

Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2007

För Länsstyrelsen i Västra Götaland,
Miljöskydds enheten och Naturvårdsverket

Per Erik Karlsson
Docent

Gunilla Pihl Karlsson
Fil Dr

Deliang Chen
Professor

2008-05-28

Arkivnummer: U2306

Rapporten godkänd:
2008-01-31



John Munthe
Avdelningschef



LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN
Rapport 2008:61

IVL Svenska
Miljöinstitutet

Box 21060, SE-100 31 Stockholm
Valhallavägen 81, Stockholm
Tel: +46 (0)8 598 563 00
Fax: +46(0)8 598 563 90
www.ivl.se

Box 5302, SE-400 14 Göteborg
Aschebergsgatan 44, Göteborg
Tel: +46 (0)31 725 62 00
Fax: + 46 (0)31 725 62 90

Innehållsförteckning

FÖRORD	4
SAMMANFATTNING	4
1. INLEDNING	6
2. BAKGRUND	6
2.1. Ozonets bildning och verkan	6
2.2. Faktorer som styr förekomsten av ozon nära marken	6
3. SYFTE	9
4. BESKRIVNING AV FÄLTSTATIONEN VID ÖSTADS SÄTERI	9
5. TEKNISK BESKRIVNING AV MÄTNINGARNA	10
5.1 Nationella miljömål för ozon	12
5.2 Nationella miljö kvalitetsnormer för ozon	12
6. OZONHALTER VID ÖSTADS SÄTERI 2007	14
6.1. Generellt om ozonförekomsten vid Östads Säteri och Råö 2007	19
6.2. Beräknade ozonindex främst avsedda för att uppskatta inverkan på människors hälsa	19
6.3. Beräknade ozonindex främst avsedda för att uppskatta inverkan på växtligheten	19
6.4. Slutsatser	20
7. METEOROLOGISKA MÄTNINGAR VID ÖSTADS SÄTERI 2007	20
8. TIDSTRENDER FÖR OZONFÖREKOMST OCH METEOROLOGI VID ÖSTADS SÄTERI OCH RÅÖ/RÖRVIK	21
8.1. Trender för periodmedelvärden vid Östads Säteri och Råö/Rörvik	22
8.2. Divergerande månadsmedelvärden vid Östads Säteri och Råö	24
8.3. En analys av månadsmedelvärden för ozonhalter på timbasis vid Östads Säteri och Råö	25

8.4.	En analys av meteorologiska parametrar vid Östads Säteri och Säve för två olika tidsperioder	27
8.5.	Förklaringar till de olika trenderna vad gäller ozonförekomst vid Östads Säteri respektive Råö	33
8.5.1.	Tidigare hypoteser	33
8.5.2.	Modifieringar utifrån årets resultat	33
8.5.3.	Faktorer som styr ozonförekomsten i landsbygds miljön i västra Sverige	34
8.5.4.	Minskande utsläpp av ozonbildande ämnen från Göteborgsregionen och dess betydelse för ozonförekomsten vid Östads säteri	34
8.5.5.	En förändrad klimatologi vid Östads Säteri respektive Råö/Rörvik	35
8.5.6.	Betydelsen av flyttningen av mätstationen från Rörvik till Råö	35
8.6.	Sammanfattande slutsatser vad gäller tidstrender för ozonförekomsten vid Östads Säteri och Råö/Rörvik	37
9.	REFERENSER	37

Förord

IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Göteborgs Universitet har under olika perioder sedan 1990 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 2007 finansierades verksamheten av Länsstyrelsen i Västra Götaland (diarienummer 502-40861-2007) och Naturvårdsverket (avtal 501 0708).

Sammanfattning

I denna rapport redovisas mätningarna av ozonhalter och meteorologi vid Östads Säteri för perioden 1 april – 30 september 2007. Dessa mätningar har sammanställts och olika exponeringsindex och målvärden har beräknats, vilka är relevanta bl. a. för Sveriges nationella miljömål och miljö kvalitetsnormer. Förekomsten av ozon jämförs med den vid mätstationen Råö, belägen på Onsalahalvön söder om Göteborg. Trender sedan 1993 analyseras och diskuteras med avseende på förändrade emissioner av ozonbildande ämnen samt förändringar i klimatet.

Ozonbelastningen var under 2007, liksom tidigare år, lägre vid Östads Säteri jämfört med Råö. Vid Östads Säteri uppmättes ett maximalt åttatimmars medelvärde för ozonhalt som var strax under det målvärde som anges inom miljö kvalitetsnormen för ozon i utomhusluften och som gäller från 2010 till skydd för människors hälsa. Detta målvärde, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, överskreds klart vid Råö. Miljö kvalitetsnormen till skydd för växtligheten som gäller från 2020, AOT40 6 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, överskreds även den vid Råö men ej vid Östads Säteri. Periodmedelvärdet april – september vid Östads Säteri var fortsatt över det generationsmål som gäller inom miljömålet Frisk Luft, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Även det maximala timmedelvärdet överskred generationsmålet $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det målvärde som används inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar (LRTAP) för att skydda skogen, AOT40 dagtid 1 april – 30 september 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, överskreds ej vid Östads Säteri under 2007.

Periodmedelvärdena för ozonhalter vid Råö/Rörvik under sommaren visar en signifikant, uppåtgående trend med ca $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen. Motsvarande medelvärden för ozonhalter dagtid visar endast en mycket svag uppåtgående trend, $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen, medan medelvärdet för ozonhalter natttid visar en starkt uppåtgående trend, ca $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen. Vid en jämförelse av två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2003-2007, finns en tydlig ökning av ozonhalterna vid Östads Säteri under dagtid för månaden september.

Vid en jämförelse av meteorologin mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2004-2007, framträder en ökning av lufttemperaturen vid Östads Säteri för september, framförallt dagtid. Vindhastigheterna förefaller ha minskat, i synnerhet dagtid, för alla månader men även nattetid för september. Vindriktningen dagtid vid Östads Säteri har förändrats från nordlig till sydlig dominans. Vid Säve, som i viss mån kan representera kustklimatet, har lufttemperaturen ökat för september, både dag- och nattetid. Vindriktningen nattetid har för september förändrats från nordlig/ostlig till sydlig/västlig dominans.

1. Inledning

Sedan 1990 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).

Denna rapport redovisar mätningar av ozon och meteorologi vid Östads Säteri för perioden 1 april – 30 september 2007. 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

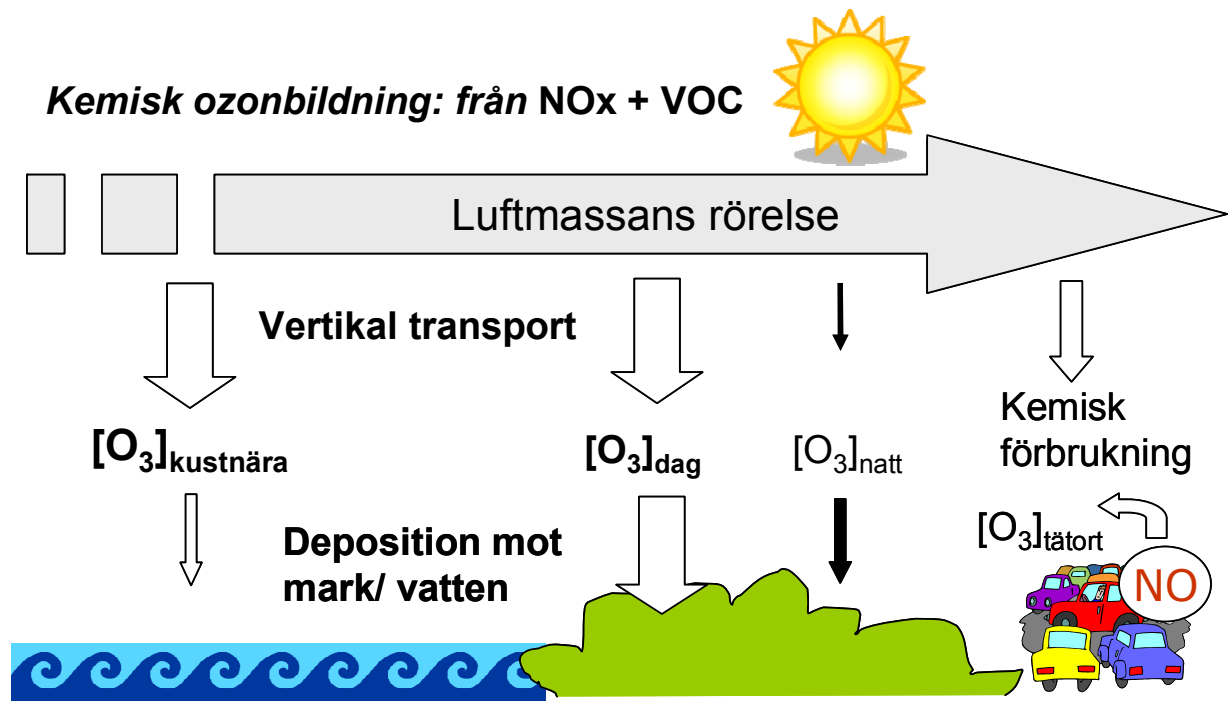
Ozon bildas nära marken genom en serie komplicerade kemiska reaktioner som drivs av energin från solljuset. De viktigaste utgångsämnen för ozonbildning är kväveoxider (NO_x) och flyktiga organiska kolväten (VOC). Ozon är ett starkt oxiderande ämne som i luften är skadligt både för människors hälsa och 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 landsbygdsmiljö 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 nedanstående punktlista. Några av processerna illustreras i Figur 1.

- Utsläpp av ozonbildande ämnen över Europa och över hela norra hemisfären
- 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 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



Figur 1. En förenklad illustration av några av de processer som är av betydelse för koncentrationerna av ozon nära marken. Illustrationen är inriktad på koncentrationerna av ozon nära marken i Västra Götalands kustland samt i inlandet, dag- och nattetid, under antagandet av en förhärskande västlig vindriktning. 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. Storleken på pilarna illustrerar hastigheten på transporter respektive deposition. Fyllda pilar gäller nattetid.

Ozonhalterna i luften nära marken i kustnära områden är vanligtvis relativt höga därför att nedtransporten av ozon från högre liggande luftlager är effektiv på grund av mycket vind, samtidigt som depositionen av ozon mot vattenytor 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 relativt höga. Nattetid minskar emellertid nedtransporten av ozon kraftigt i samband med lufttemperaturinversionen och medföljande stabilisering av luftlagren. Detta gäller i synnerhet topografiskt lågt liggande områden (Karlsson m. fl., 2007). Depositionshastigheten mot mark och växtlighet minskar även den, men inte i samma utsträckning. Resultatet kan bli att ozonhalterna 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 Europanivå är enligt EMEPs sammanställningar i minskande (Klein m. fl., 2004) 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). 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).

Vid en genomgång av förekommande mätningar av ozon på timbasis runt om i Sverige inom EMEP programmet samt i regi av IVL Svenska Miljöinstitutet (Östads Säteri) och Sveriges Lantbruksuniversitet (Asa Försökspark) formulerades hypotesen att mätlokaler för ozon i landsbygdsmiljö runt om i södra och mellersta Sverige kan indelas i tre olika kategorier, se Tabell 1 (Karlsson m.fl., 2004). Den lokala meteorologin påverkar depositionen av ozon mot mark och vatten, såväl som den vertikala transporten av ozon från högre liggande luftlager mot luftlagren närmast marken. Ozonhalterna i luften nära marken i kustnära områden är vanligtvis 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 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 i synnerhet vid högt belägna, vindutsatta platser, vilket gör att ozonhalterna förblir relativt höga. Nattetid minskar emellertid nedtransporten av ozon kraftigt i samband med lufttemperaturinversionen och medföljande stabilisering av luftlagren. Resultatet kan bli att ozonhalterna blir mycket låga nattetid för topografiskt lågt liggande platser i inlandet. Hypotesen om olika ozonförekomst vid olika kategorier av platser bekräftades i stort av resultaten från periodvisa mätningar av ozonhalter och meteorologi vid platser i landsbygdsmiljö runt om i Västra Götaland (Karlsson m. fl., 2007a). Hypotesen 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).

Benämning	Beskrivning	Ozonförekomst	Ingående mätlokaler
Kustnära	Mätlokaler som är belägna mycket nära kusten.	Frekventa överskridanden av målvärden	Rörvik/Råö, Aspvreten
Höglänta	Mätlokaler som är belägna utpräglat högt över angränsande landskap..	Frekventa överskridanden av målvärden	Vavihill, Norra Kvell
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 2007, 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 2007.
- Att uppskatta ozonbelastningen under år 2007 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. Beskrivning av fältstationen vid Östads Säteri

Östads Säteri är beläget ca 45 km nordost om Göteborg (57° 54' N, 12° 24' Ö, 62 m över havsnivån, Figur 2), 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.



© Bakgrundskartor Lantmäteriet, dnr 106-2004/188

Figur 2. Karta med mätlokalen vid Östads Säteri markerat med ett rött kryss.

5. 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 1.

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. Dessa mätningar beskrivs på IVLs hemsida, www.ivl.se. Observera att det skedde en flyttning av mätstationen vid Rörvik till Råö 2002-01-01.

Mätningarna av ozonhalter vid Prestebakke, strax innanför gränsen från Dalsland finansieras av Statens Forurensningstilsyn (SFT) i Norge och preliminära data för 2007 används med tillstånd från Tor Johannesen. Data för Prestebakke 2006 och 2007 har erhållits från NILU, Sverre Solberg och Wenche Ås.

Meteorologiska mätningar från Säve flygplats har erhållits från SMHI. Säve flygplats (nuvarande Göteborg City Airport) ligger i en flack landsbygdsmiljö på Hisingen norr om Göteborgs tätort. Lufttemperaturer och fuktighet mäts 1.5 m över mark. Meteorologiska data för Säve finns för varje timma 1993 samt för var tredje timma åren därefter. Detta har kompenserats för vad gäller beräkningar av frekvenser etc.

Tabell 1. En översikt över de mätsystem som använts vid Östads Säteri 2007.

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, 07-03-22 samt 07-10-24.
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, MP-100/ Hygroclip	Givare har varit 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 $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Behållaren har skyddats mot instrålning med hjälp av reflekterande aluminiumfolie. Fuktigheten har kalibrerats genom att givarna placerats i därför avsedda behållare. I behållaren placeras en duk som indränks med speciella saltlösningar. Behållare, duk samt saltlösningar avsedda för kalibreringar av just dessa givare köps från ROTRONIC AG. Den relativa fuktigheten kalibreras vid 80 och 35%. Ett byte av givare skedde 2007-08-16 från den gamla typen MP-100 till den nya Hygroclip.
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 nyligen inköpt 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 32 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.

En översikt över datatillgänglighet för ozon- och meteorologiska mätningar för perioden 1 april – 30 september 2007 visas i Tabell 2. Datatillgängligheten för meteorologiska mätningar exemplifieras med temperaturmätningarna. Datatillgängligheten var under året 100%-ig vad gäller ozonmätningarna. Tyvärr gick givarna för lufttemperatur och luftfuktighet sönder under juli-augusti. Eftersom den underkonsult som vi anlitar hade semesterstängt under denna period, blev det ett databortfall under en längre period. Databortfallet för lufttemperatur blev halva månaden juli medan det för luftfuktighet även inkluderade halva augusti. Dessa givare är nu ersatta med nya givare. På grund av databortfallet har värden för lufttemperatur uteslutits för månaden juli och för luftens ångtrycksdeficit även augusti.

Tabell 2. En översikt över datatillgänglighet vad gäller timvärden för ozon och temperaturmätningar under perioden 1 april – 30 september 2007.

	% saknade timvärden	
	Ozon	Lufttemperatur
apr - sep	0	8
apr	0	0
maj	0	0
jun	0	0
jul	0	49
aug	0	0
sep	0	1

5.1 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 3.

Tabell 3. Del- och generationsmål i det svenska miljömålsarbetet som f n gäller för marknära ozon inom miljömålet 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-timmars medelvärdet bör ej överskrida 120 $\mu\text{g m}^{-3}$.	-	Halter som inte bör överskridas är 70 $\mu\text{g m}^{-3}$ som åttatimmars medelvärde och 80 $\mu\text{g m}^{-3}$ som timmedelvärde.	Halter som inte bör överskridas är 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ som medelvärde för sommarhalvåret

5.2 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 åttatimmars-medelvärdet 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).

6. Ozonhalter vid Östads Säteri 2007

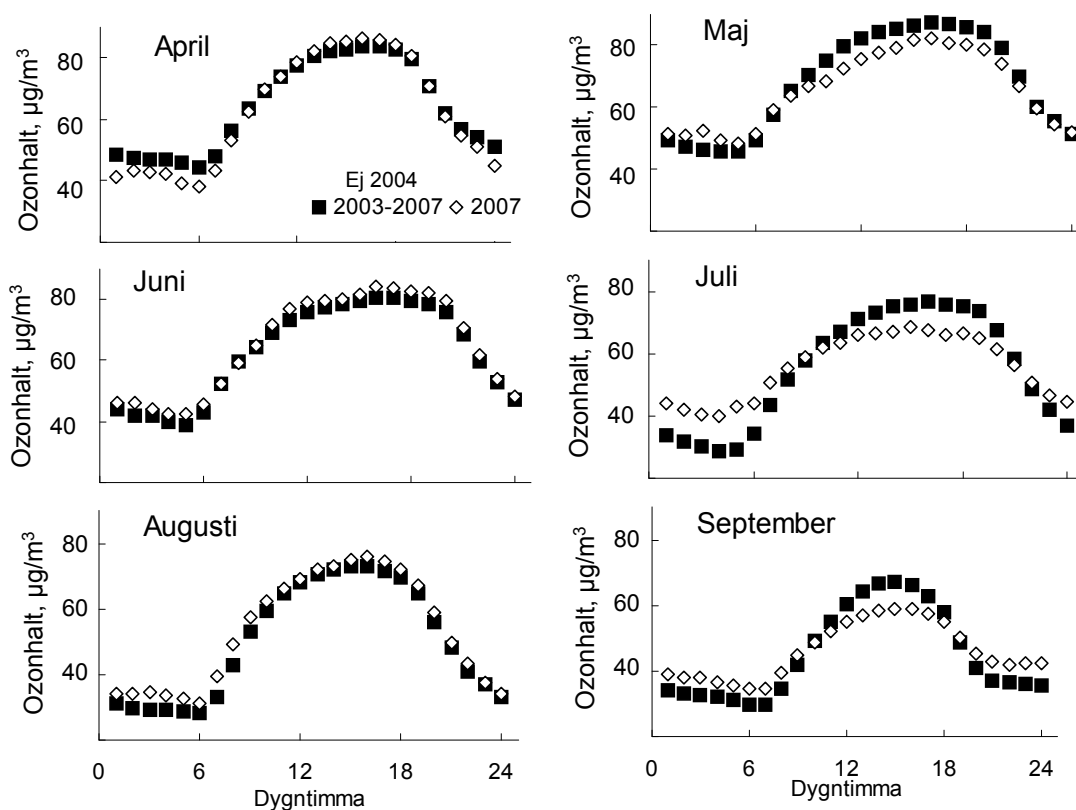
Olika ozonindex, beräknade från timvisa mätningar av ozon vid Östads Säteri under sommarhalvåret 2007, visas i Tabell 4 och 5 samt i Figur 3.

Tabell 4. En sammanställning av ozonmätningar i omgivningsluften vid Östads Säteri 1 april – 30 september 2007. 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 skall det glidande 8-timmarsmedelvärdet ej överstiga $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ från år 2010. Generationsmålet till år 2020 inom miljömålet 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.

	Glidande 8-timmarsmedelvärde			Timmedelvärde			Periodmedelvärde		
	Maxvärde	Antal dagar med max värde $>120 \mu\text{g m}^{-3}$	Antal dagar med max värde $>70 \mu\text{g m}^{-3}$	Maxvärde	Antal dagar med max värde $>180 \mu\text{g m}^{-3}$	Antal dagar med max värde $>80 \mu\text{g m}^{-3}$	Dygnet runt	KI 20-08 (natt)	KI 08-20 (dag)
apr - sep	118.5	0	119	130.7	0	96	58.0	45.9	70.2
apr	114.3	0	29	122.8	0	22	62.5	46.3	78.7
maj	99.2	0	28	110.3	0	25	65.7	54.9	76.5
jun	118.5	0	25	130.7	0	22	65.0	51.1	78.9
jul	92.7	0	15	100.7	0	8	55.7	46.5	64.9
aug	99.6	0	19	108.3	0	16	53.2	37.7	68.6
sep	101.0	0	3	104.5	0	3	46.1	38.7	53.5

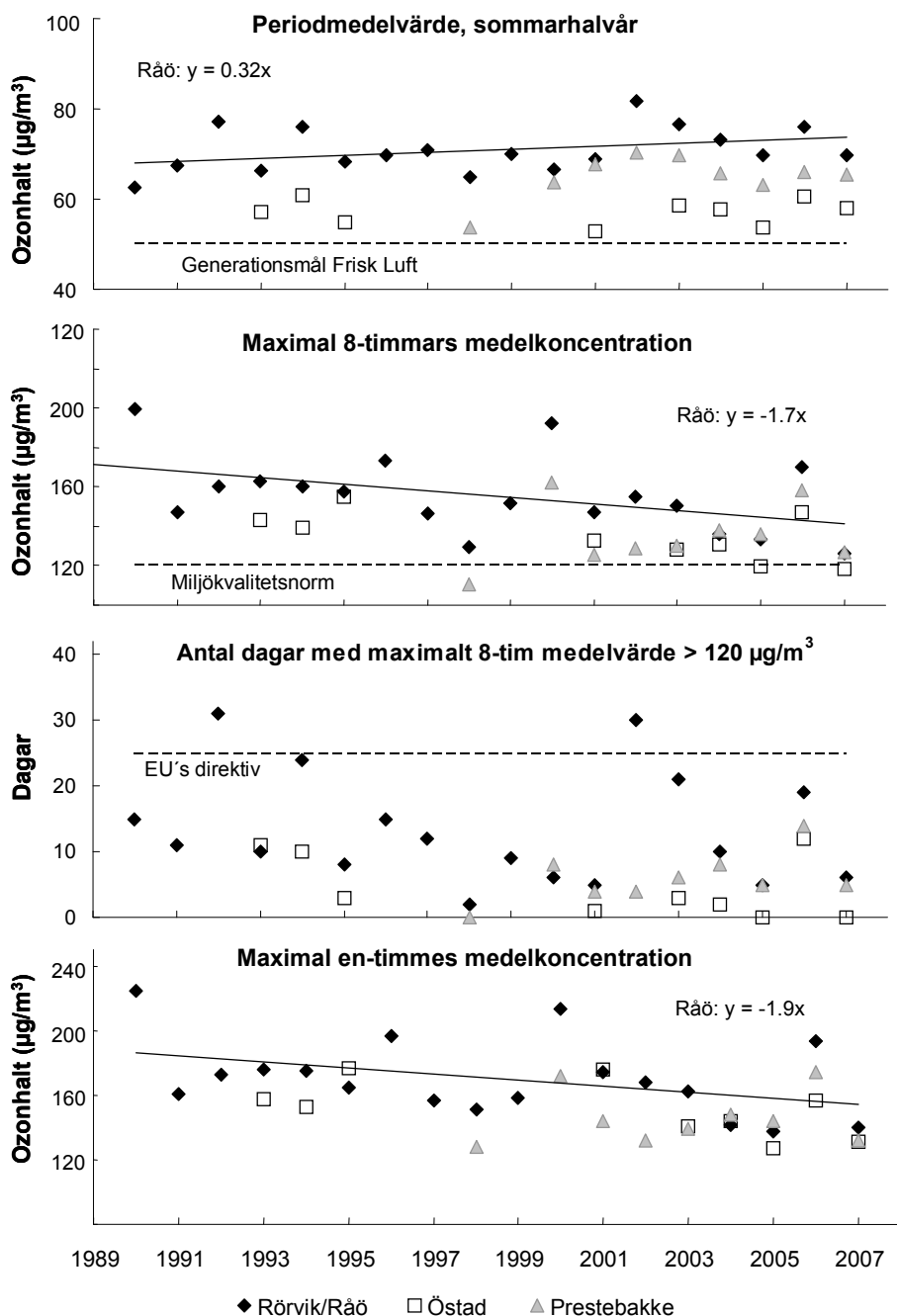
Tabell 5. En sammanställning av ozonmätningar i omgivningsluften vid Östads Säteri 1 april – 30 september 2007. Ett antal olika ozonindex redovisas vilka används för att beskriva inverkan av ozon på växtligheten inom EUs direktiv om ozon i luften, inom Sveriges miljö kvalitetsnormer samt inom LRTAP konventionen. AOT30 och AOT40 dagtid har beräknats baserat både på astronomiskt uträknad tidpunkt för solens upp och nedgång samt mellan klockslagen 08:00 – 20:00. Enligt miljö kvalitetsnormerna 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 miljö kvalitetsnormerna (till 2010 respektive 2020) redovisas med understrukna siffror i tabellen nedan.

	AOT30		AOT40	
	Astronomiska ljusa timmar	kl 08-20	Astronomiska ljusa timmar	kl 08-20
apr - sep	29988	28657	6864	6851
maj-jul	18123	16619	4078	3936
apr	7028	7206	1899	1985
maj	7179	6645	1239	1240
jun	8096	7374	2629	2487
jul	2848	2599	210	209
aug	4112	4037	769	768
sep	725	796	118	162

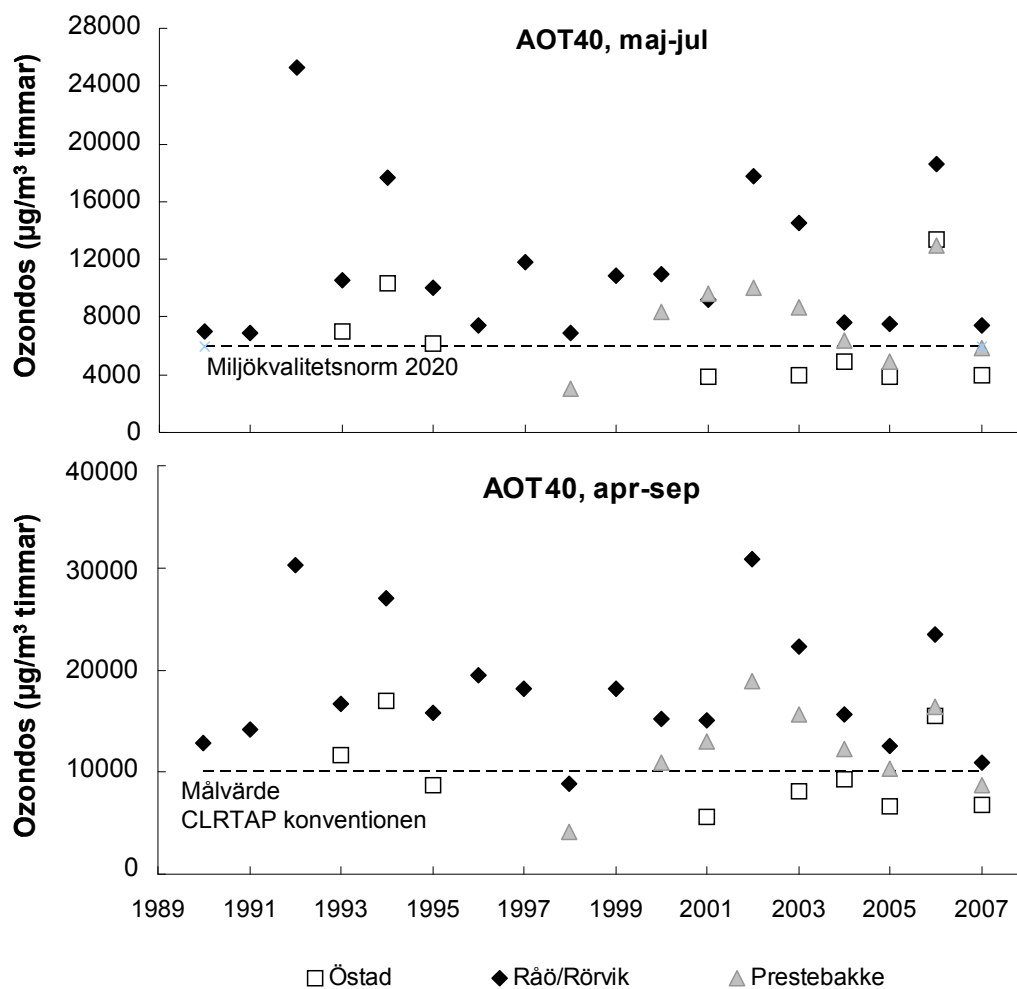


Figur 3. Ozonhalter 5 m över marken vid Östads Säteri under året 2007, beräknat som medelvärde per månad uppdelat per dygnstima (ofyllda symboler). Dessutom visas motsvarande värden uttryckt som medelvärden under 5 år, 2003-2007 (fyllda symboler). OBS i april finns ej data för 2004.

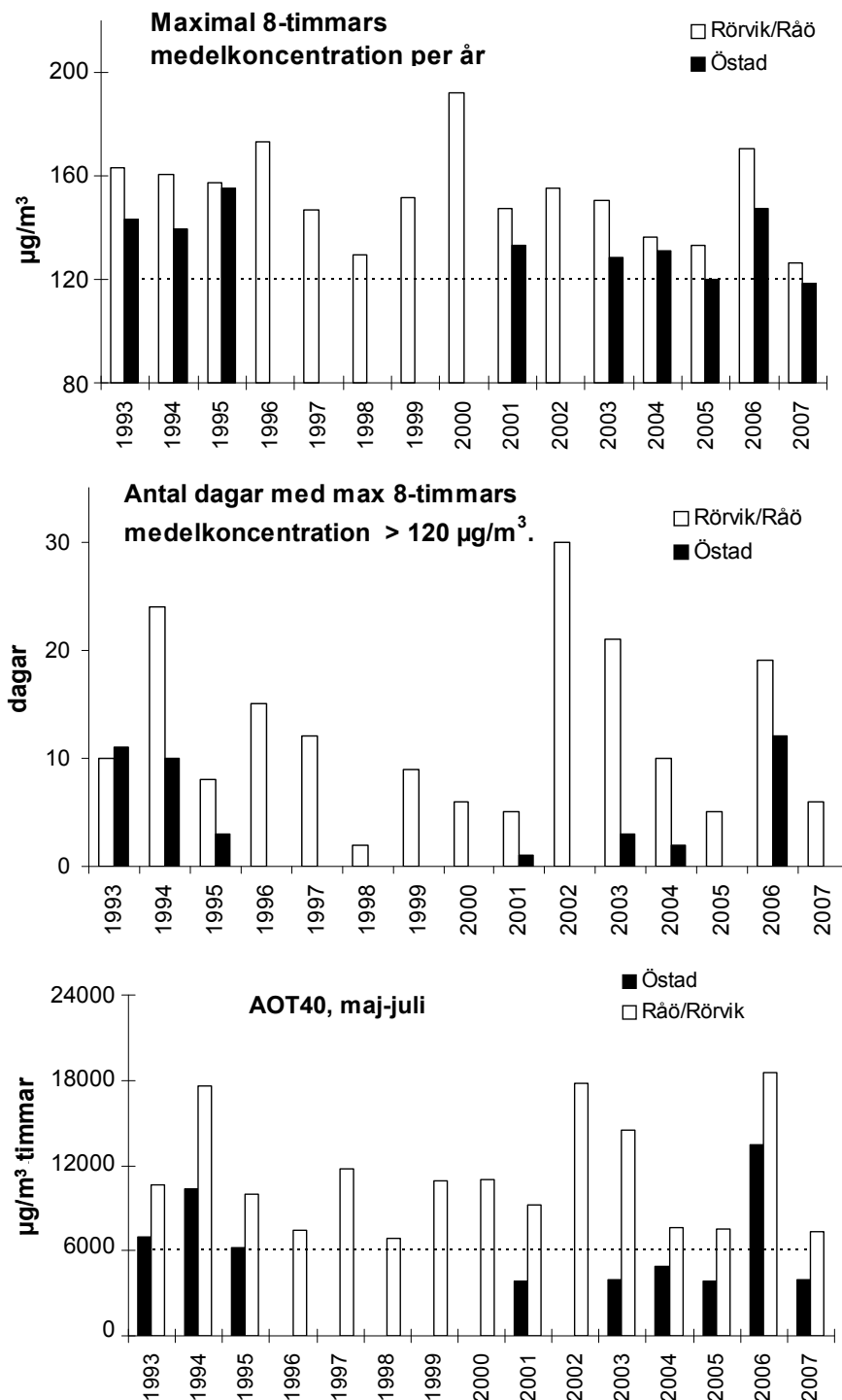
I Figurerna 4 och 5 visas tidsutvecklingen sedan 1990 av olika ozonindex vid Östads Säteri och vid Rörvik/Råö, tillsammans med värden från Prestebakke i sydöstra Norge, över gränsen från Dalsland. Den sistnämnda mätstationen kan användas för att bedöma ozonförekomsten i inlandet i länets nordvästra del. Data för Råö och Prestebakke för 2007 är preliminära. En särskild jämförelse mellan Östads Säteri och Råö/Rörvik av de ozonindex som ingår i miljö kvalitetsnormerna, visas i Figur 6.



Figur 4. 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. 2007. 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.



Figur 5. 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 miljö kvalitetsnormen 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.



Figur 6. Olika ozonindex som används som grund för miljö kvalitetsnormerna för ozon nära marken, beräknade från timvis mätningar av ozonhalter med instrument vid Östads Säteri samt vid Råö/Rörvik. 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. Värdena visas för de år då datatäckningen för perioden 1 april – 30 september, respektive 1 maj – 31 juli, överskrider 85 %.

6.1. Generellt om ozonförekomsten vid Östads Säteri och Råö 2007

Ozonförekomsten i södra Sverige var under 2007 förhållandevis låg framförallt beroende på långa perioder med dåligt väder. Medelvärde dygnet runt för ozonhalten 5 m över mark i omgivningsluften vid Östads Säteri för perioden 1 april – 30 september var $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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, $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ozonförekomsten vid Östads Säteri var särskilt låg dagtid under maj, juli och september månad (Figur 3). Detta hängde samman med perioder med dåligt väder. Det dåliga vädret, med få molnfria nätter och därmed få nätter med stabil skiktning av luften på grund av temperaturinversioner, medförde dock att ozonhalterna blev högre än normalt nattetid, särskilt under juli.

6.2. Beräknade ozonindex främst avsedda för att uppskatta inverkan på människors hälsa

Det maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozon vid Östad för året 2007 var $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Motsvarande värde för Råö var $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Således uppmättes värden över den miljö kvalitetsnorm som träder i kraft 2010, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, och som avser ozonets inverkan på människors hälsa, endast vid Råö men inte vid Östads Säteri. Man får dock i detta sammanhang beakta att noggrannheten vid ozonmätningarna inte är bättre än $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozon vid Råö överskred $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under endast 6 dagar 2007. Det maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozonkoncentrationen vid Prestebakke var under året $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket överskrider miljö kvalitetsnormen. Detta värde är dock preliminärt.

Det maximala timmedelvärdet för ozonhalterna vid Östad under 2007 var $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Motsvarande värde för Råö var $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 96 av sommarens totalt 183 dagar mellan 1 april och 30 september 2007.

6.3. Beräknade ozonindex främst avsedda för att uppskatta inverkan på växtligheten

AOT40 dagtid under månaderna maj-juli under 2007 vid Östads Säteri var $3900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar. Miljö kvalitetsnormen för ozon som gäller från år 2020 till skydd för växtligheten, $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, överskreds således ej vid Östad år 2007. Motsvarande värde för Råö var $7400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, vilket överskred målvärdet inom miljö kvalitetsnormen.

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. Värdet för AOT40 vid Östads Säteri för år 2007 var $6900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar, vilket är under 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 10900 µg/m³ timmar, vilket är strax över målvärdet inom LRTAP konventionen.

Inga trender vad gäller AOT40 vid Östads säteri eller Råö var statistiskt signifikanta (Figur 5, Karlsson m. fl., opublicerat).

6.4. Slutsatser

- Ozonbelastningen var under 2007, liksom tidigare år, lägre vid Östads Säteri jämfört med Råö.
- Miljökvalitetsnormen för ozon som gäller från 2010 till skydd för människors hälsa överskreds under 2007 vid Råö. Vid Östads Säteri uppmättes ett värde som var strax under miljökvalitetsnormen.
- Miljökvalitetsnormen till skydd för växtligheten som gäller från 2010 överskreds inte, varken vid Östads säteri eller Råö.
- Miljökvalitetsnormen till skydd för växtligheten som gäller från 2020 överskreds vid Råö men ej vid Östads Säteri.
- Periodmedelvärdet april – september vid Östads Säteri 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 ej vid Östads Säteri under 2007.

7. Meteorologiska mätningar vid Östads Säteri 2007

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 2004-2007 beskrivs under sektion 8.4 nedan.

Tabell 6. Meteorologiska data ifrån Östad 2007. 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	14.4	34.0	-3.2	11.5	17.4	0.45	0.70	589	2.0	8.8	1.3	2.7
apr	9.6	25.6	-3.2	5.6	13.7	0.51	0.83	682	2.2	8.8	1.2	3.3
maj	12.8	23.3	1.4	10.1	15.4	0.38	0.58	655	2.5	7.5	1.6	3.4
jun	17.8	34.0	3.9	14.2	21.3	0.68	1.09	766	1.9	7.4	1.2	2.5
jul	****	****	****	****	****	****	****	524	1.8	5.7	1.3	2.3
aug	17.3	29.1	3.0	14.4	20.2	****	****	563	1.6	6.6	0.9	2.3
sep	13.4	22.9	2.1	11.4	15.5	0.26	0.40	346	2.0	7.1	1.6	2.5

* 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.

**** För stort databortfall

Tabell 7. Meteorologiska data ifrån Östad 2007. Vindriktning dagtid, 9m 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	456	53	48	317	620	449	136	116
apr	58	3	2	64	70	100	41	22
maj	90	0	1	42	137	82	7	13
jun	119	21	12	34	79	62	16	17
jul	39	9	17	63	108	87	20	29
aug	88	16	9	61	94	75	19	9
sep	62	4	7	53	132	43	33	26

* 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 som inkluderar hela sommarhalvåret finns endast för Råö/Rörvik. För enskilda månader finns dock kompletta långa tidsserier även för Östads Säteri. De månader då det finns mest ozondata från Östad Säteri är juni, juli, augusti samt september. Därför analyseras tidstrender för dessa månader.

8.1. Trender för periodmedelvärden vid Östad Säteri och Råö/Rörvik

Medelvärdena för ozonhalter vid Råö under perioden 1 april – 30 september, beräknade dygnet runt, visar en uppåtgående trend för perioden 1990-2007 (Figur 4, Tabell 8). Uppgången ligger på ca $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen och är statistiskt signifikant vad gäller medelvärden beräknade dygnet runt samt även för medelvärden beräknade för nattetid (kl 20:00 – 07:59). Uppgången nattetid motsvarar ca $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen. Motsvarande medelvärden för ozonhalter dagtid (kl 08:00 – 19:59) visar endast en mycket svag uppåtgående trend ($0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen) som inte är signifikant. Motsvarande tillgängliga periodvärden nattetid för Östads säteri och Prestebakke visas i Figur 7, även om dessa mätserier är av mindre omfattning. Det finns en uppåtgående tendens även för Prestebakke, som är parallell med den för Råö/Rörvik. För Östads säteri finns ingen tendens.

De maximala 8-timmars och 1-timmars medelvärdena för rörvik/Råö visar signifikant minskande trender (Figur 4, Tabell 8). Minskningen ligger på 1.7 och $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen för 8-timmars respektive 1-timmars medelvärden.

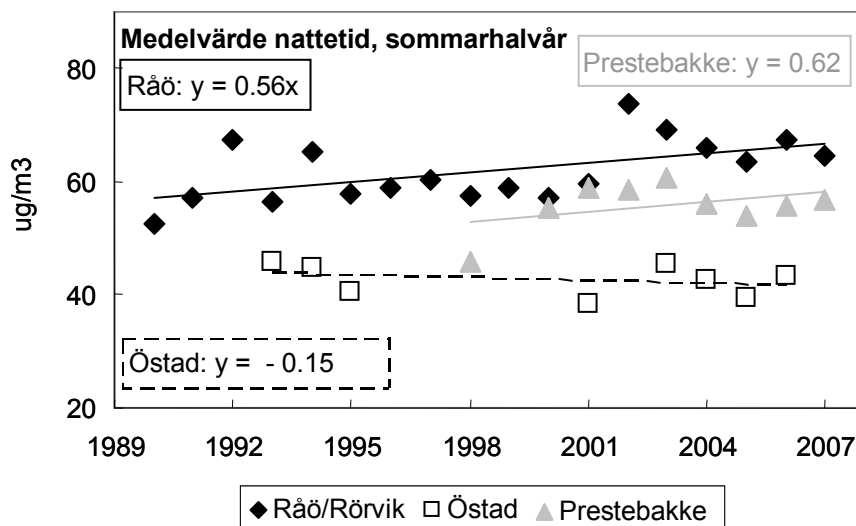
Som nämnts inledningsvis finns det två förändringar i den storskaliga ozonbildningen som påverkar ozonförekomsten i Sverige. Dels minskar de korta perioderna med mycket höga ozonhalter orsakade av långväga, sammanhållna transport av ozonbildande ämnen från starkt förorenade områden i centrala och södra 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., 2007). Inga liknande förändringar har hittills påvisats för mer förorenade områden, såsom t ex södra Sverige. Den förändring av ozonförekomsten som vi beskriver här för Råö/Rörvik är därför av särskild vikt. I det följande analyserar vi därför denna förändring i detalj i relation till tid på dygnet och i relation till meteorologi.

Det finns en osäkerhet av betydelse för trendanalyser av ozonförekomsten vid Råö/Rörvik och det är den flytt av mätstationen som ägde rum 2002-01-01 från Rörvik till Råö (Figur 17). Detta diskuteras i detalj nedan.

Periodmedelvärden för ozonhalter vid Råö/Rörvik under sommaren visar en signifikant uppåtgående trend med ca $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen mellan åren 1990 och 2007. Motsvarande medelvärden för ozonhalter dagtid visar endast en mycket svag uppåtgående trend, $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen. Medelvärden för ozonhalter vid Råö/Rörvik nattetid visar en signifikant, starkt uppåtgående trend, ca $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ årligen. Det finns en liknande tendens för ökande ozonhalter nattetid vid Prestebakke, medan den för Östads Säteri snarast är minskande.

Tabell 8. Statistisk information vad gäller trender för olika periodmedelvärden för ozonkoncentrationer vid Råö/Rörvik. Trender analyserades med Mann-Kendall trend test. Dessutom testades om värden från 1990 till 2001 var signifikant skillda från 2001 till 2007 med en Student's t-test. vidare användes en "Worsley likelihood test" för att testa om det skedde någon stegvis förändring 2001-2002 (Kundzewicz and Robson, 2000).

Ozonindex	Mann-Kendall trend test	Student's t-test, 1990-2001 vs 2001-2007	Worsley likelihood test
Medel apr-sep, 24h	signifikant, $p < 0.1$	signifikant, $p < 0.05$	ej signifikant
Medel apr-sep, dagtid	ej signifikant	ej signifikant	ej signifikant
Medel apr-sep, nattetid	signifikant, $p < 0.1$	signifikant, $p < 0.05$	signifikant, $p < 0.1$
Max 8 tim medel	signifikant, $p < 0.05$ (minskande)	ej signifikant	ej signifikant
Dagar 8h medel > 120 ug/m ³	ej signifikant	ej signifikant	ej signifikant
Max 1 tim medel	signifikant, $p < 0.05$ (minskande)	ej signifikant	ej signifikant

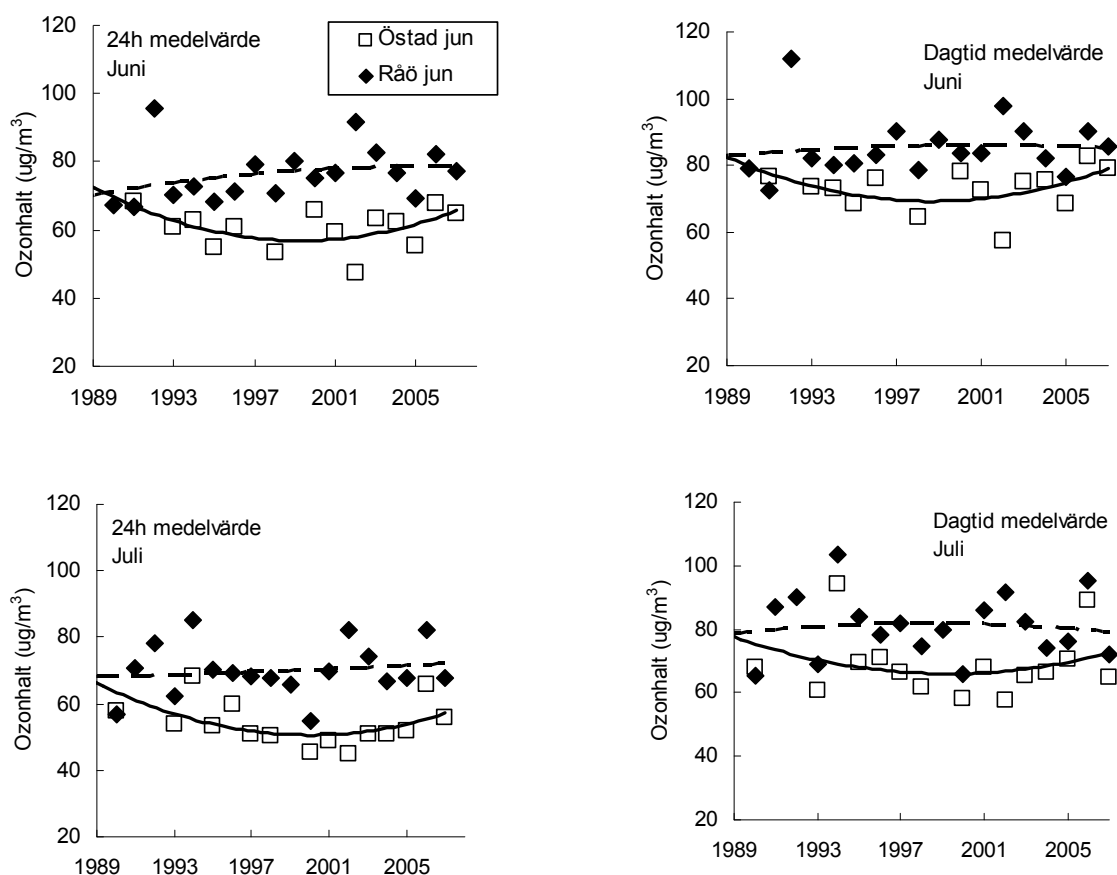


Figur 7. Periodmedelvärden 1 april – 30 september för ozonhalter nattetid (kl 20:00 – 07:59) vid Råö/Rörvik (svarta romber), Östads Säteri (ofyllda kvadrater) samt Prestebakke (gråa trianglar). Värden för lutningen (ug/m³ per år) av trendlinjerna anges för respektive mätplats.

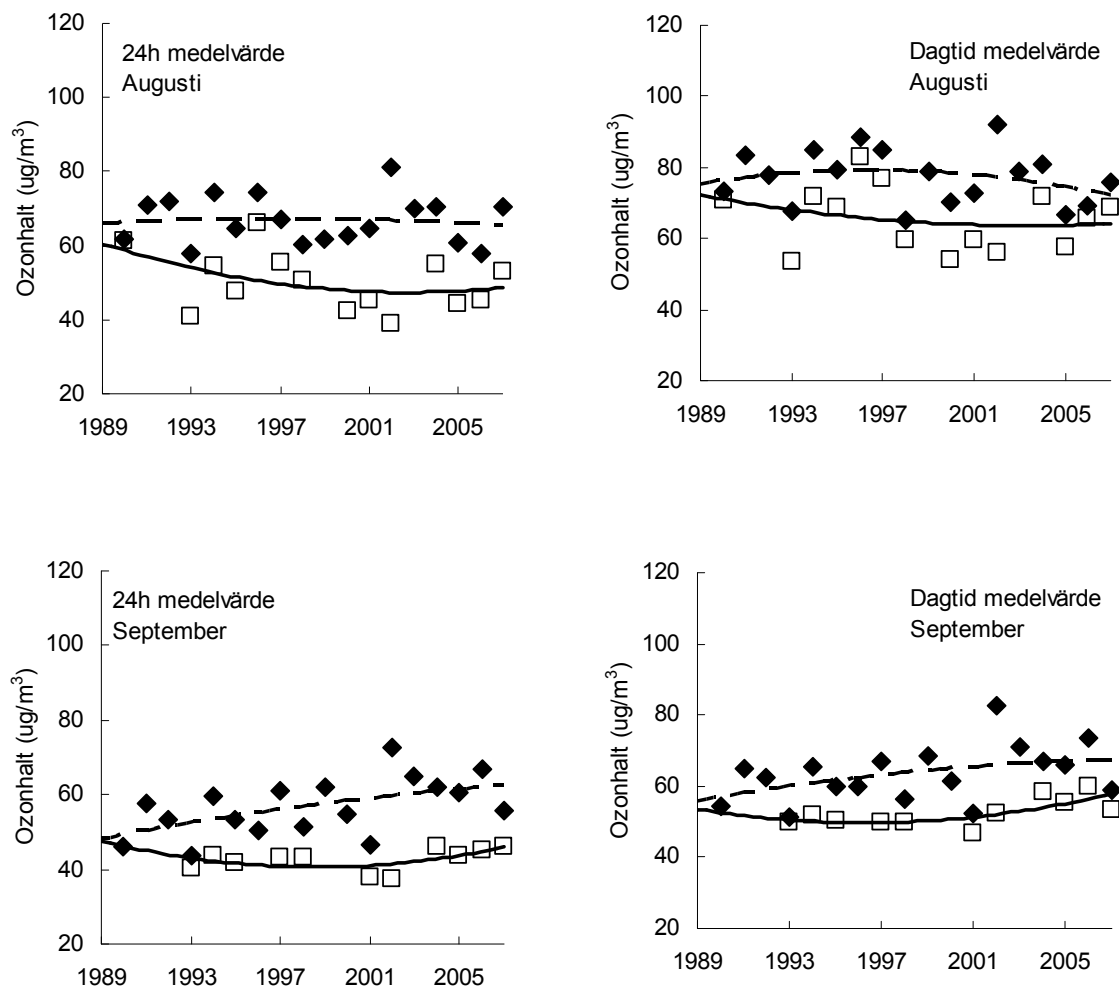
8.2. Divergerande månadsmedelvärden vid Östad Säteri och Råö

Månadsmedelvärdena för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö, beräknade dygnet runt, visar generellt divergerande trender under 1990-talet för månaderna juni, juli (Figur 8) augusti och september (Figur 9). Vid Råö tenderade månadsmedelvärdena att öka, medan de tenderade till att minska vid Östads Säteri. Under 2000-talet har dock denna divergerande trend avstannat alternativt reverserat. Ökningen vid Råö har avstannat och medelvärdena för Östad tenderar nu till att öka även de. Månadsmedelvärden beräknade för dagtid uppvisar liknande trender, men variationen är större. Lägg märke till att det finns olika månadsmedelvärden för olika år, beroende på data tillgänglighet. Trenderna är dock i stort de samma för de olika månaderna.

Den tidigare ökande skillnaden i månadsmedelvärden för ozonhalter vid Östads säteri respektive Råö/Rörvik har under 2000-talet reverserat och minskar.



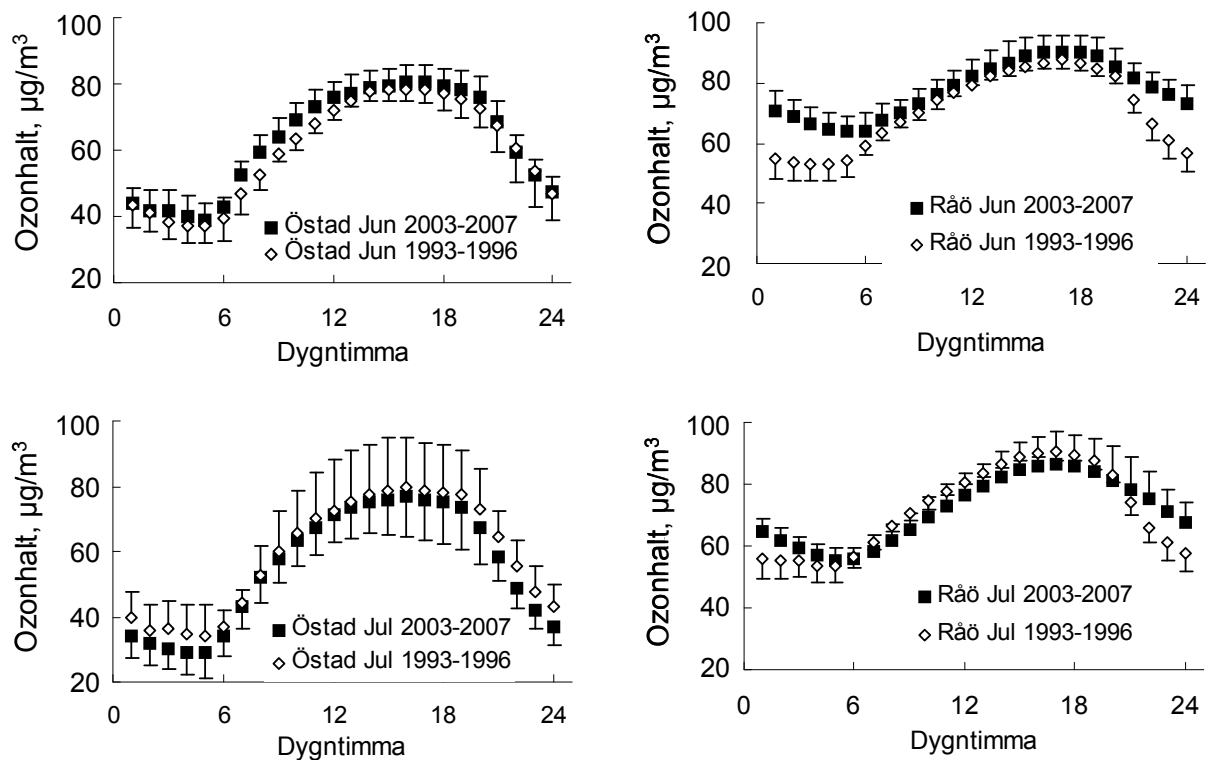
Figur 8. Månadsmedelvärden för ozonkoncentrationer vid Östads Säteri och Råö fram t. o. m. 2007, uppmätta med ozoninstrument på timbasis, för juni och juli. Figurerna i vänstra kolumnen anger ozonmedelkoncentrationer dygnet runt medan högra kolumnen anger medelkoncentrationer dagtid (kl 08-20). Angivna linjer är trendlinjer för Råö (streckat) och för Östad (heldraget). Trendlinjer har baserats på polynomfunktioner för att möjliggöra eventuella icke-linjära relationer.



Figur 9. Månadsmedelvärden för ozonkoncentrationer vid Östads Säteri och Råö fram t.o.m. 2007, 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 Östad (heldraget). Trendlinjer har baserats på polynomfunktioner för att påvisa eventuella icke-linjära relationer.

8.3. En analys av månadsmedelvärden för ozonhalter på timbasis vid Östads Säteri och Råö

För att få mer information om förändringarna i ozonförekomst vid respektive Östads Säteri och Råö, har vi analyserat ozonhalterna per månad uppdelat på olika dygnstimmar, Figur 10 och 11. Vi har analyserat två perioder med relativt god datatäckning vid båda platserna, med elva års mellanrum, perioderna 1993-1996 samt 2003-2007. Analysen gjordes för månaderna juni till och med september och datatäckningen var acceptabel för alla månader förutom för Östad september 1996 och aug-sept 2003. Data för dessa månader har uteslutits för båda platserna.



Figur 10. Månadsmedelvärden uppdelat per dygnstima för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för juni och juli. Analyserna är uppdelade på två perioder med ca tio års mellanrum, 1993-1996 och 2003-2007. I figurerna presenteras således medelvärden för vardera perioden. Spridningsmåttan visar standardavvikelsen mellan åren som ingår i respektive period.

Analyserna av timvärden tyder på att de ökande medelvärdena för ozonhalter dygnet runt vid Råö under månaderna juni och juli främst beror på ökningarna av ozonhalterna nattetid. Ingen liknande tendens syns vid Östads säteri för dessa månader. Vad gäller ökande ozonförekomst för månaden september, förefaller det bero på ökande ozonhalter dagtid vid Östads Säteri och ökande halter för både dagtid och i viss mån nattetid vad gäller Råö.

Vid en jämförelse av två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2003-2007, är det tydligt att ozonhalterna nattetid har ökat vid Råö/Rörvik. Vid Östads Säteri finns en tydlig ökning av ozonhalterna dagtid under september

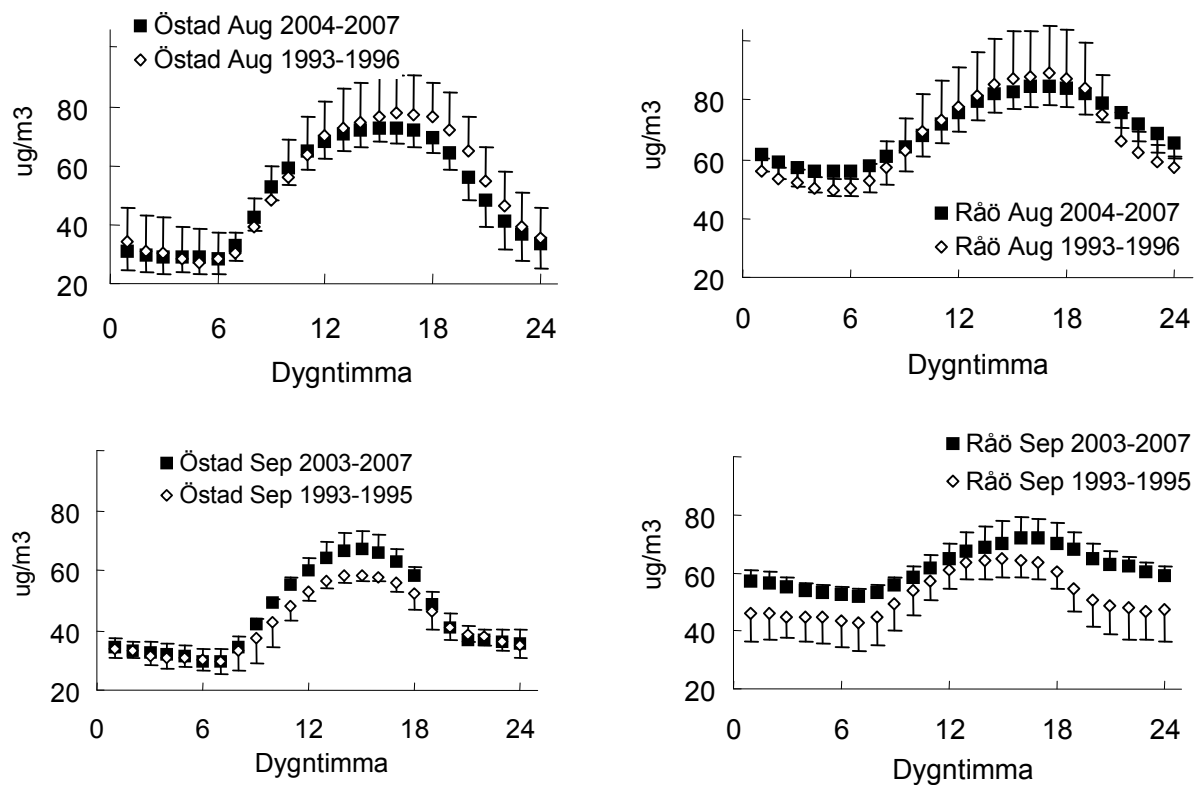


Figure 11. Månadsmedelvärden uppdelat per dygnstimma för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för augusti och september. Analyserna är uppdelade på två perioder med ca tio års mellanrum, 1993-1996 och 2003-2007. För Östads säteri fanns inte månadsmedelvärde för ozonhalt för september 1996. Året 1996 har därför inte medtagits för medelvärdes bildningen för den tidiga perioden varken för Östads Säteri eller för Råö. Av samma anledning har för året 2003 månaderna augusti och september uteslutits för bägge platserna. I figurerna presenteras således medelvärden för respektive period. Spridningsmåttan visar standardavvikelsen mellan åren som ingår i respektive period.

8.4. En analys av meteorologiska parametrar vid Östads Säteri och Säve för två olika tidsperioder

En analys har gjorts av meteorologiska parametrar uppmätta vid Östads Säteri över samma öppna fält där även ozonmätningarna gjorts. De meteorologiska mätningarna har gjorts i samband med olika experimentella aktiviteter (Karlsson m. fl., 2004). Den mast som använts för mätningar 9 m över marknivå vid Östads Säteri har varit lite olika placerad under de två perioderna. Under perioden 1993-1995 var masten placerad ca 100 m längre åt norr, jämfört med dess placering under perioden 2004-2007. Båda placeringarna ligger dock på samma öppna fält, som får anses relativt homogen utifrån en klimatologisk synpunkt. Mätningarna som härrör från 1m över mark härstammar för båda perioderna från den sydliga mätplatsen. Under perioden 1993-1995 pågick vid den sydliga mätplatsen experimentella aktiviteter med fältkammare, där 30 fläktar med ett flöde av ca 1 m³/s vardera, gick dygnet runt inom ett område på ca 10 000 m³, mellan början av april och mitten av oktober. Vi gör bedömningen att

detta inte påverkade de meteorologiska mätningarna 1 m över marknivå, i synnerhet inte dagtid. Under perioden 2004-2007 skedde ingen betydande experimentell aktivitet.

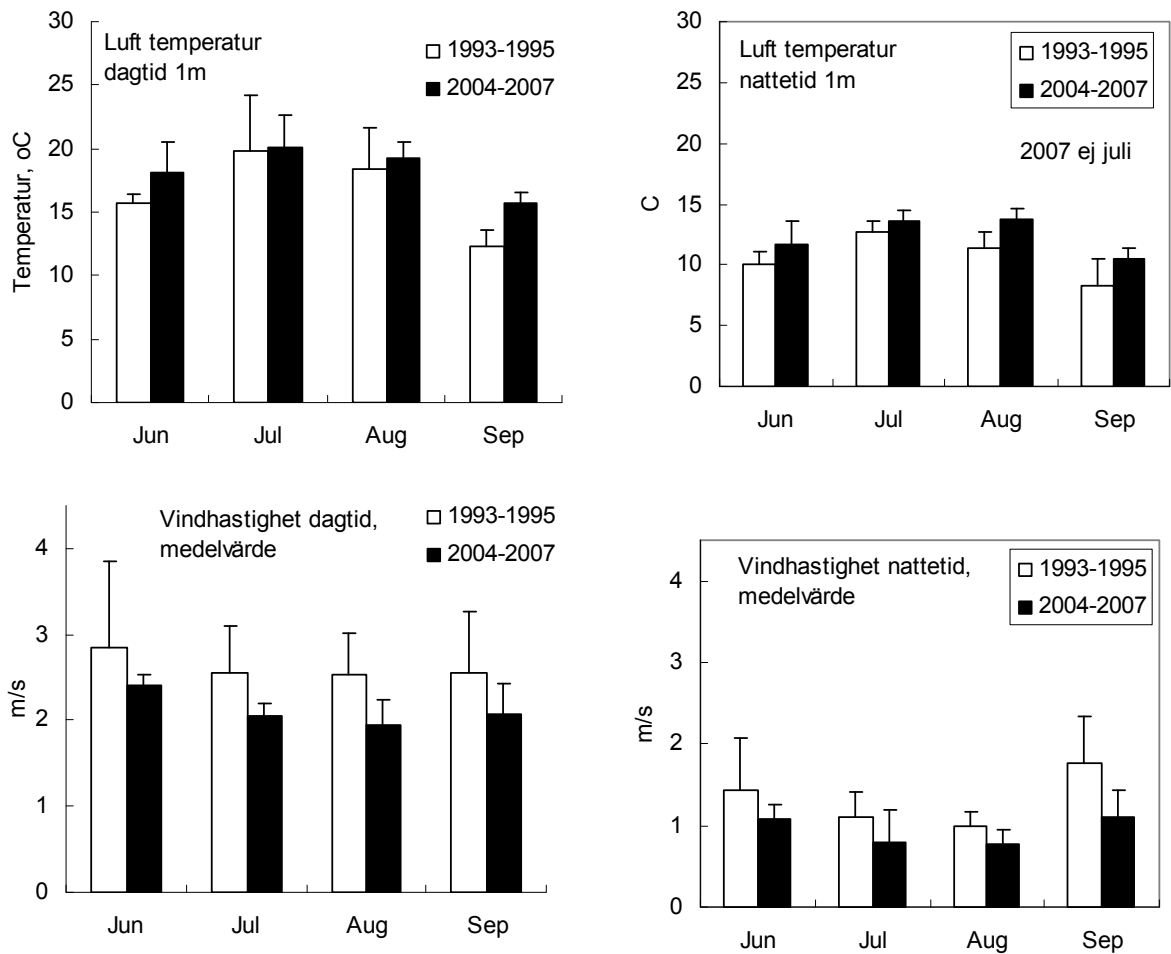
Det mäts ingen meteorologi vid mätstationen Råö/Rörvik. Istället har vi använt meteorologiska data från SMHI för Säve flygplats under antagandet att dessa kan spegla förhållandena även vid Råö/Rörvik. Dock ligger mätningarna vid Säve avsevärt längre från kustlinjen jämfört med Råö/Rörvik. Meteorologiska data från SMHI skiljer sig tekniskt i flera avseenden från de meteorologiska mätningarna vid Östads Säteri. Därför har data från Säve krävt en del bearbetning. Bl a finns efter 1993 mätvärden endast för var 3:e timma. Mätresultaten redovisas för två tidsperioder med god datatäckning, 1993-1995 och 2004-2007.

Månadsvisa medelvärden för olika meteorologiska parametrar för de två perioderna visas för Östads Säteri i figurerna 12 och 13 och för Säve i figurerna 14 och 15. Den största förändringen mellan tidsperioderna vad gäller ozonhalter dagtid gäller månaden september, där det skett en påfallande ökning vid Östads Säteri, men även vid Råö. Vi inriktar därför analysen av meteorologi dagtid på denna månad. Lufttemperaturerna som månadsmedelvärden för september har ökat med 2-3 °C mellan tidsperioderna, både vid Östads Säteri och vid Säve och både dag- och nattetid. Medelvärdet för vindhastighet under september har tenderat till att minska vid Östads säteri under både dag- och nattetid, medan det vid Säve inte syns någon förändring. Vidare har det skett en förändring vad gäller vindriktningen under dagtid vid Östads säteri för september, med en övergång från nordliga till sydliga vindar. Sammanfattningsvis, finns det flera indikationer på en förändring av vädret dagtid för månaden september mellan de två tidsperioderna.

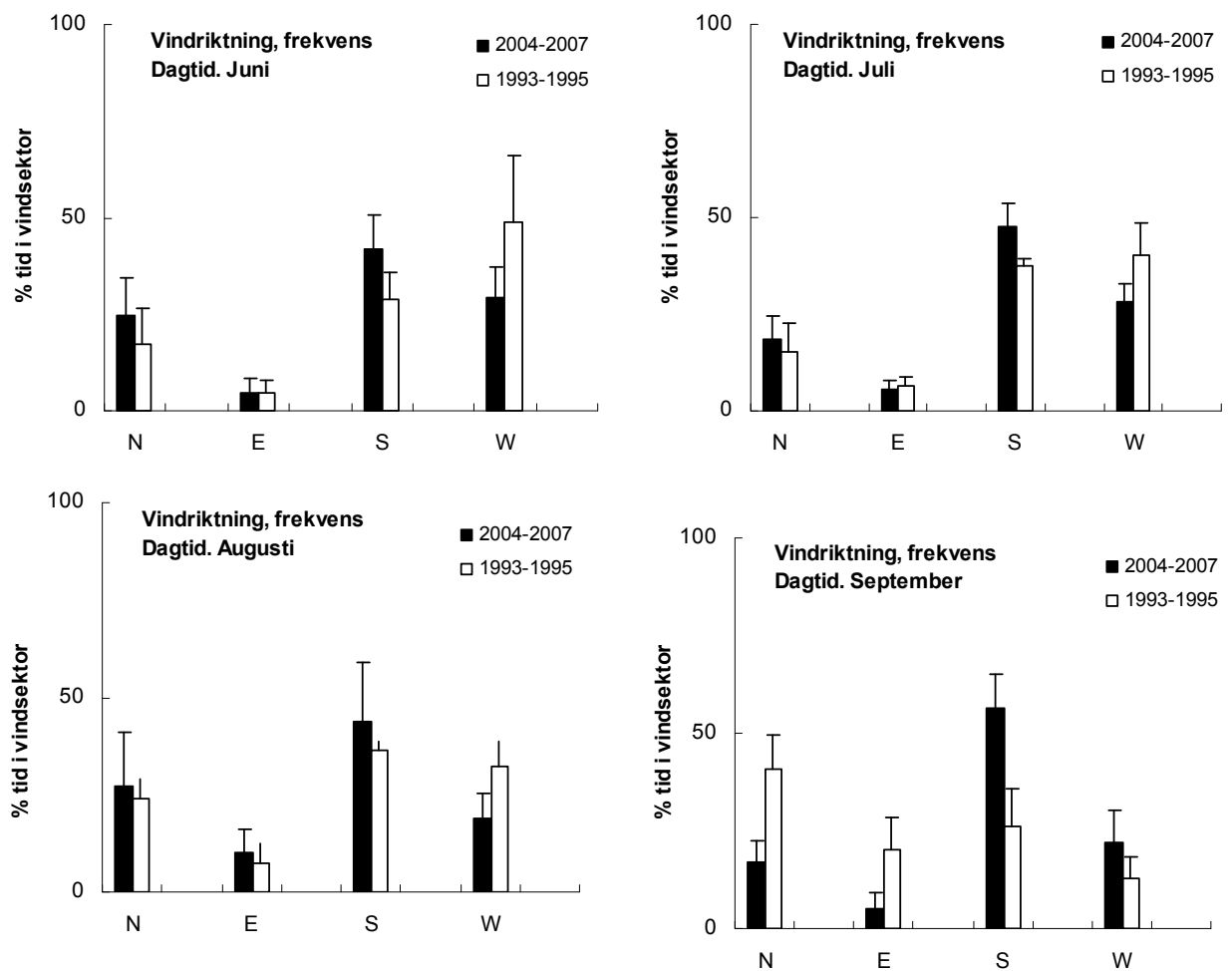
Den största förändringen mellan tidsperioderna av ozonhalterna nattetid gäller månaderna juni, juli och september, där det skett en kraftig ökning vid Råö, men inte vid Östads Säteri. Det finns en tendens till högre lufttemperaturer nattetid vid Säve. Detta skulle kunna vara ett resultat av en lägre frekvens av klara nätter med temperaturinversioner och därtill knuten stabilisering av luftlagren. Detta stöds dock ej av frekvensen vindstilla nätter nattetid vid Säve under september, där förändringen snarare är den motsatta med en ökad frekvens stilla nätter (Figur 16). Det syns heller inte någon minskning av vindhastigheten nattetid vid Säve som månadsmedelvärde för september. Det har dock skett en förändring av den dominerande vindriktningen nattetid under september vid Säve från nordlig till sydlig dominans.

Sammanfattningsvis finner vi inga meteorologiska förändringar vid Säve mellan de två tidsperioderna som kan förklara ökningen av ozonhalter nattetid vid Råö/Rörvik.

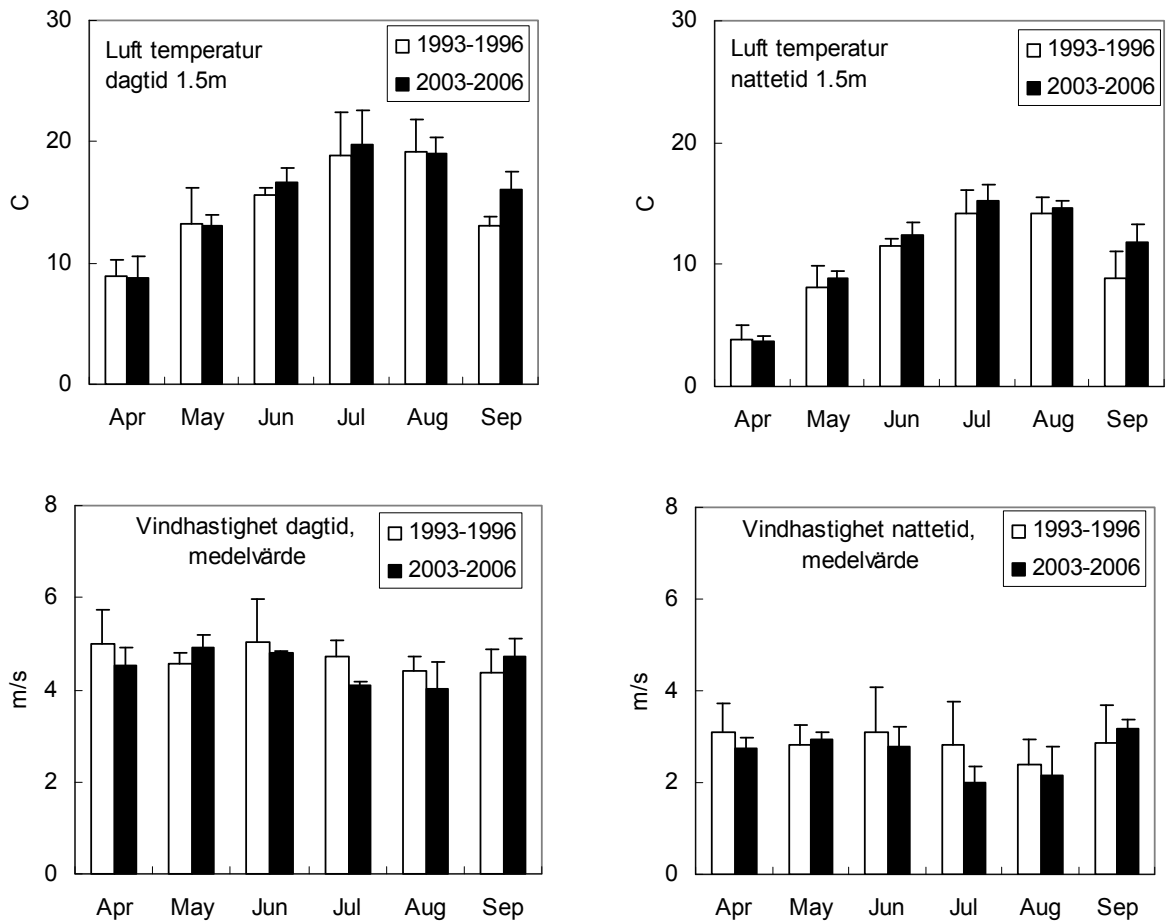
Vid en jämförelse av meteorologin mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2004-2007, framträder en ökning av lufttemperaturen vid Östads Säteri för september, framförallt dagtid. Vindhastigheterna förefaller ha minskat, i synnerhet dagtid, för alla månader men även nattetid för september. Vindriktningen dagtid vid Östads Säteri har förändrats från nordlig till sydlig dominans. Vid Säve har lufttemperaturen ökat för september, både dag- och nattetid. Vindriktningen nattetid har för september förändrats från nordlig/ostlig till sydlig/västlig dominans.



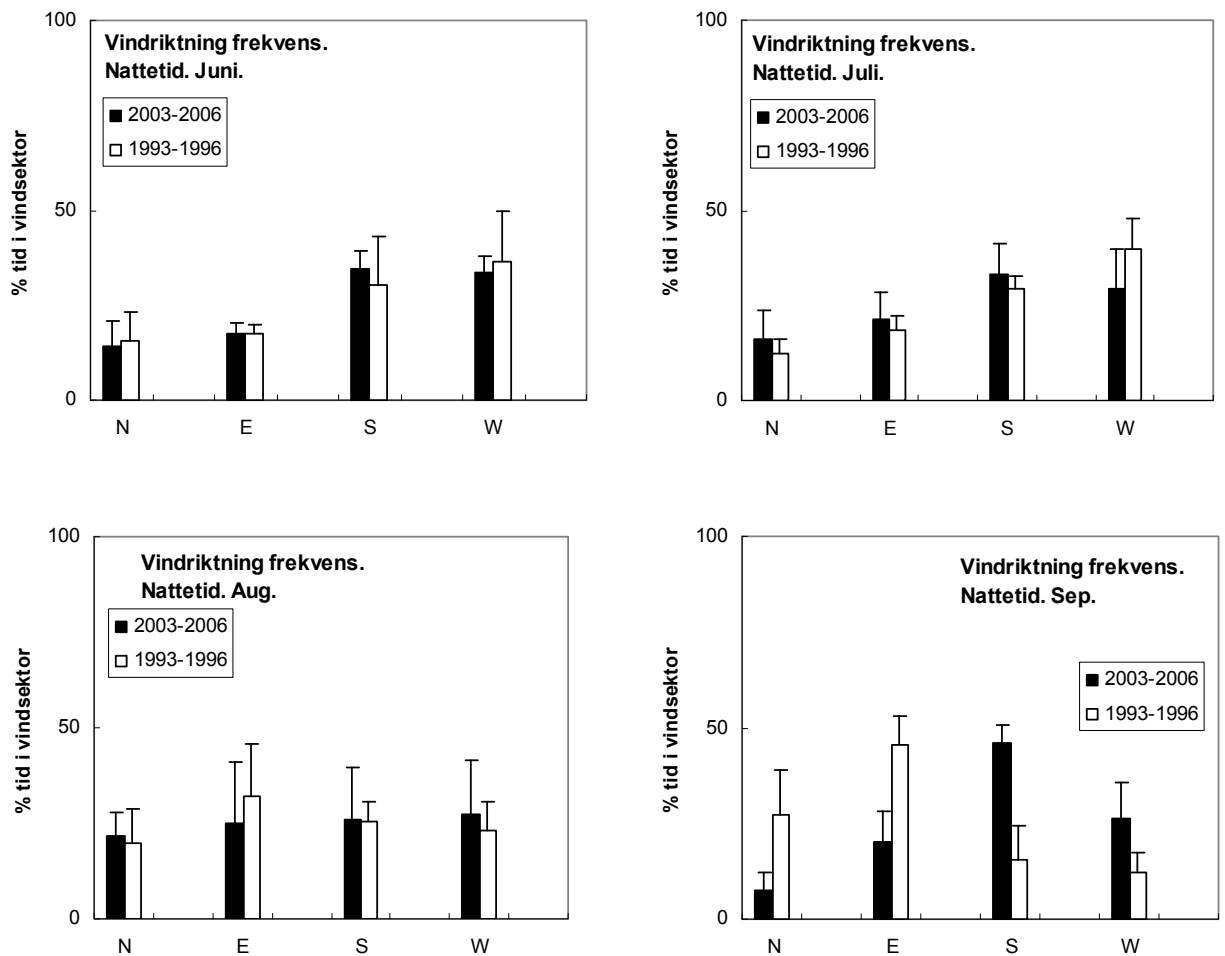
Figur 12. En sammanställning av olika meteorologiska data från Östads Säteri, uppmätta över öppet fält under två perioder, 1993-1995 och 2004-2007. Först beräknades månadsmedelvärden för respektive år varefter medelvärden bildades för de år som ingick i respektive period. Spridningsmått visar standardavvikelsen för medelvärdet över alla år inom respektive period. Vindhastigheten mättes 9m över mark.



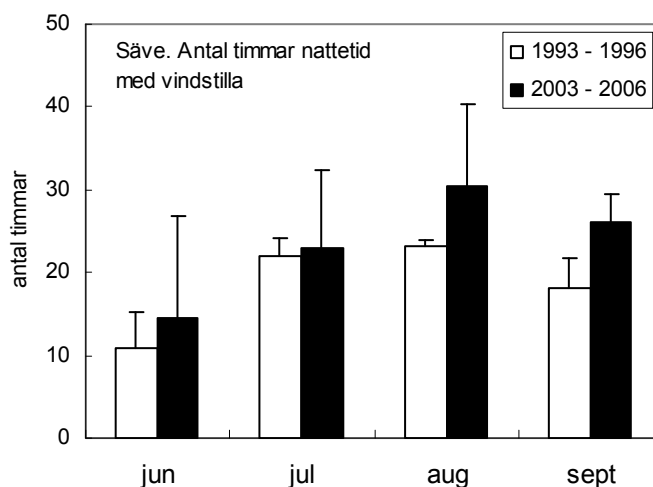
Figur 13. En sammanställning av vindriktningsdata från Östads Säteri, uppmätta över öppet fält under två perioder, 1993-1995 och 2004-2007. Y-axeln visar % av den totala tiden dagtid, då vindriktningen befunnit sig inom respektive vindsektor. Först beräknades månadsmedelvärden för respektive år varefter 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. Spridningsmåttet 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.



Figur 14. En sammanställning av meteorologiska data från Säve flygplats, uppmätta av SMHI över öppet fält under två perioder, 1993-1995 och 2004-2007. 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.



Figur 15. En sammanställning av vindriktningsdata från Säve, uppmätta över öppet fält under två perioder, 1993-1995 och 2004-2007. Y-axeln visar % av tiden nattetid, då vindriktningen befunnit sig inom respektive sektor. 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 därför ha varit olika mellan perioderna. Spridningsmåtten 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.



Figur 16. Antal registreringar av förhållanden med vindstill eller svag växlande vind nattetid (kl 20:00 – 07:59) vid Säve. Månadsvisa medelvärden som sedan medelvärdesbildats för två olika tidsperioder.

8.5. Förklaringar till de olika trenderna vad gäller ozonförekomst vid Östads Säteri respektive Råö

8.5.1. Tidigare hypoteser

I tidigare års rapporter (Karlsson, 2006, Karlsson & Pihl Karlsson, 2007) formulerades tre olika hypoteser för att förklara förändringarna av ozonförekomsten vid Råö/Rörvik och Östads Säteri sedan första hälften av 90-talet under månaderna juni-augusti. Analyser för september fanns då inte tillgängliga.

1. Nedgången av ozonförekomsten vid Östads Säteri, i jämförelse med den vid Råö, beror på minskade utsläpp av ozonbildande ämnen från Göteborgsregionen, alternativt från hela södra Sverige, under perioden.
2. Nedgången av den relativa ozonförekomsten vid Östads Säteri beror på förändringar av klimatologin under perioden, som i sin tur påverkat depositionen av ozon mot marken vid luftens transport ifrån kusten mot inlandet.
3. Det har under perioden skett någon lokal förändring av t. ex. markanvändningen inom området vid Östads Säteri, som i sin tur har påverkat den lokala depositionen av ozon mot marken, alternativt påverkat de lokala emissionerna av ozonförbrukande ämnen t. ex. kvävemonoxid.

8.5.2. Modifieringar utifrån årets resultat

Med tillgång till 2007 års analyser av data för Östads Säteri och Råö, med icke-linjära förändringar av periodmedelvärden för både Östads säteri och Råö och med en betydande

ökning av ozonförekomsten vid Råö nattetid, får vi revidera utgångspunkterna för våra hypoteser. Det viktigaste orsaken till skillnaderna i periodmedelvärden för ozonhalter mellan Östads Säteri och Råö är de ökande ozonhalterna vid Råö nattetid. Den minskande tendensen för periodmedelvärden vid Östads Säteri är mindre tydlig och har eventuellt reverserat till en ökning. Skillnaderna i ozonförekomst mellan Råö och Östads Säteri ökar inte längre utan tvärtom tenderar till att minska.

8.5.3. Faktorer som styr ozonförekomsten i landsbygdsmiljön i västra Sverige

Den vanligaste vädersituationen är att mer eller mindre förorenade luftmassor, med en viss halt av ozon och ozonbildande ämnen, rör sig från sydväst in över västra Sveriges inland. Depositionen av ozon mot vattenytor är låg men ökar när luften rör sig in över land, vilket gör att en del ozon försvinner och halterna minskar. Emellertid kan lokala utsläpp av ozonbildande ämnen från Göteborgsregionen ge upphov till en lokal ozonbildning. Dessa kemiska reaktioner tar en viss tid, men modelleringar har visat att lokal ozonbildning kan ge upphov till ökande halter vid ett avstånd från kusten ungefär motsvarande Östads Säteri (Langner m. fl., 2004). Skillnaderna i ozonförekomst vid Råö och Östads säteri påverkas således 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.

8.5.4. Minskande utsläpp av ozonbildande ämnen från Göteborgsregionen och dess betydelse för ozonförekomsten vid Östads säteri

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. Modelleringar av ozonhalter i Västra Götaland har gjorts med MATCH-modellen för året 1999 (Langner m. fl., 2004) utifrån olika utsläppsscenariot för Västra Götaland. Modelleringen använde bland annat ett scenario med 50 % minskade utsläpp av både NO_x och VOC. Utgångsvärdena för utsläpp av ozonbildande ämnen som användes i modelleringsstudien för hela Västra Götalands län var för NO_x 57 000 ton/år och för VOC 57 000 ton/år och de minskningar som användes i modellen var alltså hälften av dessa värden. Dessa relativt stora reduktioner av ozonbildande ämnen resulterade enligt modellen i minskande ozonhalter över Västra Götaland, räknat som medelhalter dagtid för perioden april – september, som mest -1.5 ppb (-3 µg/m³). Med de osäkerheter som finns, kan man konstatera att detta ligger i samma storleksordning som de förändringar som indikeras utifrån våra mätningar av ozonhalterna dagtid för månaderna juni-augusti vid Östads Säteri under 1990-talet (Figur 8 och 9). Efter början av 2000-talet har dock ozonhalterna dagtid återigen börjat öka.

8.5.5. En förändrad klimatologi vid Östads Säteri respektive Råö/Rörvik

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 i denna årsrapport konstatera skillnader i klimatet vid Östads Säteri mellan tidsperioder med 11 års mellanrum, 1993-1995 respektive 2004-2007. De meteorologiska data från Östad ger ett starkt stöd för en skillnad i klimatet vid Östads Säteri för månaden september mellan de två jämförda tidsperioderna. För den senare perioden, 2004-2007, var medeltemperaturen dagtid ca 2-3 °C varmare, vindhastigheten dagtid lägre samt en större andel sydliga vindar under dagtid, allt jämfört med den tidigare perioden 1993-1995. Alla dessa skillnader visar på en större frekvens med situationer av ”vackert väder” under den senare perioden, vilket är gynnsamt för såväl en transport av ozonbildande ämnen från kontinentala Europa, såväl som för en lokal ozonbildning. Det förefaller därför sannolikt att ökningen av ozonförekomsten vid Östads Säteri under månaden september till stor del beror på en förändring av klimatet under perioden.

Mätningarna vid Säve ger inget stöd för en meteorologisk förändring av kustklimatet vilket skulle kunna förklara de ökande ozonhalterna nattetid vid Råö/Rörvik. Den enda tydliga förändringen är en förändring av vindriktningarna nattetid från nordliga/ostliga till sydliga/västliga vindar. Man får dock vara försiktig med bedömningen av hur representativt detta är för Råö/Rörvik eftersom vindriktningar ofta är lokalt påverkade.

8.5.6. Betydelsen av flyttningen av mätstationen från Rörvik till Råö

2002-01-01 flyttades mätstationen 2.5 km i sydligvästlig riktning från Rörvik till Råö (Figur 17). Stationen vid Rörvik låg på ett fält ca 500 m från stranden medan stationen vid Råö ligger mindre än 50 m från strandkanten. Vid Råö är stationen även omgiven av en något kuperad terräng, nordost respektive nordväst om stationen.

Flytten av mätstationen vid Rörvik/Råö skulle kunna vara av betydelse för den statistiskt signifikanta ökande trend som vi ser för ozonhalter, framför allt nattetid. Denna fråga får analyseras ytterligare och vi får även avvakta ytterligare år med mätningar för att kunna säkerställa om det finns en sann ökning av ozonförekomsten vid Rörvik/Råö.



Figur 17. En karta som visar positionerna för mätplatserna Rövik (rött kryss i övre delen av figuren) respektive Råö (rött kryss längst ner till vänster). Skalstrcket nere till höger visar ca 0.5 km.

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

- Periodmedelvärden för ozonhalter vid Råö/Rörvik under sommaren dygnet runt samt nattetid visar en signifikant, uppåtgående trend under perioden 1990-2007. Detta gäller i synnerhet periodmedelvärden för ozonhalter nattetid men inte i samma utsträckning dagtid.
- En tidigare ökande skillnad i månadsmedelvärden för ozonhalter mellan Östads säteri och Råö/Rörvik har under 2000-talet reverserat.
- En analys av ozonhalter på timbasis mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2003-2007, visar tydligt att ozonhalterna nattetid har ökat vid Råö/Rörvik. Vid Östads Säteri finns en tydlig ökning av ozonhalterna dagtid under månaden september.
- En jämförelse av meteorologin mellan två tidsperioder, 1993-1995 respektive 2004-2007, visar för Östads Säteri dagtid under september flera tydliga förändringar; ökande lufttemperaturer, minskande vindhastigheter samt en förändrad vindriktning, från nordlig till sydlig dominans.
- Vid Säve, som i viss utsträckning speglar kustklimatet, har lufttemperaturen dagtid ökat för september. Vindriktningen nattetid har för september förändrats från nordlig/ostlig till sydlig/västlig dominans.

9. Referenser

- Andersson, C., Langner, J. and Bergström, R., 2006. 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 B, in press.
- 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.
- Karlsson, P.E., 2006. Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2005. Länsstyrelsen i Västra Götalands Län. Rapport 2004:27.
- 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., 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.

- Klein, H., Wind, P., van Loon, M. 2004. Transboundary air pollution by main pollutants (S,N,O₃) and PM. EMEP MSC-W Data Note 1/2004. ISSN 0804-2446.
- Kundzewicz, Z.W. and Robson, A. (Editors) (2000) Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. World Climate Program – Water, WMO/UNESCO, WCDMP-45, WMO/TD 1013, Geneva, 157 pp
- 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.