

Mätningar av ozon nära marken i landsbygdsmiljö i Västra Götalands län

Slutrapport

För Länsstyrelsen Västra Götalands Län

Per Erik Karlsson
Docent
IVL Svenska Miljöinstitutet

Håkan Pleijel
Professor
Göteborgs Universitet

Gunilla Pihl Karlsson
Fil Dr
IVL Svenska Miljöinstitutet

Jenny Sundberg
Doktorand
Göteborgs Universitet

2007-07-10

U 2063

Rapporten godkänd:
2007-05-09

Peringe Grennfelt
Forskningsdirektör



Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1. Inledning.....	6
2. Bakgrund	6
2.1 Allmänt om ozon nära marken	6
2.2 Faktorer som styr förekomsten av ozon nära marken	6
2.3. En hypotes för att klassificera olika platser vad gäller ozonförekomst	7
3. Syfte.....	8
4. Tidigare studier.....	8
5. Angreppssätt	9
6. Mätssystemets utformning	9
7. Mätlokaler.....	12
7.1 Mätlokalernas placering	12
7.2 Mätlokalernas lämplighet.....	12
8. Mätprocedurer	17
9. Resultat.....	18
9.1 Allmänt om resultatredovisningen.....	18
9.2 Generella grunder för bedömningen av risker för hög ozonförekomst vid en viss plats.....	22
9.3 Resultat – det mobila mätsystemet	24
9.3.1 Rönnäng – en kustnära mätplats	24
9.3.1.1 Vädret och ozonförekomsten under mätperioden	24
9.3.1.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Rönnäng, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter.....	27
9.3.1.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Rönnäng, Östads Säteri och Råö	31
9.3.1.4 Sammanfattning och slutsatser Rönnäng.....	32
9.3.2 Alafors – en lågt belägen mätplats i inlandet.....	32
9.3.2.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden.....	32
9.3.2.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Alafors, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter.....	37
9.3.2.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Alafors, Östads Säteri och Råö	37
9.3.2.4 Sammanfattning och slutsatser Alafors	39
9.3.3 Lanna – en lågt belägen mätplats i inlandet.....	40
9.3.3.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden.....	40
9.3.3.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Lanna, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter.....	42
9.3.3.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Lanna, Östads Säteri och Råö	45
9.3.3.4 Sammanfattning och slutsatser Lanna	46
9.3.4 Hedared – en lågt belägen mätplats i inlandet	46
9.3.4.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden.....	46
9.3.4.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Hedared, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter.....	49
9.3.4.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Hedared, Östads Säteri och Råö	52
9.3.4.4 Sammanfattning och slutsatser Hedared.....	53
9.3.5 Sandhult – en högt belägen mätplats i inlandet	53
9.3.5.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden.....	53
9.3.5.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Sandhult, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter.....	56
9.3.5.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Sandhult, Östads Säteri och Råö.....	60
9.3.5.4 Sammanfattning och slutsatser Sandhult.....	61

9.3.6 Brobacka – en högt belägen mätplats i inlandet	61
9.3.6.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden.....	61
9.3.6.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Brobacka, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter.....	64
9.3.6.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Brobacka, Östads Säteri och Råö.....	67
9.3.6.4 Sammanfattning och slutsatser Brobacka	68
9.4 Resultat från diffusiva provtagare	68
9.4.1 Sammanfattning och slutsatser diffusiva provtagare.....	72
9.5 En sammanfattande analys av relationerna i ozonförekomst mellan de olika platserna.....	72
10. Geografisk karakterisering av de olika kategorierna för ozonförekomst i Västra Götalands län ...	73
10.1. Kategorin kustnära platser	73
10.1.1. Resultat från mätningar med diffusiva provtagare.....	73
10.1.2. Resultat från modelleringsstudier.....	76
10.1.3. Sammanfattning och slutsatser om den geografiska omfattningen vad gäller den höga ozonförekomsten vid kusten.....	76
10.2. Kategorierna högt och lågt belägna platser i inlandet	76
10.2.1. Betydelsen av den relativa topografin.	77
10.2.2. Den relativa topografin runt de hittills undersökta mätplatserna	77
10.2.3. Sammanfattning och slutsatser om den geografiska omfattningen vad gäller topografiskt höga och låga platser i inlandet.	81
11. Övergripande slutsatser.....	82
11. Tack.....	83
12. Referenser.....	83

Sammanfattning

På uppdrag av Länsstyrelsen Västra Götalands län har vi mätt ozonhalter och meteorologi nära marken vid sex olika platser i Västra Götalands län, nämligen Rönnäng på södra Tjörn, Alafors i Götaälvdalen, Lanna på Varaslätten, Hedared och Sandhult belägna mellan Alingsås och Borås samt Brobacka beläget vid Mjörn nära Östads Säteri. Vid Hedared, Sandhult och Brobacka mättes även halterna av kväveoxider. Mätningarna genomfördes under ca 4 veckor på varje plats under somrarna 2005 och 2006. Dessa mätningar har jämförts med samtida stationära mätningar av ozon och meteorologi vid Östads Säteri beläget topografiskt låglänt vid Mjörn samt vid Råö beläget mycket nära kusten på Onsalahalvön söder om Göteborg (endast ozon).

Vid Råö är ozonförekomsten generellt relativt hög med frekventa överskridanden av miljökvalitetsnormen för ozon, medan ozonförekomsten vid Östads Säteri är lägre med få överskridanden. Sedan tidigare har det föreslagits att ozonförekomsten i landsbygds miljön i södra Sverige kan delas upp i tre kategorier; 1, kustnära; 2, topografiskt högt i inlandet; 3, topografiskt lågt i inlandet. Kustnära och högt belägna platser har en hög ozonförekomst, medan lågt belägna platser i inlandet har en låg ozonförekomst. Avsikten med mätningarna inom projektet var att testa denna hypotes.

Mätningarna av ozonhalter och meteorologi vid olika platser i landskapet runt om i Västra Götalands län bekräftade hypotesen om hur ozonförekomsten vid olika platser kan karakteriseras utifrån avståndet till kusten samt den lokala topografin i relation till omgivande landskap. Halterna av kväveoxider var generellt mycket låga vid de undersökta platserna och bedömdes inte ha något inflytande över ozonförekomsten lokalt vid mätplatserna. En sammanfattning av bedömningarna för de olika mätplatserna vad gäller likheterna i ozonförekomst i jämförelse med Råö och Östads Säteri ges i tabell S1. De slutliga bedömningarna baseras på tre kriterier: 1, mönstret i ozonförekomst över dygnet; 2, korrelationer vad gäller samtida ozonförekomst, både som timvärden och som dagliga, maximala 8-timmars medelvärden; 3, två-veckors medelvärden för ozonkoncentration uppmätt med diffusiva provtagare. I de flesta fall pekade alla tre kriterierna åt samma håll.

Kustnära områden med en hög ozonförekomst definierades som områden belägna inom 20 km från den sammanhängande kustlinjen, oberoende av topografin. Höglänta områden i inlandet, med en hög ozonförekomst, definierades som områden belägna längre än 20 km från den sammanhängande kustlinjen, där platsen i fråga ligger mer än 20 m över omgivande områdets topografi, som medelvärde i alla fyra väderstreck och som medelvärde inom 3 km avstånd från platsen ifråga. Lågt belägna områden i inlandet, med en låg ozonförekomst, definierades som områden belägna längre än 20 km från den sammanhängande kustlinjen och med en topografi där omgivande områden inte ligger mer än 20 m lägre, enligt ovanstående definition.

Konsekvenserna av ovanstående klassificering för bedömningen av vilka delar av Västra Götalands län som står under hög respektive låg ozonbelastning redovisas i en parallell rapport till Länsstyrelsen i Västra Götalands län (Karlsson m. fl., 2007).

Tabell S1. Definition av tre olika kategorier av förekomst för marknära ozon i landsbygdsmiljö i västra Sverige.

Benämning	Beskrivning	Ozonförekomst	Ingående mätlokaler
Kustnära	Mätlokaler som är belägna mycket nära kusten.	Frekventa överskridanden av målvärden	Råö, Rönnäng
Höglänta	Mätlokaler som är belägna i inlandet utpräglat högt över angränsande landskap.	Frekventa överskridanden av målvärden	Sandhult, Brobacka
Låglänta	Mätlokaler som är belägna i inlandet men ej utpräglat högt över omgivande landskap.	Målvärden överskrids sällan	Östads Säteri, Alafors, Lanna, Hedared

1. Inledning

Inom ett uppdrag finansierat av Länsstyrelsen Västra Götalands län har IVL Svenska Miljöinstitutet och Göteborgs Universitet gemensamt under 2005 och 2006 genomfört mätningar av ozon och meteorologi nära marken på sex olika platser i Västra Götalands län. Föreliggande rapport utgör slutrapport där vi redovisar de mätningar som genomförts samt gör en genomgång och tolkning av resultaten. I en parallell rapport gör vi en bedömning av ozonbelastningen i landsbygds miljön i olika delar av Västra Götalands län.

2. Bakgrund

2.1 Allmänt om ozon nära marken

Ozon är ett starkt oxiderande ämne som i luften är skadligt både för människans hälsa och för växtligheten. Ozon orsakar ett ökat antal sjukhusinläggningar och en för tidig dödlighet för ett betydande antal människor i Europa årligen (Naturvårdsverket, 2005). 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 % (Karlsson m. fl., 2005).

Förekomsten av ozon nära marken i landsbygds miljön i Sverige övervakas med instrumentmätningar vid relativt få platser i Sverige. Det finns starka indikationer på att ozonförekomsten kan uppvisa betydande variationer på relativt korta geografiska avstånd (Karlsson m. fl., 2004, Sundberg m. fl., 2006). Ett exempel är jämförelsen av Råö, vid västkusten strax söder om Göteborg, med Östads Säteri, i inlandet ca 45 km nordöst om Göteborg. Vid Råö överskrids flertalet målvärden för ozonexponering kraftigt medan detta sker i betydligt mindre omfattning vid Östads Säteri (Karlsson, 2006). För att möjliggöra en bedömning av över vilken landareal i t ex Västra Götalands län som olika målvärden för ozonexponering överskrids är det viktigt att få en förståelse för vad som orsakar dessa skillnader.

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 beror av flera olika faktorer, varav de viktigaste är:

- ❑ antropogena och naturliga utsläpp av ozonbildande ämnen nationellt, 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

- ❑ 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, framförallt kvävemonoxid

Faktorer som är av särskilt stor betydelse för variationen i ozonförekomst på små geografiska avstånd är depositions hastigheten mot mark och växtlighet i relation till hastigheten hos den vertikala transporten av ozon från högre liggande luftlager mot luftlagret närmast marken. Ozon är mycket reaktivt och reagerar med alla ytor, undantaget teflon och rostfritt stål. Ozon är dock något mindre reaktivt med vatten vilket förklarar att kustnära platser ofta har högre ozonkoncentrationer. Depositionen av ozon ger upphov till en kraftig gradient med lägsta koncentrationer närmast marken. Gradienten kan vara mycket stor den närmaste metern nära marken. Den vertikala transporten av ozon från högre till lägre liggande luftlager beror av luftens turbulens. Inversioner av lufttemperaturen nattetid ger upphov till en stabil skiktning av luften vilket blockerar nertransporten av ozon från högre luftlager. Ozonets deposition mot marken gör då att ozonhalterna kan bli mycket låga.

Uppkomsten av nattliga lufttemperaturinversioner och därmed en stabil skiktning av luftlagren nattetid, beror starkt av den lokala topografin, den s.k. reliefen. Platser som ligger topografiskt lågt i landskapet uppvisar ofta stabil skiktning av luftlagren nattetid medan platser som ligger topografiskt högt i landskapet inte gör det i samma utsträckning.

Skillnaden i ozonhalter mellan natt och dag samt tidpunkten för att luftskikten börjar stabiliseras på eftermiddagen får ett mycket stort inflytande på ozonindex såsom maximalt 8-timmarsmedelvärde och AOT40, eftersom de regionala ozonkoncentrationerna på hög höjd ofta kan fortsätta att öka en bit in på kvällen.

2.3. En hypotes för att klassificera olika platser vad gäller ozonförekomst

Vid en genomgång av förekommande timvisa mätningar av ozon runt om i Sverige inom EMEP-systemet samt i regi av IVL Svenska Miljöinstitutet (Östads Säteri) och Sveriges Lantbruksuniversitet (Asa Försökspark) formulerades hypotesen att mätlokalerna för ozon i landsbygdsmiljö runt om i södra och mellersta Sverige kan delas in i tre olika kategorier, se Tabell 1 (Karlsson m fl., 2004). Underlaget för denna uppdelning var dock begränsat, eftersom lokalerna där ozon mäts med instrument är få. Det finns därför ett stort behov av att underbygga denna hypotes med ytterligare mätdata.

Tabell 1. En uppdelning av mätlokaler för marknära ozon i landsbygdsmiljö i södra och mellersta Sverige samt sydöstra Norge i tre olika kategorier (modifierad från Karlsson m fl., 2004)

Benämning	Beskrivning	Ozonförekomst	Ingående mätlokaler
Kustnära	Mätlokaler som är belägna mycket nära kusten. Hur avgränsningen ser ut mot inlandet går ännu ej att beskriva kvantitativt.	Frekventa överskridanden av målvärden	Rörvik/Råö, Aspvreten
Höglänta	Mätlokaler som är belägna utpräglat högt över angränsande landskap. Inte heller detta går ännu att beskriva kvantitativt.	Frekventa överskridanden 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	Östad, Asa, Grimsö, Prestebakke

3. Syfte

Syftet med studien som presenteras i denna rapport var:

- Att utöka underlaget av mätdata för att beskriva hur ozon förekommer nära marken vid olika typer av platser med hänsyn till belägenheten i landskapet.
- Att föreslå ett system för hur ozonförekomsten vid olika platser kan hänföras till ett fåtal olika kategorier.
- Att föreslå hur dessa olika kategorier kan karakteriseras.

4. Tidigare studier

En omfattande studie av ozonförekomsten i Storbritannien (PORG, 1997) visade att ozonförekomsten främst beror på ett antal geografiska faktorer, som i sin tur påverkar turbulensen i luften närmast marken framför allt nattetid (Fowler m. fl., 1995). En annan viktig faktor är att depositions hastigheten för ozon mot vattenytor är låg. Därför är halterna av ozon relativt höga när luften transporteras in från havet mot kusten, men avtar sedan in mot land på grund av den ökade depositionen mot mark och växtlighet (Entwistle m. fl., 1997). Lokala emissioner av kväveoxid (NO) från tätorter kan ge upphov till en lokal förbrukning av ozon men på en lokal-regional skala leda till en ökad ozonbildning. Emissioner av ozonbildande ämnen från Göteborgsområdet kan påverka ozonförekomsten i hela Västra Götalands län (Langner m fl., 2004).

I en nyligen publicerad studie (Sundberg m fl., 2006) jämfördes ozonförekomsten vid två skogliga lokaler på olika höjd i landskapet, 175 respektive 110 m.ö.h. med ozonförekomsten

vid Östads Säteri, 60 m.ö.h. De två skogliga lokalerna låg inom 3 km från Östad. Man kunde visa att ozonförekomsten mätt som periodmedelvärde på en veckobasis var betydligt högre på den högst belägna skogliga lokalen, jämfört med Östad. Vidare låg ozonförekomsten vid den högst belägna lokalen relativt lika ozonförekomsten vid Råö, beläget vid kusten strax söder om Göteborg.

5. Angreppssätt

Angreppssättet för studien var att använda ett flyttbart system för mätningar av ozonhalter och meteorologi med instrument, som placerades månadsvis vid olika platser i landskapet. Mätningarna relaterades till stationära mätningar av ozonhalter och meteorologi vid Östads Säteri samt till stationära mätningar av ozonhalter vid Råö, strax söder om Göteborg. De meteorologiska mätningarna som ingår i det mobila systemet ger en möjlighet att finna meteorologiska parametrar som kan användas för att kvantitativt karakterisera de olika lokalerna med avseende på depositionsförhållande mm.

6. Mätsystemets utformning

Det mobila mätsystemets utformning beskrivs i Tabell 2 samt i Figur 1. Ozoninstrument, logger, GSM kommunikation m.m. var placerade i en täckt släpkärra. Luftintaget för ozoninstrumentet samt de meteorologiska givarna satt på en mast 5 m över marknivå. Det kan påpekas att mätthöjden för det mobila mätsystemet, 5 m över mark, i viss mån är otillräcklig för att ge full information om den turbulens i luften som har betydelse för transporten av ozon från högre luftlager mot marknivån. Det fanns dock inga praktiska möjligheter att mäta på en högre höjd i denna studie.

Regnmängder vid Östads Säteri mättes manuellt på veckobasis, med insamlare av ”SMHI-typ”. Regnmängder beräknas som medelvärden per dag för perioder mellan avläsningar.

Under 2006 mättes halterna av ozon, kvävedioxid (NO_2) och kvävemonoxid (NO) vid de tre lokalerna (Hedared, Sandhult och Brobacka) samtidigt med diffusiva provtagare (Tabell 3) placerade 1.5 m över marken. Mätningarna skedde med dubbel provtagning och gav medelvärden över två-veckors perioder (sex medelvärden per lokal under sommaren). Vid de två lokaler där det mobila mätsystemet inte var placerat mättes temperatur, relativ luftfuktighet, vindstyrka samt solinstrålning (Tabell 3).

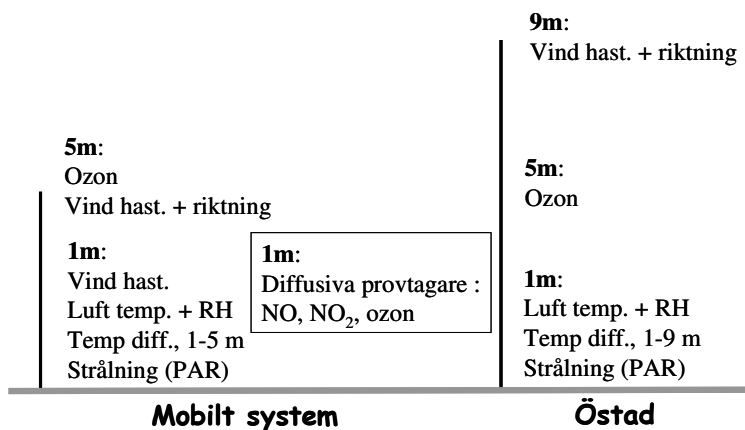
Ozondata från EMEP’s mätstation vid Råö är framtagna inom den nationella Miljöövervakningen, finansierad av Miljöövervakningsenheten vid Naturvårdsverket. Dessa mätningar beskrivs på IVL’s hemsida, www.ivl.se. De ozonhalter som redovisas i denna rapport är slutgranskade. Trajektorier används för att visa den storskaliga transporten av luftmassor för vissa intressanta mätningar. Trajektorierna har beräknats av EMEP med FLEXTA-modellen (<http://www.nilu.no/trajectories/index.cfm>) för 6-timmarsperioder och gäller för sex-timmars perioder.

Tabell 2. Mätssystemen som används i det mobila systemet

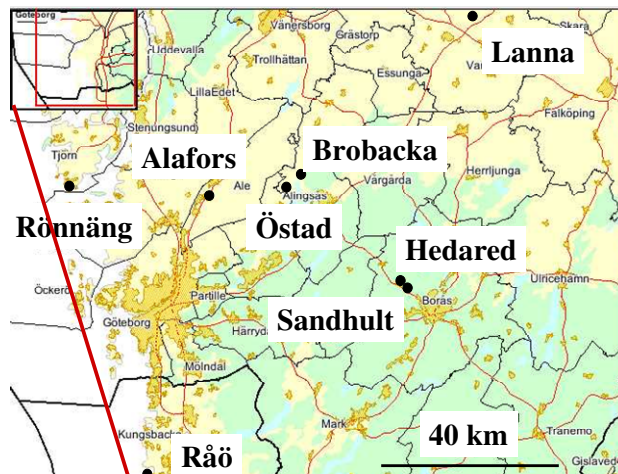
Parameter	Utrustning	Kommentar
Ozonhalter i luft	UV instrument, Thermo Environmental.	Instrumentet mäter kontinuerligt vid en punkt, d.v.s. inga växlingar mellan mätpunkter. Noggrannhet ca ± 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Vindmätning, horisontell riktning och hastighet på 5 m över mark	Young. Wind Sentry anemometer & Vane	Skålkors. Noggrannhet ca ± 0.1 m/s (tröskelvärde för igångsättning ca 0.5 m/s), vindriktning ca 10 °.
Vindmätning, horisontell hastighet på 1 m över mark	Young. Wind Sentry anemometer	Skålkors. Noggrannhet ca ± 0.1 m/s (tröskelvärde för igångsättning ca 0.5 m/s).
Luft temperatur, relativ fuktighet	Rotronic Hygroclip S3 RH/T	Kalibreras mot utrustning på Östad, placerade i mekaniskt ventilerade strålningsskydd. Noggrannhet ca ± 0.1 °C.
Mätning av temperaturdifferens mellan 5 och 1 m	2 st. termoelement typ Koppar/Konstantan	Placerade i mekaniskt ventilerade strålningsskydd. Noggrannhet ca ± 0.1 °C.
Ljusstrålning, mätt som PAR (photosynthetic active radiation)	LICOR	Kalibrerad av FDS Mätssystem i Skara mot nyligen inköpt globalstrålningsmätare. Noggrannhet ca ± 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
Logger GSM kommunikation		Telefonuppringning från IVL varje natt.
Logger	Campbell CR10	Befintlig

Tabell 3. Mätssystemen som användes i samband med mätningar med diffusiva provtagare.

Parameter	Utrustning	Kommentar
Ozonhalter i luft	Diffusiva provtagare	Givarna var placerade 1.5 m över marken. Mätningarna skedde med dubbel provtagning och gav medelvärden över två-veckors perioder . Noggrannhet ca $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Halter av NO ₂ och NO i luft	Diffusiva provtagare	Givarna var placerade 1.5 m över marken. Mätningarna skedde med dubbel provtagning och gav medelvärden över två-veckors perioder . Noggrannhet ca $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Vindmätning, horisontell hastighet på 1 m över mark	Young. Wind Sentry anemometer	Skålkors. Noggrannhet ca $\pm 0.1 \text{ m/s}$ (tröskelvärde för igångsättning ca 0.5 m/s).
Luft temperatur, relativ fuktighet	Rotronic Hygroclip S3 RH/T	Kalibreras mot utrustning på Östad, placerade i passivt ventilerade strålningsskydd. Noggrannhet ca $\pm 0.1 ^\circ\text{C}$.
Total solinstrålning,	Skye SKS 1110/S Silicon Cell Pyranometer	Noggrannhet ca $\pm 3\%$.
Logger	Campbell CR510	



Figur 1. En illustration av det mobila mätssystemet samt mätssystemet vid Östads Säteri.



Figur 2. En karta över de platser där det mobila systemet placerats. Rönnäng, maj-juni 2005. Alafors, juli 2005. Lanna, Aug-Sep 2005. Hedared, maj-juni 2006. Sandhult, juli 2006. Brobacka, aug-sept 2006. Även platserna med stationära mätningar, Råö och Östads Säteri, visas. Den grova, röda linjen illustrerar den geografiska avgränsning som vi benämner som den sammanhängande kustlinjen.

7. Mätlokaler

7.1 Mätlokalernas placering

Mätlokalernas geografiska placering visas i Figurerna 2, 3, 4, 5, 6 och 7 samt förklaras i Tabell 4. Argument för valet av mätplatser var att de geografiska avstånden till den viktigaste jämförelselokalen, Östads Säteri, inte skulle var alltför stora. Detta därför att stora geografiska avstånd ökar risken för att luftmassorna har olika ursprung. Därtill krävdes tillgång till 220 V elektricitet och vi önskade också skydda utrustningen mot åverkan. Valet av mätlokaler syftade 2005 till att ge information om ozonförekomsten i en gradient från kusten mot inlandet. Vidare önskade vi information om ozonförekomsten vid den viktiga jordbruksbygden kring Vara. Valet av mätlokaler syftade 2006 till att ge information om betydelsen av den lokala topografin, den s.k. reliefen.

7.2 Mätlokalernas lämplighet

Normalt vid mikrometeorologiska studier krävs stora homogena områden i lovert av mätpunkten. Dessa är svåra att finna och inte heller särskilt representativa för landskapet som helhet. Vi avsåg inte att uppnå dessa kriterier. I efterhand kan mätpunkten i Alafors synas vara något olycklig, eftersom den var placerad ca 5 m från ett hus. Detta kan i någon mån ha påverkat framför allt mätningarna av temperaturgradienten i höjddled, i sin tur en indikation på luftens temperaturinversion. Vid platserna Rönnäng, Alafors, Sandhult samt Brobacka skuggades systemet av trädridåer under vissa tider på dygnet. Omgivande landyta

var heller inte horisontellt plan vid dessa platser. Mätplatserna vid Lanna och Hedared, tillsammans med den vid Östad var dock acceptabla ur mikrometeorologisk synpunkt.

Tabell 4. Beskrivning av platserna som använts för mätningar med det mobila systemet under 2005 och 2006. Dessutom ges information för ytterligare tre platser, Grytebergen, Klevsjön samt Antens Kapell, där ozonförekomsten undersökts i tidigare publicerade studier. Den relativa topografin för varje plats visas i Figurerna 48 och 49. Ytterligare detaljer ges under respektive resultatsektion.

Lokal	Mät-period	Koordinater	Höjd över havet (m)	Relativ topografi (m) *	Avstånd till kusten (km) **	Hypotes beträffande ozonförekomst	Kommentarer
Rönnäng	26 maj – 23 juni 2005	57° 56.2' N, 11° 35.0' E	20	-	4	Ozonförekomst liknande Råö	På en svag kulle med berg i dagen, glest bevuxen med låga tallar, belägen i en kraftig sluttning mot syd som del av en dalgång i riktning SSV till VNV.
Alafors	5 juli – 3 aug 2005	57° 56.1' N, 12° 7.2' E	40	0	37	Ozonförekomst liknande Östad	På kanten till en ca 5 m djup ravin, ca 5 m öster om ett hus.
Lanna	9 aug – 14 sept 2005	58° 20.7' N, 13° 7.4' E	70	0	103	Ozonförekomst liknande Östad	SLU's försöksgård. Helt platt, förutom en liten kabin ca 10 m syd om mätpunkten.
Hedared	12 maj – 19 juni 2006	57° 48.3' N, 12° 44.5' E	195	3	67	Ozonförekomst liknande Östad	På ett öppet fält söder om Hedareds stavkyrka. Omgivande landskap topografiskt högre än Hedared, speciellt åt norr.
Sandhult	26 juni – 28 juli 2006	57° 45.4' N, 12° 50.3' E	290	-35	67	Ozonförekomst liknande Råö	Beläget högt över omgivande landskap, i en sluttning mot väster, väster om Sandhults hembygdsgård. En ridå med höga träd söder om mätplatsen.
Brobacka	1 aug – 18 sept 2006	57° 58.8' N, 12° 44.8' E	180	-59	55	Ozonförekomst liknande Råö	Beläget högt över omgivande landskap, invid mobilmasten, nordost om Brobacka. Omgivet av gles tallskog.
Grytebergen	Juni-sept 2004	57° 58.6' N, 12° 21.8' E	175	-35	50	Ozonförekomst liknande Råö	Beläget högt över omgivande landskap i Risveden, 3 km väster om Östads Säteri. Omgivet av låg, gles tallskog.
Klevsjön	Juni-sept 2004	57° 58.8' N, 12° 22.7' E	110	29	50	Ozonförekomst liknande Östad	Lågt beläget i en dalgång mellan L. Klevsjön och Långevatten i Risveden, 3 km väster om Östads Säteri och 1 km öster om Grytebergen. Omgivet av gammal högvuxen granskog.
Antens Kapell	Juli 1989	58° 0.1' N, 12° 26.3' E	100	11	56	Ozonförekomst liknande Östad	Beläget på ett hygge i en relativt låglänt terräng, strax norr om Antens Kapell, omgivet av 20 m hög granskog åt nordväst.

Tabell 4, forts.

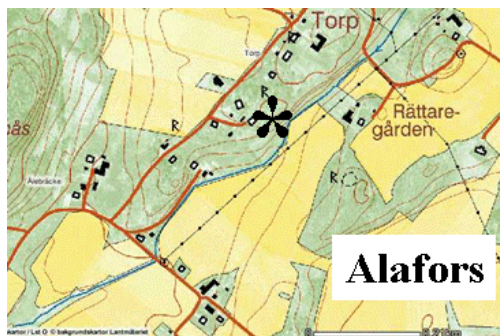
Lokal	Mät-period	Koordinater	Höjd över havet (m)	Relativ topografi (m) *	Avstånd till kusten (km) **	Hypotes beträffande ozonföreskomst	Kommentarer
Östads Säteri	-	57° 57.2' N, 12° 24.2' E	62	19	51	-	På ett öppet fält, i en bred nordsydlig dalgång.
Råö	-	57° 23.6' N, 11° 54.9' E	5	-	1	-	Ca 10m från stranden, vid havet i en vik, med öar utanför

* Den relativa topografin avser hur mätplatsen ligger topografiskt i förhållande till omgivande landskap i alla fyra väderstrecken inom en radie av 3 km. Ett negativt värde anger att omgivande landskap ligger topografiskt lägre jämfört med mätplatsen ifråga. För ytterligare beskrivning av beräkningen av relativ topografi, se sektion 10.2.2.

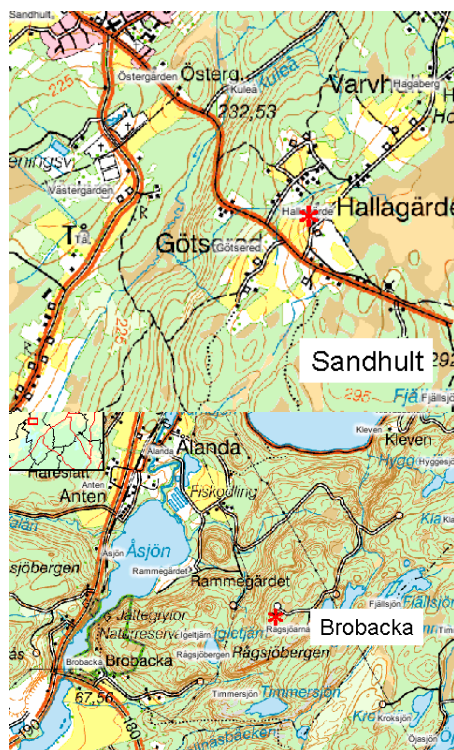
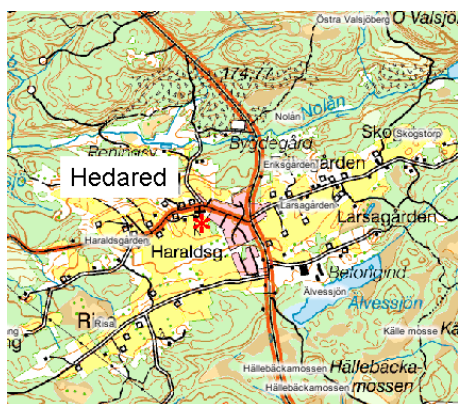
** Med kusten avses den sammanhängande kustlinje som illustreras i Figur 2.



Figur 3. Detaljerade kartor över de kontinuerliga mätlokalernas placering, markerat med stjärnor.



Figur 4. Detaljerade kartor över mätlokalernas placering 2005, markerat med stjärnor.



Figur 5. Detaljerade kartor över mätlokalernas placering 2006, markerat med stjärnor.

A



B



C



Figur 6. Fotografier över mätlokalernas placering 2006:

A, Rönnäng, fotografi taget mot nordväst.

B, Alafors, fotografi taget mot sydväst.

C, Lanna, fotografi taget mot söder.

A



B



C



Figur 7. Fotografier över mätlokalernas placering 2006:
 A, Hedared, fotografi taget mot nordväst.
 B, Sandhult, fotografi taget mot väster.
 C, Brobacka, fotografi taget mot norr.

8. Mätprocedurer

Tidpunkterna för olika moment i studien ges i Tabell 5 för 2005 och i Tabell 6 för 2006. Principen som användes var att det mobila systemet skulle stå vid Östads Säteri minst en vecka före och efter varje mätperiod för interkalibrering med mätsystemen vid Östad. Målsättningar var vidare att det mobila systemet skulle stå minst fyra veckor vid respektive mätplats.

Cirka en vecka efter att det mobila systemet placerats vid Rönnäng uppstod störningar i mätsystemet, som kom och gick med oregelbundna mellanrum. Detta gjorde det svårt att upptäcka var felet låg. Störningsperioderna syntes dock tydligt, framför allt vad gäller de känsliga sensorerna för ljus och vindriktning. Alla mätvärden från störningsperioderna har

uteslutits. Efter flyttning av systemet tillbaka till Östad kunde felet identifieras som tillfälliga överslag i den kopplingsplint på loggern där alla mätkablar anslöts. Efter byte av plinten fungerade systemet problemfritt, med undantag av ett par dagars databortfall vid Alafors där jordfelsbrytaren löste ut på grund av åskväder.

Tabell 5. En översikt över datum för olika moment under 2005.

Datum	Moment
2005-05-19	Mobila systemet igång på Östad
2005-05-26	Mobilt system flyttat till Rönnäng, igång ca kl 12
2005-06-04	Störningar uppstår till och från i det mobila systemet från detta datum, ca kl 13.
2005-06-22	Mobilt system flyttat till Östad, igång ca kl 14
2005-06-29	Bytt plint till logger, störningar eliminerade
2005-07-05	Mobilt system flyttat till Alafors,
2005-07-11	Jordfelsbrytare löst ut p.g.a. åskväder, systemet stannat
2005-07-19	Jordfelsbrytare löst ut p.g.a. åskväder, systemet stannat
2005-08-03	Systemet flyttat från Alafors till Östad
2005-08-09	Systemet flyttat från Östad till Lanna
2005-09-14	Systemet flyttat från Lanna till Östad
2005-09-29	Mätningarna avslutade

Tabell 6. En översikt över datum för olika moment under 2006.

Datum	Moment
2006-04-26	Mobila systemet igång på Östad
2006-05-12	Mobila systemet flyttat från Östad till Hedared
2006-06-19	Mobila systemet flyttat från Hedared till Östad
2006-06-26	Mobila systemet flyttat från Östad till Sandhult
2006-07-28	Mobila systemet flyttat från Sandhult till Östad
2006-08-01	Mobila systemet flyttat från Östad till Brobacka
2006-08-22	Ozoninstrumentet tillhörande det mobila systemet falerat
2006-08-25	Bytt till ett nytt ozoninstrument
2006-09-18	Mobila systemet flyttat från Brobacka till Östad
2006-09-28	Mätningarna avslutade

9. Resultat

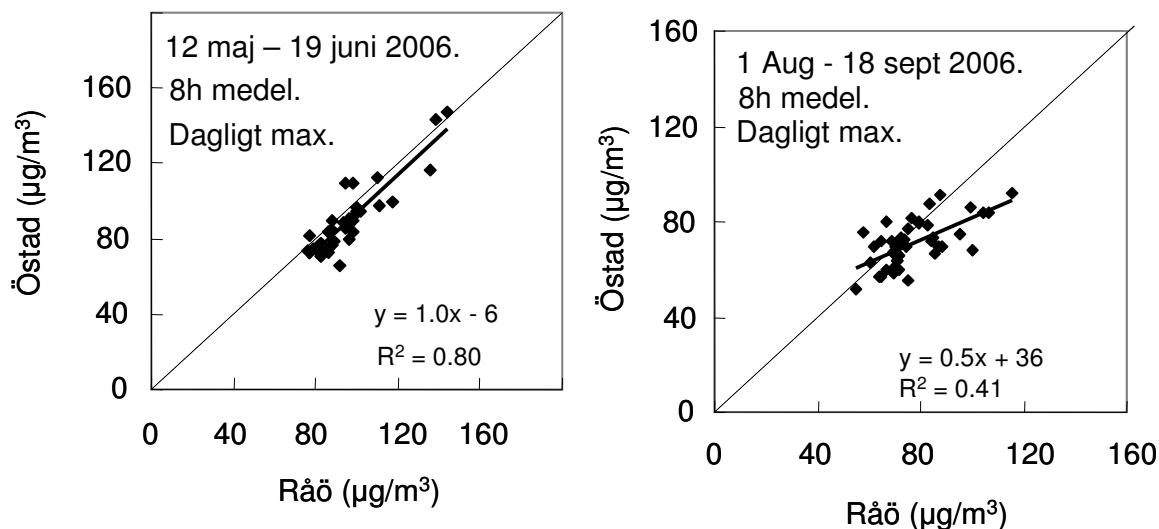
9.1 Allmänt om resultatredovisningen

I denna rapport redovisas en omfattande del av alla mätresultat, uppdelat på olika mätplatser. Vidare gör vi en samlad bedömning av om hypotesen om klassificering av ozonförekomsten kan bekräftas eller måste förkastas. I en kompletterande rapport (Karlsson m. fl., 2007) görs en samlad bedömning av ozonbelastningen över Västra Götalands län.

Maximalt 8-timmarsmedelvärde för ozonkoncentrationen är ett viktigt ozonindex för både Sveriges miljökvalitetsnormer och EU's direktiv om ozon i luften och utgör det målvärde som riskerar att överskridas i stora delar av Sverige efter att det träder i kraft år 2010. Målvärdet som inte skall överskridas är $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vi har därför fokuserat på detta ozonindex och korrelerat värden för dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärden mellan platsen där det mobila systemet varit placerat, med samtida mätningar vid Östads Säteri och Råö.

Som beskrivits i inledningen ovan, föreligger det ett visst slumpmässigt inslag som avgör om det vid en viss plats vid en viss tidpunkt kommer att förekomma höga ozonhalter eller inte. För att riktigt höga ozonhalter skall uppstå dagtid måste de lokala meteorologiska förutsättningarna var gynnsamma för ozonbildning samtidigt som luftmassan som täcker platsen måste ha sitt ursprung från ett mycket förorenat område med höga utsläpp av ozonbildande ämnen. En svårighet vid jämförelserna har varit att mätsystemet varit placerat vid olika platser under olika perioder, vilka förlagts till olika delar av sommarhalvåret och där det storskaliga väderläget varit olika. Detta utgör ett problem på grund av att skillnaderna i ozonförekomst mellan kusten och höglänta respektive låglänta delar av inlandet beror till stor del på den lokala meteorologin, framförallt den stabila skiktning av luftlagren som blir ett resultat av nattliga temperaturinversioner. Tidpunkten för inversionens inträdande på eftermiddagen till stor del beror av dagslängden. Idealet hade varit att kunna genomföra parallella mätningar vid alla platser samtidigt, men detta var ej möjligt.

En indikation av betydelsen av detta problem fås genom att studera relationen mellan Östad och Råö under de olika perioderna. Två exempel på dylika relationer visas i Figur 8. Statistiska uppgifter för korrelationen mellan Östad och Råö för alla olika perioder, då det mobila mätsystemet varit placerat på olika ställen, redovisas i Tabell 7.



Figur 8. Två exempel på korrelationer under olika mätperioder vad gäller det dagliga, maximala, 8-timmarsmedelvärdet för ozonkoncentration vid Östads Säteri och vid Råö. Under perioden 12 maj – 19 juni 2006 var mätsystemet placerat vid Hedared. Under perioden 1 aug. – 18 sept. 2006 var systemet placerat vid Brobacka.

Tabell 7. Statistiska uppgifter för korrelationen mellan Östad Säteri och Råö vad gäller det dagliga, maximala, glidande 8-timmarsmedelvärdet för ozonkoncentration för olika mätperioder under de två år som mätningarna genomförts. Inom parentes anges var det mobila systemet varit placerat under de olika perioderna. I regressionsanalyserna har ozonhalterna angetts som $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Period	y=ax+b y=Östad, x=Råö		
	Dagligt, max 8-tim medel		
	a	b	R ²
26 maj – 23 juni 2005 (placering Rönnäng)	0.6	24	0.46
5 jul – 3 aug 2005 (placering Alafors)	0.7	18	0.50
9 aug – 14 sept 2005 (placering Lanna)	0.7	14	0.71
12 maj – 19 juni 2006 (placering Hedared)	1.0	-6	0.80
26 juni – 28 juli 2006 (placering Sandhult)	0.7	28	0.66
1 sep – 18 sept 2006 (placering Brobacka)	0.5	36	0.41

Korrelationerna vad gäller ozonförekomsten mellan Östads Säteri och Råö var relativt likartad under mätningarna 2005, med en lutningskoefficient runt 0.6 – 0.7 (högst ozonförekomst vid Råö) och ett intercept mellan 14 och 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Under 2006 var motsvarande korrelationer mera varierande. Under perioden då mätsystemet var placerat vid Hedared var ozonförekomsten relativt lika mellan Östad och Råö. De två punkterna med höga värden i Figur 8 vid jämförelsen av Östads Säteri och Råö för perioden 12 maj – 19 jun 2006, härrör från en enda ozonepisod. Vid denna ozonepisod var det högtrycksbetonat väder med rakt sydliga vindar som under dagen översteg 4 m/s. Under perioden då mätsystemet var placerat vid Brobacka var ozonförekomsten betydligt lägre vid Östads Säteri jämfört med Råö (lutningskoefficient <1, Figur 8). Dock var korrelationskoefficienten också lägre.

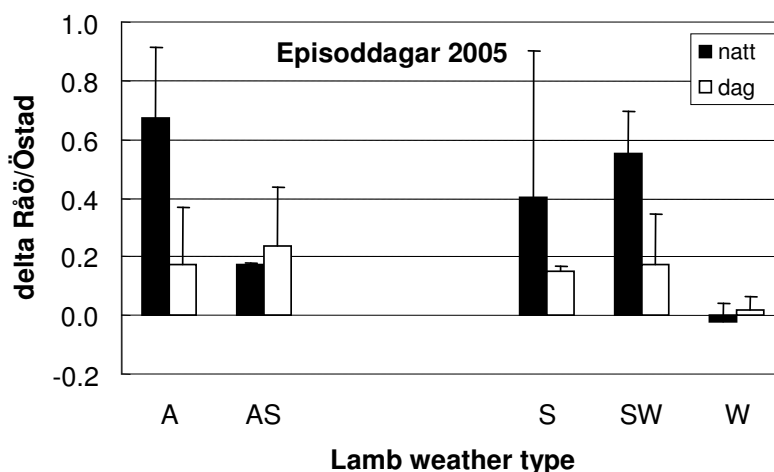
Ett försök till att relatera skillnaderna i ozonförekomst mellan Östads Säteri och Råö till den storskaliga vädersituationen under året 2005 visas i Figur 9. Daglig klassificering av väderläget i södra Sverige i form av "Lamb Weather Types" har erhållits från Lin Tang, Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet. Vädertyperna förklarar enligt följande: A, "anticyclonic", högtryck; S, "southerly", sydlig luftström; SW, "southwesterly", luftström från sydväst; W, "westerly", västlig luftström; AS, "anticyclonic south", ett mellanting mellan högtryck och sydlig luftström. Analyser gjordes för de dagar då det maximala 8-timmarsmedelvärdet för ozon överskred 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vid någon av de mätplatser som ingår i studien, inklusive de dagar då det mobila systemet stod vid Östads Säteri för interkalibrering (totalt 18 dagar under 2005). Av dessa dagar var 8 dagar med högtrycksbetonat väder, vädertyp "A", medan två dagar vardera var av vädertyp "AS", "S", "SW" samt "W". Övriga vädertyper förkom endast under enstaka dagar och har ej medtagits i analysen. Skillnaden i värden för 8-timmarsmedelvärde mellan Råö och Östads Säteri uttrycks som:

$$\text{Delta Råö/Östad} = ([\text{O}_3]_{\text{Råö}} - [\text{O}_3]_{\text{Östad}}) / [\text{O}_3]_{\text{Råö}}$$

Ett lågt värde innebär en liten skillnad i ozonförekomst mellan Råö och Östad, ett högt värde innebär att ozonförekomsten var mycket lägre vid Östads Säteri, jämfört med Råö.

Genom att multiplicera med 100 erhålls den procentuella skillnaden, baserat på värdet för Råö.

Man kan se i Figur 9 att skillnaden i 8-timmarsmedelvärde dagtid (timma 22, medelvärde för tiden 14-22) mellan Råö och Östads Säteri inte visar något samband med vädertyp, förutom när vädret bestod i en rakt västlig luftström, då skillnaden var mycket liten mellan Råö och Östads Säteri. Skillnaden nattetid (timma 8, medelvärde för tiden 00-08) mellan Råö och Östads Säteri var starkt beroende av vädertyp, där den största skillnaden förekom vid högtrycksbetonat väder. Detta beror sannolikt på att det under dessa förhållanden uppstår starka nattliga temperaturinversioner i luften nära marken vid Östads Säteri, medan detta är mindre utpräglat vid Råö.



Figur 9. Skillnaden i ozonförekomst mellan Östads Säteri och Råö relaterat till dagliga storskaliga vädersituationer 2005. Analysen omfattar endast dagar då det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid någon mätplats av Östads Säteri, Råö, eller platsen för mobila mätningar. På y-axeln anges skillnaden i dagligt maximalt 8-timmars medelvärde vid Råö och Östads Säteri, uttryckt som $(([\text{O}_3]_{\text{Råö}} - [\text{O}_3]_{\text{Östad}}) / [\text{O}_3]_{\text{Råö}})$. Ozonhalter anges som ppb. Ett lågt värde innebär en liten skillnad i värde mellan Råö och Östad, ett högt värde innebär att värdet är mycket lägre vid Östads Säteri, jämfört med Råö. Värden anges för 8-timmars medelvärden för timma 8 (representerar natt, kl 00-08, svarta staplar) och 22 (representerar dag, kl 14-22, ofyllda staplar). Lamb weather types: A, "anticyclonic", högtryck; S, "southerly", sydlig luftström; SW, "southwesterly", luftström från sydväst; W, "westerly", västlig luftström; AS, "anticyclonic south", ett mellanting mellan högtryck och sydlig luftström. Lamb Weather data från Lin Tang, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet

Således kunde vi i denna begränsade analys ej finna något samband mellan skillnaderna i ozonförekomst dagtid vid Östads Säteri respektive Råö och det storskaliga väderläget. LWT finns tyvärr ännu ej tillgängligt för 2006. Sannolikt beror bristen på samband i vår analys på att sambanden mellan väderläge och skillnad i ozonförekomst mellan Råö och Östad är komplexa. Det kan t ex finnas tidsförskjutningar så att skillnaderna i ozonförekomst beror av väderläget några dagar tidigare.

Ovanstående exempel på variationerna i ozonförekomst mellan Råö och Östads Säteri mellan olika mätperioder medförde att vi inte endast kunde basera våra analyser på korrelationer av

den typ som illustreras i Figur 8. Därför valde vi att även beakta skillnader i det dagliga mönstret vad gäller ozonhalter och de skillnader i detta mönster som kan relateras till olika risker för överskridanden av målvärden för ozon. Detta diskuteras närmare i nästa stycke.

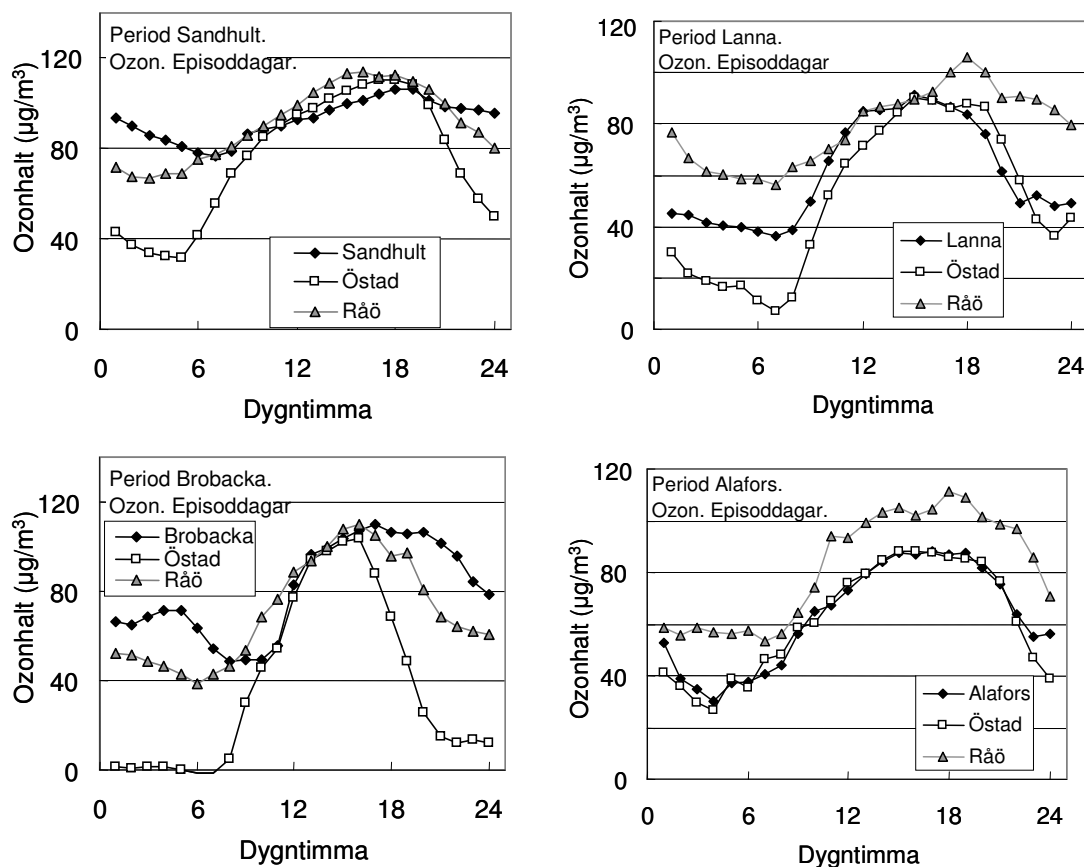
9.2 Generella grunder för bedömningen av risker för hög ozonförekomst vid en viss plats

Vi eftersträvade att täcka in ett större antal platser i vår bedömning av riskerna för en hög ozonförekomst, samtidigt som vi strävade efter en god kvalitet på våra mätdata genom en frekvent interkalibrering med mätsystemet vid Östads Säteri. Detta medförde att längden på mätperioderna vid varje plats begränsade sig till 4-6 veckor. Variationen i ozonförekomst över tiden vid en viss plats är som beskrivits ovan relativt betydande. För att täcka in denna variation skulle man behöva mäta under betydligt längre tidsperiod än som var möjligt i denna studie.

Därför har vi valt att grunda vår bedömning av riskerna för hög ozonförekomst vid en viss plats på tre kriterier:

1. Korrelationen vad gäller timvärden för ozonhalt samt det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet mellan platsen ifråga och Östads Säteri respektive Råö.
2. En riskbedömning utifrån ozonhalternas förekomst över dygnets timmar i relation till olika meteorologiska karaktärer, främst förekomsten av nattliga temperaturinversioner.
3. Skillnader och likheter i den samtida ozonförekomsten vid de olika mätplatserna, uppmätt som två-veckors medelvärden mätt med diffusiva provtagare.

Vi exemplifierar de dagliga mönster i ozonförekomst som knyts till hög respektive låg ozonförekomst med exempel på dygnskurvor för ozonhalter vid fyra olika platser, Sandhult, Brobacka, Alafors respektive Lanna (Figur 10). Kurvorna utgör medelvärden per dygnstimma för dygn med relativt hög ozonförekomst, definierat som dygn när det maximala 8-timmarsmedelvärdet vid någon mätplats överskridit $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 10. Exempel på dygnsmonster i ozonhalter vid fyra olika platser, tillsammans med förekomsten vid Östads Säteri och Råö. Sandhult (översta vänstra figuren) och Brobacka (nedersta vänstra figuren) hänförs till kategorin högt belägna platser med hög ozonförekomst, medan Lanna (översta högra figuren) och Alafors (nedersta högra figuren) hänförs till kategorin lågt belägna platser med låg ozonförekomst. Ozonhalterna utgör medelvärden per dygnstima för dagar då det maximala 8-timmars medelvärdet vid någon mätplats överskridit 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 ppb). För Sandhult är $n=18$, för Brobacka är $n=3$, för Lanna är $n=4$ och för Alafors är $n=3$.

Ozonhalterna vid Östads Säteri är för det mesta låga nattetid, beroende på en stabil skiktning av luften i sin tur beroende på en frekvent förekomst av nattliga temperaturinversioner. Vid 5-6 tiden på morgonen bryts luftens stabila skiktning genom att energin från solljuset bryter temperaturinversionen och halterna av ozon stiger relativt snabbt. Vid Råö är ozonhalterna sällan lika låga nattetid beroende på att nattliga temperaturinversioner är mindre frekventa, i sin tur främst beroende på uppträdande av landbris nattetid. Efter att temperaturinversionen brutits på morgonen blir halterna vid Östads Säteri och Råö relativt lika under dagen, beroende på att luftens turbulens ombesörjer en relativt effektiv transport av ozon från högre mot lägre liggande luftlager. Under dagen stiger ozonhalterna vid både Råö och Östads Säteri beroende på en regional ozonbildning driven av energin från solljuset. Ozonhalterna är vanligtvis något högre vid Råö jämfört med Östads Säteri under hela dagen.

Sent på eftermiddagen uppträder vid Östads Säteri ånyo en stabilisering av luftlagren närmast marken, på grund av uppträdandet av temperaturinversioner. Detta sker i mindre utsträckning vid Råö och ozonhalterna vid Råö förblir därför höga en längre tid in på kvällen.

Vid platser som ligger topografiskt högt relativt omgivande landskap, såsom Sandhult och Brobacka, följer ozonhalterna nära marken samma mönster som vid Råö, främst beroende på att det sällan blir vindstilla nattetid. En effektiv transport av ozon från högre liggande luftlager gör att de höga ozonhalterna nära marken kan bestå till relativt långt in på kvällen. Eftersom medelvärde för ozonhalter räknas över åtta timmar resulterar det i högre maximala värden för 8-timmarsmedelvärdet, jämfört med topografiskt lågt belägna platser såsom Alafors, Hedared samt Lanna. Sistnämnda platser följer ozonmönstret vid Östads Säteri.

Ovan beskrivna förlopp utgör givetvis en förenkling av verkligheten, eftersom de meteorologiska förloppen som påverkar depositionen och transporten av ozon från högre liggande luftlager är komplicerade. Ändå är detta den viktigaste orsaken till att man under längre perioder, såsom en 15-årsperiod, uppmäter en högre ozonförekomst vid vissa platser, jämfört med andra inom samma begränsade geografiska område.

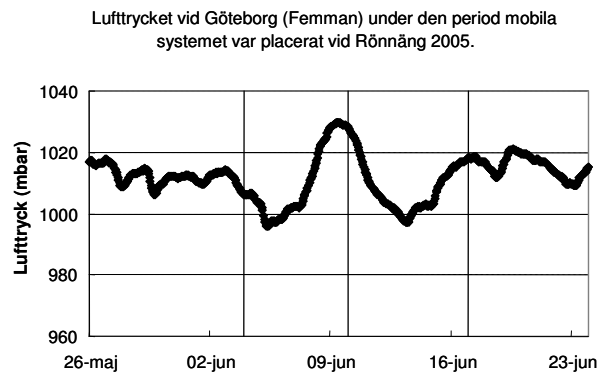
9.3 Resultat – det mobila mätsystemet

9.3.1 Rönnäng – en kustnära mätplats

9.3.1.1 Vädret och ozonförekomsten under mätperioden

Detta var den första mätperioden under projektets gång. Efter en tid fick vi problem med störningar i mätsystemet. Som ett resultat av detta användes mätdata för ozon endast för två begränsade perioder, 26 maj – 4 juni samt 11-17 juni, medan mätdata för meteorologi användes endast för den första perioden. Vädret var under första mätperioden högtrycksbetonat, med många soliga dagar och relativt lite nederbörd medan vädret under den andra perioden var mer växlande (Figur 11). Perioder med höga ozonhalter förekom i början av första perioden och i slutet av den andra.

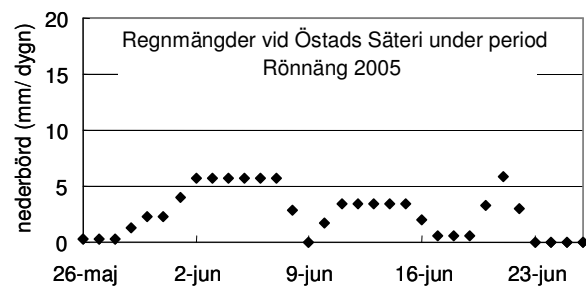
A



Figur 11. Olika meteorologiska parametrar under perioden då det mobila systemet varit placerat vid Rönnäng.

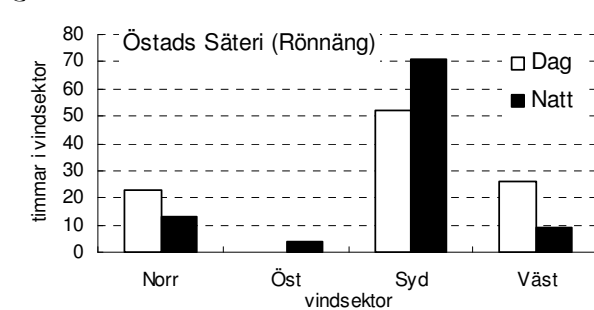
A. Luftrycket vid Göteborg (Femmanhuset) I denna figur indikeras start och slut med vertikala linjer för två perioder där mätdata för det mobila systemet saknas, 4-10 juni samt 17 juni till periodens slut.

B



B. Regnmängder vid Östads Säteri.

C



C. Vindriktningar vid Östads Säteri. Alla timmedelvärde är medtagna i denna analys. Dock är värden borttagna då det varit vindstilla, vilket har definierats som när standardavvikelsen för ett timmedelvärde för vindriktning varit noll. Analysen är uppdelad på dagtid (kl 08:00 – 19:59) och nattetid (kl 20:00-07:59).

Vindriktningarna vid en viss plats är till stor del beroende av omgivande topografi mm. Därför väljer vi att beskriva vindförhållandena under mätperioderna genom att för varje period ange vindriktningarna vid samma plats, Östads Säteri. Vindriktningarna under första mätperioden var vid Östads Säteri i huvudsak sydliga, men det fanns även ett inslag av västliga och nordliga vindar dagtid (Figur 11).

Medelvärden för ozonhalter samt meteorologi för perioden då mätsystemet var placerat vid Rönnäng anges i Tabell 8 för Rönnäng, Östads Säteri samt Råö (Råö endast ozon). Ozonhalterna som medelvärde dagtid (kl 08:00 – 19:59) var högst vid Råö följt av Rönnäng och Östads Säteri. Medelvärdet för ozonhalt nattetid (kl 20:00 – 07:59) var högst vid Rönnäng tätt följt av Råö, medan motsvarande värde för Östads Säteri var avsevärt lägre.

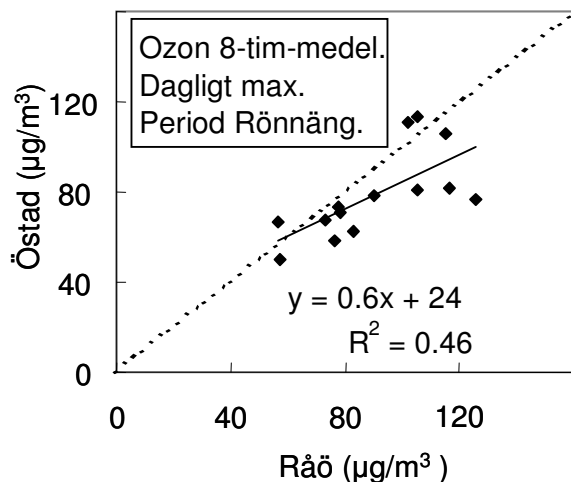
Meteorologiska värden som medelvärden dagtid var relativt lika mellan Rönnäng och Råö, dock var det avsevärt blåsigare vid Rönnäng. Det var även soligare vid Rönnäng, även om denna skillnad var mindre än förväntat eftersom det normalt är soligare vid kustbandet jämfört med inlandet. Det var varmare och torrare nattetid vid Rönnäng och skillnaderna i vindhastighet var ännu större, med betydligt högre värde för Rönnäng, jämfört med Östads Säteri. Det var ovanligt få temperaturinversioner vid Östads Säteri nattetid, vilket gör att medelvärdet mellan 20:00 och 07:59 för perioden blir nära noll.

Tabell 8. Medelvärden av ozonhalter och meteorologi under perioden då det mobila mätsystemet stod placerat vid Rönnäng, 26 maj – 23 juni 2005. Medelvärden är uppdelade mellan dagtid (08:00-19:59) och nattetid (kl 20:00 – 07:59). För Råö anges endast ozonhalter. Endast de dagar då ozonmätningarna fungerade finns medtagna (gäller även Råö), därav den dåliga datatäckningen för perioden.

	Rönnäng	Östads Säteri	Råö
Period start	2005-05-26		
Period slut	2005-06-23		
Medelvärden dagtid, kl 08:00 - 19:59			
Ozonhalt 5m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	74	71	80
Lufttemperatur 1m ($^{\circ}\text{C}$)	13	13	
Luft fuktighet 1m (%)	77	71	
Vindhastighet (m/s)	3.6	2.4	
Strålning (PAR, $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	652	596	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	0.5	0.6	
Medelvärden nattetid, kl 20:00 - 07:59			
Ozonhalt 5m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	69	49	67
Lufttemperatur 1m ($^{\circ}\text{C}$)	11	9.3	
Relativ luft fuktighet 1m (%)	85	93	
Vindhastighet (m/s)	3.3	1.2	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	0.0	0.0	
Data täckning dagtid			
antal timmar	173		
% av total	51		
Data täckning nattetid			
antal timmar	168		
% av total	50		

Det var en relativt stor skillnad i ozonförekomst, räknat som dagligt, maximalt 8-timmars medelvärde, mellan Östads Säteri och Råö under den period då det mobila mätsystemet stod placerat vid Rönnäng (Figur 12). Detta gällde i synnerhet under dagar med en hög ozonförekomst, medan ozonförekomsten var mera lika mellan Östads Säteri och Råö under dagar då det maximala 8-timmarsmedelvärdet låg runt 60-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Detta innebär att förutsättningarna var relativt goda för att jämföra ozonförekomsten vid Rönnäng med den

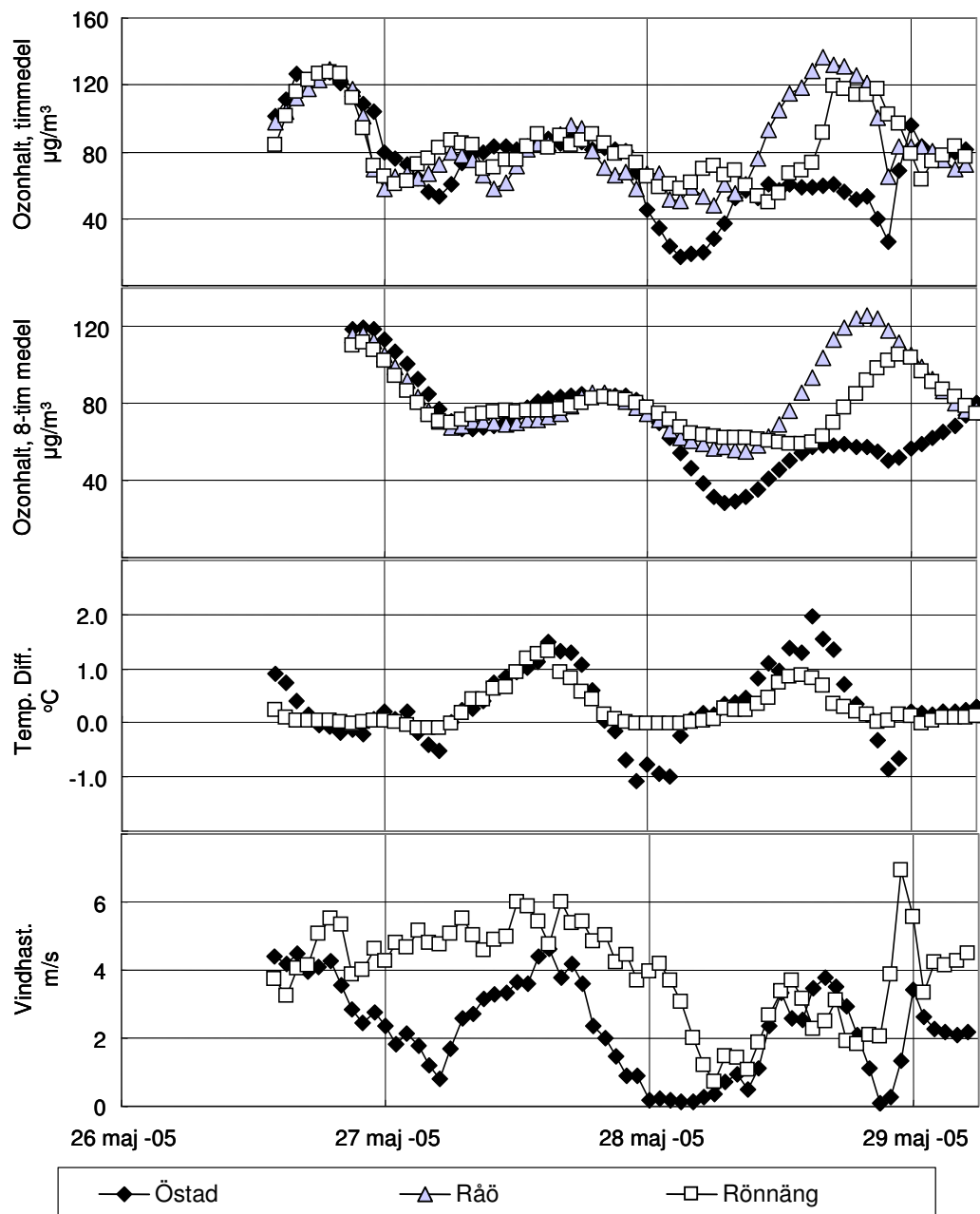
vid Östads Säteri respektive Råö och att därmed kunna hänföra Rönnäng till en av de föreslagna kategorierna vad gäller ozonförekomst.



Figur 12. En jämförelse av de dagliga, maximala 8-timmars medelvärden för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för den period när det mobila mätsystemet var placerat vid Rönnäng.

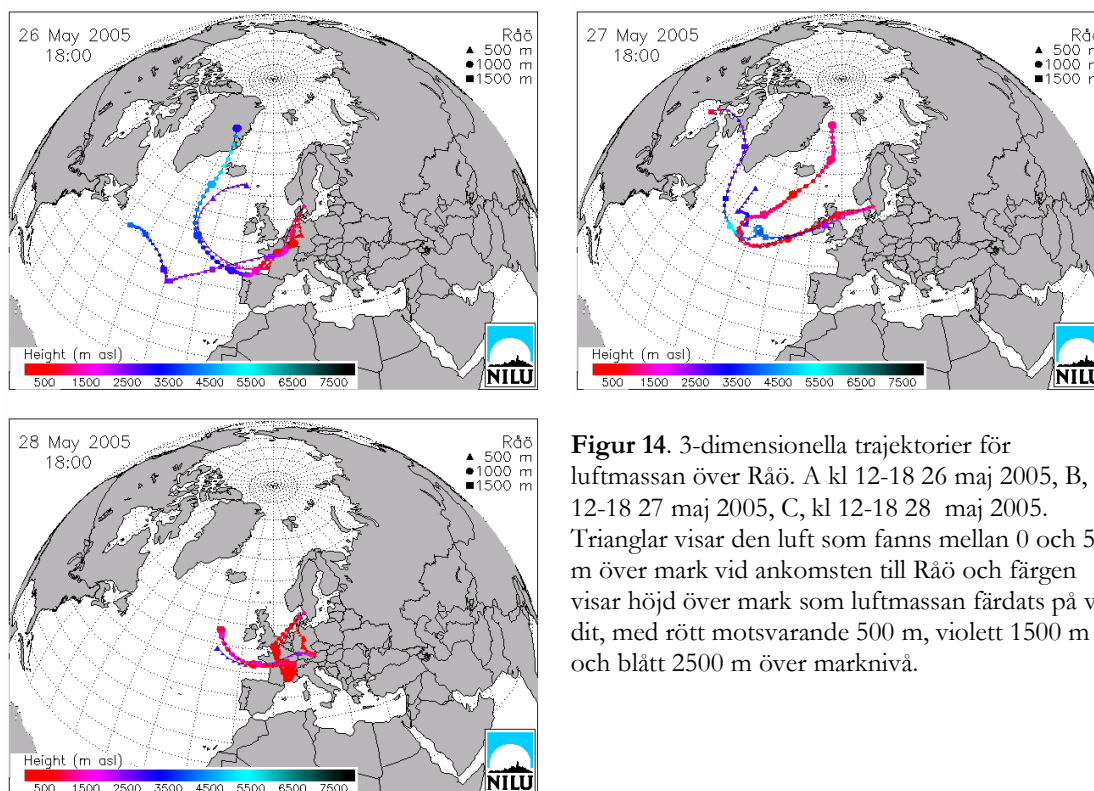
9.3.1.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Rönnäng, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter

I Figur 13 visas ozonförekomst och meteorologi vid Rönnäng och Östads Säteri under tre dygn med en hög ozonförekomst. Ozonförekomsten redovisas dels som timvärden, dels som glidande 8-timmarsmedelvärden (observera att tidsangivelsen gäller den sista timman under 8-timmarsperioden). Mätningarna startades 26 maj, strax efter lunchtid. Temperaturskillnaden mellan två olika nivåer över mark ger en indikation på luftens stabilitet, där positiva värden visar att det är varmare närmast marken vilket ger upphov till en hög turbulens. Negativa värden visar att det är kallast närmast marken, s.k. temperaturinversion, vilket medför att luften blir stabilt skiktad. Temperaturskillnaden mättes mellan 1 och 9 m över marknivå vid Östads Säteri och mellan 1 och 5 m vid Rönnäng. Vindhastigheten mättes 9 m över mark vid Östads Säteri och 5 m över mark vid Rönnäng. Trots detta var det betydligt blåsigare vid Rönnäng jämfört med Östads Säteri. Temperaturinversioner nattetid var sällsynta vid Rönnäng, men även ovanligt lite förekommande vid Östad under denna period. Under eftermiddagen den första dagen förekom en ozonepisod med halter upp mot $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fram mot kvällen. Ozonhalterna var i stort sett lika vid Rönnäng, Östads Säteri samt Råö. Nästa dag var en mellandag med relativt låga ozonhalter. Den tredje dagen blev det återigen en ozonepisod, där ozonhalterna ökade kraftigt vid Råö vid lunchtid och vid Rönnäng vid 3-tiden på eftermiddagen. Vid Östads Säteri skedde dock inte motsvarande ökning av ozonhalterna. Detta medförde att skillnaden i ozonhalt mellan Rönnäng och Råö, gentemot Östads Säteri, blev i storleksordningen $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket är en ovanligt stor skillnad under dagtid mellan så geografiskt närliggande platser. Det var nordliga vindar under denna tredje dag, vilket även det är ovanligt i samband med ozonepisoder. I föregående rapport (Karlsson m.fl. 2006) har vi redogjort närmare för det storskaliga väderläget under dessa dagar.



Figur 13. Exempel på mätvärden för ozonhalter och utvalda meteorologiska parametrar för Rönnäng (ofyllda symboler) och Östad (svarta symboler) under tre dagar i september 2006. Dessutom ges ozonhalter för Råö under motsvarande period (grå symboler). I ordning uppifrån och ner visas ozonhalter som timvärden, ozonhalter som glidande 8-timmars medelvärden (tidsangivelsen gäller sista timman i perioden), temperaturdifferensen mellan två höjder över marknivå (Östads Säteri, 1-9 m, Rönnäng 1-5 m) samt vindhastigheten (Östads säteri 9 m över marknivå, Rönnäng 5 m över marknivå).

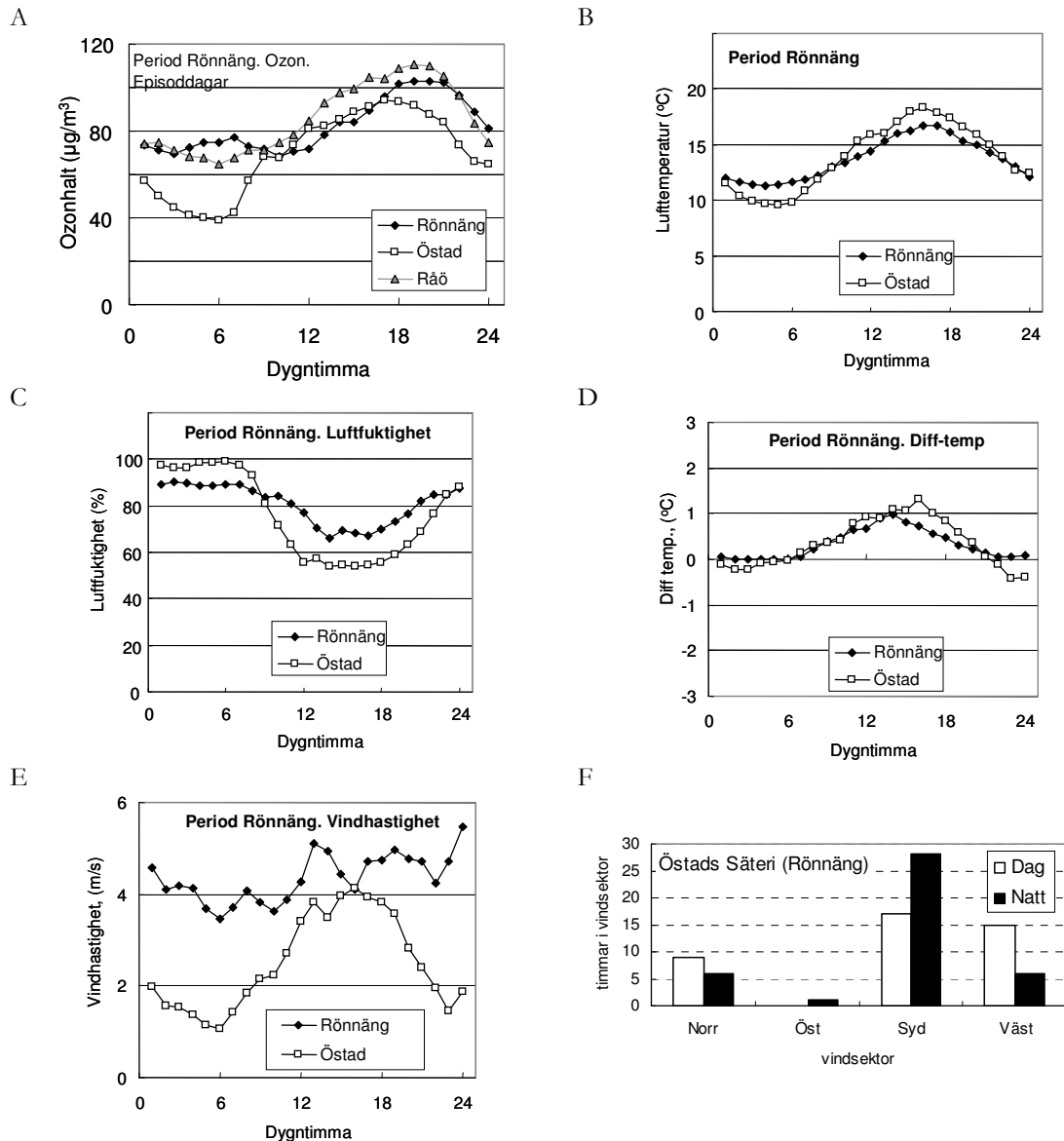
Sedan föregående rapport har trajektorier blivit tillgängliga för den luftmassa som anlände till Råö under perioden. I Figur 14 visas trajektorerna för eftermiddagarna (kl 12:00 – 18:00) för de tre dagarna. Ozonepisoden under 26 maj orsakades av förorenad luft som passerat Frankrike, Beneluxländerna, norra Tyskland samt Danmark på sin väg mot Svenska västkusten. FLEXTRA modellen förutsäger trajektorier för tre olika luftlager som anländer till Råö, 500, 1000 samt 1500 m.ö.h. Alla tre luftlagren har följt ungefär samma bana. Ozonepisoden 28 maj förorsakades av förorenad luft som färdats lite olika vägar, beroende på vilket luftlager man beaktar. Luften närmast marken kom från Atlanten på hög höjd via Frankrike och sedan på lägre höjd en sväng via södra Tyskland, medan luften för de högre luftlagren kom från sydöstra Frankrike via Nordsjön. En förklaring till de stora skillnaderna i ozonförekomst denna dag mellan Rönnäng/Råö och Östad skulle kunna bero på att luften som nådde dessa platser hade olika vertikalt ursprung. Luften som nådde Rönnäng/Råö skulle kunna bestå mest av det lägre luftlagret med ursprung i de starkt förorenade områdena i södra Tyskland, medan den luft som nådde Östad skulle kunna ha sitt ursprung i högre liggande luftlager som gått över Nordsjön. Detta visar på komplexiteten vad gäller luftmassornas ursprung med skillnader både i horisontell och i vertikal transport.



Figur 14. 3-dimensionella trajektorier för luftmassan över Råö. A kl 12-18 26 maj 2005, B, kl 12-18 27 maj 2005, C, kl 12-18 28 maj 2005. Trianglar visar den luft som fanns mellan 0 och 500 m över mark vid ankomsten till Råö och färgen visar höjd över mark som luftmassan färdats på väg dit, med rött motsvarande 500 m, violett 1500 m och blått 2500 m över marknivå.

I Figur 15 visas medelvärden uppdelat per dygnsstimma för alla dagar under mätperioden då det maximala 8-timmarsmedelvärdet översteg $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid någon mätplats. Dessa förhållanden uppträdde under totalt 6 dagar, då mätningarna var i funktion vid Rönnäng (meteorologiska mätningar från endast 3 dagar). Ozonhalterna (Figur 15A) var nattetid lägre vid Östads Säteri, jämfört med Rönnäng och Råö. Detta beror på den stabila skiktning av luften som uppstår under nattliga temperaturinversioner vid Östads Säteri. På morgonen

bryter solljuset upp luftens stabila skiktning vid Östads Säteri och ozonhalterna stiger snabbt till samma nivå som vid Rönnäng och Råö. Dock tenderar ozonhalterna till att vara något högre vid Råö, jämfört med de båda andra mätplatserna. Sent på eftermiddagen inträder återigen en stabil skiktning av luften vid Östads Säteri och ozonhalterna sjunker där, medan ozonhalterna vid Rönnäng och Råö fortsätter att öka fram till en bit in på kvällen.

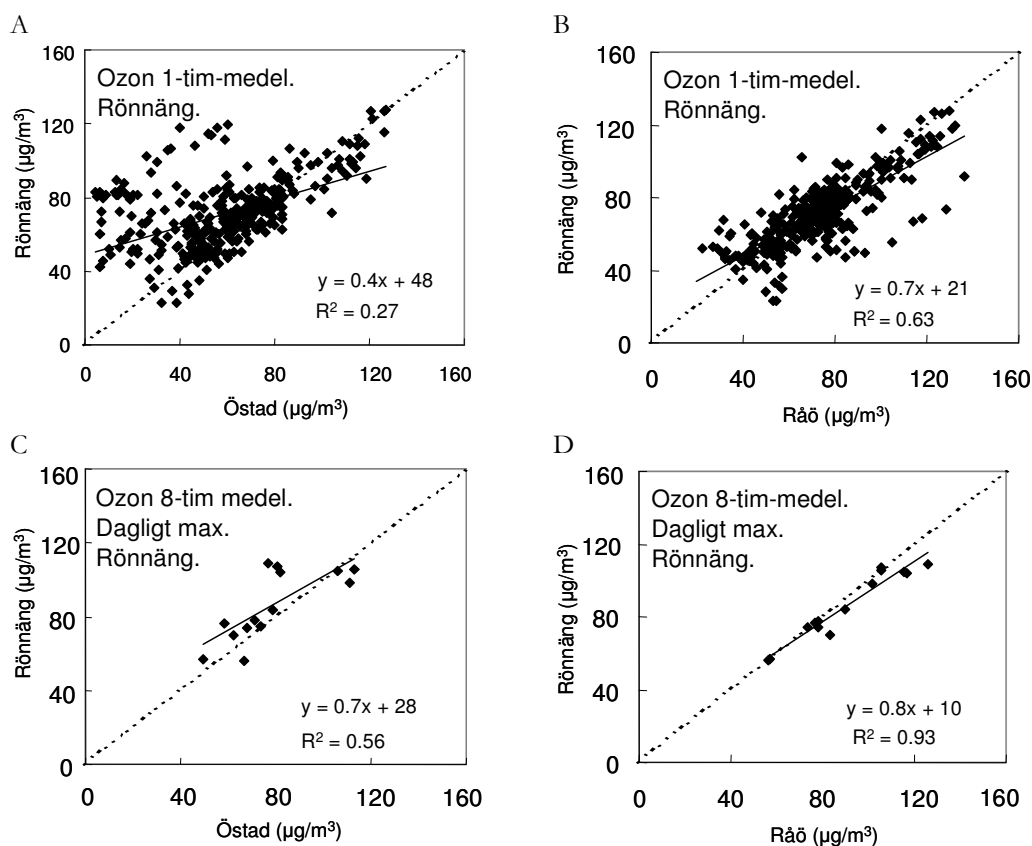


Figur 15. Medelvärden per dygntimma för ozonhalter samt meteorologi uppmätta under olika perioder vid Rönnäng, Östads Säteri samt Råö (endast ozon) under dagar då det maximala 8-timmars medelvärde för ozon vid någon av mätplatserna överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $n=6$ för ozon, $n=3$ för meteorologi. A, Ozonhalter, timvärden. B, Lufttemperaturer 1 m över marknivå. C, Relativ luftfuktighet 1 m över marknivå. D, Temperaturdifferens mellan två nivåer över mark (Östads Säteri 1-9 m, Rönnäng 1-5 m). E, Vindhastighet (Östads Säteri 9 m över mark, Rönnäng 5 m över mark). F, Vindriktningen, uttryckt som antal timmar i olika vindsektorer, vid Östads Säteri visas för motsvarande dagar.

Skillnaderna i luftens stabilitet mellan Rönäng och Östads Säteri framgår tydligt vad gäller medelvärdena för vindhastigheten (figur 15E). Vindriktningen dagtid vid Östads var under dessa episoddagar företrädesvis sydligt eller västlig, men redan som nämnts ovan även nordlig (figur 15F). Sammanfattningsvis kan vi konstatera att mönstret i ozonförekomst under episoddagar var relativt lika vid Rönäng och Råö, med höga ozonhalter till långt in på kvällen, medan det var annorlunda vid Östads Säteri med låga ozonhalter nattetid och med en nedgång i ozonhalter redan vid 18-tiden på eftermiddagen.

9.3.1.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Rönäng, Östads Säteri och Råö

Ett sätt att jämföra ozonförekomsten vid Rönäng med den vid Östads Säteri respektive Råö, är att korrelera de samtida ozonhalterna vid respektive mätplats. Detta har gjorts både för alla förekommande timvärden för ozonhalt (Figur 16, A och B), samt för de dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdena (Figur 16, C och D).



Figur 16. Relationen mellan samtida ozonförekomst vid Rönäng och den vid Östads Säteri respektive den vid Råö. Ozonförekomsten är beräknad dels som alla timmedelvärden (A,B), dels som det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet (C,D).

Vad gäller jämförelsen av alla timvärden mellan Rönnäng och Östads Säteri (Figur 16 A) framgår att det fanns tillfällen då ozonhalterna låg runt $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid Rönnäng medan de vid samma tillfälle var hälften så höga eller ännu lägre vid Östads Säteri, vilket redan beskrivits ovan. Detta var fallet inte bara under den ozonepisod som beskrivs i Figur 13 ovan, utan även under ytterligare en ozonepisod som inträffade i slutet av den andra mätperioden. Vid motsvarande jämförelse mellan Rönnäng och Råö (Figur 16 B) fann vi fortfarande en betydande variation, men skillnaderna var dock avsevärt mindre mellan Rönnäng och Råö, jämfört med mellan Rönnäng och Östads Säteri. Vad gäller det dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdet var korrelationen mellan Rönnäng och Råö mycket god (Figur 16 D), medan den var avsevärt sämre för jämförelsen mellan Rönnäng och Östads Säteri (Figur 16 C).

9.3.1.4 Sammanfattning och slutsatser Rönnäng

- Mönstret i ozonförekomst vid Rönnäng över dygnets timmar liknade i stor utsträckning den vid Råö men inte den vid Östads Säteri.
- Korrelationen vad gäller samtida ozonförekomst var avsevärt bättre mellan Rönnäng och Råö, jämfört med mellan Rönnäng och Östads Säteri, både vad gäller timvärden för ozonkoncentration och vad gäller det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet.
- Ozonförekomsten vid Rönnäng var således mer lik den vid Råö än den vid Östads Säteri.

9.3.2 Alafors – en lågt belägen mätplats i inlandet

9.3.2.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden

Medelvärden för ozonhalter samt meteorologi för perioden då mätsystemet var placerat vid Alafors anges i Tabell 9 för Alafors, Östads samt Råö (Råö endast ozon). Vädret under perioden illustreras i Figur 17.

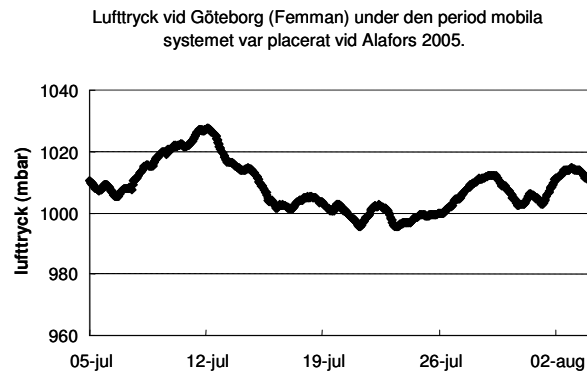
Vädret var under första halvan av juli högtrycksbetonat med soliga dagar. Trots detta var ozonhalterna inte särskilt höga. De relativt stora regnmängder som mättes upp vid Östads Säteri var resultatet av ett flertal kraftiga åskväder, vilket även gjorde att det mobila mätsystemet slogs ut vid två tillfällen under denna period. Under senare delen av juli var vädret mer mulet, förutom de två dagar i månadsskiftet juli-augusti som visas i Figur 18 nedan. Vindriktningen dagtid vid Östads Säteri var i huvudsak sydlig med vissa inslag av västliga och nordliga vindar.

Tabell 9. Medelvärden av ozonhalter och den lokala meteorologi under perioden då det mobila mätsystemet stod placerat vid Alafors, 5 jul – 3 aug 2005. Medelvärden är uppdelade mellan dagtid (08:00-19:59) och nattetid (kl 20:00 – 07:59). För Råö anges endast ozonhalter.

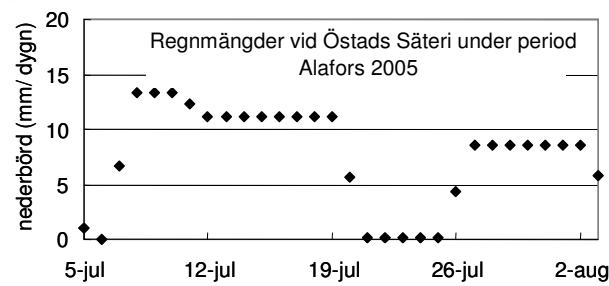
	Alafors	Östads Säteri	Råö
Period start	2005-07-05		
Period slut	2005-08-03		
Medelvärden dagtid, kl 08:00 - 19:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	69	68	75
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	20	20	
Luft fuktighet 1 m (%)	69	71	
Vindhastighet (m/s)	1.7	2.0	
Strålning (PAR, $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	729	734	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	0.7	0.5	
Medelvärden nattetid, kl 20:00 - 07:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44	39	61
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	15	14	
Luft fuktighet 1 m (%)	91	96	
Vindhastighet (m/s)	0.6	0.7	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-0.1	-0.7	
Data täckning dagtid			
antal timmar	314		
% av total	90		
Data täckning nattetid			
antal timmar	316		
% av total	91		

Ozonhalterna som medelvärde dagtid var högst vid Råö följt av Alafors och Östads Säteri vilka hade mycket lika värden. Skillnaderna i medelhalt var större nattetid med högst halter vid Råö och med något högre halter vid Alafors, jämfört med Östad. Meteorologiska värden som medelvärden dagtid var förhållandevis lika mellan Alafors och Östads Säteri. De meteorologiska värdena från Alafors skall behandlas med försiktighet eftersom mätsystemet stod placerat endast ca 5 m från en byggnad.

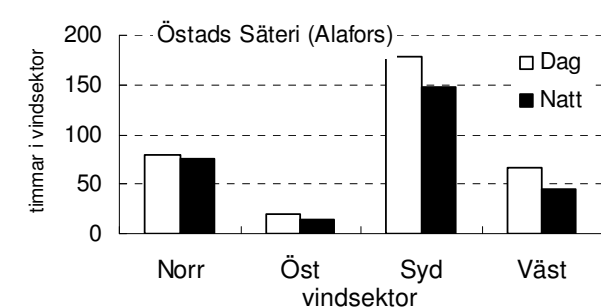
A



B



C



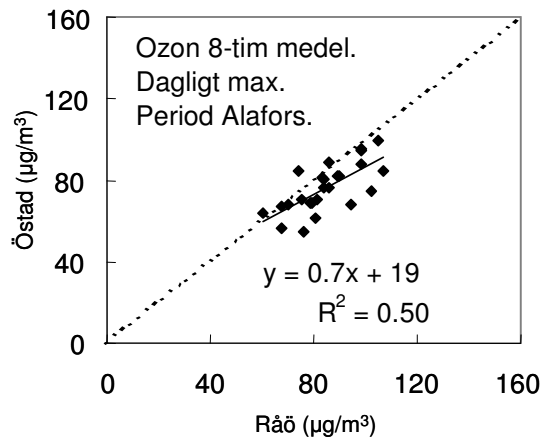
Figur 17. Olika väderindikatorer under mätperioden då det mobila systemet varit placerat vid Alafors.

A. Luftrycket vid Göteborg (Femmanhuset).

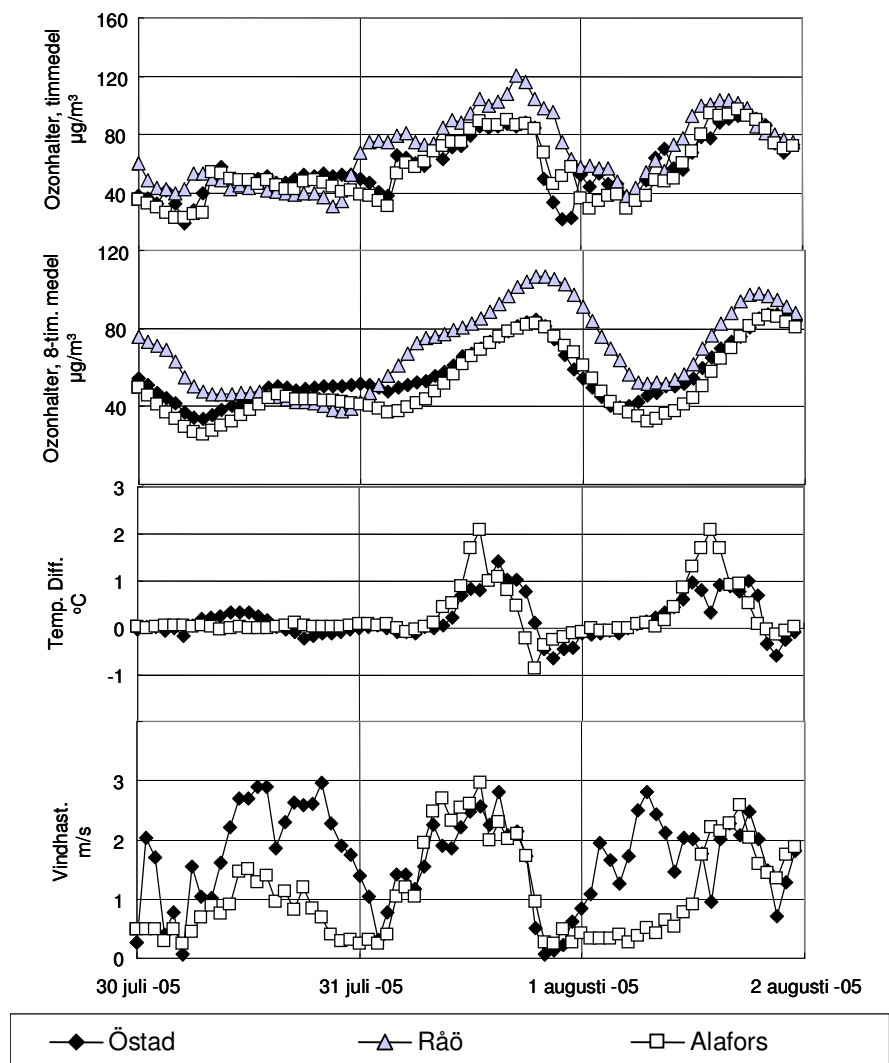
B. Regnmängder vid Östads Säteri under perioden.

C. Vindriktningar vid Östads Säteri. Alla timmedelvärde är medtagna i denna analys. Dock är värden borttagna då det varit vindstilla, vilket har definierats som när standardavvikelsen för ett timmedelvärde för vindriktning varit noll. Analysen är uppdelade på dagtid (kl 08:00 – 19:59) och natttid (kl 20:00–07:59).

Det fanns en tydlig skillnad i ozonförekomst, räknat som dagligt, maximalt 8-timmarsmedelvärde, mellan Östads Säteri och Råö under den period då det mobila mätsystemet stod placerat vid Alafors (Figur 18), även om den inte var lika utpräglad som för perioden då mätsystemet stod vid Rönnäng. Det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet var dock genomgående högre vid Råö, jämfört med Östads Säteri, under perioden. Detta innebar att förutsättningarna var relativt goda för att jämföra ozonförekomsten vid Alafors med den vid Östads Säteri respektive Råö.



Figur 18. En jämförelse av de dagliga, maximala 8-timmars medelvärden för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för den period när det mobila mätsystemet var placerat vid Alafors.



Figur 19. Exempel på mätvärden för ozonhalter och utvalda meteorologiska parametrar för Alafors (ofyllda symboler) och Östad (svarta symboler) under tre dagar i augusti-september 2006. Dessutom ges ozonhalter för Råö under motsvarande period (grå symboler). I ordning uppifrån och ner visas ozonhalter som timvärden, ozonhalter som glidande 8-timmars medelvärden (tidsangivelsen gäller sista timman i perioden), temperaturdifferensen mellan två höjder över marknivå (Östads Säteri, 1-9 m, Alafors 1-5 m) samt vindhastigheten (Östads säteri 9 m över marknivå, Alafors 5 m över marknivå).

9.3.2.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Alafors, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter

I Figur 19 visas ozonförekomsten samt några meteorologiska parametrar för tre dygn i månadsskiftet juli-augusti 2005. Denna period innefattar de högsta ozonhalterna som förekom vid Råö under mätperioden. Vädret var mulet första dagen men soligt de båda påföljande dagarna. Vindriktningen mitt på dagen vid Östads Säteri var nordlig dag ett, sydlig dag två samt västlig dag tre. Lufttemperaturerna låg mellan 18 och 23 °C mitt på dagen.

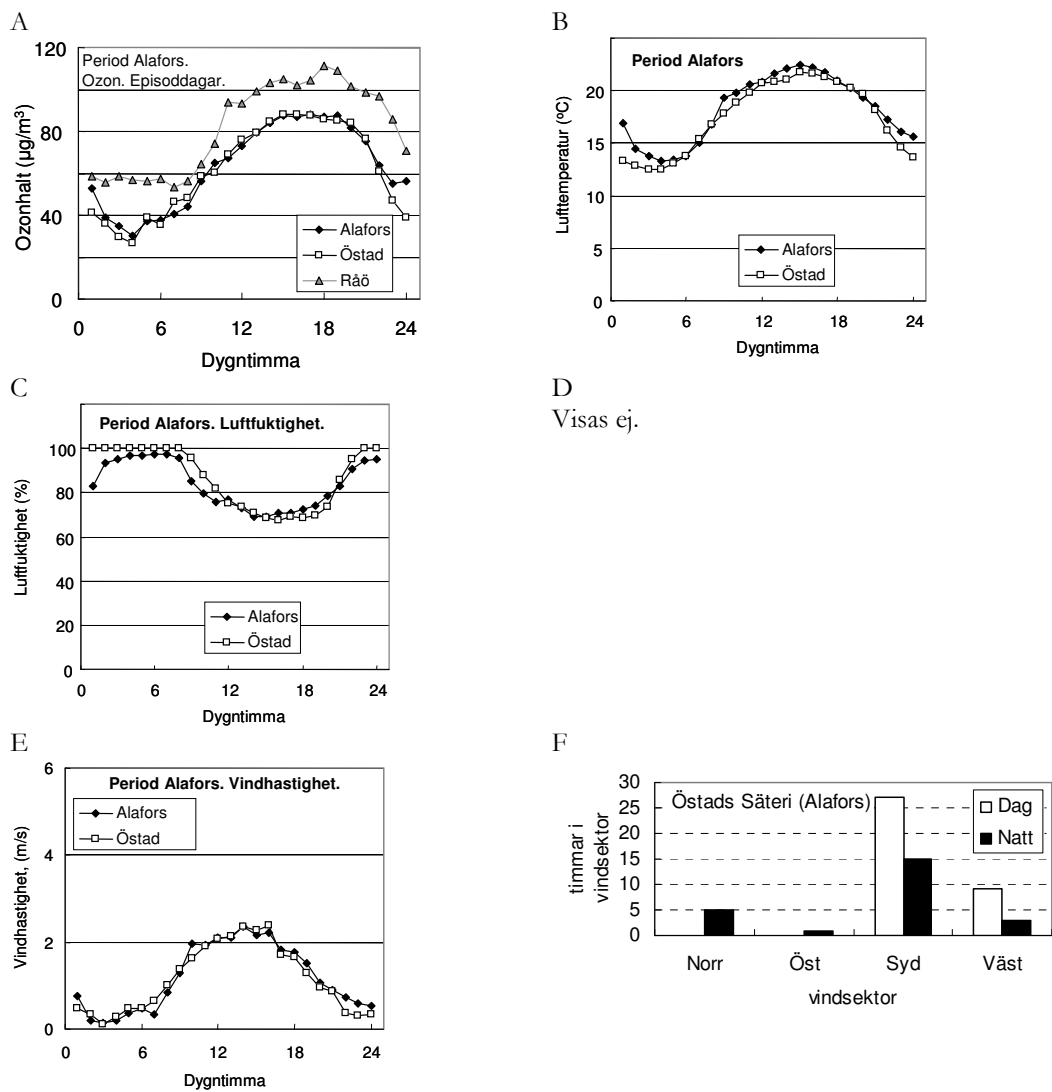
Ozonhalterna vid Alafors och Östads Säteri följde varandra väl under större delen av perioden, medan ozonhalterna vid Råö låg högre, särskilt dag två.

I Figur 20 visas medelvärden för ozon och meteorologi per dygnstimma för de tre dagar då det maximala 8-timmarsmedelvärdet vid någon mätplats överskred 100 µg/m³ under mätperioden. Här bekräftas hur väl ozonhalterna vid Alafors och Östads Säteri följer varandra, medan halterna vid Råö ligger högre för alla dygnets timmar. Även lufttemperatur, luftfuktighet samt vindhastighet var väldigt lika mellan Alafors och Östads Säteri. Vindriktningarna dagtid vid Östads säteri var under dessa tre dagar huvudsakligen sydliga, men vid några tillfällen även västliga.

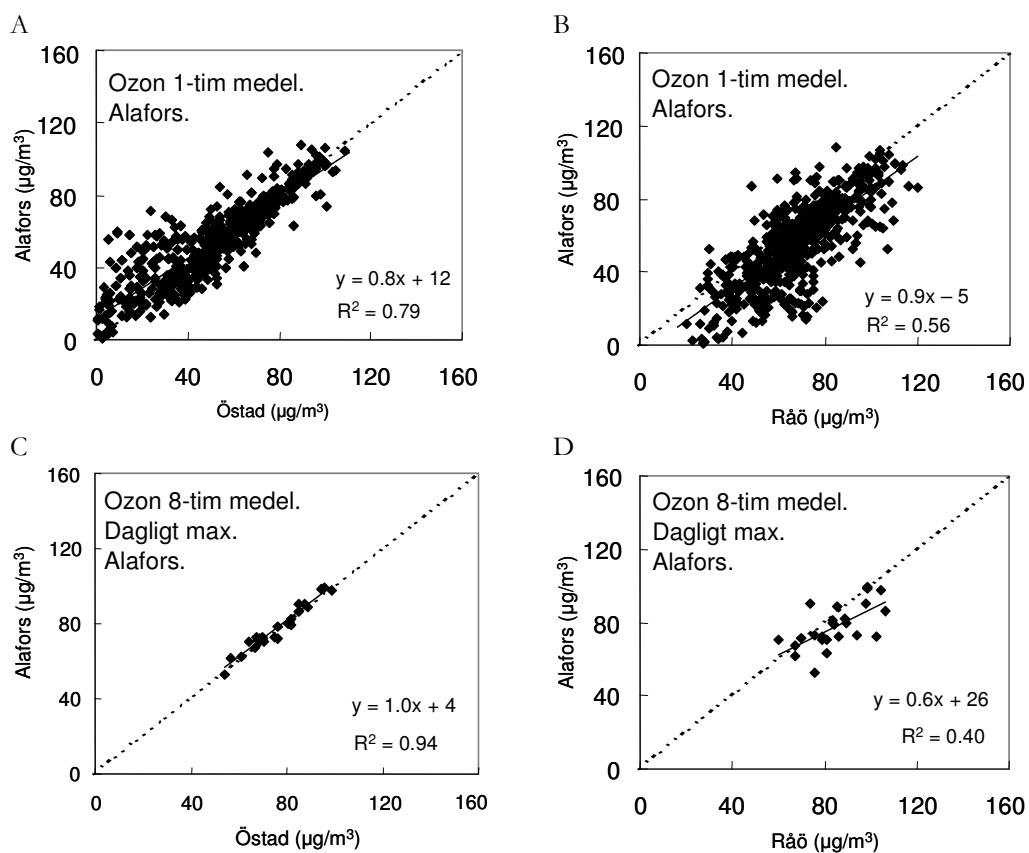
Temperaturdifferenserna mellan olika höjder över marken visas ej för denna period, eftersom närheten till byggnaden vid Alafors bedömdes påverka denna parameter i alltför stor utsträckning.

9.3.2.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Alafors, Östads Säteri och Råö

Det framgår av Figur 21 att ozonförekomsten vid Alafors korrelerade bättre med den vid Östads Säteri, jämfört med Råö. I synnerhet det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet visade en mycket god korrelation mellan Alafors och Östads Säteri. 8-timmarsmedelvärdet var i de flesta fall betydligt högre vid Råö, jämfört med Alafors.



Figur 20. Medelvärden per dygntimma för ozonhalter samt meteorologi uppmätta under olika perioder vid Alafors, Östads Säteri samt Råö (endast ozon) under dagar då det maximala 8-timmars medelvärde för ozon vid någon av mätplatserna överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $n=3$. A, Ozonhalter, timvärden. B, Lufttemperaturer 1 m över marknivå. C, Luftfuktighet (RH) 1 m över marknivå. D, Temperaturdifferens visas ej. E, Vindhastighet (Östads Säteri 9 m över mark, Alafors 5 m över mark). F, Vindriktningen, uttryckt som antal timmar i olika vindsektorer, vid Östads säteri visas för motsvarande dagar.



Figur 21. Relationen mellan den samtida ozonförekomst vid Alafors och vid Östads Säteri respektive vid Råö. Ozonförekomsten är beräknad dels som alla timmedelvärde (A,B), dels som det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet (C,D).

9.3.2.4 Sammanfattning och slutsatser Alafors

- Mönstret i ozonförekomst vid Alafors uppvisade stora likheter med det vid Östads Säteri, medan ozonhalterna vid Alafors generellt var lägre än de vid Råö under alla dygnets timmar.
- Korrelationen vad gäller det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet var mycket god mellan Alafors och Östads Säteri, medan värdena i de flesta fall låg betydligt högre vid Råö jämfört med Alafors.
- Ozonförekomsten vid Alafors var således mer lik den vid Östads Säteri än den vid Råö.

9.3.3 Lanna – en lågt belägen mätplats i inlandet

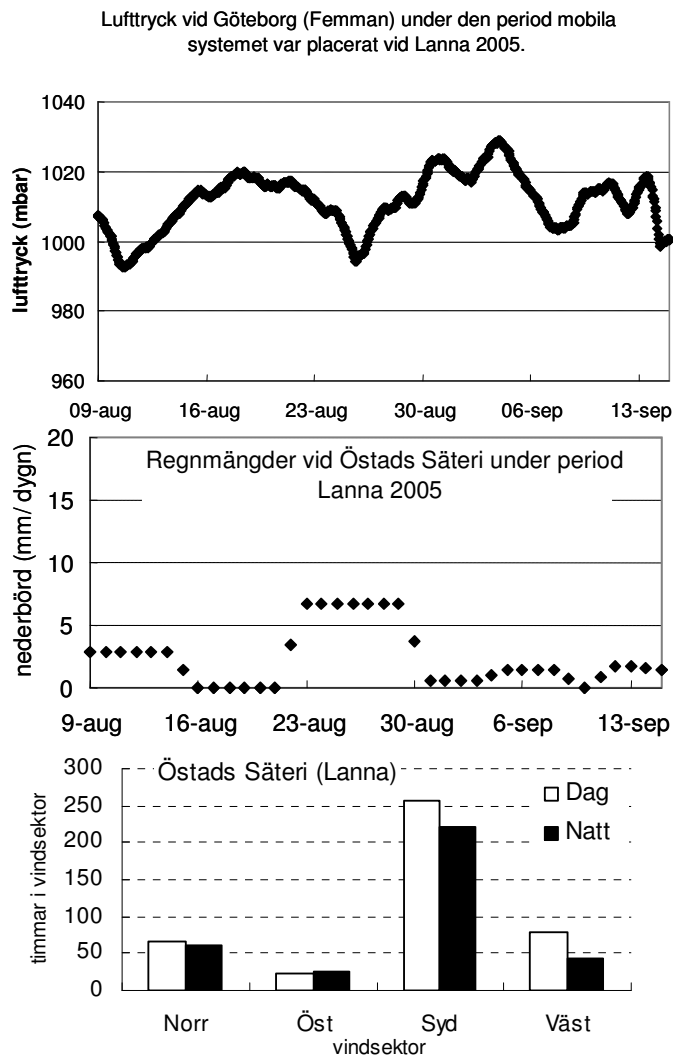
9.3.3.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden

Medelvärden för ozonhalter samt meteorologi för perioden då mätsystemet var placerat vid Lanna anges i Tabell 10 för Lanna, Östads samt Råö (Råö endast ozon).

Tabell 10. Medelvärden av ozonhalter och meteorologi under perioden då det mobila mätsystemet stod placerat vid Lanna, 9 augusti – 14 september 2005. Medelvärden är uppdelade mellan dagtid (08:00-19:59) och nattetid (kl 20:00 – 07:59). För Råö anges endast ozonhalter.

	Lanna	Östads Säteri	Råö
Period start	2005-08-09		
Period slut	2005-09-14		
Medelvärden dagtid, kl 08:00 - 19:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	58	57	67
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	18	17	
Luft fuktighet 1 m (%)	68	76	
Vindhastighet (m/s)	4.1	1.7	
Strålning (PAR, $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	570	561	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	0.5	0.3	
Medelvärden nattetid, kl 20:00 - 07:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34	30	55
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	12	12	
Luft fuktighet 1m (%)	93	97	
Vindhastighet (m/s)	2.7	0.7	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-0.7	-0.7	
Data täckning dagtid			
antal timmar	430		
% av total	100		
Data täckning nattetid			
antal timmar	432		
% av total	100		

Väderläget under perioden illustreras i Figur 22.



Figur 22. Olika väderindikatorer under mätperioden då det mobila systemet varit placerat vid Lanna.

A. Lufttrycket vid Göteborg (Femmanhuset).

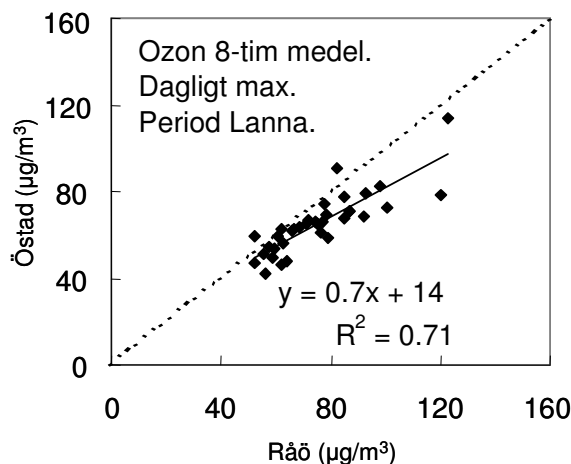
B. Regnmängder vid Östads Säteri.

C. Vindriktningar vid Östads Säteri. Alla timmedelvärde är medtagna i denna analys. Dock är värden borttagna då det varit vindstilla, vilket har definierats som när standardavvikelsen för ett timmedelvärde för vindriktning varit noll. Analysen är uppdelad på dagtid (kl 08:00 – 19:59) och nattetid (kl 20:00–07:59).

Vädret var under första delen av mätperioden högtrycksbetonat med många soldagar. Efter några dagar med ostadigt väder i slutet av augusti blev det återigen stabilt i början av september följt av en något ostadig period i mitten av denna månad. De totala regnmängderna under perioden var måttliga. Vindriktningen dagtid vid Östads Säteri var under mätperioden i huvudsak sydlig.

Som medelvärden dagtid var ozonhalterna högst vid Råö följt av Lanna och Östads Säteri (Tabell 10). Nattetid var medelvärdet för ozonhalten mycket högre vid Råö, jämfört med övriga platser. Vad gäller meteorologin dagtid var den relativt lika vid Lanna och Östads Säteri, dock med den skillnaden att det var avsevärt blåsigare vid Lanna. Det samma gällde för meteorologin nattetid. Det var i princip aldrig vindstilla vid Lanna, på grund av den advektion som uppstår över stora öppna ytor. Detta förklarar varför ozonhalterna i medeltal var något högre vid Lanna jämfört med Östads Säteri.

Det var en relativt stor skillnad i ozonförekomst, räknat som dagligt, maximalt 8-timmarsmedelvärde (Figur 23), mellan Östads Säteri och Råö under den period då det mobila mätsystemet stod placerat vid Lanna. Förutsättningarna var därför goda för att jämföra ozonförekomsten vid Lanna med den vid Östads Säteri respektive Råö.

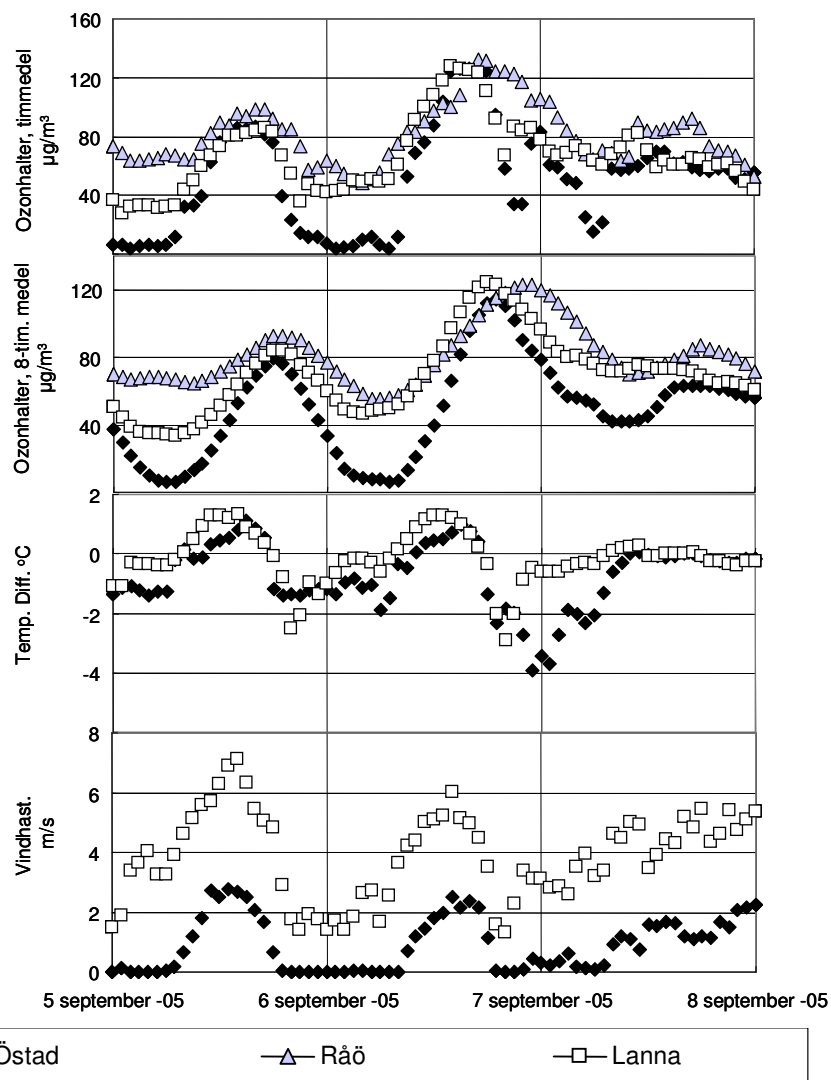


Figur 23. En jämförelse av de dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärden för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för den period när det mobila mätsystemet var placerat vid Lanna.

9.3.3.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Lanna, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter

Ozonförekomst tillsammans med vissa meteorologiska parametrar vid Lanna, Östads Säteri och Råö (endast ozon) visas i Figur 24 för tre dagar i september. De två första dagarna var soliga medan den tredje dagen var mulen. Temperaturen den 6 september gick upp mot 25 °C. Vindriktningen mitt på dagen vid Östads Säteri var sydvästlig.

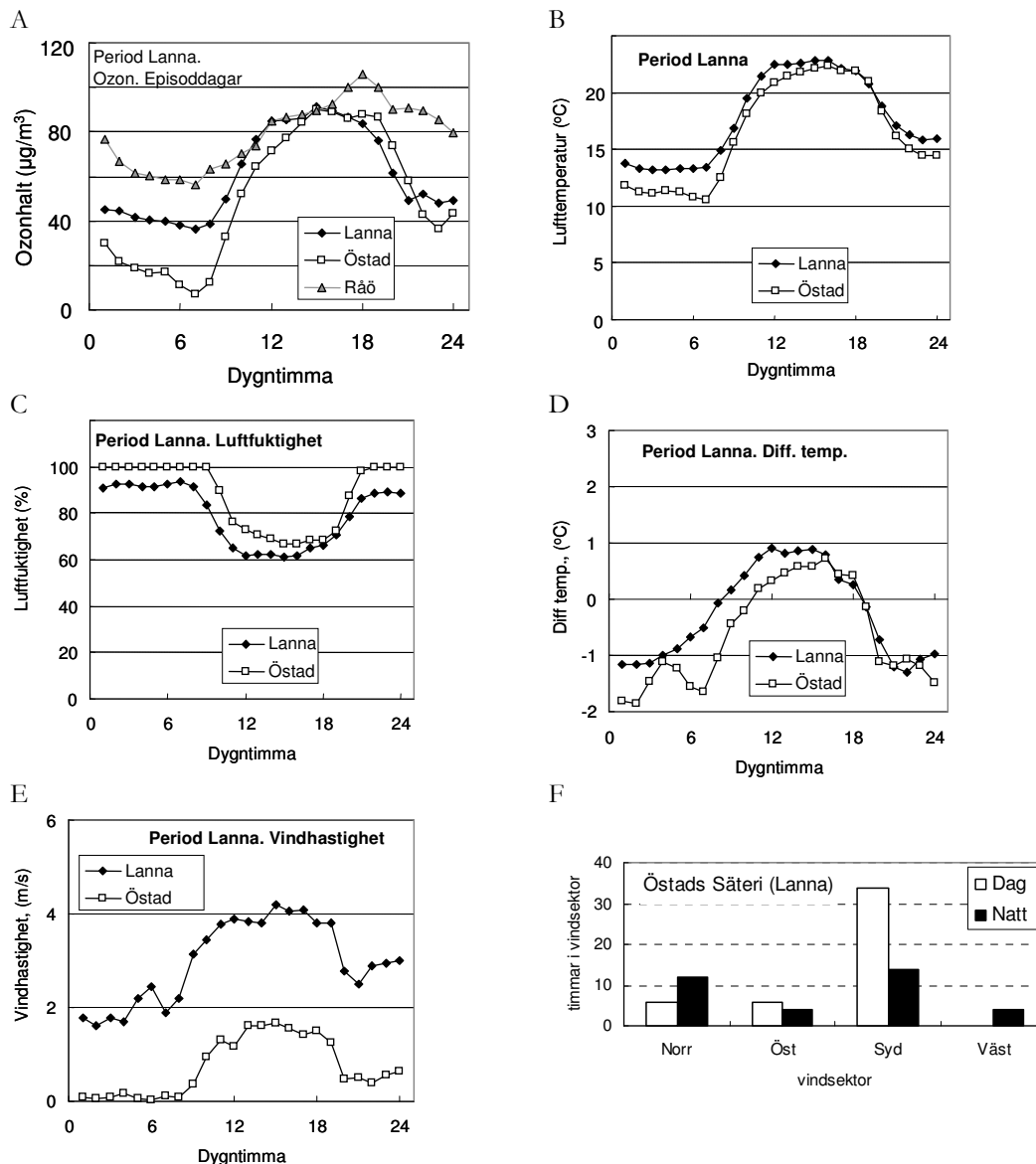
Ozonhalterna nattetid var relativt höga vid Råö, medan de mestadels var mycket låga vid Östads Säteri och varierande låga och höga vid Lanna. Ozonhalterna under 6 september steg kontinuerligt från ca kl 8 på morgonen vid alla tre platserna och var ett tag högst vid Lanna. Vid ca kl 18 sjönk emellertid ozonhalterna kraftigt vid Lanna och Östads på grund av begynnande temperaturinversion, medan de förblev höga vid Råö fram till ca kl 22. Detta medförde att 8-timmarsmedelvärdet blev högst vid Lanna och Råö och att värdet för 8-timmarsmedelvärdet blev högt för Råö även påföljande dygn. Detta illustrerar konsekvenserna av att det är sista timman i 8-timmarsperioden som avgör vilket dygn en viss 8-timmarsperiod tillhör.



Figur 24. Exempel på mätvärden för ozonhalter och utvalda meteorologiska parametrar för Lanna (ofyllda symboler) och Östad (svarta symboler) under tre dagar i september 2006. Dessutom ges ozonhalter för Råö under motsvarande period (grå symboler). I ordning uppifrån och ner visas ozonhalter som timvärden, ozonhalter som glidande 8-timmarsmedelvärden (tidsangivelsen gäller sista timman i perioden), temperaturdifferensen mellan två höjder över marknivå (Östads Säteri, 1-9 m, Lanna 1-5 m) samt vindhastigheten (Östads Säteri 9 m över marknivå, Lanna 5 m över marknivå).

I Figur 25 visas medelvärden per dygnstimma för ozonhalter och meteorologi för de fyra dygn då det maximala 8-timmarsmedelvärdet överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid någon mätplats. Medelvärdet för ozonhalter under dygnets timmar visar samma mönster som beskrivits ovan, med ännu större tydlighet. Ozonhalterna nattetid var högst vid Råö och lägst vid Östads Säteri, med halterna vid Lanna däremellan. På morgonen ökade ozonhalterna så att de nådde ungefär samma halt vid alla platser fram på eftermiddagen. Därefter fortsätter ozonhalterna vid Råö att öka ytterligare några timmar, medan ozonhalterna vid Lanna och

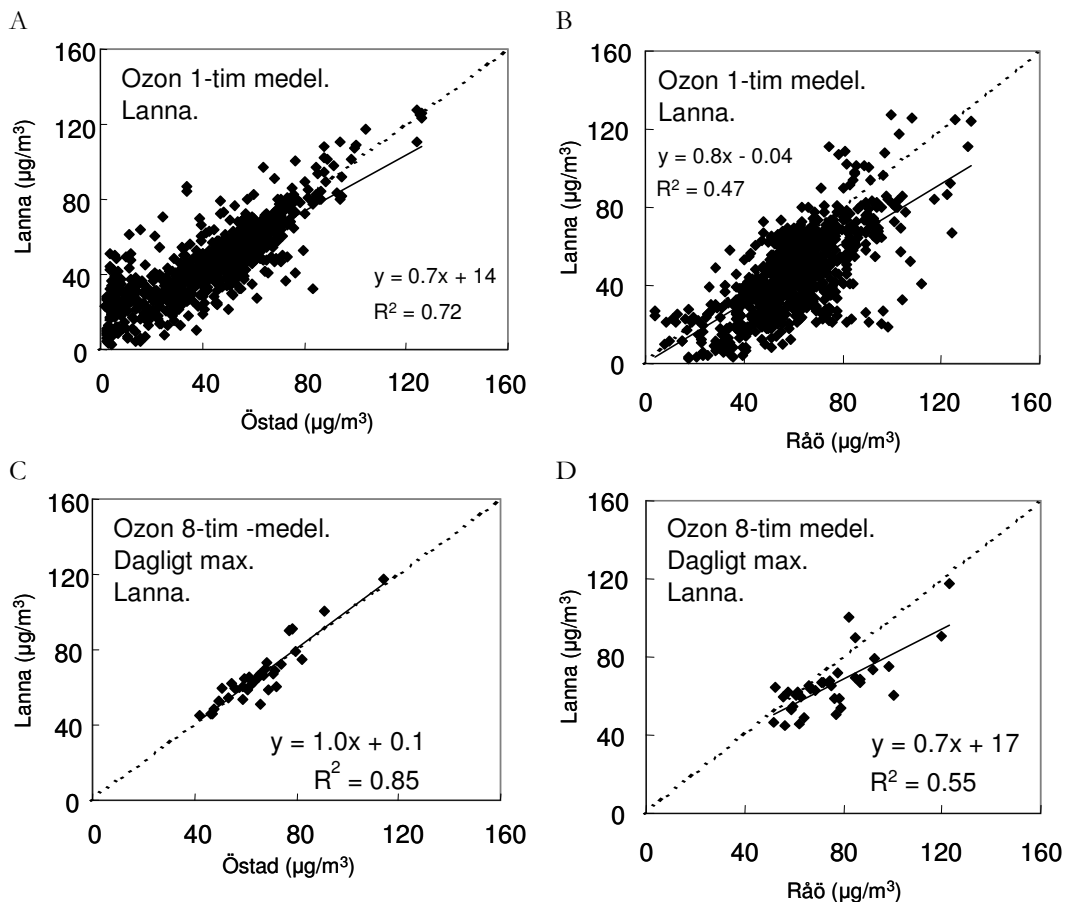
Östads Säteri minskade på grund av att nattliga temperaturinversioner satte in. Den mest utpräglade meteorologiska skillnaden mellan Lanna och Östads Säteri för dessa dagar var vindhastigheten, som var betydligt högre vid Lanna under alla dygnets timmar. Som ett resultat av detta var lufttemperaturen för dessa dagar något högre vid Lanna, särskilt nattetid, och den relativa luftfuktigheten var lägre.



Figur 25. Medelvärden per dygntimma för ozonhalter samt meteorologi uppmätta under olika perioder vid Lanna, Östads Säteri samt Råö (endast ozon) under dagar då det maximala 8-timmars medelvärdet för ozon vid någon av mätplatserna överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $n=4$. A. Ozonhalter, timvärden. B. Lufttemperaturer 1 m över marknivå. C. Luftfuktighet (RH) 1 m över marknivå. D. Temperaturdifferens mellan två nivåer över mark (Östads Säteri 1-9 m, Lanna 1-5 m). E. Vindhastighet (Östads Säteri 9 m över mark, Lanna 5 m över mark). F. Vindriktningen, uttryckt som antal timmar i olika vindsektorer, vid Östads säteri visas för motsvarande dagar.

9.3.3.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Lanna, Östads Säteri och Råö

Korrelationerna vad gäller samtida ozonförekomst vid Lanna, Östads Säteri samt Råö visas i Figur 26. Korrelationerna var betydligt bättre mellan Lanna och Östads Säteri än mellan Lanna och Råö, både när alla timmedelvärden inkluderas och när endast det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet inkluderas i analysen.



Figur 26. Relationen mellan samtida ozonförekomst vid Lanna och den vid Östads Säteri respektive den vid Råö. Ozonförekomsten är beräknad dels som alla timmedelvärde (A,B), dels som det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet (C,D).

9.3.3.4 Sammanfattning och slutsatser Lanna

Lanna avviker från övriga platser som vi karakteriserat som låglänta i så motto att platsen inte ligger lägre än sin omgivning. Den omgivande slätten medför att det ständigt blåser på grund av advektion. Detta medförde bl a att ozonhalterna nattetid inte var lika låga vid Lanna som vid Östads Säteri. Trots detta var ozonförekomsten vid Lanna under dagar med hög ozonförekomst i stort lik den vid Östads Säteri.

- **Mönstret i ozonförekomst över dygnet var mer likt vid Lanna och Östads Säteri, jämfört med Lanna och Råö**
- **Korrelationen vad gäller samtida ozonförekomst var mycket bättre mellan Lanna och Östads Säteri, jämfört med mellan Lanna och Råö**
- **Ozonförekomsten vid Lanna var mer lik den vid Östads Säteri än den vid Råö**

9.3.4 Hedared – en lågt belägen mätplats i inlandet

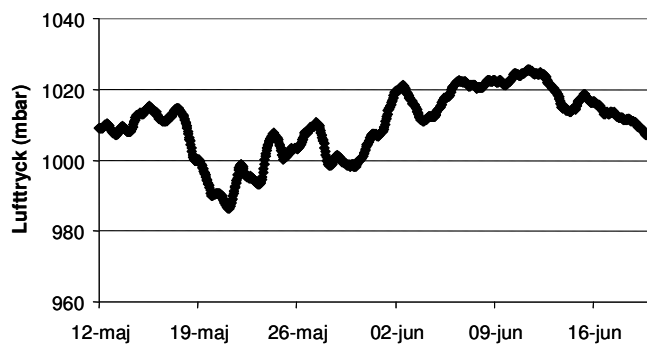
9.3.4.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden

Väderläget under mätperioden illustreras i Figur 27. Vädret var under sista delen av maj 2006 lågtrycksbetonat med mycket regn och många mulna dagar. Följaktligen var ozonhalterna låga. I början av juni stabiliserades ett mer högtrycksbetonat väder, med lufttemperaturer mellan 25 och 30 °C och sydvästliga vindar. Sett över hela mätperioden var vindriktningen dagtid vid Östads Säteri huvudsakligen sydlig men också med ett betydande inslag av västliga och nordliga vindar.

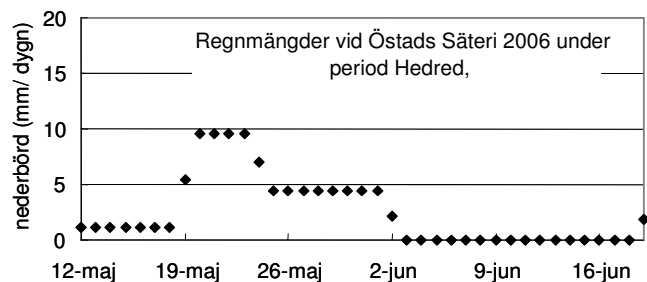
Medelvärden för ozonhalter samt meteorologi för perioden då mätsystemet var placerat vid Hedared anges i Tabell 11 för Hedared, Östads Säteri samt Råö (Råö endast ozon). Ozonförekomsten som medelvärde dagtid var lika mellan Hedared, Östads Säteri och Råö. Nattetid var ozonhalterna avsevärt högre vid Råö, jämfört med både Hedared och Östads Säteri. De meteorologiska värdena var som medelvärden dagtid relativt lika mellan Östads Säteri och Hedared. Det var lite kallare vid Hedared. Även nattetid var de meteorologiska förhållandena relativt lika mellan Östads Säteri och Hedared. De nattliga lufttemperaturerna var något lägre och den nattliga temperaturdifferensen i medeltal något mer negativ vid Hedared.

A

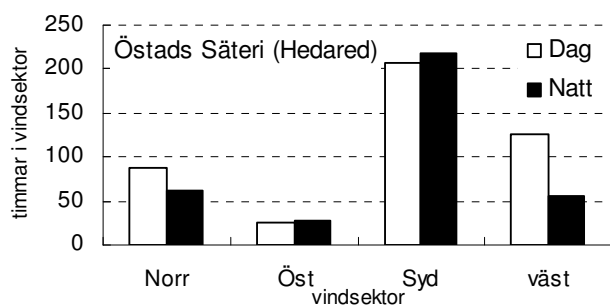
Lufttryck vid Göteborg (Femman) under den period mobila systemet var placerat vid Hedared 2006.



B



C



Figur 27. Olika väderindikatorer under mätperioder då det mobila systemet varit placerat vid Hedared.

A. Lufttrycket vid Göteborg (Femmanhuset).

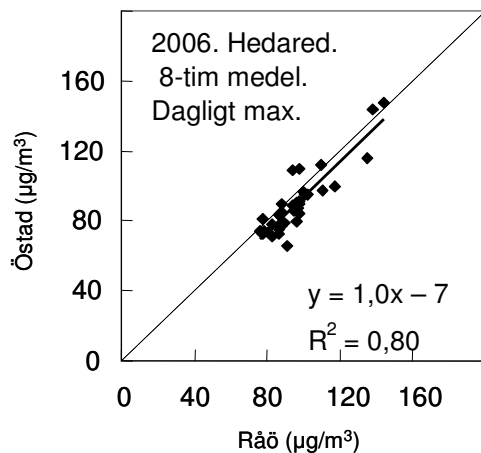
B. Regnmängder vid Östads Säteri.

C. Vindriktningar vid Östads Säteri. Alla timmedelvärde är medtagna i denna analys. Dock är värden borttagna då det varit vindstilla, vilket har definierats som när standardavvikelsen för ett timmedelvärde för vindriktning varit noll. Analysen är uppdelade på dagtid (kl 08:00 – 19:59) och nattetid (kl 20:00-07:59).

Tabell 11. Medelvärden av ozonhalter och meteorologi under perioden då det mobila mätsystemet stod placerat vid Hedared, 12 maj – 19 jun 2006. Medelvärden är uppdelade mellan dagtid (08:00-19:59) och nattetid (kl 20:00 – 07:59). För Råö anges endast ozonhalter.

	Hedared	Östads Säteri	Råö
Period start	2006-05-12		
Period slut	2006-06-19		
Medelvärden dagtid, kl 08:00 - 19:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	83	84	85
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	14	15	
Luft fuktighet 1 m (%)	66	64	
Vindhastighet (m/s)	2.4	2.5	
Strålning (PAR, $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	756	879	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	0.3	1.1	
Medelvärden nattetid, kl 20:00 - 07:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	58	54	73
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	7.6	9.1	
Luft fuktighet 1 m (%)	90	92	
Vindhastighet (m/s)	1.2	1.0	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-1.0	-0.5	
Data täckning dagtid			
antal timmar	438		
% av total	96		
Data täckning nattetid			
antal timmar	441		
% av total	97		

Det var en relativt liten skillnad i ozonförekomst mellan Östads Säteri och Råö, räknat som dagligt, maximalt 8-timmarsmedelvärde, under den period då det mobila mätsystemet stod placerat vid Hedared (Figur 28). Följaktligen var förhållandena ej gynnsamma för att för att avgöra om ozonförekomsten vid Hedared liknade den vid Östads Säteri eller Råö.



Figur 28. En jämförelse av de dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärden för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för den period när det mobila mätsystemet var placerat vid Hedared.

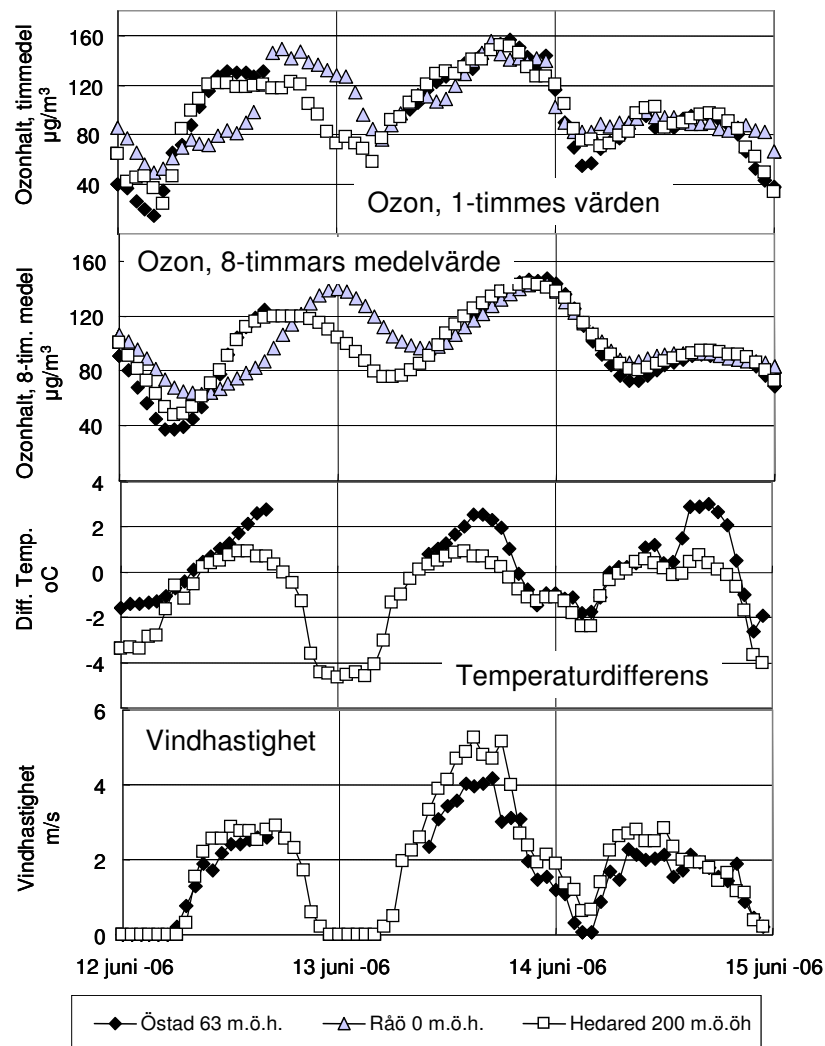
9.3.4.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Hedared, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter

Ozonförekomst tillsammans med vissa meteorologiska parametrar vid Hedared, Östads Säteri och Råö (endast ozon) visas i Figur 29 för tre dagar i juni 2006. De två första dagarna var soliga medan den tredje dagen var halvklar. Temperaturen 13 juni gick upp mot 25 °C. Vindriktningen mitt på dagen var sydlig under dag ett och två medan den övergick till västlig under dag tre.

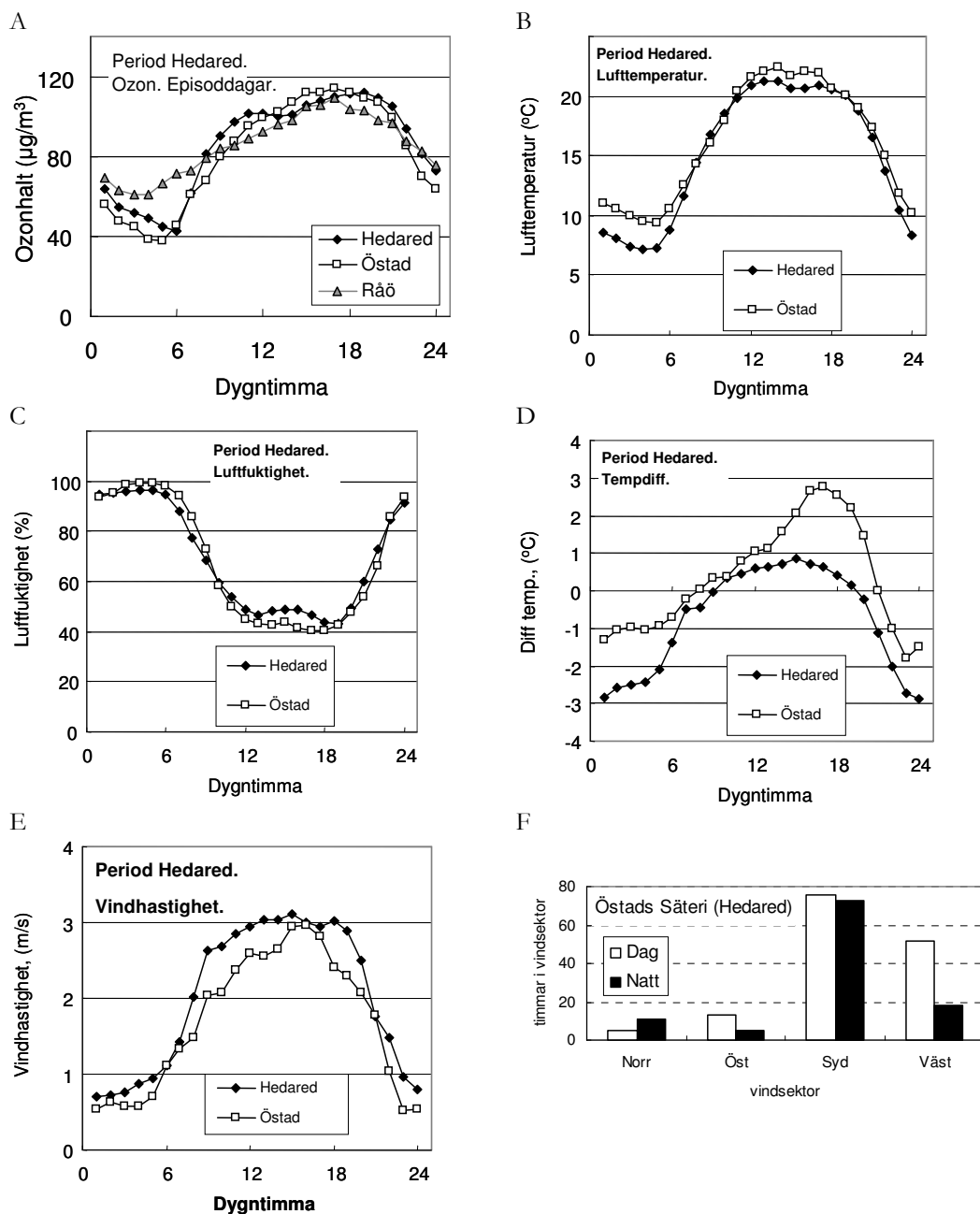
Ozonhalterna var relativt lika vid de olika mätplatserna under de tre dagarna, men natten mellan dag ett och två var halterna betydligt högre vid Råö, jämfört med Hedared. Tyvärr saknas ozondata från Östads Säteri för just denna period. De nattliga temperaturinversionerna var ännu större vid Hedared, jämfört med Östads Säteri. Det var också något blåsigare dagtid vid Hedared, jämfört med Östads Säteri.

I Figur 30 visas medelvärden per dygnstimma för ozonhalter och meteorologi för de åtta dygn då det maximala 8-timmarsmedelvärdet överskred 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vid någon mätplats under mätperioden. Medelvärdet för ozonhalter under dygnets timmar visar samma mönster vid Hedared och Östads Säteri, med en kraftig nedgång nattetid, medan ozonhalterna vid Råö var relativt sett högre under senare delen av natten. Meteorologin i övrigt var ganska lik mellan Hedared och Östads Säteri. Dock var som tidigare nämnts de nattliga temperaturinversionerna ännu mer utpräglade vid Hedared, jämfört med Östads Säteri och följaktligen var lufttemperaturerna nattetid lägre vid Hedared.

Figur 30 F visar att vindriktningen dagtid vid Östads Säteri under dessa åtta dagar var i huvudsak sydlig, med även relativt ofta västlig.



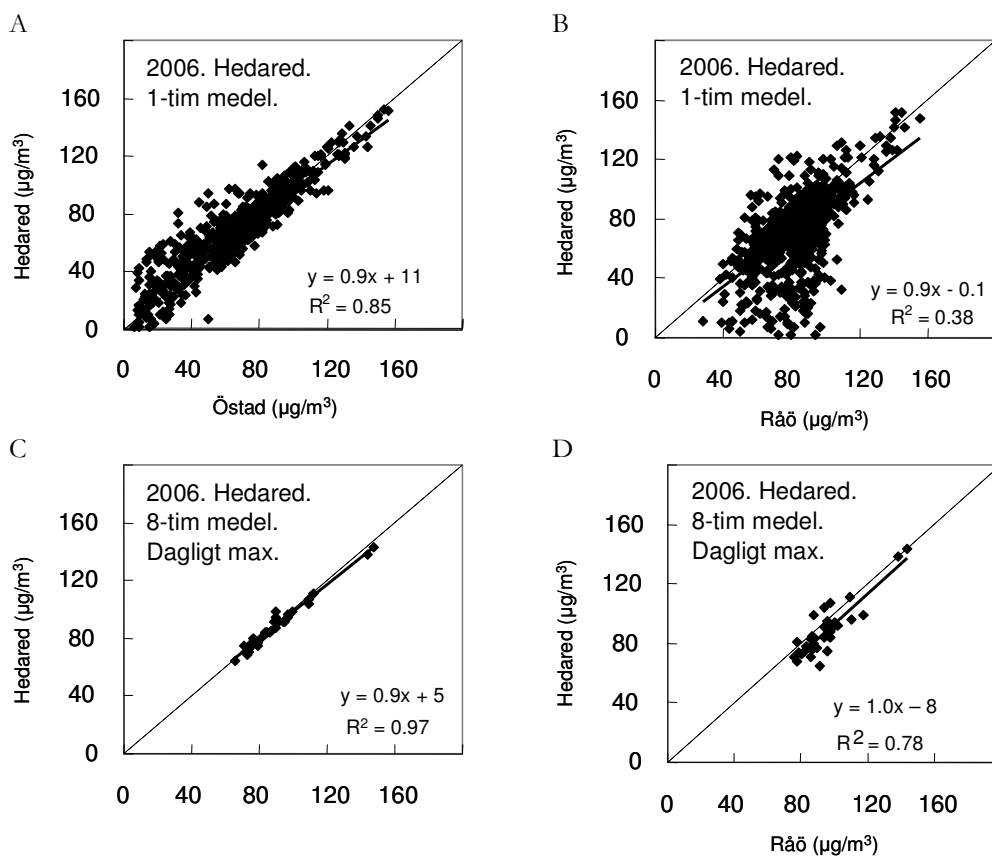
Figur 29. Exempel på mätvärden för ozonhalter och utvalda meteorologiska parametrar för Hedared (ofyllda symboler) och Östad (svarta symboler) under tre dagar i juni 2006. Dessutom ges ozonhalter för Råö under motsvarande period (grå symboler). Lägg märke till att det finns en period med saknade data för Östad under perioden. I ordning uppifrån och ner visas ozonhalter som timvärden, ozonhalter som glidande 8-timmarsmedelvärden (tidsangivelsen gäller sista timman i perioden), temperaturdifferensen mellan två höjder över marknivå (Östads Säteri, 1-9 m, Hedared 1-5 m) samt vindhastigheten (Östads säteri 9 m över marknivå, Hedared 5 m över marknivå).



Figur 30. Medelvärden per dygntimma för ozonhalter samt meteorologi uppmätta under olika perioder vid Hedared, Östads Säteri samt Råö (endast ozon) under dagar då det maximala 8-timmars medelvärde för ozon vid någon av mätplatserna överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $n=8$. A, Ozonhalter, timvärden. B, Lufttemperaturer 1 m över marknivå. C, Luftfuktighet (RH) 1 m över marknivå. D, Temperaturdifferens mellan två nivåer över mark (Östads Säteri 1-9 m, Hedared 1-5 m). E, Vindhastighet (Östads Säteri 9 m över mark, Hedared 5 m över mark). F, Vindriktningen, uttryckt som antal timmar i olika vindsektorer, vid Östads säteri visas för motsvarande dagar.

9.3.4.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Hedared, Östads Säteri och Råö

Korrelationerna vad gäller samtida ozonförekomst vid Hedared, Östads Säteri samt Råö visas i Figur 31. Korrelationerna var betydligt bättre mellan Hedared och Östads Säteri än mellan Hedared och Råö, när alla timmedelvärden inkluderas. När endast det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet inkluderas i analysen blir skillnaden mindre. Skillnaderna i ozonförekomst mellan Hedared och Råö var störst i koncentrationsområdet 40-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 31. Relationen mellan samtida ozonförekomst vid Hedared och den vid Östads Säteri respektive den vid Råö. Ozonförekomsten är beräknad dels som alla timmedelvärde (A,B), dels som det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet (C,D).

9.3.4.4 Sammanfattning och slutsatser Hedared

- Mönstret för ozonförekomsten över dygnets timmar överensstämde mycket väl mellan Hedared och Östads Säteri. Tolkningen av detta resultat försvåras dock av att det under denna mätperiod var relativt liten skillnad mellan Råö och Östads Säteri.
- Korrelationen vad gäller samtida ozonförekomst var mycket stark mellan Hedared och Östads Säteri både vad gäller timvärden och det dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdet, medan korrelationen var sämre mellan Hedared och Råö, framför allt vad gäller timvärden i koncentrationsområdet 40-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Ozonförekomsten vid Hedared var mer lik den vid Östads Säteri än den vid Råö, men skillnaden var relativt liten, på grund av att skillnaden i ozonförekomsten mellan Östads Säteri och Råö under denna mätperiod var liten.

9.3.5 Sandhult – en högt belägen mätplats i inlandet

9.3.5.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden

Medelvärden för ozonhalter samt meteorologi för perioden då mätsystemet var placerat vid Sandhult anges i Tabell 12 för Sandhult, Östads Säteri samt Råö (Råö endast ozon). Dessutom beskrivs väderläget under mätperioden i Figur 32.

Ozonförekomsten som medelvärde dagtid var relativt lika mellan Sandhult och Östads Säteri medan det var något högre vid Råö. Nattetid var ozonhalterna avsevärt högre vid Sandhult och Råö, jämfört med Östads Säteri.

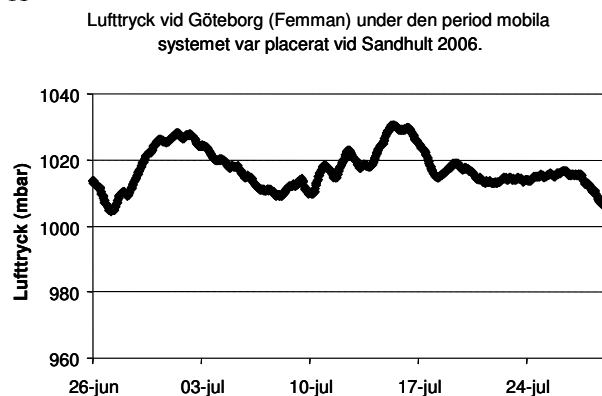
Vädret var under första delen av denna mätperiod högtrycksbetonat (Figur 32), med många soliga dagar och små mängder regn (förutom i början av perioden). I mitten av månaden kom en period med mer mulen väder, men månaden avslutades igen med soligt väder. Lufttemperaturen dagtid gick i början och slutet av juli upp mot 30 °C och luftfuktigheten dagtid var låg (Tabell 12). Det var en stor skillnad mellan Sandhult och Östads Säteri vad gäller den relativa luftfuktigheten nattetid, där den normalt gick upp till 100 % vid Östad, men under många nätter förblev runt 60 % vid Sandhult. Luftfuktigheten nattetid var som medelvärde betydligt lägre vid Sandhult än motsvarande värde för Östads Säteri. Torr luft nattetid är en karaktär som förknippas med god kontakt med fria troposfären. En högre vindhastighet och en mindre negativ temperaturdifferens nattetid vid Sandhult jämfört med Östads Säteri visade att det sällan var vindstilla nattetid vid Sandhult och därför heller inte någon stabil skiktning av luften på grund av temperaturinversioner. Vindriktningen vid Östads Säteri var under mätperioden företrädesvis sydlig, men det är även betydande inslag av västliga vindar.

En hög ridå med träd en bit söder om mätpunkten vid Sandhult medförde att mätsystemet skuggades under en del av dagen. Därför redovisas inte värden för temperaturdifferens eller strålning dagtid.

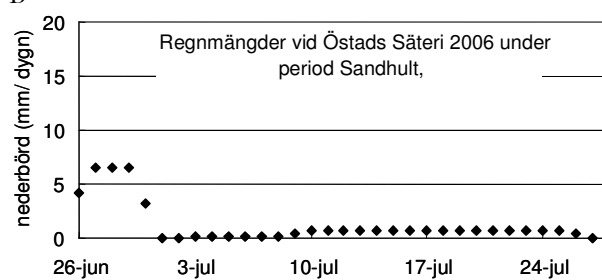
Tabell 12. Medelvärden av ozonhalter och meteorologi under perioden då det mobila mätsystemet stod placerat vid Sandhult, 26 jun – 28 jul 2006. Medelvärden är uppdelade mellan dagtid (08:00-19:59) och nattetid (kl 20:00 – 07:59). För Råö anges endast ozonhalter. Eftersom de meteorologiska givarna vid Sandhult skuggades av ett trädbestånd under en del av dagen, har värden för strålning och temperaturdifferens dagtid exkluderats.

	Sandhult	Östads Säteri	Råö
Period start	2006-06-26		
Period slut	2006-07-28		
Medelvärden dagtid, kl 08:00 - 19:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	86	87	91
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	20	22	
Luft fuktighet 1 m (%)	65	59	
Vindhastighet (m/s)	2.2	2.0	
Strålning (PAR, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	-	1051	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-	1.2	
Medelvärden nattetid, kl 20:00 - 07:59			
Ozonhalt 5 m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	77	44	68
Lufttemperatur 1 m ($^{\circ}\text{C}$)	16	14	
Luft fuktighet 1 m (%)	80	94	
Vindhastighet (m/s)	1.2	0.5	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-0.4	-1.0	
Data täckning dagtid			
antal timmar	375		
% av total	98		
Data täckning nattetid			
antal timmar	383		
% av total	100		

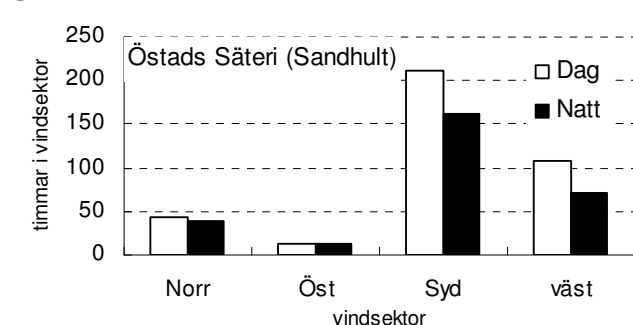
A



B



C



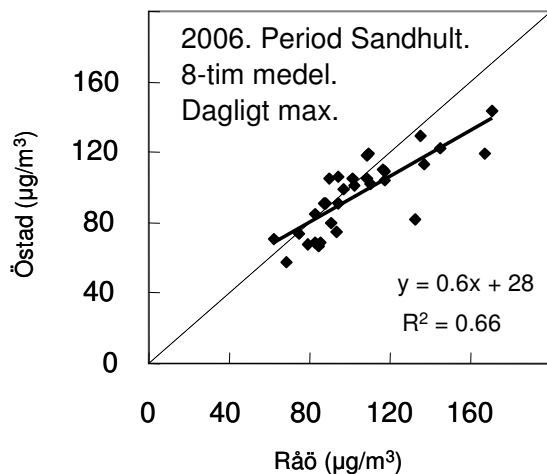
Figur 32. Olika väderindikatorer under mätperioder då det mobila systemet varit placerat vid Sandhult.

A. Lufttrycket vid Göteborg (Femmanhuset).

B. Regnmängder vid Östads Säteri.

C. Vindriktningar vid Östads Säteri. Alla timmedelvärde är medtagna i denna analys. Dock är värden borttagna då det varit vindstilla, vilket har definierats som när standardavvikelsen för et timmedelvärde för vindriktning varit noll. Analysen är uppdelade på dagtid (kl 08:00 – 19:59) och nattetid (kl 20:00-07:59)

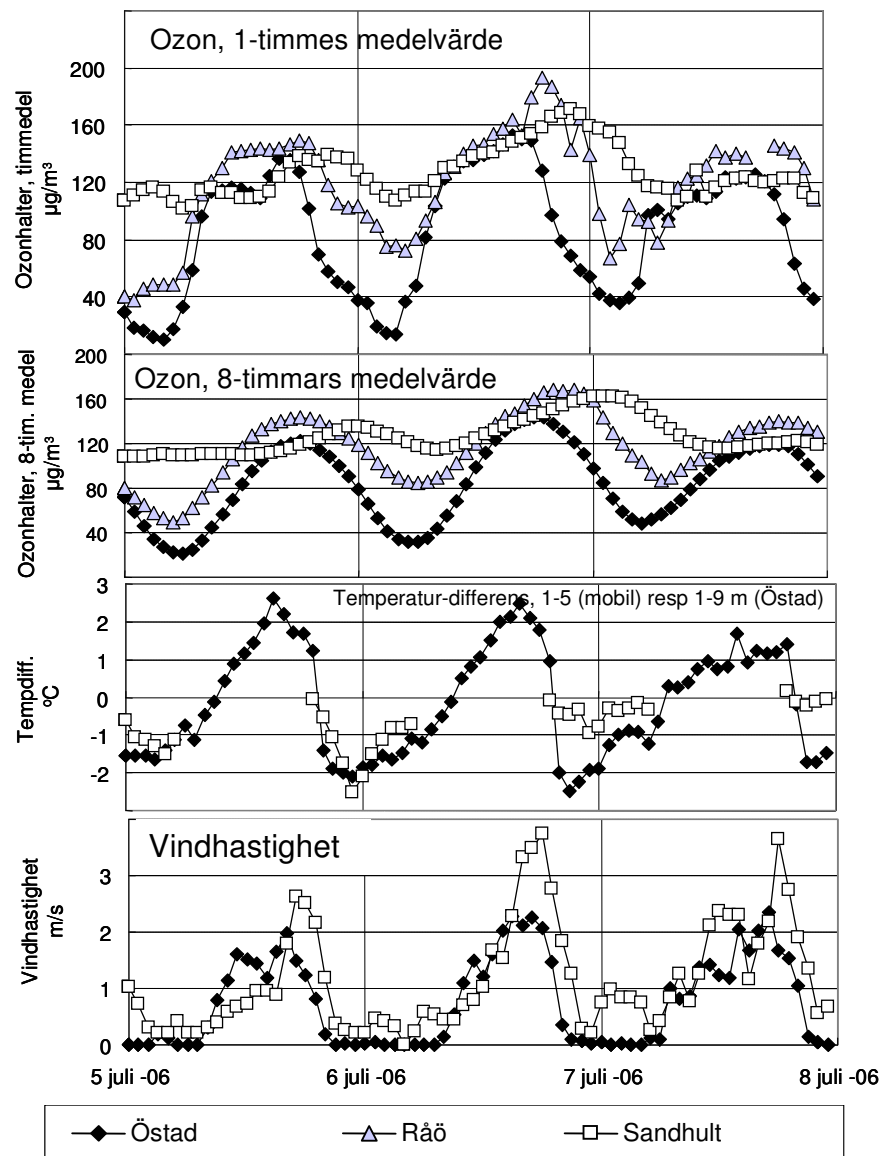
Det var en betydande skillnad i ozonförekomst mellan Östads Säteri och Råö under mätperioden, räknat som daglig, maximal 8-timmarsmedelvärde (Figur 33). I det höga koncentrationsområdet var 8-timmarsmedelvärdena betydligt högre vid Råö, jämfört med Östads Säteri. Förutsättningarna var således goda för att jämföra ozonförekomsten vid Sandhult med den vid Östads Säteri och Råö.



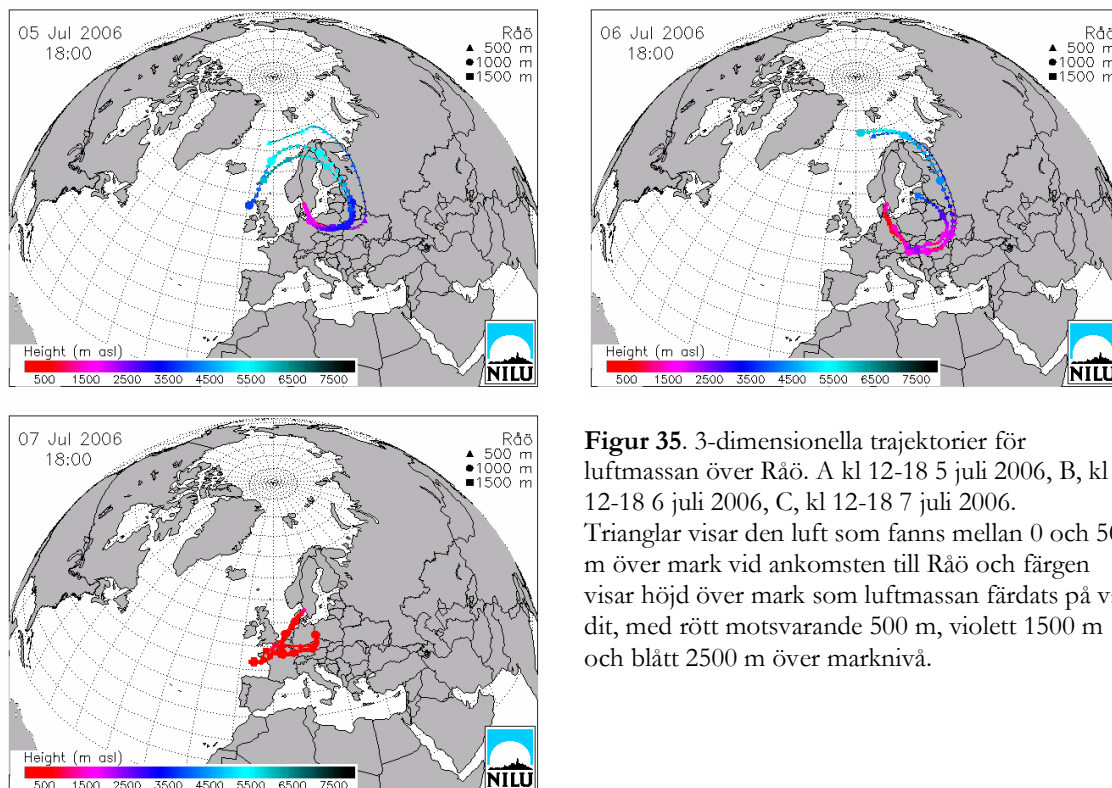
Figur 33. En jämförelse av de dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärden för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för den period när det mobila mätsystemet var placerat vid Sandhult.

9.3.5.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Sandhult, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter

Under perioden då mätsystemet var placerat vid Sandhult uppmättes de högsta ozonhalterna som förekom vid Råö under 2006. Under 6 juli var ozonhalterna vid Råö $192 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som högst. Ozonhalter och några meteorologiska parametrar för perioden 5-7 juli 2006 visas i Figur 34. Några dagar tidigare hade ett högtryck passerat södra Sverige (se högt lufttryck i Figur 32) och luftmassor från kontinental Europa transporterades nu upp från Tjeckien och norra Tyskland (Figur 35). Efter låga ozonhalter natten till 5 juli steg ozonhalterna snabbt på förmiddagen vid Råö och Östads Säteri, medan ozonhalterna förblivit höga vid Sandhult under natten. Under dagen stabiliserade sig ozonhalterna vid Sandhult och Östads Säteri på samma nivå, medan halterna vid Råö låg högre. Mot slutet av dagen steg halterna ytterligare vid Sandhult och Östad. Cirka klockan 18 började ozonhalterna vid Östad att sjunka på grund av en begynnande temperaturinversion och därmed följande stabilisering av luftlagren. Vid Sandhult fortsatte ozonhalterna att stiga och förblev höga fram till midnatt. Detta medförde att värdet för det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet blev betydligt högre för Sandhult, jämfört med Östad, trots att ozonhalterna mitt på dagen var relativt lika. Ett ännu högre värde för det maximala 8-timmarsmedelvärdet för Råö berodde på att även ozonhalterna mitt på dagen var högre, jämfört med de båda andra mätplatserna. Mönstret var liknande för 6 juli, med ännu högre halter. Man ser här även konsekvenserna av att det maximala 8-timmarsmedelvärdet räknas med tidsangivelse från sista timman i perioden. Eftersom ozonhalterna förblir höga vid Sandhult till midnatt får man även höga värden för dygnet 7 juli, trots att ozonhalterna mitt på dagen detta dygn var låga.



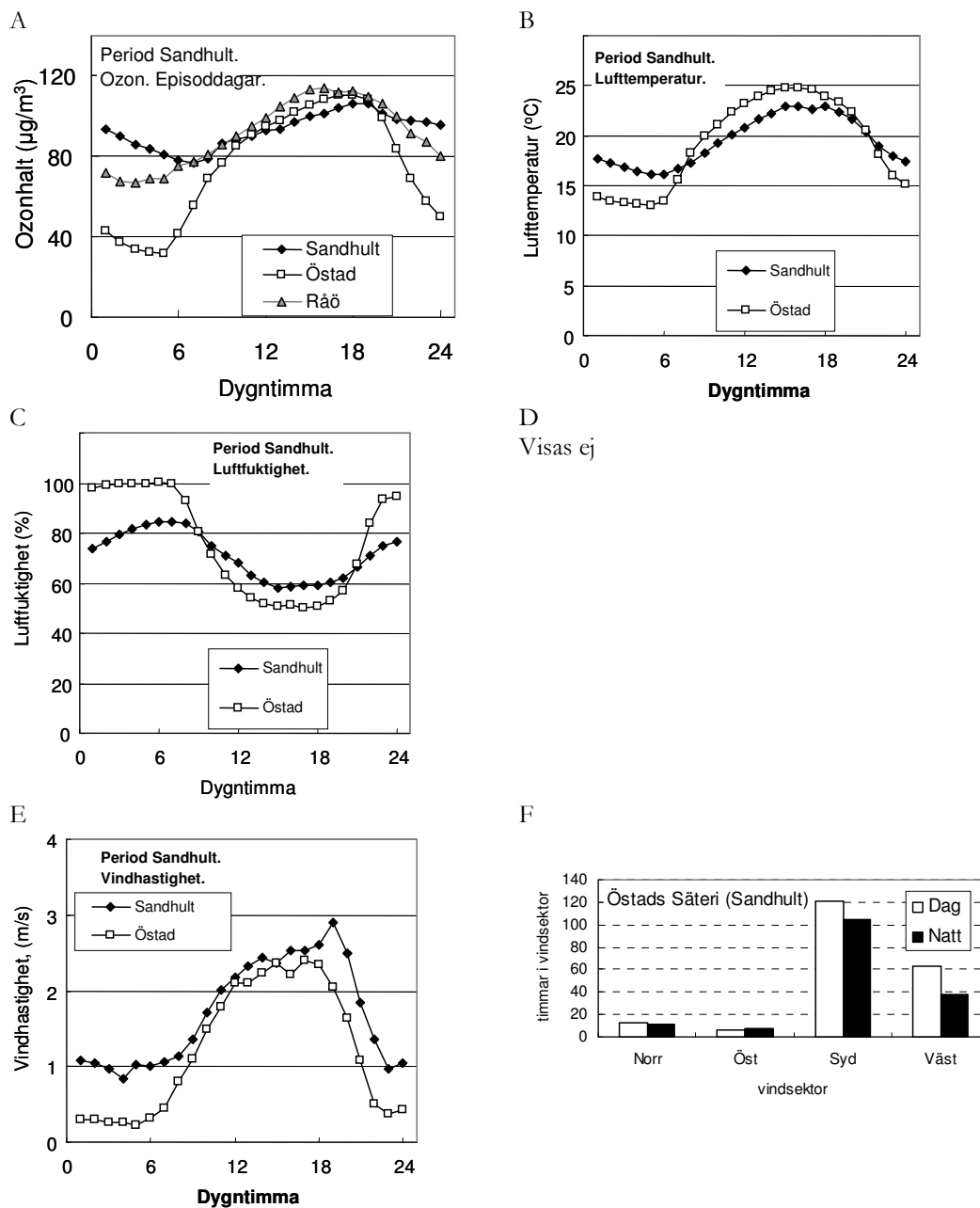
Figur 34. Exempel på mätvärden för ozonhalter och utvalda meteorologiska parametrar för Sandhult (ofyllda symboler) och Östad (svarta symboler) under tre dagar i september 2006. Dessutom ges ozonhalter för Råö under motsvarande period (grå symboler). I ordning uppifrån och ner visas ozonhalter som timvärden, ozonhalter som glidande 8-timmarsmedelvärden (tidsangivelsen gäller sista timman i perioden), temperaturdifferensen mellan två höjder över marknivå (Östads Säteri, 1-9 m, Sandhult 1-5 m) samt vindhastigheten (Östads säteri 9 m övermarknivå, Sandhult 5 m över marknivå).



Figur 35. 3-dimensionella trajektorier för luftmassan över Råö. A kl 12-18 5 juli 2006, B, kl 12-18 6 juli 2006, C, kl 12-18 7 juli 2006. Trianglar visar den luft som fanns mellan 0 och 500 m över mark vid ankomsten till Råö och färgen visar höjd över mark som luftmassan färdats på väg dit, med rött motsvarande 500 m, violett 1500 m och blått 2500 m över marknivå.

Medelvärden uppdelat per dygnstimma visas för ozonhalter och vissa meteorologiska parametrar för de 18 dagar då det maximala 8-timmarsmedelvärdet översteg $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid någon mätplats under perioden (Figur 36). Det mönster i ozonförekomst över dygnets timmar som beskrivits ovan bekräftas av dessa medelvärden, med högsta ozonhalter nattetid, följt av Råö och lägst vid Östads Säteri. Under dagtid var halterna som medelvärdena högst vid Råö, följt av Östad och Sandhult. Den snabba nedgången av ozonhalter strax efter 18-tiden vid Östad framgår tydligt.

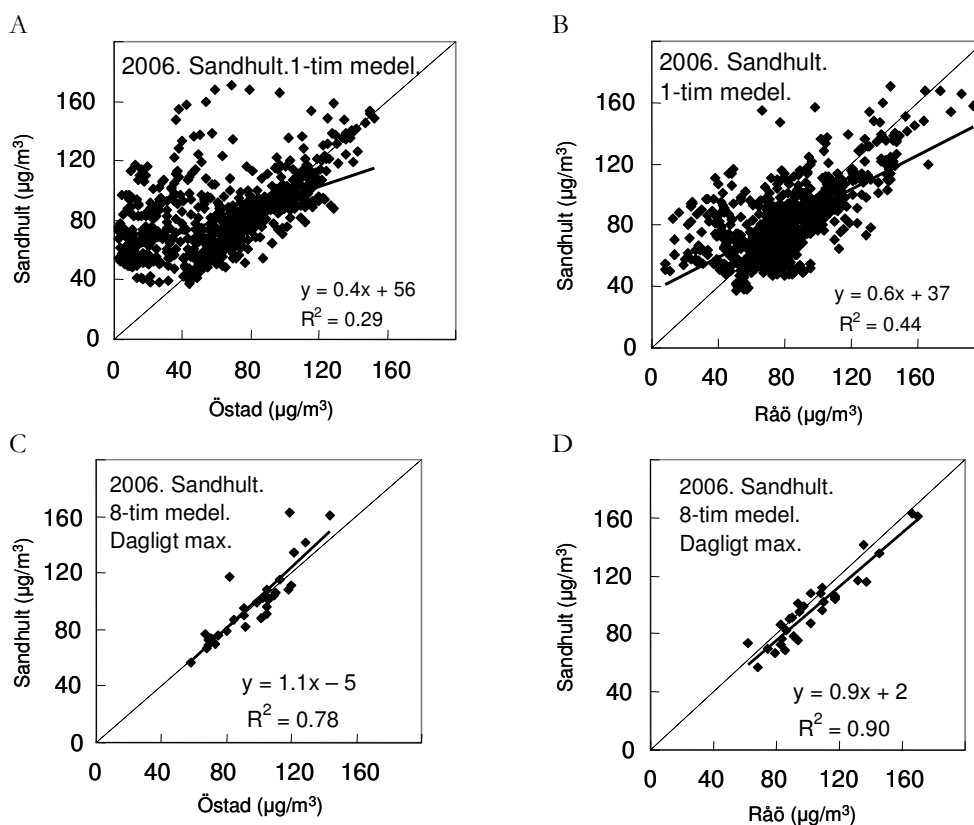
Meteorologin som medelvärden under dessa dagar skiljer sig mycket mellan Sandhult och Östads Säteri. Lufttemperaturerna var vid Sandhult högre nattetid och lägre dagtid. Luftfuktigheten var utpräglat lägre och vindhastigheten högre nattetid vid Sandhult, jämfört med Östad. De meteorologiska parametrarna tyder entydigt på att en stabilisering av luftlagren inte förekom vid Sandhult, i samma utsträckning som vid Östad.



Figur 36. Medelvärden per dygnstima för ozonhalter samt meteorologi uppmätta under olika perioder vid Sandhult, Östads Säteri samt Råö (endast ozon) under dagar då det maximala 8-timmars medelvärdet för ozon vid någon av mätplatserna överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $n=18$. A, Ozonhalter, timvärden. B, Lufttemperaturer 1 m över marknivå. C, Luftfuktighet (RH) 1 m över marknivå. D, Temperaturdifferens visas ej. E, Vindhastighet (Östads Säteri 9 m över mark, Sandhult 5 m över mark). F, Vindriktningen, uttryckt som antal timmar i olika vindsektorer, vid Östads Säteri visas för motsvarande dagar.

9.3.5.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Sandhult, Östads Säteri och Råö

Relationerna i samtida ozonförekomst mellan mätplatserna visas i Figur 37. Ozonförekomsten vid Sandhult korrelerade bättre med Råö än med Östads Säteri, i synnerhet vad gäller det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet. Även timvärdena för ozonkoncentration vid Sandhult korrelerade bättre med Råö än med Östad, även om korrelationerna inte i något fall var bra.



Figur 37. Relationen mellan samtida ozonförekomst vid Sandhult och den vid Östads Säteri respektive den vid Råö. Ozonförekomsten är beräknad den som alla timmedelvärde (A,B), dels som det dagliga, maximala 8-timmars medelvärdet (C,D).

9.3.5.4 Sammanfattning och slutsatser Sandhult

- Mönstret i ozonförekomst vid Sandhult över dygnets timmar liknar mer den vid Råö än den vid Östads Säteri
- Ozonförekomsten vid Sandhult korrelerar bättre med den vid Råö än den vid Östads Säteri
- Ozonförekomsten vid Sandhult var mer lik den vid Råö än den vid Östads Säteri.

9.3.6 Brobacka – en högt belägen mätplats i inlandet

9.3.6.1 Väder och ozonförekomst under mätperioden

Medelvärden för ozonhalter samt meteorologi för perioden då mätsystemet var placerat vid Brobacka anges i Tabell 13 för Brobacka, Östads samt Råö (Råö endast ozon). I Figur 38 illustreras väderläget under perioden.

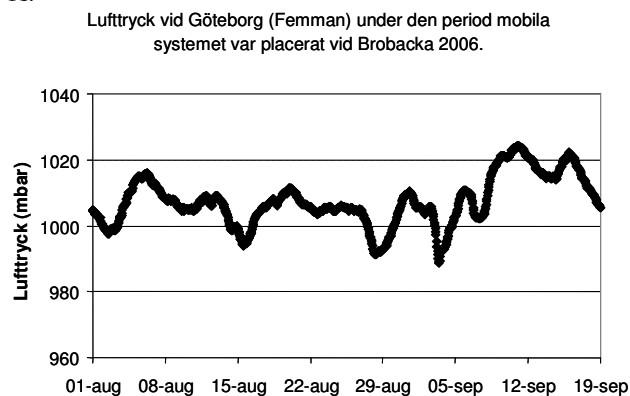
Ozonhalterna som medelvärde dagtid var lika mellan Brobacka, Östads Säteri och Råö. Nattetid var ozonhalterna betydligt högre vid Brobacka och Råö, jämfört med Östads Säteri. Vädret var under denna mätperiod lågtrycksbetonat, med relativt mycket regn förutom i slutet av perioden. Luftfuktigheten som medelvärde dagtid var relativt hög (Tabell 13). Solinstrålningen dagtid vid Östads Säteri var betydligt lägre jämfört med tidigare mätperioder. Vindriktningarna dagtid vid Östads Säteri var under denna mätperiod olik den för andra perioder. Under denna period var vindriktningen dagtid som medelvärde mest frekvent som nordlig vind. Därefter var sydlig vind vanligast, men även ostlig och västlig vind var relativt frekvent.

Mätplatsens placering vid Brobacka var omgiven av en gles tallskog (se fotografi i Figur 7). Detta påverkade i synnerhet mätningarna av strålning, temperaturdifferens och vindhastighet dagtid, vilka således måste användas med försiktighet. De meteorologiska parametrarna var som medelvärden dagtid relativt lika mellan Brobacka och Östads Säteri, med den reservation som givits ovan. Det var en högre lufttemperatur och en mindre negativ temperaturdifferens vid Brobacka, jämfört med Östads Säteri, vilket visar att stabil skiktning av luftlagren var mindre frekvent vid Brobacka, jämfört med Östads Säteri. Vindhastigheten nattetid var lika vid Brobacka och Östad, men eftersom mätplatsen vid Brobacka låg omgiven av skog, var sannolikt vindhastigheten ovanför skogsbeståndet högre vid Brobacka.

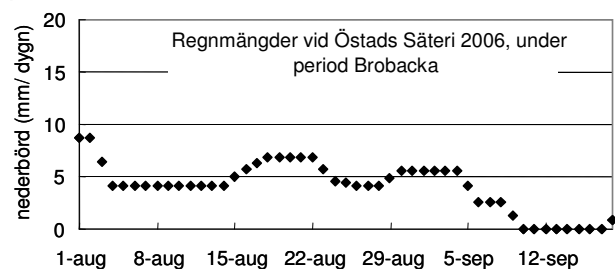
Tabell 13. Medelvärden av ozonhalter och meteorologi under perioden då det mobila mätsystemet stod placerat vid Brobacka, 1 aug – 18 sept 2006. Medelvärden är uppdelade mellan dagtid (08:00-19:59) och nattetid (kl 20:00 – 07:59). För Råö anges endast ozonhalter.

	Brobacka	Östads Säteri	Råö
Period start	2006-08-01		
Period slut	2006-09-18		
Medelvärden dagtid, kl 08:00 - 19:59			
Ozonhalt 5, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	66	64	63
Lufttemperatur 1 ($^{\circ}\text{C}$)	17	18	
Luft fuktighet 1 (%)	80	78	
Vindhastighet (m/s)	1.1	1.8	
Strålning (PAR, $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	-	621	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-	0.8	
Medelvärden nattetid, kl 20:00 - 07:59			
Ozonhalt 5, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53	27	46
Lufttemperatur 1 ($^{\circ}\text{C}$)	14	12	
Luft fuktighet 1 (%)	96	99	
Vindhastighet (m/s)	0.8	0.7	
Temperaturdifferens ($^{\circ}\text{C}$)	-0.3	-0.8	
Data täckning dagtid			
antal timmar	539		
% av total	94		
Data täckning nattetid			
antal timmar	537		
% av total	93		

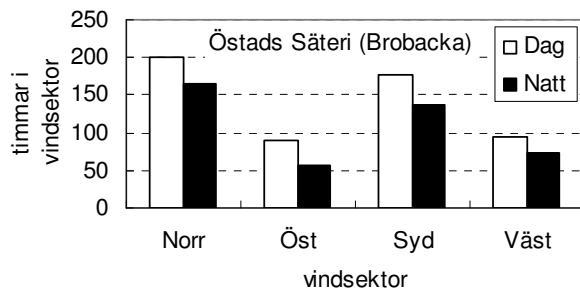
A.



B.



C.



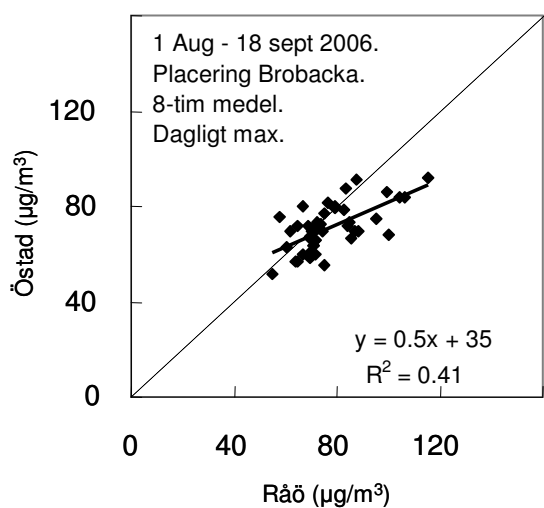
Figur 38. Olika väderindikatorer under mätperioder då det mobila systemet varit placerat vid Brobacka.

A. Lufttrycket vid Göteborg (Femmanhuset).

B. Regnmängder vid Östads Säteri.

C. Vindriktningar vid Östads Säteri. Alla timmedelvärde är medtagna i denna analys. Dock är värden borttagna då det varit vindstilla, vilket har definierats som när standardavvikelsen för ett timmedelvärde för vindriktning varit noll. Analysen är uppdelade på dagtid (kl 08:00 – 19:59) och nattetid (kl 20:00-07:59)

Det var en högre ozonförekomst, räknat som dagligt, maximalt 8-timmarsmedelvärde vid Råö, jämfört med Östads Säteri, under mätperioden, framför allt i det höga koncentrationsområdet (Figur 39). Det dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdet gick vid en del tillfällen upp mot $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vid Råö, medan det var betydligt lägre vid Östads Säteri. Dessa dagar med hög ozonförekomst inträffade runt 12-14 september 2006, dagar med högtrycksbetonat väder (Figur 38).

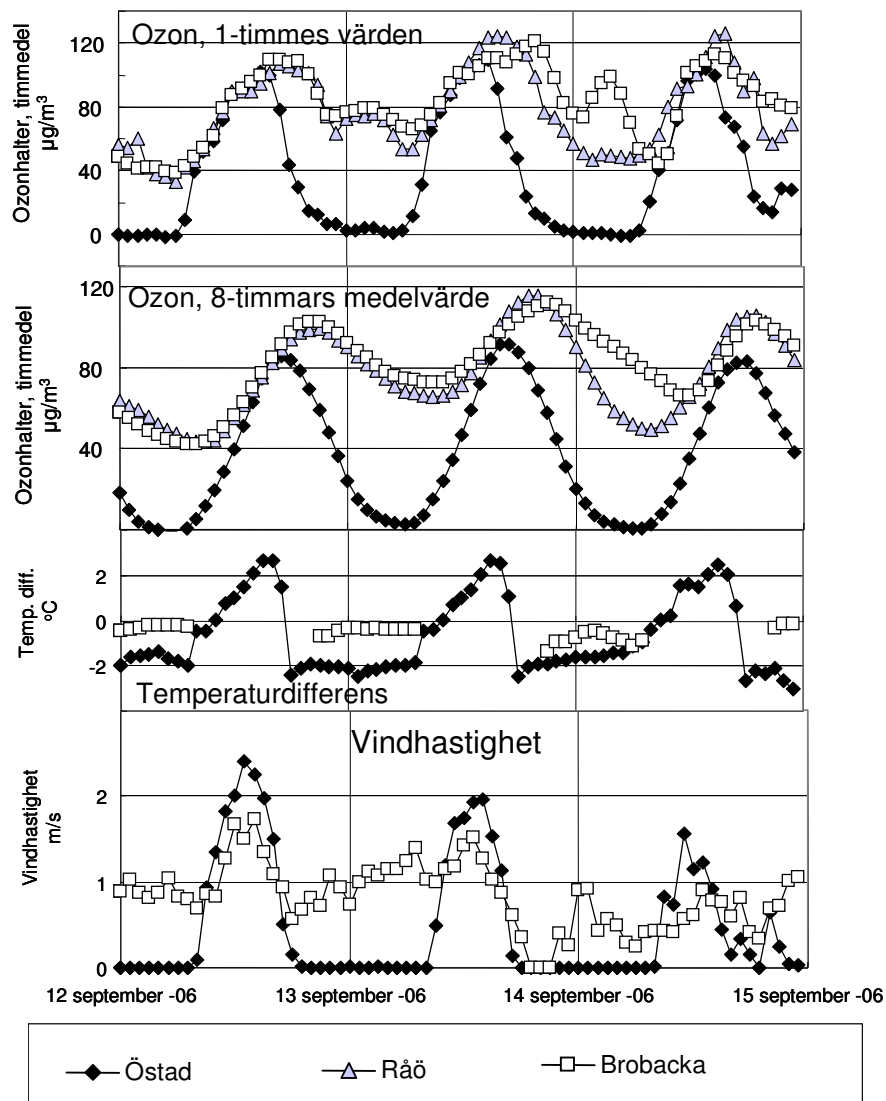


Figur 39. En jämförelse av de dagliga, maximala 8-timmars medelvärden för ozonhalter vid Östads Säteri och Råö för den period när det mobila mätsystemet var placerat vid Brobacka.

9.3.6.2 Ozonförekomst och meteorologi vid Brobacka, Östads Säteri samt Råö under dagar med höga ozonhalter

I Figur 40 visas ozonhalter och vissa meteorologiska parametrar från tre dagar i mitten av september 2006, vilket var den enda ozonepisoden under mätperioden där ozonhalterna vid någon mätplats översteg $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Eftersom det var sent på sommaren var dagarna betydligt kortare, samtidigt som det var kraftiga temperaturinversioner nattetid vid Östads Säteri. Detta medförde att inträdandet av temperaturinversioner på eftermiddagen och medföljande stabilisering av luftlagren och minskande ozonhalter vid Östad, fick en stor inverkan på det glidande 8-timmarsmedelvärdet under perioden. Det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet blev avsevärt lägre för Östads Säteri under dessa tre dagar, trots att ozonhalterna mitt på dagen i de flesta fall var relativt lika mellan mätplatserna.

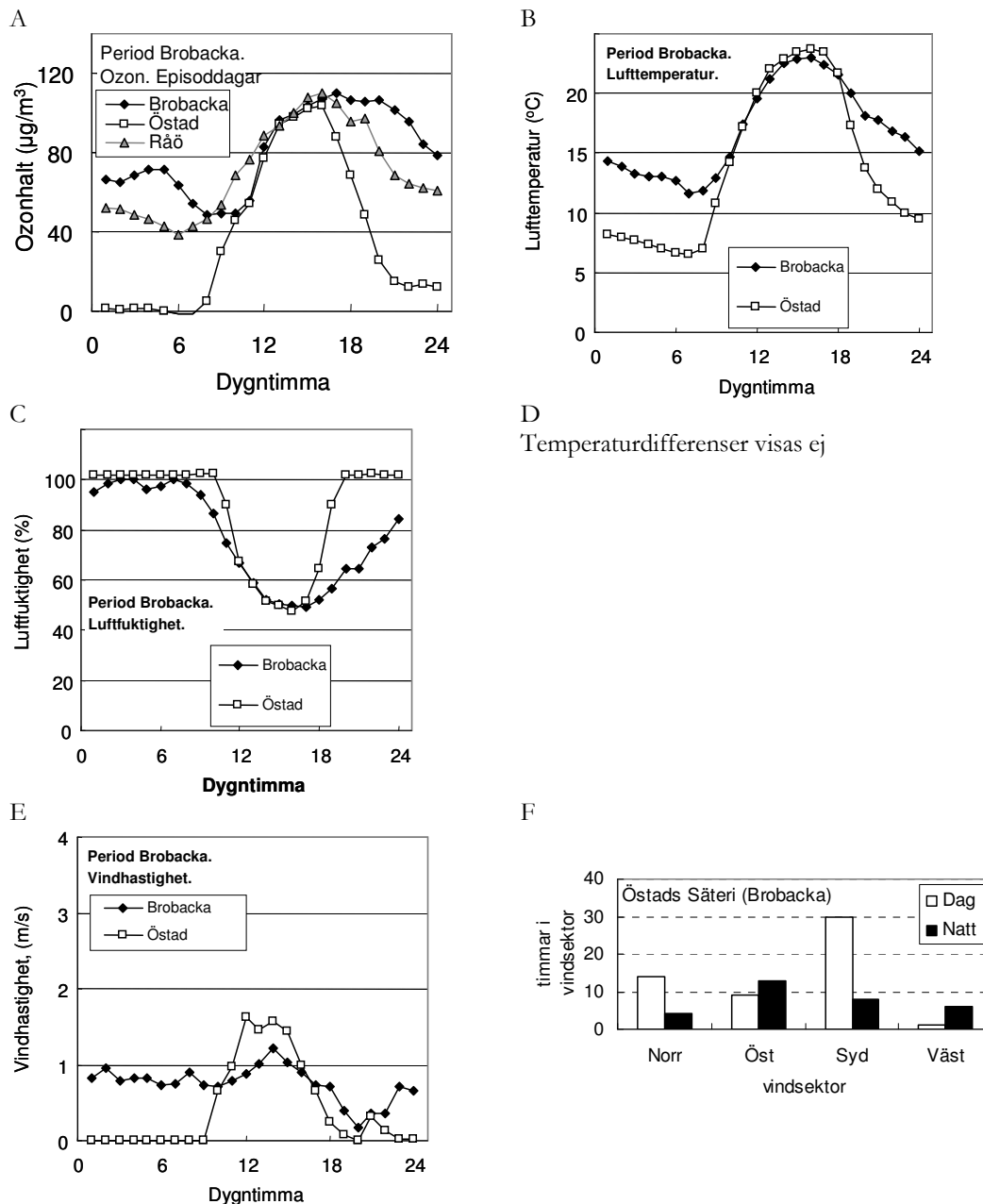
Temperaturdifferensen mellan 1 och 5 m var liten vid Brobacka. Det är väl känt att träd, även om de står relativt glest, motverkar uppkomsten av ett stabilt luftskikt. Detta är en av anledningarna till att man behåller skärmtäd på avverkningsytor av tall, för att detta skyddar mot uppkomsten av frost nära marken vilket gynnar etableringen av nya trädplantor. Vi ser också att den horisontella vindhastigheten sällan var noll vid Brobacka.



Figur 40. Exempel på mätvärden för ozonhalter och utvalda meteorologiska parametrar för Brobacka (ofyllda symboler) och Östad (svarta symboler) under tre dagar i september 2006. Dessutom ges ozonhalter för Råö under motsvarande period (grå symboler). I ordning uppifrån och ner visas ozonhalter som timvärden, ozonhalter som glidande 8-timmarsmedelvärden (tidsangivelsen gäller sista timman i perioden), temperaturdifferensen mellan två höjder över marknivå (Östads Säteri, 1-9 m, Brobacka 1-5 m, värden för Brobacka borttagna dagtid) samt vindhastigheten (Östads säteri 9 m övermarknivå, Brobacka 5 m över marknivå).

Medelvärden över dygnets timmar för de tre dygn under perioden där det maximala 8-timmarsmedelvärdet översteg $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ visas i figur 41. Ozonhalterna nattetid vid Östads Säteri var mycket nära noll, medan halterna vid Brobacka var relativt höga och de vid Råö intermediära. På eftermiddagen var ozonhalterna lika. På eftermiddagen inträdde temperaturinversioner vid Östads Säteri, som medförde att ozonhalterna snabbt sjönk,

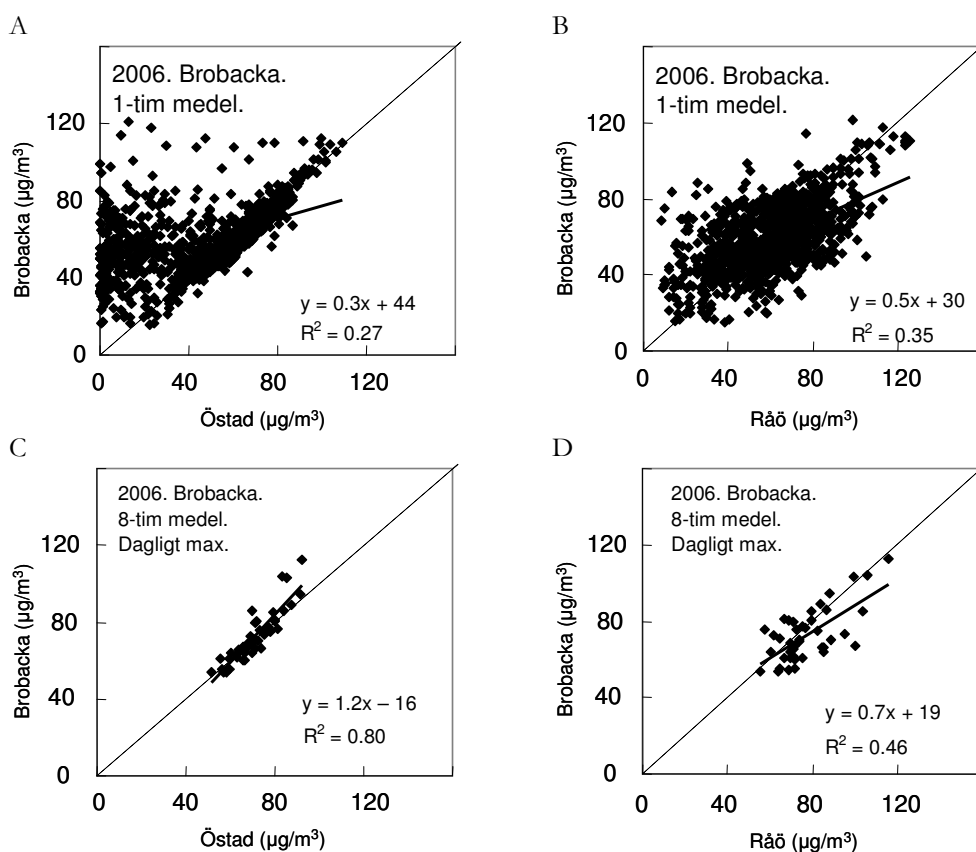
medan de förblev höga vid Brobacka till in på kvällen. Vindriktningarna dagtid vid Östads Säteri under dessa tre dagar var mer sydliga än för mätperioden som helhet.



Figur 41. Medelvärden per dygnstima för ozonhalter samt meteorologi uppmätta under olika perioder vid Brobacka, Östads Säteri samt Råö (endast ozon) under dagar då det maximala 8-timmars medelvärde för ozon vid någon av mätplatserna överskred $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $n=8$. A, Ozonhalter, timvärden. B, Lufttemperaturer 1 m över marknivå. C, Luftfuktighet (RH) 1 m över marknivå. D, Temperaturdifferens visas ej. E, Vindhastighet (Östads Säteri 9 m över mark, Brobacka 5 m över mark). F, Vindriktningen, uttryckt som antal timmar i olika vindsektorer, vid Östads säteri visas för motsvarande dagar.

9.3.6.3 Relationerna mellan ozonförekomsten vid Brobacka, Östads Säteri och Råö

Korrelationerna vad gäller samtida ozonförekomst vid mätplatserna gav ett blandat resultat. Vad gäller det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet var korrelationen bättre mellan Brobacka och Östads Säteri än mellan Brobacka och Råö. Vad gäller timvärden för ozonhalt var korrelationerna inte bra i något fall. Framför allt var den dålig mellan Brobacka och Östad, med många höga värden vid Brobacka där motsvarande värden vid Östads var mycket låga. Detta var i huvudsak nattvärden, där låga ozonkoncentrationer vid Östads Säteri orsakades av kraftiga nattliga temperaturinversioner.



Figur 42. Relationen mellan samtida ozonförekomst vid Brobacka och den vid Östads Säteri respektive den vid Råö. Ozonförekomsten är beräknad den som alla timmedelvärde (A,B), dels som det dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärdet (C,D).

9.3.6.4 Sammanfattning och slutsatser Brobacka

- Mönstret vad gäller ozonförekomst vid Brobacka över dygnets timmar var för de fåtal dagar då det var högtrycksdominerat väder med höga ozonhalter mer likt mönstret vid Råö än det vid Östads Säteri.
- Korrelationen vad gäller samtida ozonförekomst, räknat som dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärden, var bättre mellan Brobacka och Östads Säteri än mellan Brobacka och Råö. Vad gäller timvärden var korrelationen bättre mellan Brobacka och Råö, än mellan Brobacka och Östad, även om den i inget fall var bra.
- Resultaten från denna period var motstridiga, men vi drar ändå slutsatsen att under förhållanden som kan förknippas med höga ozonhalter, är ozonförekomsten vid Brobacka mer lik den vid Råö än den vid Östads Säteri.

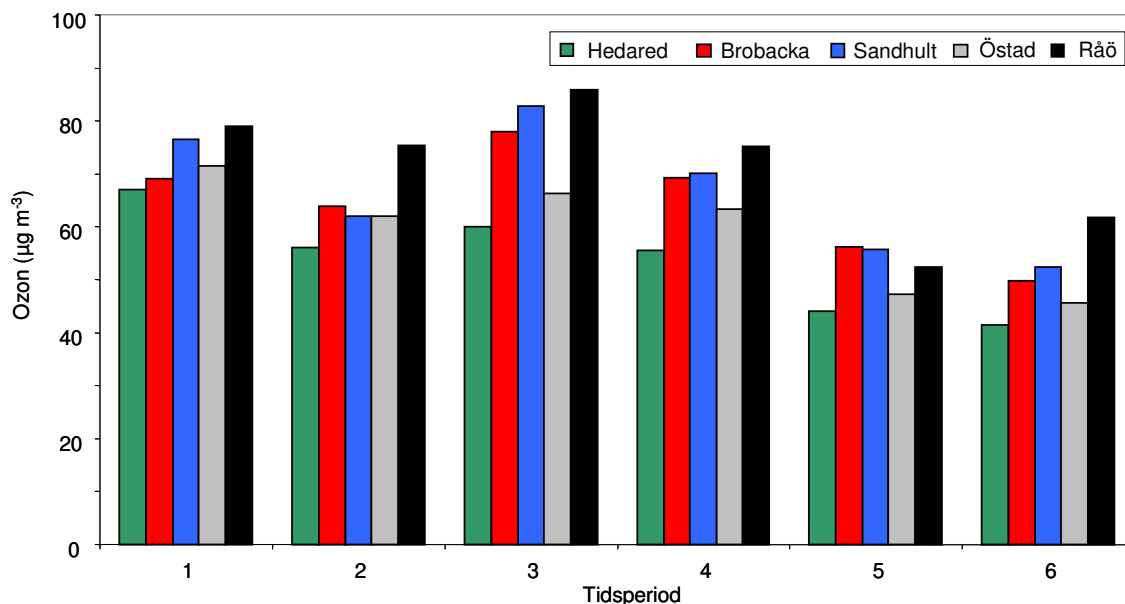
9.4 Resultat från diffusiva provtagare

Den stora fördelen med mätningarna av ozonhalter med diffusiva provtagare under 2006 var att de möjliggjorde samtida mätningar vid alla de tre undersökta mätplatserna Hedared, Sandhult samt Brobacka. Nackdelen var att de endast ger ett periodmedelvärde över två veckors tid.

Mätningarna med diffusiva provtagare genomfördes under 2006 som vardera två stycken två-veckors perioder under de mätperioder då det mobila mätsystemet var placerat vid respektive Hedared, Sandhult samt Brobacka. I Figur 43 hänvisar period ett och två till den mätperiod då det mobila systemet var placerat vid Hedared, period tre och fyra placering Sandhult och period fem och sex placering Brobacka. Starten för mätperiod ett, tre och fem sammanföll med den för det mobila systemet vid Hedared, Sandhult respektive Brobacka. Emellertid hölls mätperiodernas längd för de diffusiva provtagarna strikt till två veckor, vilket gjorde att mätningarna med diffusiva provtagare avslutades något tidigare jämfört med mätperioderna för det mobila systemet. Detta medförde exempelvis att mätningarna med diffusiva provtagare vid Hedared inte omfattade den period med höga ozonhalter som inträffade 11-13 juni, vilket det mobila systemets mätningar gjorde. Likaledes omfattade mätningarna med diffusiva provtagare inte heller den enda period med höga ozonhalter som inträffade i mitten av september vid Brobacka. Således är mätperioderna inte helt överlappande vad gäller diffusiva provtagare och det mobila systemet.

Mätningarna av ozon med diffusiva provtagare bekräftade i stort de slutsatser som dragits från mätningarna med det mobila systemet. Bortsett från period ett var ozonhalterna som medelvärden under två veckor konsekvent i stort sett lika vid Sandhult och Brobacka, medan halterna vid Hedared var lägre än de båda andra platserna. Medelvärdena för ozonhalter i Figur 43 var i de flesta fall relativt sett högre för Östads Säteri och Råö, vilket förklaras av att

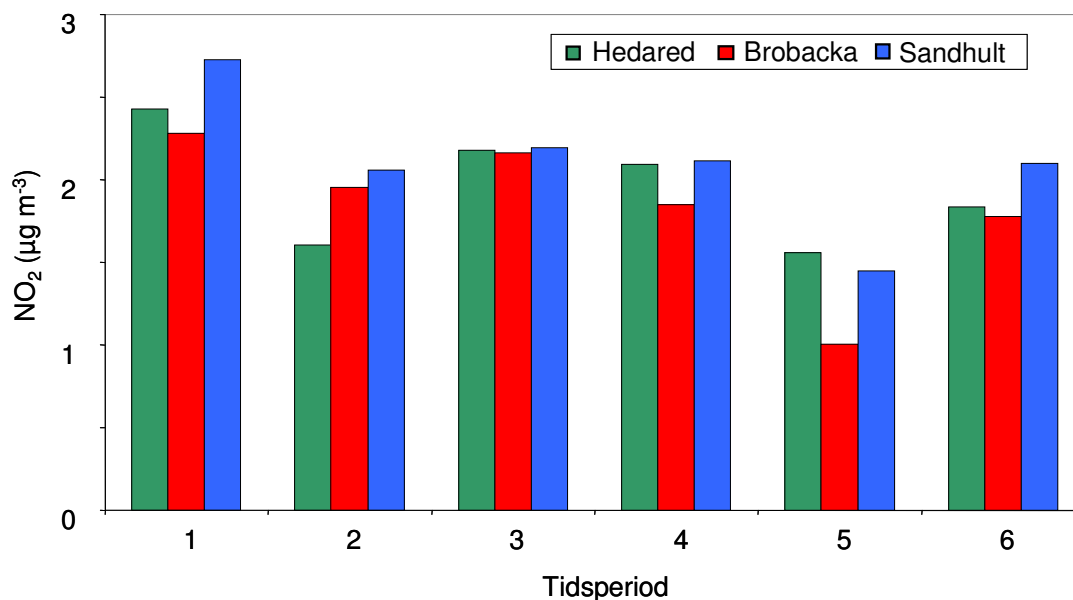
dess mätningar med ozoninstrument skedde 5 m över marknivå, jämfört med 1.5 m över marknivå för de diffusiva mätningarna vid Hedared, Sandhult och Brobacka. Anledningen till att värdet för ozonhalten vid Brobacka under period ett var relativt sett lägre, i jämförelse med övriga perioder, är oklart. Emellertid var vädret under denna period, 13-26 maj 2006, i huvudsak mulet och regnigt och temperaturinversioner nattetid inträffade endast under två av total 13 nätter vid Östad och Hedared under denna period. Ozonhalterna mätta med instrument var under dagtid relativt lika mellan Råö, Östad och Hedared under denna period.



Figur 43. Ozonhalter mätta som medelvärden under perioder om två veckor med diffusiva provtagare, 1.5 m över marknivå. Mätningarna skedde parallellt vid tre mätplatser, Brobacka, Hedared samt Sandhult. Brobacka och Sandhult är belägna högt relativt omgivande landskap medan Hedared är lågt belägen relativt omgivande landskap. Dessutom inkluderas i figuren medelvärden för ozonhalterna vid Östads Säteri och Råö mätt med instrument 5 m över marknivå, för samma mätperioder som för de diffusiva provtagarna. Östads Säteri ligger lågt relativt omgivande landskap medan Råö ligger precis vid kusten. Perioderna 1 och 2 är samtida med den period då det mobila mätsystemet var placerat vid Hedared, perioderna 3 och 4 är samtida med den period då det mobila mätsystemet var placerat vid Sandhult och perioderna 5 och 6 är samtida med den period då det mobila mätsystemet var placerat vid Brobacka. Mätningarna skedde med två replikat, vilka alltid visade god överensstämmelse.

Parallellt med mätningarna av ozon med diffusiva provtagare mättes även lufthalterna av kvävedioxid (NO_2) och kväveoxid (NO) med diffusiva provtagare. Mätperioderna är alltså de samma som perioderna för ozonmätningarna. Mätningarna av NO har en relativt hög detektionsgräns, så från dessa mätningar kan vi bara säga att halterna alltid låg under $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Resultaten från mätningarna av NO_2 visas i Figur 44.

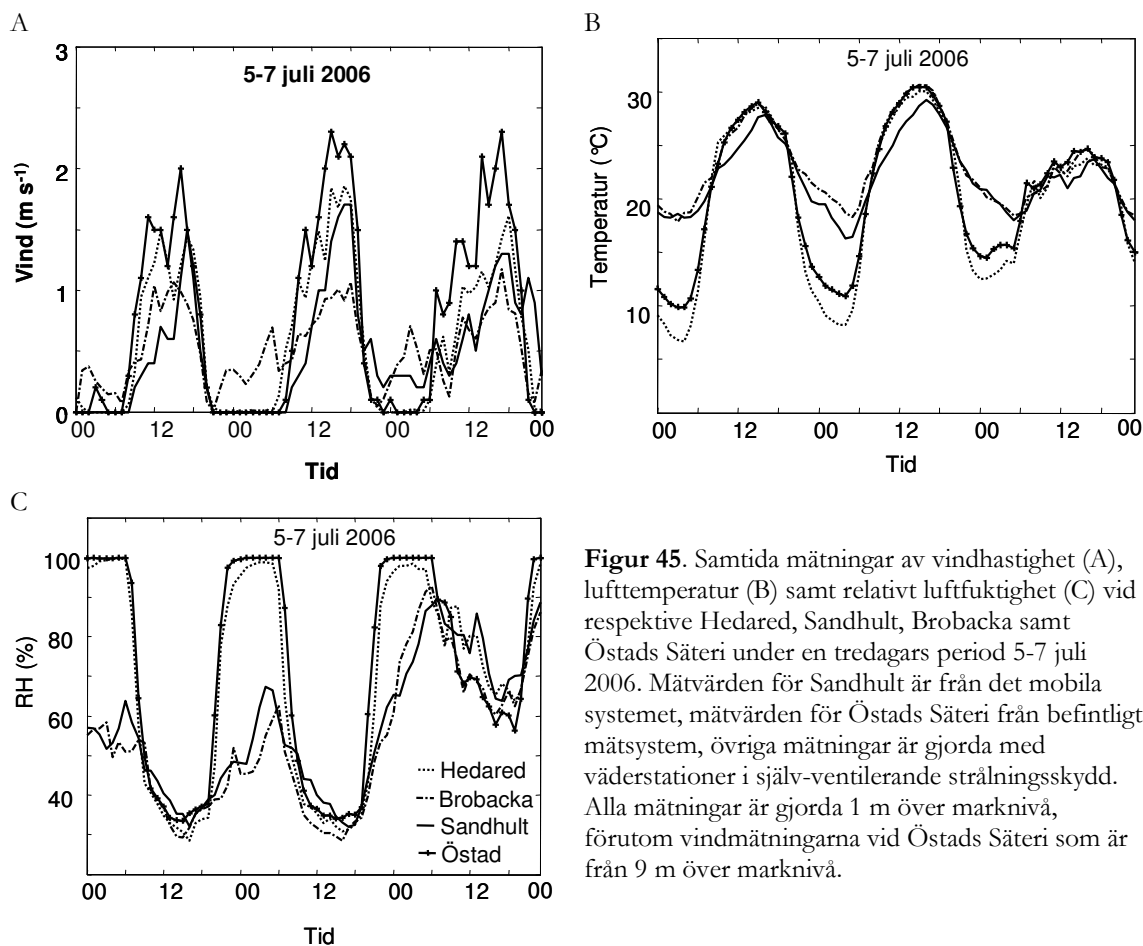
Halterna av NO₂ som medelvärden under två veckor var låga vid alla platser och under alla perioder. Det fanns en tendens till att halterna var lägst vid Brobacka, men varför det skulle vara så är oklart. Vi kan emellertid dra slutsatsen att skillnader i ozonförekomst mellan Brobacka/ Sandhult och Hedared beror inte på skillnader i förekomst av kväveoxider.



Figur 44. Halter av kvävedioxid (NO₂) mätta som medelvärden under perioder om två veckor med diffusiva provtagare, 1.5 m över marknivå. Mätningarna skedde parallellt vid Brobacka, Hedared samt Sandhult. Perioderna 1 och 2 är samtida med den period då det mobila mätsystemet var placerat vid Hedared, perioderna 3 och 4 är samtida med den period då det mobila mätsystemet var placerat vid Sandhult och perioderna 5 och 6 är samtida med den period då det mobila mätsystemet var placerat vid Brobacka. Mätningarna skedde med två replikat, vilka alltid visade god överensstämmelse.

Under samma perioder som redovisats för mätningar av ozon och kväveoxider med diffusiva provtagare ovan, gjordes även samtida meteorologiska mätningar med väderstationer, placerade i själv-ventilerande strålningsskydd, kompletterat med givare för vindhastighet. Dessa mätningar gjordes 1 m över marknivå. Tidsupplösningen för dessa mätningar var en timma.

I Figur 44 visas medelvärden uppdelat per dygnstimma för perioden 5-7 juli 2006, den period med högtrycksbetonat väder då de högsta ozonhalterna för 2006 uppmättes. Detta var den period när det mobila systemet var placerat vid Sandhult.



Figur 45. Samtida mätningar av vindhastighet (A), lufttemperatur (B) samt relativt luftfuktighet (C) vid respektive Hedared, Sandhult, Brobacka samt Östads Säteri under en tredagars period 5-7 juli 2006. Mätvärden för Sandhult är från det mobila systemet, mätvärden för Östads Säteri från befintligt mätsystem, övriga mätningar är gjorda med väderstationer i själv-ventilerande strålningsskydd. Alla mätningar är gjorda 1 m över marknivå, förutom vindmätningarna vid Östads Säteri som är från 9 m över marknivå.

Resultaten från dessa mätningar bekräftar tidigare slutsatser att klimatet var relativt lika mellan Sandhult och Brobacka vad gäller relativt hög lufttemperatur och låg luftfuktighet nattetid, medan det var lika mellan Hedared och Östads Säteri. Vindhastigheterna nattetid var för det mesta under detektionsgränsen vid Hedared och Östads Säteri (trots att vindmätningen vid Östad var från 9 m över marknivå), luftfuktigheten var hög och lufttemperaturen låg. Det var sällan vindstilla vid Brobacka, medan vindmätaren 1 m över mark vid Sandhult inte gav utslag vissa nätter, i kontrast till mätningen 5 m över mark (Figurerna 34 och 36).

De samtida mätningarna av meteorologi bekräftar således de tidigare antagandena baserade på meteorologiska mätningar med det mobila systemet, att en stabil skiktning av luftlagren nattetid var mycket mer omfattande vid Hedared och Östads Säteri, jämfört med Sandhult och Brobacka.

9.4.1 Sammanfattning och slutsatser diffusiva provtagare

- Samtida mätningar av ozonhalter med diffusiva provtagare i tvåveckorsperioder bekräftar att ozonförekomsten vid de höglänta platserna Sandhult och Brobacka var lika under större delen av sommaren, medan ozonförekomsten vid den låglänta platsen Hedared var tydligt lägre än de båda övriga platserna
- Förekomsten av kväveoxider var mycket låg vid alla platser och under alla perioder
- Samtida meteorologiska mätningar visade att klimatet nattetid var relativt lika vid Sandhult och Brobacka med få tillfällen med en stabil skiktning av luftlagren, medan klimatet nattetid vid Hedared visade tecken på en frekvent stabil skiktning av luftlagren nattetid, i likhet med klimatet vid Östads Säteri.

9.5 En sammanfattande analys av relationerna i ozonförekomst mellan de olika platserna

Mätningarna av ozonhalter och meteorologi vid olika platser i landskapet runt om i Västra Götalands län bekräftade den hypotes som beskrivits i sektion 2.2.3 om hur ozonförekomsten vid olika platser kan karakteriseras utifrån avståndet till kusten samt den lokala topografin i relation till omgivande landskap. En sammanfattning av bedömningarna för de olika platserna vad gäller likheterna i ozonförekomst i jämförelse med Råö och Östads Säteri ges i Tabell 14.

De slutliga bedömningarna baseras på tre kriterier: 1, Mönstret i ozonförekomst över dygnet; 2, Korrelationer vad gäller samtida ozonförekomst, både som timvärden och som dagliga, maximala 8-timmarsmedelvärden; 3, Två-veckors medelvärden för ozonkoncentration uppmätt med diffusiva provtagare. I de flesta fall pekar alla tre kriterierna åt samma håll. Svårast var bedömningarna av Hedared och Brobacka på grund av att skillnaderna i ozonförekomst mellan Råö och Östads Säteri inte var lika stora under dessa perioder, samt att vädersituationen var annorlunda jämfört med övriga mätperioder. Bedömningarna baserade på ozonmönster över dygnet under dagar med hög ozonförekomst, tillsammans med de samtida ozonmätningarna med diffusiva provtagare gjorde det dock möjligt att hänföra ozonförekomsten vid Hedared som mest lik den vid Östads Säteri och ozonförekomsten vid Brobacka som mest lik den vid Råö.

Tabell 14. En översikt över slutsatserna beträffande ozonförekomsten vid de olika undersökta platserna. Slutsatserna är uppdelade utifrån hur de baseras på faktiska korrelationer vad gäller dagliga, maximala 8-timmars medelvärden mellan mätplatsen i fråga och Östads säteri respektive Råö, utifrån hur ozonhalterna varierar över dygnet samt slutligen en övergripande slutsats.

Plats	Avstånd till kust (km)	Relativ topo-grafi	Korrelationer samtida ozonförekomst	Ozonförekomst över dygnet	Diffusiva provtagare	Slutlig bedömning
Rönnäng	4	-	Korrelerar bäst med Råö	Lik Råö	-	Ozonförekomst som Råö
Alafors	37	Låglänt	Korrelerar bäst med Östad	Lik Östad	-	Ozonförekomst som Östad
Lanna	103	Låglänt	Korrelerar bäst med Östad	Lik Östad	-	Ozonförekomst som Östad
Hedared	67	Låglänt	Korrelerar bäst med Östad, men är inte utpräglat skild från Råö	Lik Östad	Lik Östad	Ozonförekomst som Östad
Sandhult	67	Höglänt	Korrelerar bäst med Råö	Lik Råö	Lik Råö	Ozonförekomst som Råö
Brobacka	55	Höglänt	Korrelerar bäst med Östad, dock vid höga halter med Råö	Lik Råö	Lik Råö	Ozonförekomst som Råö

10. Geografisk karakterisering av de olika kategorierna för ozonförekomst i Västra Götalands län

10.1. Kategorin kustnära platser

Våra mätningar med det mobila systemet har visat att ozonförekomsten vid Rönnäng, på sydligaste delen av Tjörn, sammanfaller med den vid Råö, vid kusten på Onsalahalvön söder om Göteborg. Vi bekräftar således hypotesen om en hög ozonförekomst nära kusten. Det finns mycket som tyder på att den höga ozonförekomsten som förknippas med kustnära platser är begränsad till ett område mycket nära kustlinjen. Mätningarna vid Alafors visar att denna plats, som ligger ca 37 km från den sammanhängande kustlinjen, ligger väl inom det geografiska område som vi benämner inlandet. Ytterligare information som kan användas för att närmare definiera den geografiska utbredningen av kategorin ”kustnära” redovisas nedan.

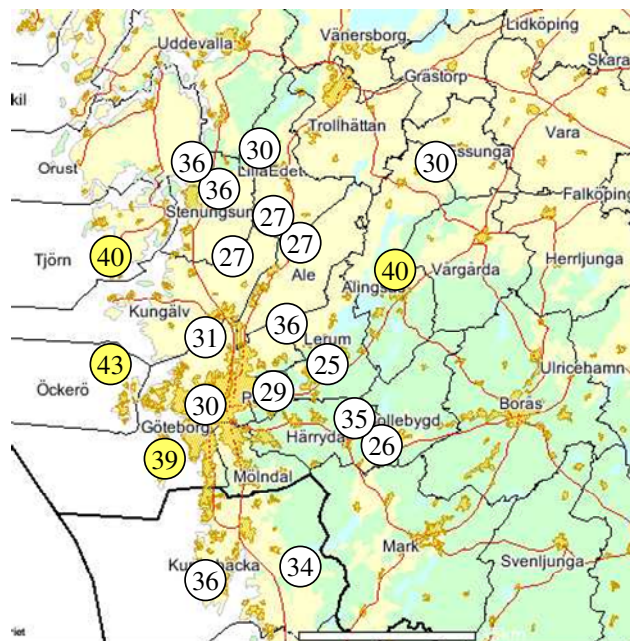
10.1.1. Resultat från mätningar med diffusiva provtagare.

Mätningar med diffusiva provtagare för ozon ger ett periodmedelvärde för ozonhalten i luften, vanligtvis under en månad. Även om man således inte får någon direkt information

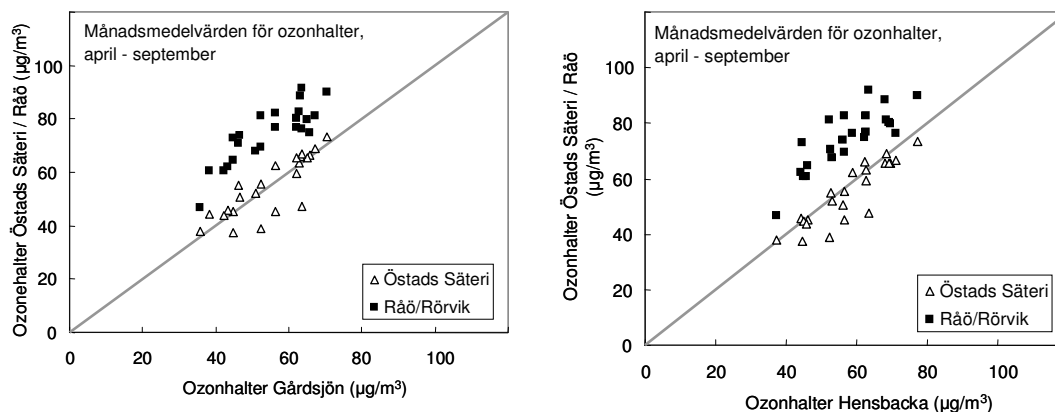
om dygnsdynamiken i ozonhalter kan dessa mätningar ändå ge en värdefull information om ozonförekomsten. Om ozonhalterna är låga nattetid, såsom i den föreslagna kategorin ”låglänt i inlandet” ger detta avsevärt lägre periodmedelhalter, jämfört med ozonförekomsten i kategorin ”kustnära”, där ozonhalterna inte går ner i samma utsträckning nattetid. Detta gör det således möjligt att jämföra den samtida ozonförekomsten vid en viss plats uppmätt med diffusiva provtagare med motsvarande ozonförekomst vid Östads Säteri respektive Råö.

Under sommarmånaderna juni, juli och augusti genomfördes mätningar av ozonhalter på månadsbasis med diffusiva provtagare på ett flertal platser runt om i västra Sverige (Sjöberg m.fl., 1998). Resultaten som medelvärden över de tre månaderna visas i Figur 46. De exakta mätplatsernas läge i relation till lokal topografi har inte kunnat rekonstrueras i efterhand, förutom en plats strax norr om Alingsås (gulmarkerad). Denna mätplats låg utpräglat högt i landskapet. I Figur 46 är markerat med gult alla platser med mätvärden högre än mätvärdet för Råö. Dessa ligger alla nära kustlinjen och har samma värden som den högt belägna platsen norr om Alingsås. Även om värdena gäller medelvärden över tre månader, ger dessa resultat en indikation om att det förekommer en hög ozonbelastning ytterst längs kustlinjen samt att dessa värden är i paritet med högt belägna platser i inlandet.

Mätningar av ozonhalter med diffusiva provtagare på månadsbasis har pågått under flera år vid Gårdsjön och Hensbacka. Gårdsjön ligger öster om Stenungsund, ca 31 km från den sammanhängande kustlinjen, topografiskt lågt jämfört med omgivningen. Hensbacka ligger strax söder om Munkedal, ca 33 km från den sammanhängande kustlinjen och även denna provpunkt ligger topografiskt lågt jämfört med omgivande landskap. Månadsmedelvärdena för ozonhalter för såväl Gårdsjön som Hensbacka korrelerar bättre med Östads Säteri än med Råö (Figur 47). Detta visar att ozonförekomsten vid Gårdsjön och Hensbacka kan hänföras till kategorin låglänta i inlandet. Detta tyder alltså på att kategorin låglänt i inlandet inträder redan 30 km från den sammanhängande kustlinjen.



Figur 46. Månadsvis ozonmätningar med diffusiva provtagare under Juni - Augusti 1997. Sjöberg m.fl., 1998. Medelvärden i ppb för alla tre månaderna visas.



Figur 47. En jämförelse av månadsmedelvärden för ozonhalter uppmätta vid Östads Säteri och Råö/Rörvik med Gårdsjön (vänstra diagrammet) och Hensbacka (högra diagrammet) under perioden april – september 2001 - 2006. Ozonhalter vid Östads Säteri och Råö/Rörvik är uppmätta med instrument på timbasis. Ozonhalter vid Gårdsjön och Hensbacka är uppmätta med diffusiva provtagare på månadsbasis.

10.1.2. Resultat från modelleringsstudier.

I en studie från Storbritannien (Entwistle m.fl., 1997) analyserade man observationer av ozonhalter i olika gradienter från kusten mot inlandet och man genomförde även olika modelleringsansatser. Slutsatserna från dessa studier var att ozonhalterna var i storleksordningen $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ högre närmast kusten, jämfört med 150 km mot inlandet, under eftermiddagen och så mycket som $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ högre nattetid. Modelleringsarna antydde att kusteffekten på ozonkoncentrationerna hade sjunkit till hälften ca 5 km från kustlinjen.

Miao m. fl., (2006) har modellerat depositionshastigheten för ozon i området runt Göteborg för 19 m över marknivån med en geografisk upplösning på 2 km och som ett medelvärde för en period 7 – 20 maj 2001. Man visar att övergången från hav till land medför en omedelbar och kraftig ökning av depositionshastigheten. Vidare kunde man i ett område inom ca 20 km radie runt Göteborg inte urskilja någon effekt av topografin på depositionshastigheten. Utifrån dessa resultat gör vi antagandet att den geografiska utsträckningen av kategorin kustnära ozonförekomst ser ungefär likadan ut längs hela kuststräckan som omfattas av Västra Götalands län.

10.1.3. Sammanfattning och slutsatser om den geografiska omfattningen vad gäller den höga ozonförekomsten vid kusten.

Information från mätningar av ozonhalter med diffusiva provtagare tyder på att förekomsten av kustnära, höga ozonhalter är begränsad till ett område som sträcker sig som mest ca 30 km från sammanhängande kustlinjen. Detta stöds av modelleringsstudier från Storbritannien. Dessutom visar modelleringsstudier från Göteborgsområdet att övergången från en låg till hög depositionshastighet för ozon tydligt sammanfaller med övergången från hav till land och att detta fenomen har en relativt homogen geografisk utbredning inom det kustnära området.

Sannolikt är det inte fråga om någon skarp avgränsning mellan ”kustnära” och ”inlandet”. Gårdsjön, Hensbacka samt Alafors förefaller ligga klart inom kategorin ”inlandet”. Utifrån den information som finns tillgänglig definierar vi därför det geografiska området för den höga ozonförekomsten som omfattande 20 km från den sammanhängande kustlinjen, oberoende av topografin. En illustration av hur vi definierat den sammanhängande kustlinjen upp till Sotenäs kommun visas i kartan i Figur 2.

10.2. Kategorierna högt och lågt belägna platser i inlandet

Den svåraste uppdelningen av de olika kategorierna för ozonförekomst är den mellan platser belägna högt och lågt i den lokala topografin. Den kombinerade inverkan av väder och topografi på luftens stabilitet och därmed förekomsten av ozon nära marken är komplicerad. Det som bland annat spelar stor roll är den aerodynamiska skrovligheten (kallas också relief,

på engelska "roughness") i landskapet, men även storleken på utstrålningen av långvågig värmestrålning nattetid (t.ex. Fowler m.fl., 1995).

Det skulle behövas ytterligare en större mängd mätningar för att uppdelningen i högt och lågt belägna platser skall kunna göras med exakthet. Emellertid gör vi nedan en uppdelning utifrån den information som finns tillgänglig.

10.2.1. Betydelsen av den relativa topografin.

I en studie från Storbritannien (Coyle m.fl., 2002) gjorde man antagandet att ozonhalterna i södra Skottland under eftermiddagen var relativt lika mellan platser på olika höjd över havet. Dessa värden för ozonkoncentrationer på eftermiddagen antog man var representativa för större geografiska områden. Vidare antog man att kvoten mellan ozonkoncentrationen på eftermiddagen och medelvärdet för ozonkoncentration dygnet runt var proportionellt mot höjden över havet. Denna hypotes har tidigare testats för ozondata från södra Sverige (Karlsson m.fl., 2002) men inte befunnits gälla för svenska förhållanden. Ett tydligt exempel på detta är nät man jämför ozonförekomsten vid Östads Säteri med den vid SLU's försökspark i Asa, där ozonförekomsten vid Östad och Asa är väldigt lika, i båda fallen med mycket låga ozonhalter nattetid. Östads Säteri ligger ca 60 m.ö.h. medan Asa ligger ca 170 m.ö.h. Detta har lett oss till hypotesen att det är den lokala topografin som är viktig för ozonförekomsten, inte höjden över havet.

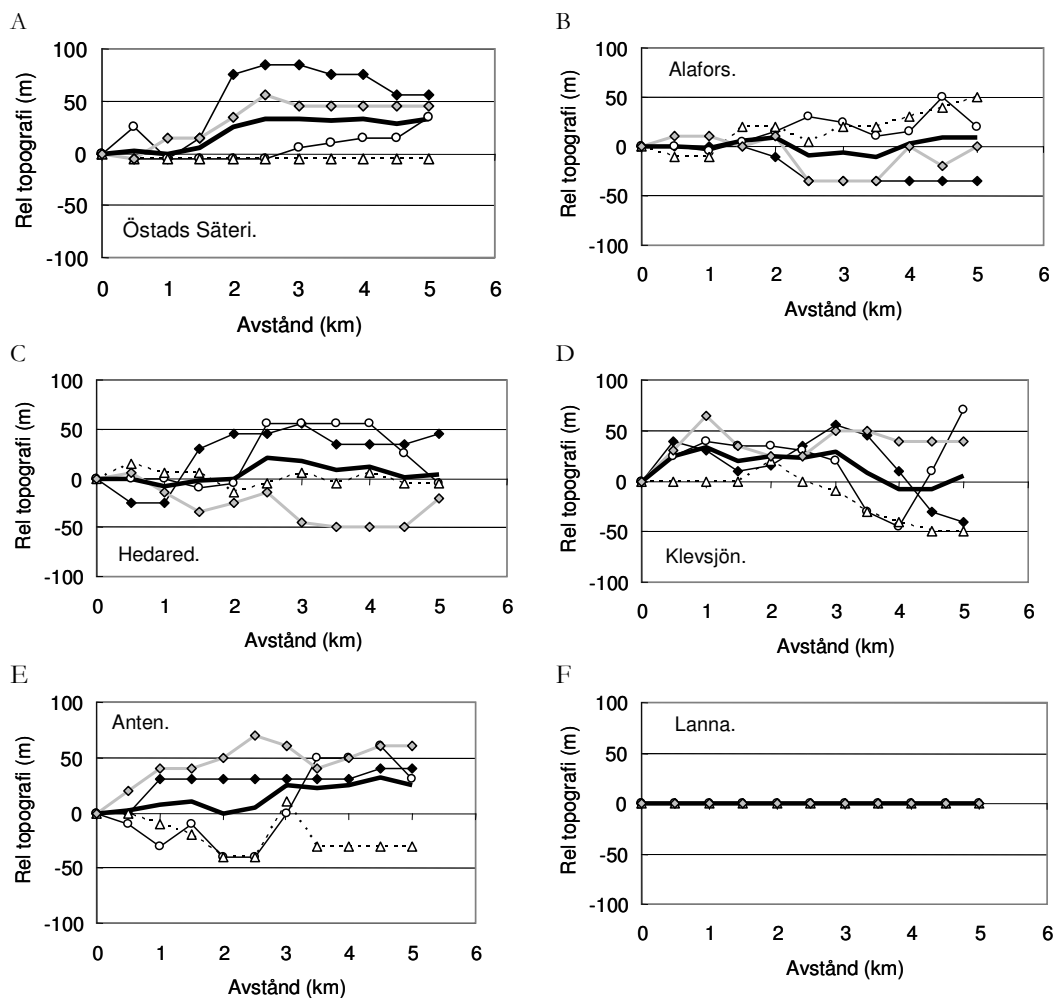
10.2.2. Den relativa topografin runt de hittills undersökta mätplatserna.

Den lokala topografin karakteriserades för varje mätplats i inlandet (ej Råö och Rönnäng) med hjälp av manuella mätningar på topografiska kartor hämtade från "Geografisk Information från Sveriges Länsstyrelser i samverkan" (<http://www.gis.lst.se/lanskartor/>). Kartor med 10 m ekvidistans (avstånd i höjddled mellan höjdkurvorna) och med god upplösning på en kilometerskala användes. Utgåendes från punkten för mätplatsen avlästes höjd över havet var 500 m i alla fyra väderstrecken och relaterades till höjd över havet för mätplatsen. Ett medelvärde för alla vädersträcken gjordes även för var 500 m avstånd till mätplatsen. Resultaten visas i Figurerna 48 och 49. I figurerna visas även den relativa topografin för de tidigare undersökta platserna Grytebergen och Klevsjön, i närheten av Östads Säteri, där Grytebergen visade karaktären av hög ozonförekomst, såsom vid Råö, medan Klevsjön visade en låg ozonförekomst, såsom vid Östads Säteri (Sundberg m.fl., 2006). Bägge dessa platser ligger i ett skogslandskap. Dessutom har vi i Figur 49 inkluderat den relativa topografin för Antens Kapell, en mätplats som ligger ca 8 km norr om Östads Säteri, nära sjön Anten. Vi har tidigare visat att ozonförekomsten vid Antens Kapell är mycket lik den vid Östads Säteri (Pleijel m. fl., 1995).

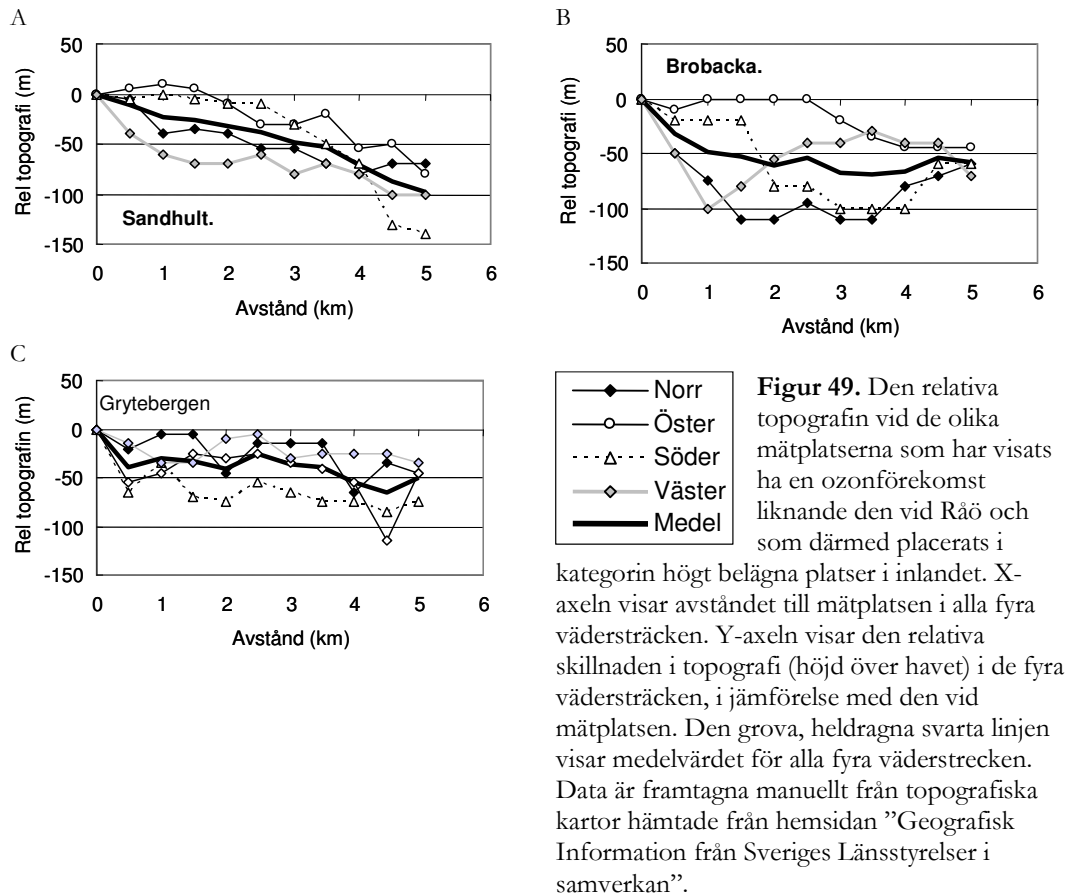
Den relativa topografin för Östads Säteri och för två av de platser som visat en ozonförekomst liknande den vid Östads Säteri, Klevsjön samt Antens Kapell, var i medeltal positiv, d.v.s. landskapet höjde sig i tre av fyra väderstreck. Den relativa topografin för övriga två platser med en ozonförekomst liknande den vid Östads Säteri, Alafors och Hedared, var

neutral, i vissa väderstreck höjde sig landskapet något medan i andra väderstreck sänkte det sig och medelvärdet blev nära noll. Höjningarna och sänkningarna överskred i de flesta fall inte 50 m för något väderstreck. Lanna är beläget mitt på Vara slätten, så för denna mätplats finns ingen förändring av den relativa topografin åt något väderstreck.

För de tre platser som uppvisat en ozonförekomst liknande den vid Råö, nämligen Sandhult, Brobacka och Grytebergen, var den relativa topografin negativ och landskapet sänkte sig i stort sett i alla väderstreck. Medelvärdet för den relativa topografin minskade 40-50 m inom den närmaste 1 km från mätpunkten vid Brobacka och Klevsjön, medan den minskade mer gredvis vid Sandhult, med 50 m sänkning först på ett avstånd av ca 3 km. Den största förändringen i den relativa topografin förelåg norr om mätpunkten vid Brobacka, där den minskade 100 m inom 1.5 km. Sandhult låg på kanten av en höjdplatå och den relativa topografin förändrades inte nämvärt i två av väderstrecken inom de närmaste två kilometrarna. I den förhärskande vindriktningen, väster, sänkte sig dock topografin för Sandhult snabbt.



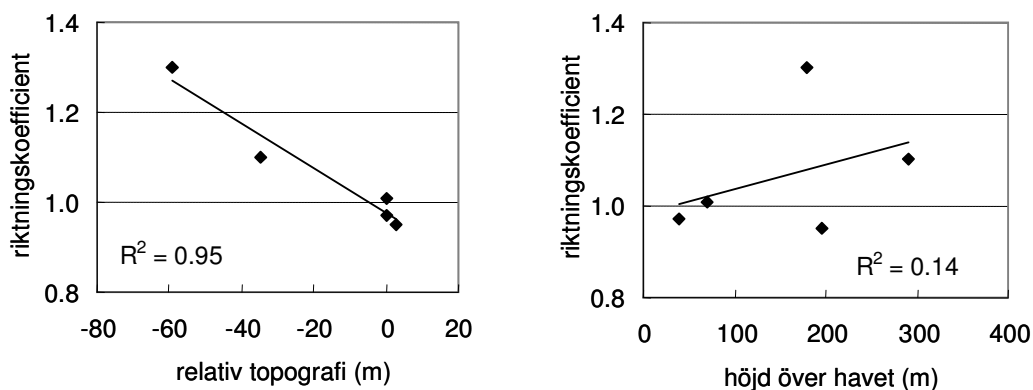
Figur 48. Den relativa topografin vid de olika mätplatserna som har visats ha en ozonförekomst liknande den vid Östads Säteri och som därmed placerats i kategorin lågt belägna platser i inlandet. X-axeln visar avståndet till mätplatsen i alla fyra vädersträcken. Y-axeln visar den relativa skillnaden i topografi (höjd över havet) i de fyra vädersträcken, i jämförelse med den vid mätplatsen. Den grova, heldragna svarta linjen visar medelvärde för alla fyra väderstrecken. Data är framtagna manuellt från topografiska kartor hämtade från hemsidan "Geografisk Information från Sveriges Länsstyrelser i samverkan".



Frågan uppstår över vilken geografisk skala som den lokala topografin spelar roll för förekomsten av ozon nära marken i inlandet? Inom den generella klimatologin används vanligtvis en geografisk skala mellan 100 m – 50 km (Oke, 1978).

För att undersöka över vilken skala den relativa topografin spelar roll analyserade vi den statistiska informationen från regressionsanalyserna av de dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdena vid Östads Säteri (x-axeln) och mätplatserna ifråga (y-axeln), se figurerna 21C, 26C, 31C, 37C samt 42C. Vi använde oss av riktningskoefficienterna från ovan nämnda regressioner och avsatte dessa i nya diagram mot den relativ topografin beräknade över olika avstånd från mätplatserna, där vi testade avstånden mellan 1 och 5 km. Ett högt värde på riktningskoefficienten innebär att de dagliga maximala 8-timmars värdena var högre för mätplatsen ifråga, jämfört med Östads Säteri. Denna analys gjorde vi med data för mätplatserna Alafors, Lanna, Hedared, Sandhult och Brobacka. Det bästa sambandet mellan riktningskoefficienterna och relativ topografi erhöles när den relativa topografin beräknades över ett avstånd upp till 3 km från mätplatserna (Figur 50A). I figur 50 B visas motsvarande samband mellan riktningskoefficienterna och höjd över havet för respektive mätplats. Denna korrelation var avsevärt sämre, vilket ytterligare bekräftar vår hypotes att den relativa topografin var mer avgörande för ozonförekomsten än höjd över havet.

Underlaget vad gäller mätningar är relativt begränsat. Utifrån tillgänglig information drar vi dock slutsatsen att det som förefaller ha störst betydelse för den relativa ozonförekomsten vad gäller platser i Västra Götalands inland är den relativa topografin inom en radie av 3 km från platsen ifråga.



Figur 50. Sambanden mellan riktningskoefficienterna, beräknade från regressionsanalyser mellan dagliga maximala 8-timmars medelkoncentrationer för ozon för Östads Säteri och för mätplatsen ifråga, se figurerna 21C, 26C, 31C, 37C samt 42C och den relativa topografin för platsen ifråga beräknat på ett avstånd upp till 3 km från mätplatsen (A). Motsvarande samband mellan riktningskoefficienter och höjd över havet för mätplatsen visas i figur B. Ett högt värde på y-axeln innebär att de dagliga maximala 8-timmars värdena var högre för mätplatsen ifråga, jämfört med Östads Säteri. Ett negativt värde för den relativa topografin innebär att omgivande landskap ligger lägre, jämfört med mätplatsen. Analysen gjordes med data för mätplatserna Alafors, Lanna, Hedared, Sandhult och Brobacka.

10.2.3. Sammanfattning och slutsatser om den geografiska omfattningen vad gäller topografiskt höga och låga platser i inlandet.

Från den information som finns tillgänglig drar vi slutsatsen att det är den lokala topografin som avgör ozonförekomsten vid olika platser i inlandet. Vi kan inte med säkerhet avgöra om det är topografin i alla väderstreck som spelar roll eller om det räcker med topografiskt stora skillnader i endast några väderstreck, då främst i vindriktningen.

Vi föreslår en definition av höglänta områden i inlandet, med en hög ozonförekomst, som områden belägna längre än 20 km från den sammanhängande kustlinjen, där platsen i fråga ligger mer än 20 m över omgivande områdens topografi, som medelvärde i alla fyra väderstreck och som medelvärde inom 3 km avstånd. Lågt belägna områden i inlandet, med en låg ozonförekomst, definierades som områden belägna längre än 20 km från den sammanhängande kustlinjen och med en topografi där omgivande områden inte ligger mer än 20 m lägre, enligt ovanstående definition.

Ovan föreslagna definitioner grundas på följande argument:

- ◇ Undersökta platser, som uppvisade en ozonförekomst lik den vid Råö, uppvisade alltid en topografi där omgivande områden på ett avstånd av upp till fem kilometer och i medeltal för alla väderstreck låg minst 20 m lägre, relativt mätplatsen ifråga.
- ◇ Undersökta platser, som uppvisade en ozonförekomst lik den vid Östads Säteri, uppvisade aldrig en topografi där omgivande områden på ett avstånd upp till fem kilometer och i medeltal för alla väderstreck låg mer än 10 m lägre, relativt mätplatsen ifråga.
- ◇ En analys av sambandet mellan storleken på de dagliga maximala 8-timmarsmedelvärdena för en viss mätplats, relativt till Östads Säteri, och den relativa topografin för mätplatsen ifråga, beräknat över olika avstånd från mätplatsen, indikerade att topografin inom 3 km verkade ha störst betydelse.
- ◇ En avgränsning vad gäller den relativa topografin, som medelvärde för alla väderstreck och i medeltal inom tre kilometers avstånd, vid -20 m ger enligt vår uppfattning en rimlig avvägning mellan att inte förbise någon plats där risken för en hög ozonförekomst är stor, samtidigt som vi inte överskattar ozonförekomsten vid platser där riskerna för en hög ozonförekomst sannolikt är låg

11. Övergripande slutsatser

Genom att beakta tre olika kriterier baserade på mätningar av ozon och meteorologi vid sex olika platser, utöver de permanenta mätplatserna Östads Säteri och Råö, har vi klassificerat ozonförekomsten vid de sex platserna i relation till den höga ozonförekomsten vid Råö, alternativt den låga ozonförekomsten vid Östads Säteri. Vi har dessutom beaktat ozonförekomsten vid tre ytterligare platser som beskrivits i tidigare studier och där ozonförekomsten klassats såsom lik den vid Östads Säteri eller Råö. Vi har vidare genom mätningar visat att förekomsterna av kväveoxider är mycket låga vid de mätplatser som vi undersökt under 2006 och således inte har något betydelse för skillnaderna i ozonförekomst.

Resultaten av dessa bedömningar visas i Tabell 15. Vi har geografiskt definierat de olika kategorierna för ozonförekomst. Kustnära områden med en hög ozonförekomst definierades som områden belägna inom 20 km från den sammanhängande kustlinjen, oberoende av topografin. Höglänta områden i inlandet, med en hög ozonförekomst, definierades som områden belägna längre än 20 km från den sammanhängande kustlinjen, där punkten i fråga ligger mer än 20 m över omgivande områdens topografi, som medelvärde i alla fyra väderstreck och som medelvärde på avstånden inom 3 km. Lågt belägna områden i inlandet, med en låg ozonförekomst, definierades som områden belägna längre än 20 km från den sammanhängande kustlinjen och med en topografi där omgivande områden inte ligger mer än 20 m lägre, enligt ovanstående definition.

Konsekvenserna av nedanstående klassificering för bedömningen av vilka delar av Västra Götalands län som står under hög respektive låg ozonbelastning redovisas i en parallell rapport till Länsstyrelsen Västra Götalands län (Karlsson m. fl., 2007).

Tabell 15. Inplacering av de sex mätlokaler som testats i innevarande studie samt tre platser som undersökts i tidigare studier, i de tre olika kategorier av mätlokaler för marknära ozon i landsbygdsmiljö södra Sverige som föreslagits av Karlsson m fl. (2004).

Benämning	Beskrivning	Ozonförekomst	Ingående mätlokaler
Kustnära	Mätlokaler som är belägna mycket nära kusten.	Frekventa överskridanden av målvärden	Råö, Rönnäng
Höglänta	Mätlokaler som är belägna utpräglat högt över angränsande landskap.	Frekventa överskridanden av målvärden	Sandhult, Brobacka, Grytebergen
Låglänta	Mätlokaler som ej är belägna utpräglat högt över omgivande landskap.	Målvärden överskrids sällan	Östads Säteri, Alafors, Lanna, Hedared, Antens Kapell, Klevsjön

11. Tack

Vi vill tacka Lin Tang vid Geovetarcentrum, Göteborgs universitet för meteorologisk och topografisk information. Sedan vill vi tacka Manne och Mona Nestorsson i Rönnäng, Magnus Ugander och Ninni Drugge, Alafors för att vi fick placera vår mätutrustning på deras fastigheter samt också för den hjälp som vi fick. Vidare tackar vi Johan Roland och Rolf Tunared vid Lanna för all hjälp vid systemets placering vid Lanna. Vi tackar medlemmarna i Sandareds församling, särskilt Ulf Riley, för all hjälp när mätsystemet var placerat vid Hedared. Vi tackar medlemmarna i Sandhult hembygdförening, särskilt ordförande Gunnar Toresson, för all hjälp när mätsystemet var placerat vid Sandhult samt Stefan Nilsson vid 3G för hjälp när mätsystemet var placerat vid Brobacka. Vi tackar även Patrik Alströmer vid Östads Säteri för praktisk hjälp och för entusiastiskt stöd för vår verksamhet. Slutligen vill vi tacka Länsstyrelsen i Västra Götalands län som möjliggjort denna studie genom ekonomiskt stöd.

12. Referenser

Entwistle, J., Weston, K., Singles, R. & Burgess, R. 1997. The magnitude and extent of elevated ozone concentrations around the coasts of the british isles. Atmospheric Environment 31, 1925-1932.

- Fowler, D., Smith, R.I., Coyle, M., Weston, K.J., Davies, T.D., Ashmore, M.R. & Brown, M. 1995. Quantifying the fine scale exposure and effects of ozone. *Water Air and Soil Pollution*, 85, 1479-1484.
- 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., Håkan Pleijel, Mohammed Belhaj, Helena Danielsson, Bo Dahlin, Mikael Andersson, Max Hansson, John Munthe, Peringe Grennfelt. 2005. Economic assessment of the negative impacts of ozone on the crop yield and forest production. A case study of the Estate Östads Säteri in southwestern Sweden. *Ambio*, 34, 32-40.
- Karlsson, P.E. 2006. Marknära ozon och meteorologi vid Östads Säteri 2005. IVL Rapport U 1838.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H., Pihl Karlsson, G., Sundberg, J. 2007. En bedömning av ozonbelastningen i landsbygds miljön i Västra Götalands län. IVL Rapport U 2064.
- 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
- Naturvårdsverket, 2005. Kvävedioxid och ozon i tätortsluften. Naturvårdsverket Rapport 5519.
- Pleijel, H., Wallin, G., Karlsson, P.E., Skärby, L. & Selldén, G. 1995. Gradients of ozone at a forest site and over a field crop - consequences for the AOT40 concept of critical level. - *Water, Air & Soil Pollution* 85, 2033-2038.
- Sundberg, J., Karlsson, P.E., Schenk, L., Pleijel, H. 2006. Variation in ozone concentration in relation to local climate in south-west Sweden. *Water, Air & Soil Pollution* 173, 339 – 354.