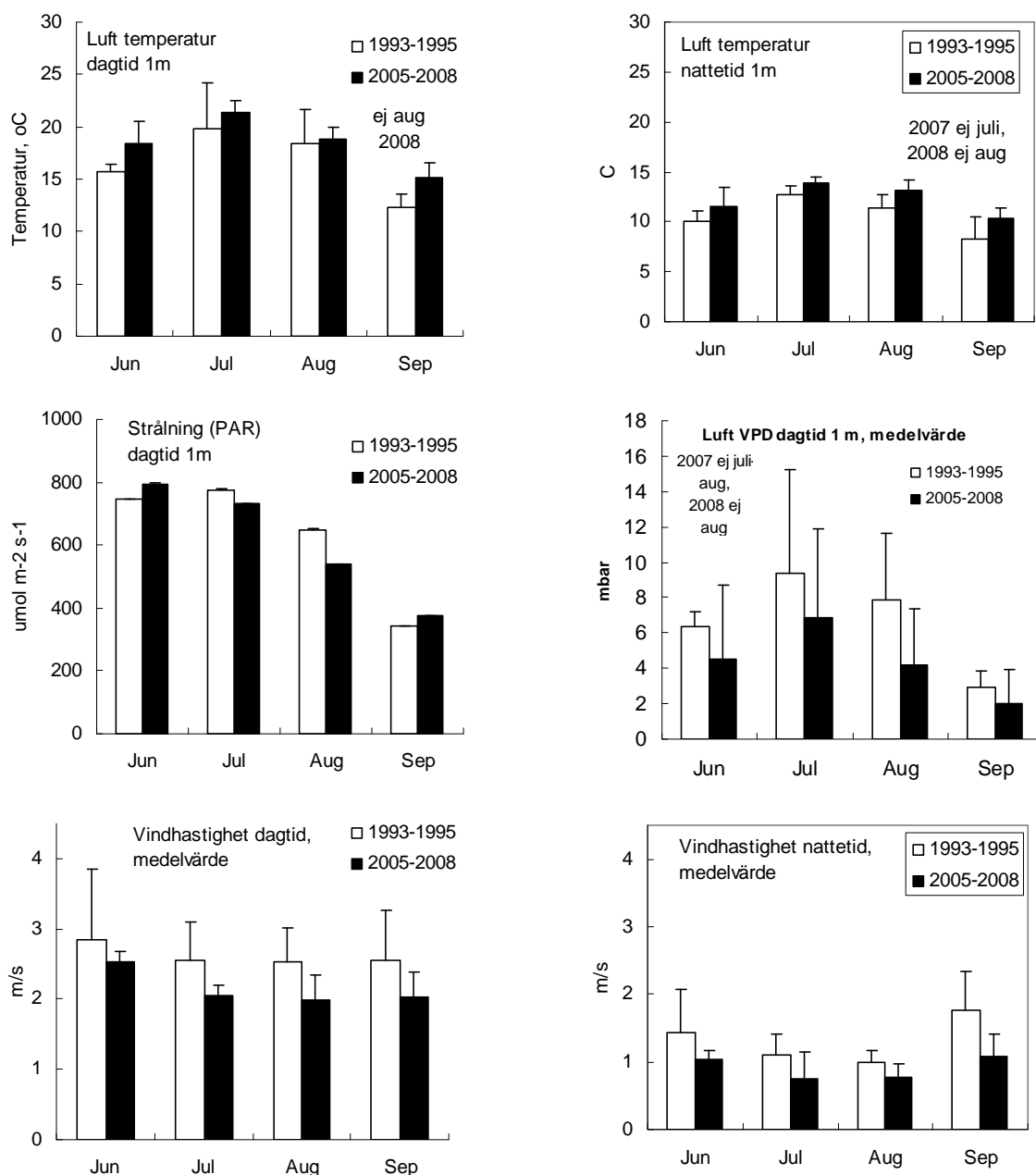
Analyserna av timvärden tyder på att tendensen till ökande periodmedelvärdena för ozonhalter dygnet runt vid Råö under sommarhalvåret (Figur 5) främst beror på ökning av ozonhalter nattetid, i synnerhet under juni och september. Ingen liknande tendens syns vid Östads Säteri för dessa månader. Vid Östads Säteri finns en minskning av ozonhalterna på eftermiddagen/kvällen under augusti, vilket kan ha ett samband med att denna månad har haft relativt dåligt väder under senare år. En tidigare detekterad ökning av ozonhalterna dagtid vid Östads Säteri under september har nu blivit mindre tydligt, eftersom ozonhalterna under september 2008 var relativt låga (Figur 4). En viss ökning av ozonhalterna dagtid vid Östads Säteri indikeras dock fortfarande både för månaderna juni och september.

Den flytt av mätstationen som ägde rum 2002-01-01 från Rörvik till Råö introducerade en osäkerhet vad gäller trendanalyser för Rörvik/Råö. Betydelsen av detta återstår att utvärdera.

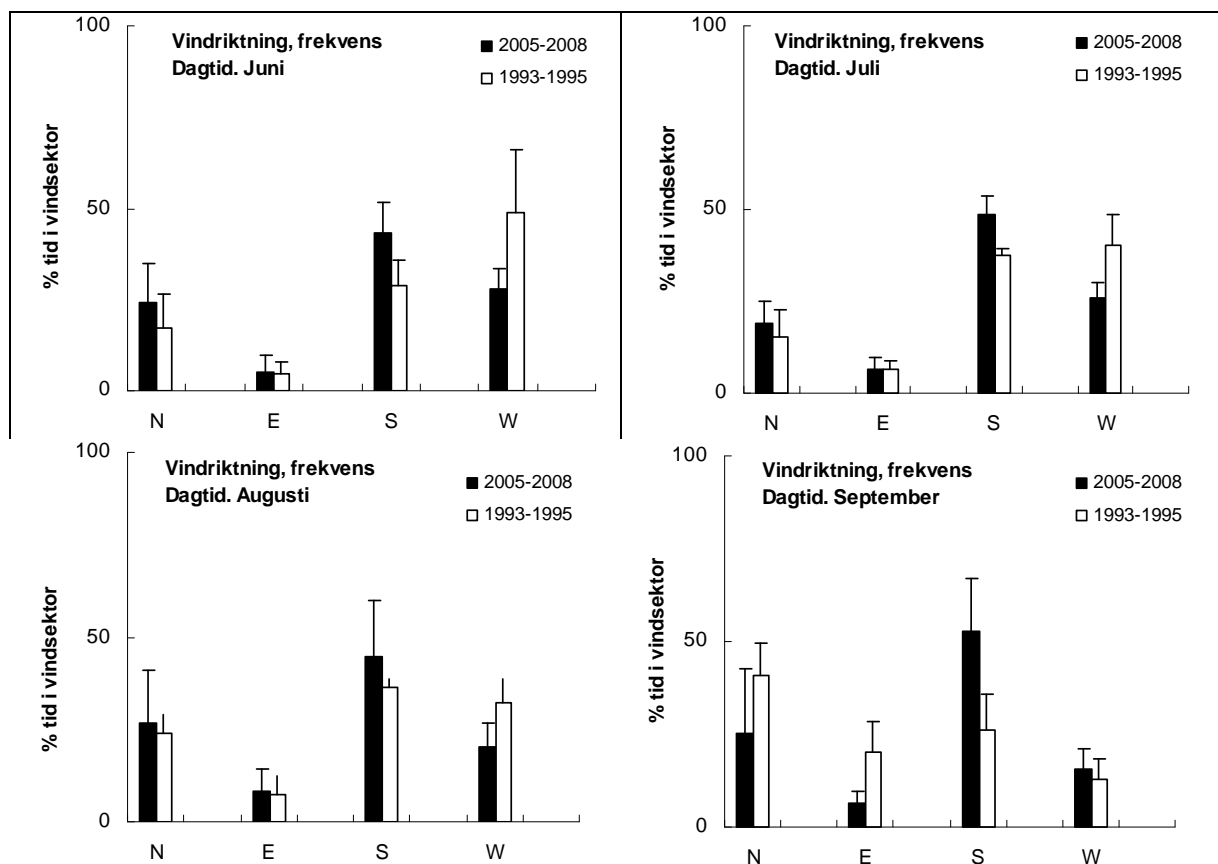
Vid en jämförelse av två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2005-2008, är det tydligt att ozonhalterna nattetid har ökat vid Råö/Rörvik framför allt under juni och september.

8.4 Förändrad meteorologi vid Östads Säteri

Månadsvisa medelvärden för olika meteorologiska parametrar för de två perioderna 1993-1995 och 2005-2008 visas för Östads Säteri i figurerna 13 och 14.



Figur 13. En sammanställning av olika meteorologiska data från Östads Säteri, uppmätta över öppet fält under två perioder, 1993-1995 och 2005-2008. Först beräknades månadsmedelvärden för respektive år varefter medelvärden bildades för de år som ingick i respektive period. Spridningsmått visar standardavvikelsen för medelvärdet över alla år inom respektive period. Vindhastigheten mättes 9 m över mark, övriga parametrar 1 m över mark. Med VPD menas luftens ångtrycksdeficit och högre värden indikerar torrare luft.



Figur 14. En sammanställning av vindriktningsdata från Östads Säteri, uppmätta över öppet fält under två perioder, 1993-1995 och 2005-2008. Y-axeln visar % av den totala tiden dagtid, då vindriktningen befunnit sig inom respektive vindsektor. Först beräknades månadsmedelvärden för respektive år varefter medelvärden bildades för de år som ingick i respektive period. Observera att det kan ha förekommit tid en vindstilla förhållanden då värden på vindriktning exkluderats. Det totala antalet timmar kan ha varit något olika mellan perioderna. Spridningsmåttan visar standardavvikelsen för medelvärdet över alla år inom respektive period. N, nordlig 315-45 grader. Ö, östlig 45-135 grader. S, sydlig 135-225 grader. V, västlig 225-315 grader.

Lufttemperaturerna som månadsmedelvärden förefaller ha ökat mellan tidsperioderna, för alla månader och både dag- och nattetid. Tydligast är ökningen för juni och september. Strålningen har minskat för juli och augusti men ökat något för juni och september. Luftfuktigheten tenderar till att ha ökat (dvs. VPD minskat) men variationen är stor. Vindhastigheterna har minskat för alla månader både dag och nattetid. Vindriktningen dagtid vid Östads Säteri har förändrats från västlig till en mer sydlig dominans. Sammanfattningsvis, finns det flera indikationer på en förändring av vädret mellan de två tidsperioderna, med högre temperatur men också ökad luftfuktighet, mer molnighet och mindre blåsigt. Vindriktningen har övergått till mer sydliga vindar. De studerade tidsperioderna är dock korta ur ett meteorologiskt perspektiv och fortsatta mätningar kommer att ge svar på om förändringarna består.

Vid en jämförelse av meteorologin vid Östads Säteri mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2005-2008, framträder en förändring av klimatet med högre lufttemperaturer men också ökad luftfuktighet, lägre solstrålning och mindre blåsigt. Vindriktningen har övergått från västlig till mer sydliga vindar.

8.5 Sambanden mellan dygnsvariationer i ozonhalter och lufttemperaturer vid Östads Säteri och Råö

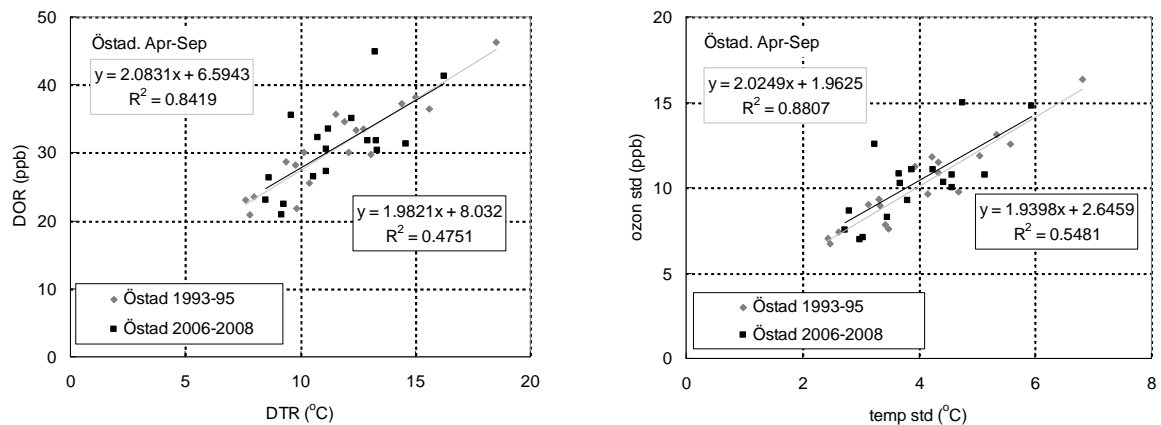
En ny metodik har tagits fram för att uppskatta ozonförekomsten som AOT40 genom att använda långtidsmedelvärden för ozonkoncentrationer, t ex mätt över längre tidsperioder med diffusionsprovtagare, kombinerat med information om ozonhaltens variabilitet (Piikki m.fl., 2008a). Man kan här utnyttja att det finns en samvariation mellan temperaturens och ozonhaltens dygnsvariationer. Denna metodik har nyligen lanserats inom ett nytt nätverk för ozonmätningar i södra Sverige (Piikki m.fl., 2008b).

De långa mätserierna med parallella, timvisa mätningar av ozonhalter och lufttemperatur vid Östads säteri ger en möjlighet att ytterligare testa sambanden mellan dygnsvisa variationer i ozonhalter och lufttemperatur. Dessutom har vi nu för första gången tillgång till mätningar av lufttemperatur på timbasis från mätstationen vid Råö. Mätningar av lufttemperatur och fuktighet gjordes med givare av fabrikat ”TinyTags”, placerade i passiva strålningskydd (för metodik, se Piikki m.fl., 2008b) på taket till mätboden vid Råö, där även ozonmätningarna sker. Temperatur- och luftfuktighetsmätningarna vid Råö genomfördes under maj-september 2008.

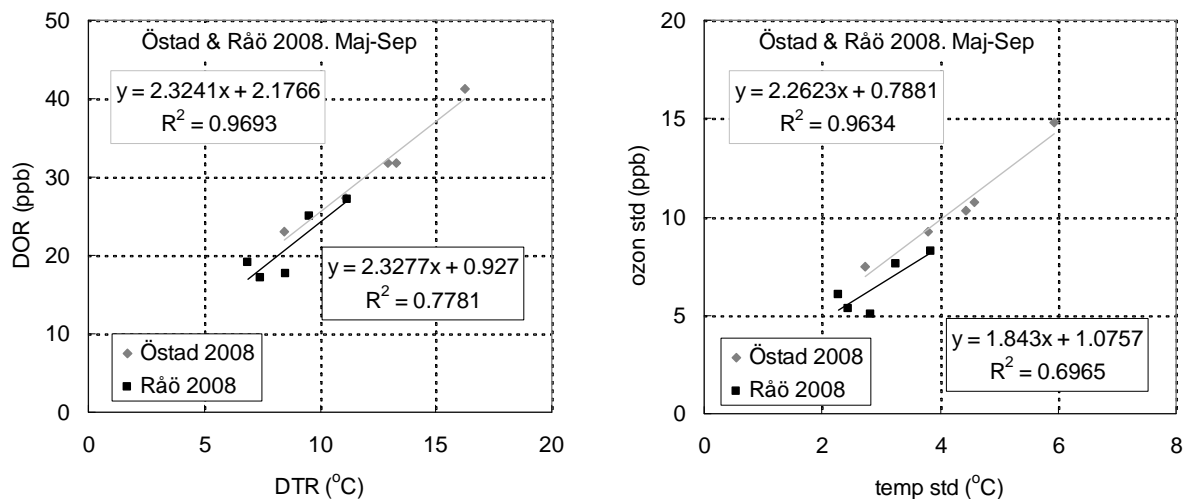
I en första analys gjordes månadsvisa beräkningar av de dygnsvisa variationerna i ozonhalter och lufttemperaturer för perioderna april-september 1993-1995 och april-september 2006-2008. Såsom föreslagits i Piikki m.fl., 2008a uttrycktes variationerna på två olika sätt. Dels uttrycktes variationerna som ”Diurnal Ozone Range” (DOR) och ”Diurnal Temperature Range” (DTR), dvs. dygnsvisa differenser mellan maximala och minimala värden för ozonhalt och lufttemperatur. Månadsvisa medelvärden gjordes sedan för dessa dygnsvärden. Den andra metoden var att uttrycka variationen som standardavvikelsen (std) för alla timvärden för ozonhalt respektive lufttemperatur inom ett dygn och att sedan göra månadsvisa medelvärden för detta.

Det framgår av Figur 15 att relationerna mellan ozonvariation och temperaturvariation vid Östad inte förändrats mellan de två tidsperioderna. Variationen är större för perioden 2006-2008 men det beror i huvudsak på två värden från juli och augusti 2006. Sommaren 2006 var luftföroreningssituationen över norra Europa starkt påverkad av förorenad luft från mycket stora skogsbränder i Ryssland med kringliggande länder och gränsvärdet över vilken allmänheten skall informeras överskreds i juli både vid Råö och på Femmanhusets tak i centrala Göteborg, vilket är mycket ovanligt.

En jämförelse av sambandet mellan ozon- och temperaturvariation mellan Östad och Råö 2008 (Figur 16), visar att sambanden i stort är de samma mellan de båda platserna. Det var ett något större överlapp mellan de båda platserna när DOR och DTR användes. Sambandet vad gäller Råö var något sämre när standardavvikelse användes.



Figur 15. Sambanden mellan de dygnvisa variationerna i ozonhalter och lufttemperatur vid Östads säteri för två olika perioder apr-sept 1993-1995 och apr-sept 2006-2008. Månadsvisa analyser, baserade på timvisa mätningar. I vänstra figuren beskrivs variationerna som ”diurnal ozone range”, dvs skillnaderna dygnsvi mellan maximum och minimum av ozonhalter uttryckt som ett månadsmedelvärde, samt som motsvarande ”diurnal temperature range”, dvs skillnaden i maximal och minimal lufttemperatur dygnsvi, sammanräknat som ett månadsmedelvärde. I högre figuren uttrycks istället den dygnsva variationen i ozonhalter och lufttemperatur som en standardavvikelse (std) räknat över dygnets 24 timvärden och sedan räknat som ett månadsmedelvärde. Svarta symboler representerar värden för perioden 2006-2008 (statistik inom box avgränsad med svart linje), grå symboler värden för perioden 1993-1995 (statistik inom box avgränsad med grå linje). En ppb motsvarar ca $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 16. Sambanden mellan de dygnsva variationerna i ozonhalter och lufttemperatur vid Östads säteri och Råö under perioden maj-sept 2008. Månadsvisa analyser, baserade på timvisa mätningar. I vänstra figuren beskrivs variationerna som ”diurnal ozone range”, dvs skillnaderna dygnsvi mellan maximum och minimum av ozonhalter uttryckt som ett månadsmedelvärde, samt som motsvarande ”diurnal temperature range”, dvs skillnaden i maximal och minimal lufttemperatur dygnsvi, sammanräknat som ett månadsmedelvärde. I högre figuren uttrycks istället den dygnsva variationen i ozonhalter och lufttemperatur som en standardavvikelse (std) räknat över dygnet 24 timvärden och sedan räknat som ett månadsmedelvärde. Svarta symboler representerar värden för Råö, grå symboler värden för Östads Säteri. Information för trendlinjer ger för Råö i box omgärdad av svart linje medan för Östads säteri i box med grå linje. En ppb motsvarar ca $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sambanden mellan den dygnsvisa variationen i ozonhalter och lufttemperaturer visade sig vara desamma vid Östads Säteri vid en jämförelse mellan perioderna 1993-1995 och 2006-2008. Sambanden var också liknande vid en jämförelse mellan Östads Säteri och Råö för 2008. Detta visar att metoden att utnyttja samvariationen i ozonhalter och lufttemperaturer är robust.

8.6 Diskussion kring ozonförekomsten vid Östads Säteri respektive Råö

8.6.1 Tidigare hypoteser

I tidigare års rapporter (Karlsson, 2006, Karlsson & Pihl Karlsson, 2007, Karlsson m.fl. 2008) har olika hypoteser föreslagits för att förklara de olika förändringarna av ozonförekomsten vid Råö/Rörvik och Östads Säteri sedan första hälften av 90-talet. En hypotes var att skillnaderna i ozonhalter mellan Råö och Östads Säteri beror av två processer; dels en ökad deposition mot marken allt eftersom luftmassorna rör sig från havet in över land och dels en nybildning av ozon beroende på emissioner av ozonbildande ämnen från Göteborgsområdet. Tanken var att emissionerna av ozonbildande ämnen skulle ha minskat under perioden. Eftersom skillnaderna mellan Östads Säteri och Råö nu i stor utsträckning utjämnats är denna hypotes inte längre lika relevant. Det återstår dock fortfarande att förklara varför den transienta skillnaden i ozonutvecklingen mellan Östad och Råö uppstod och varför den reverserade. En möjlighet är att emissionerna av ozonbildande ämnen från Göteborgsområdet återigen har ökat.

8.6.2 Faktorer som styr ozonförekomsten i landsbygdsmiljön i västra Sverige

Lokala utsläpp av ozonbildande ämnen från Göteborgsregionen kan ge upphov till en viss lokal ozonbildning, som dock är förhållandevis liten (Langner m.fl, 2004). Enligt miljöförvaltningens miljörapport för 2004 har utsläppen av VOC i Göteborg minskat från ca 21 000 ton/år 1992 till 13 600 ton/år 2004. När det gäller utsläpp av NO_x anger miljöförvaltningen att utsläppen 1992 var 16 000 ton/år medan de 2004 var nere i 9 500 ton/år. Emissionerna av ozonbildande ämnen från Göteborgsområdet har alltså minskat med ca en tredjedel under perioden. Med de osäkerheter som finns, kan man konstatera att beräknad minskad ozonförekomst genom minskningarna av emissioner i Göteborgsområdet (Langner m.fl, 2004) ligger i samma storleksordning som de förändringar som indikeras utifrån våra mätningar av ozonhalterna vid Östads Säteri under slutet av 1990- och början av 2000-talet (Figur 9 och 10). Efter början av 2000-talet har dock ozonhalterna dagtid vid Östads Säteri återigen börjat öka.

Den viktigaste faktorn för ozonförekomsten i Västra Götaland är den långväga transporten av ozon och ozonbildande ämnen. Skillnaderna i ozonförekomst vid Råö och Östads Säteri påverkas av storleken på depositionen av ozon mot växtligheten och marken när luften rör sig in över land samt av storleken på den lokala ozonbildningen. En ytterligare komplikation är att det lokala vädret vid platsen för ozonmätningarna har stor betydelse, framförallt för ozonhalterna nattetid i samband med förekomsten av nattliga temperaturinversioner.

Meteorologin är mycket viktig för ozonförekomsten vid Östads Säteri, där nattliga temperaturinversioner är vanliga sommartid. Vi kan genom våra analyser av meteorologin vid Östads Säteri konstatera vissa skillnader i klimatet vid Östads Säteri mellan två tidsperioder med 12 års mellanrum, 1993-1995 respektive 2005-2008. Klimatet har förändrats mot högre lufttemperatur men också ökad luftfuktighet, mer molnighet och lägre genomsnittliga vindhastigheter. Vindriktningen har övergått från västlig dominans till mer sydliga vindar. Det är intressant att de tydligaste ökningarna av ozonhalter dagtid vid Östads Säteri gäller för månaderna juni och september, vilket också är de månader då de största meteorologiska förändringarna framträder. De klimatförändringar som framträder vid Östads Säteri skulle kunna indikera ett mindre utpräglat inlandsklimat och mer av ett kustklimat.

8.7 Sammanfattande slutsatser vad gäller tidstrender för ozonförekomsten vid Östads Säteri och Råö/Rörvik

- **Periodmedelvärden för ozonhalter vid Råö/Rörvik under sommaren dygnet runt visar en uppåtgående tendens under perioden 1990-2008.**
- **En tidigare ökande skillnad i månadsmedelvärden för ozonhalter mellan Östads säteri och Råö/Rörvik har under 2000-talet reverserat och blivit mindre.**
- **En analys av ozonhalter på timbasis mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2005-2008, visar att ozonhalterna nattetid har ökat vid Råö/Rörvik. Vid Östads Säteri finns en viss ökning av ozonhalterna dagtid under månaderna juni och september.**
- **En jämförelse av meteorologin mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2005-2008, för Östads Säteri tyder ökande lufttemperaturer och luftfuktighet, minskande instrålning och minskande vindhastigheter samt en förändrad vindriktning mot mer sydlig dominans.**

9 Referenser

- Andersson, C., Langner, J. and Bergström, R., 2007. Inter-annual variation and trends in air pollution over Europe due to climate variability during 1958-2001 simulated with a regional CTM coupled to the ERA40 reanalysis. *Tellus* 59B: 77-98.
- Derwent, R.G., Stevenson, D.S., Collins, W.J., Johnson, C.E. 2004. Intercontinental transport and the origins of the ozone observed at the surface in Europe. *Atmospheric Environment* 38, 1891-1901.

- Derwent, R.G., Simmonds, P.G., Manning, A.J., Spain, T.G. 2007. Trends over a 20-year period 1987 – 2007 in surface ozone concentrations at the atmospheric research station, Mace Head, Ireland. *Atmospheric Environment* 41, 9091 – 9098.
- Gauss, M., Nyiri, A., Klein, H. 2008. Transboundary air pollution by main pollutants (S,N,O₃) and PM. The European Community. EMEP MSC-W Data Note 1/2008. ISSN 1890-0003.
- Karlsson, P.E., 2006. Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2005. Länsstyrelsen i Västra Götalands Län. Rapport 2004:27.
- Karlsson P-E., Pihl Karlsson, G. 2007. Marknära ozon och meteorologi vid Östads säteri 2006. För Länsstyrelsen i Västra Götaland - IVL rapport U1990
- Karlsson P-E., Pihl-Karlsson G., Pleijel H., Sundberg, J. 2007a. Mätningar av ozon nära marken i landsbygdsmiljö i Västra Götalands län. IVL Rapport U 2063.
- Karlsson P-E., Pihl-Karlsson G., Pleijel H., Sundberg, J. 2007b. En bedömning av ozonbelastningen i landsbygdsmiljön i Västra Götalands län IVL Rapport U 2064.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H., Danielsson, H., 2004. Marknära ozon, SO₂, NO₂ och sot vid Östads Säteri 1987-2003. IVL Rapport/report B1556.
- Karlsson, P.E., Tang, L., Sundberg, J., Chen, D., Lindskog, A. and Pleijel, H. 2007c. Increasing risk for negative ozone impacts on vegetation in northern Sweden. *Environmental Pollution* 150, 96-106.
- Karlsson P-E., Pihl Karlsson, G, Chen, D. 2008. Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2007. För Länsstyrelsen i Västra Götaland - IVL rapport U 2306.
- Langner, J., Bergström, R., Klein, T. och Skagerström, M. 2004. Nuläge och scenarier för inverkan på marknära ozon av emissioner från Västra Götalands län. SMHI. Meteorologi, Nr. 117, 2004.
- Piikki, K., Karlsson, P.E., Klingberg, J., Pihl Karlsson, G., Pleijel, H. 2008a. Mätningar av marknära ozon och meteorologi vid kustnära och urbana miljöer i Halland, Skåne och Västra Götalands län. Rapport till Länsstyrelsen i Västra Götalands län.
- Piikki K., Karlsson P. E., Pihl Karlsson G., Klingberg J., Pleijel H. 2008b. Mätprogram för marknära ozon i bakgrundsmiljön i södra Sverige med hänsyn till ozonets variation i landskapet. Rapport till Länsstyrelsen i Västra Götalands län.
- Tang, L., Chen, D., Karlsson, P.E., Gu, Y., and Ou, T. 2008. Synoptic circulation and its influence on spring and summer surface ozone concentrations in southern Sweden. *Boreal Environment Research*, in press (Dec 2008).



LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN