

*Luftföroreningar på
Svenska Högar
och Landsort*



STOCKHOLMSREGIONENS
INVERKAN PÅ OMGIVNINGEN

Slb•analys

Stockholms Luft- och Bulleranalys

LUFTFÖRORENINGAR PÅ SVENSKA HÖGARNA OCH LANDSORT

Stockholmsregionens inverkan
på omgivningen

Rapporten är sammanställd av
Christer Johansson
Stockholms luft- och bulleranalys
Miljöförvaltningen
Box 38 024
100 64 Stockholm

Stockholm mars 1993
Omslag: Ann-Christin Reybekiel

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	1
INTRODUKTION	2
MÄTNINGARNAS OMFATTNING	2
DE ÅRLIGA VARIATIONERNA I HALTERNA	
Svaveldioxid	4
Kvävedioxid	6
Ozon	10
TRENDER	
Svaveldioxid	11
Kväveoxider	11
Ozon	12
STOCKHOLMS PÅVERKAN PÅ HALTERNA PÅ SVENSKA HÖGARNA OCH LANDSORT	
Kväveoxider	13
Svaveldioxid	14
Ozon	15
EPISODER MED FÖRHÖJDA LUFTFÖRORENINGSHALTER	
Svavel- och kvävedioxid	17
Ozonepisoder	20
LITTERATURHÄNVISNINGAR	22

SAMMANFATTNING

I denna rapport presenteras luftföroreningshalterna i Stockholms omgivning. Dels presenteras mätningar i yttre skärgården vid Svenska högarna 80 km öster om Stockholm, dels presenteras mätningar vid Landsort på ön Öja ca 65 km söder om Stockholm. Mätningarna omfattar kväveoxider, svaveldioxid och ozon sedan 1986.

Resultaten visar att utsläppen av kväveoxider i Stockholm ger ett betydande bidrag till halterna av kväveoxider i omgivningen. På mätstationerna på Svenska högarna och Landsort uppvisar halterna en betydande skillnad mellan vardagar och lördagar/söndagar, vilket avspeglar trafikintensitetens variationer i Stockholmsregionen. Systematiskt högre halter noteras vid västliga (för Svenska högarna) respektive nordliga (för Landsort) vindar, dvs. i lä av Stockholm. Skillnader mellan halterna vid västliga och östliga vindriktningar är betydligt mer utpräglad under vardagarna jämfört med helgerna. Detta bekräftar betydelsen av Stockholmsregionens utsläpp för kväveoxidhalterna. Grovt sett är vinterhalvsmedelvärdena 5 gånger lägre än halterna i taknivå i centrala Stockholm.

För svaveldioxid däremot tycks källor lokaliserade i Central- eller Östeuropa ha ett större inflytande på halterna jämfört med källor i Stockholmsregionen. Under vinterhalvåret 86/87 är halterna högre under perioder med östliga vindar jämfört med perioder med västliga. Svaveldioxidhalterna har sjunkit drastiskt under 80-talet. Vinterhalvsmedelvärdet var ca 80% lägre 1990/91 jämfört med 1986/87.

Endast under vissa speciella förhållanden kan någon betydande förhöjning av ozonhalterna på Landsort och Svenska högarna registreras. En analys av timmedelvärden under 1986 till 1991 visar att sett över ett helt sommarhalvår kan inte någon förhöjning av ozonhalterna på gatautsläppen i Stockholmsregionen påvisas, varken på Svenska högarna eller Landsort.

Generellt sett är dock ozonhalterna i Stockholms omgivning 20% till 50% högre jämfört med halterna i innerstaden. Betydande mängder ozon kan bildas i lä av större tätorter på grund av utsläppen av kväveoxider och kolväten. Hur mycket ozon som bildas är dock mycket svårt att uppskatta på grund av den komplexa kedja av kemiska reaktioner som är involverade och som kräver detaljerad kännedom om utsläppen av enskilda kolväten och kväveoxider.

Sommarhalvårens ozonhalter på Svenska högarna och Landsort ligger ofta över de riktvärden som anges av Naturvårdsverket. Ozonhalterna uppvisar dock ingen systematisk trend under perioden 1986 till 1991. Möjligen kan man skönja en svagt avtagande trend, men den är inte statistiskt säkerställd.

Övervakningen av luftföroreningar på Svenska högarna och Landsort har givit värdefull information för att kunna identifiera betydelsen av långdistanstransporterade luftföroreningar i samband med förhöjda halter i tätorter i östra Sverige. Beräkningar i efterhand av luftmassornas ursprung har klart visat att mätningarna av svaveldioxid ofta är en utmärkt indikator på intransport av luftföroreningar. Ett flertal episoder med förhöjda svaveldioxidhalter har identifierats under perioden. Under dessa episoder når halterna på Svenska högarna och Landsort lika höga nivåer som i centrala Stockholm. De maximala timmedelvärdena ligger ofta 10 till 30 gånger högre än genomsnittet för månaden/halvåret.

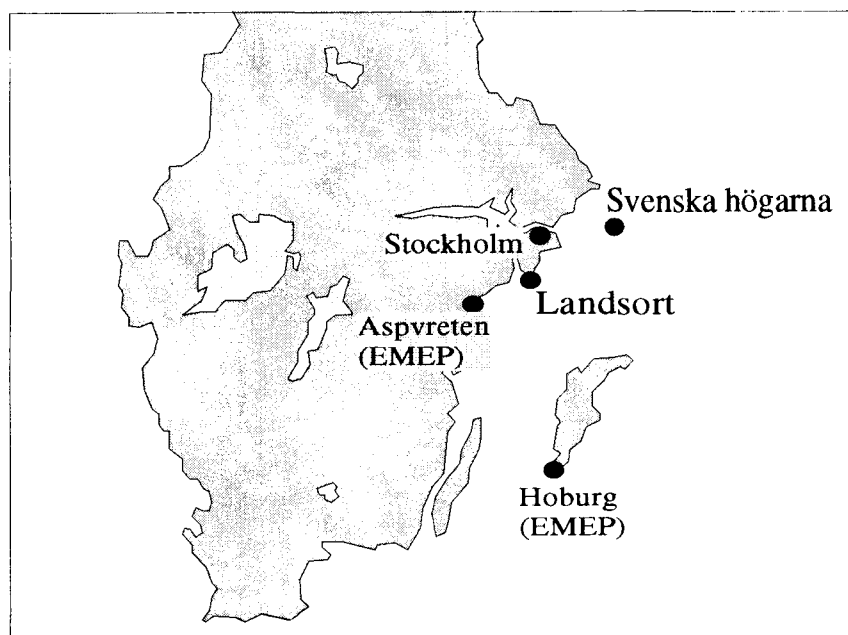
INTRODUKTION

Mätningarna på Svenska Högarna och Öja (Landsort) påbörjades under 1986 respektive 1987 och har efter ett uppehåll från slutet på 1989 åter startats under 1991.

Det huvudsakliga syftet är att kartlägga bakgrundshalterna av luftföroreningar för att sätta dessa i relation till halterna i Stockholm och andra tätorter och därmed belysa betydelsen av in- och uttransport av luftföroreningar i Stockholmsregionen. Mätstationerna är lokaliserade öster respektive söder om Stockholm för att möjliggöra en analys av Stockholmsregionens inflytande på luftföroreningshalterna på omgivningen genom att identifiera tillfällena då endast en av stationerna befinner sig under inflytande av plymen från Stockholm. Landstingets miljövårdsfond har finansierat igångsättandet och driften av en stor del av mätningarna. Mätstationerna är fasta och Stockholms kommun står för databearbetningen samt det tekniska underhållet av instrumenteringen.

MÄTNINGARNAS OMFATTNING

Ögruppen Svenska Högarna ligger längst ut i havsbandet i Stockholms skärgård ca 80 km öster om Stockholm (se figur 1). Landsort ligger på ön Öja ca 65 km söder om Stockholm vid Södertörns sydspets.

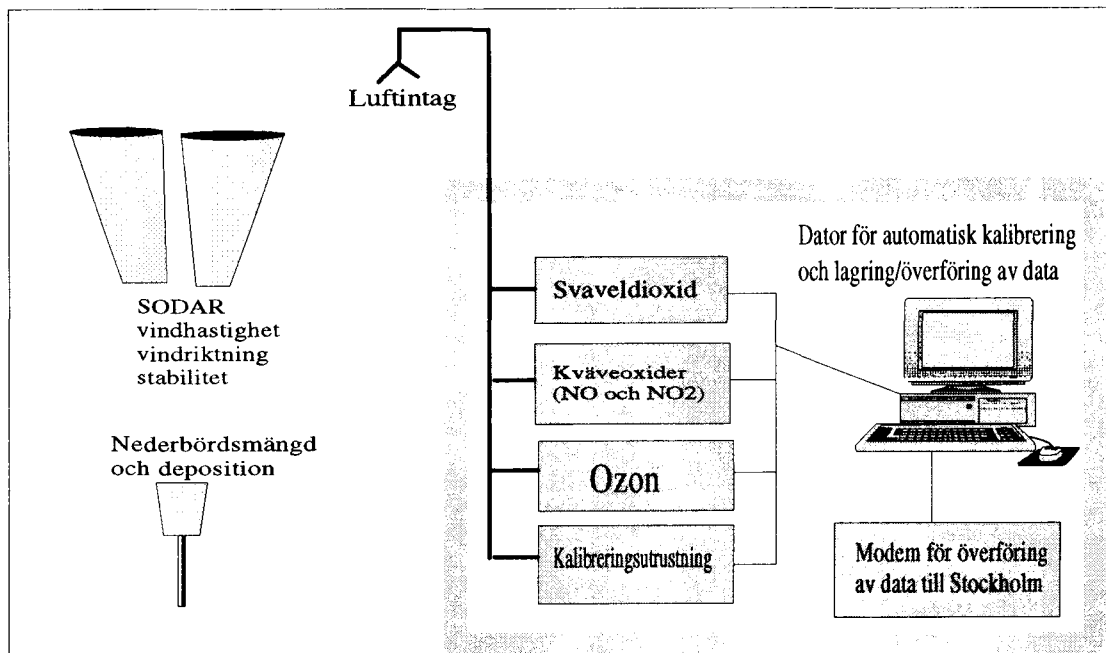


Figur 1. Mätstationernas lokalisering. I rapporten redovisas även kvävedioxid och svaveldioxidhalter vid två mätstationer som drivs inom ramen för EMEP-programmet (Aspvreten och Hoburg).

Mätutrustningen är densamma på mätstationerna och omfattar instrument för kontinuerlig registrering av svaveldioxid, kvävedioxid, kväveoxid samt ozon (figur 2). Kalibrering

och överföring av data (timmedelvärden) till en central dator på Miljöförvaltningen görs automatiskt en gång per dygn. Luftintagen sitter ca 3-4 m över marken. Dessutom mäts lufttemperatur och en s.k. SODAR¹ anläggning ger detaljerad information om atmosfärens gränsskikt, dess utbredning samt vindhastigheten och vindriktningen på olika nivåer över marken.

Utöver mätningarna på Svenska högarna och Landsort redovisas i denna rapport även data från några andra av Miljöförvaltningens fasta mätningar i Stockholmsregionen. För centrala delarna av Stockholm används mätningarna i taknivå på Torkel Knutssonsgatan och i gatunivå på Sveavägen. Dessutom redovisas jämförelser med svaveldioxidhalterna mätningarna i ett friluftsområde ca 20 km NV om centrum samt med ozonhalterna på Ekerö ca 20 km väster om Stockholm.



Figur 2. Omfattningen av mätningarna på Svenska högarna och Landsort.

För jämförelse presenteras dessutom mätningar på några bakgrundsstationer som drivs inom ramen för EMEP²-programmet [1]. Data från två EMEP stationer, Aspvreten och Hoburg, har erhållits från NILU (Norsk Institutt for Luftforskning, Lillestrom, Norge) och består av dygnsmedelvärden av NO₂ och SO₂.

I samarbete med Meteorologiska institutionen vid Stockholms universitet installerades under 1989 utrustning för nederbördsinsamling vid Svenska Högarna och Landsort. Avsikten är att kvantifiera våtdepositionen av luftföroreningar utanför regionen. Mätningarna görs på månadsbasis. Resultaten av dessa mätningar redovisas separat

¹ SODAR - Sound Detection And Ranging

² European Monitoring and Evaluation Programme. Program för övervakning av halter och deposition av gränsoverskridande luftföroreningar.

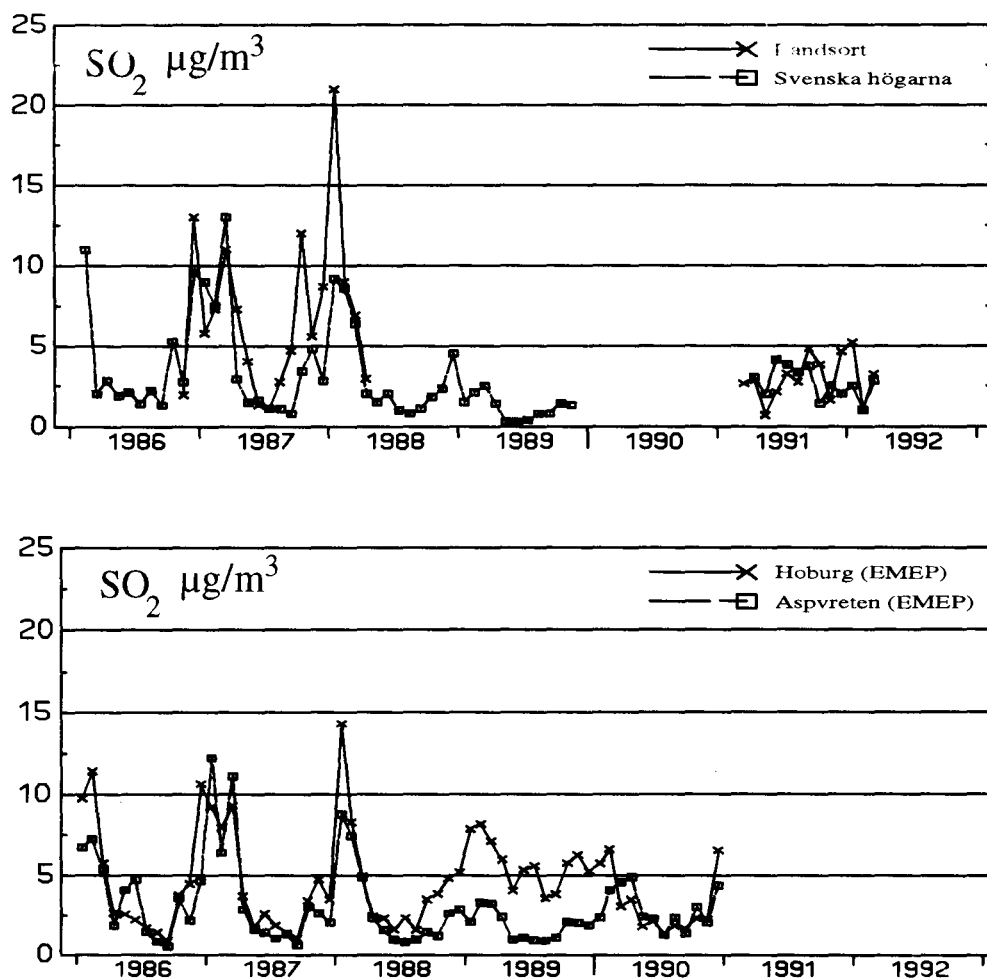
tillsammans med övriga mätningar av våtdeposition i regionen.

Utöver de fasta, kontinuerliga mätningarna genomfördes en omfattande studie i samarbete med Institutionen för Kärnfysik vid Lunds Tekniska Högskola av aerosolens sammansättning för att studera det relativa bidraget av den långdistanstransporterade aerosolen och den lokalt producerade till halterna i regionen. Mätningarna genomfördes mellan februari 1986 till februari 1987 och finansierades av Stockholms Miljöförvaltning. I samband med studien genomfördes även aerosolprovtagning på Utlängan i Blekinges östra skärgård. Samtliga mätningar presenteras i detalj i en separat rapport [2].

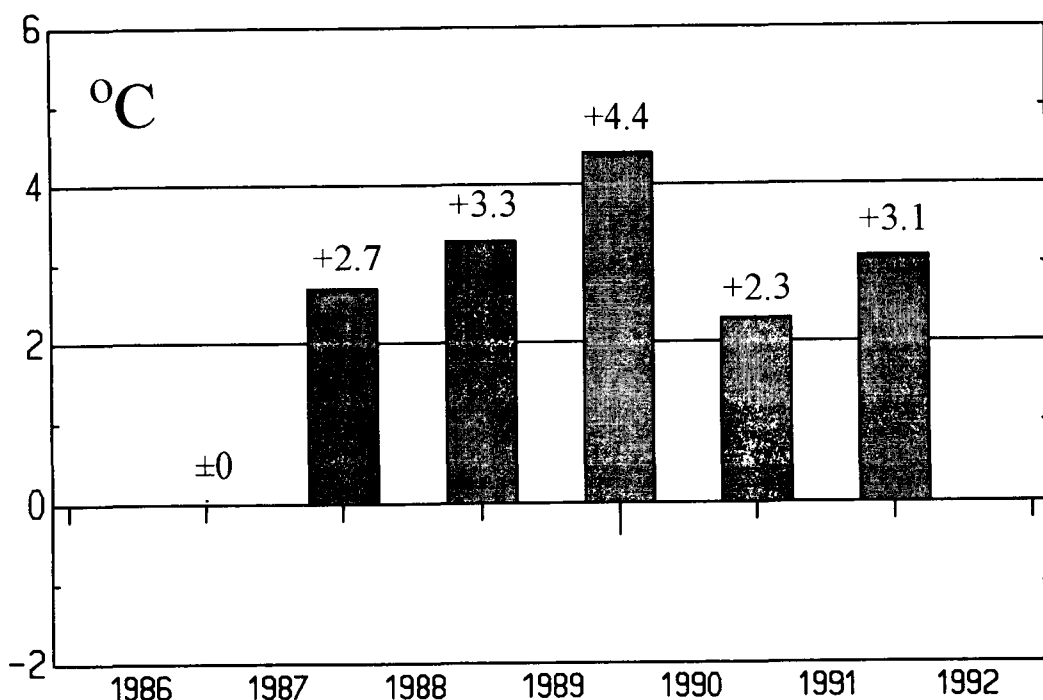
DE ÅRLIGA VARIATIONERNA I HALTERNA

Svaveldioxid

I figur 3 presenteras månadsmedelvärden av svaveldioxidhalterna vid Svenska högarna och Landsort för hela perioden. Speciellt under de första åren kan en tydlig årstidsvariation i



Figur 3. De årliga variationerna i halterna av svaveldioxid på Svenska högarna och Landsort. Som jämförelse visas även halterna vid EMEP-stationerna Aspvreten och Hoburg.



Figur 4. Vinterhalvårens medeltemperaturer.

halterna kan noteras. Under vinterhalvåren 86/87 och 87/88 var månadsmedelvärdena ca 5 gånger högre än motsvarande värden under sommarhalvåren. Även i Stockholms innerstad och i andra svenska tätorter uppvisar halterna utpräglade årstidsvariationer [3]. I relativa tal så är skillnaderna mellan vinterhalvår och sommarhalvår ungefär lika stora i tätorterna och i bakgrundsluften.

Halterna samvarierar mycket väl med de halter som mäts upp vid EMEP-stationerna Aspveten (N om Nyköping) och Hoburg (södra delen av Gotland). Sett över en längre tidsperiod (månad eller år) är skillnaderna i halter mellan mätstationer i Mellansverige inte större än 20% till 30%. Under enstaka timmar eller dygn kan skillnaderna vara betydligt större.

Vädrets inverkan på luftföroreningshalterna gör sig gällande både i ett kort tidsperspektiv t ex. genom förekomsten av s. k. luftföroreningsepisoder och i ett längre tidsperspektiv t ex genom omväxlande kalla och varma vintrar. Svaveldioxidhalterna samvarierar väl med lufttemperaturens växlingar, vilket till stor del hänger samman med ökad förbränning av olja och kol och därmed ökade utsläpp under kallare perioder.

Figur 4 visar medeltemperaturerna i Stockholm (Torkel knutssongatan) under vinterhalvåren 1986/87 till och med 1991/92. Överlag har perioden präglats av relativt varma vintrar. Flera värmerekord har noterats och medeltemperaturerna har ofta varit över det normala. Endast under 86/87 noterades periodvis kyligt väder med temperaturer ner till minus 20 grader. Vindriktningarna är övervägande västliga till sydvästliga. Under vintrarna 1987/88 var dock sydliga till sydostliga vindar dominerande.

Sett över ett helt vinterhalvår noteras de högsta halterna under 86/87 som också var den kallaste vintern under perioden med 3 till 4 grader lägre temperatur jämfört med de övriga vinterhalvåren. Kallare vintrar är dessutom associerade med mindre effektiv utspädning av luftföroreningarna p g a försämrade vertikala omblandningar av luften genom ökad förekomst av inversioner.

Kraftigt förhöjda halter under ett par dagar i början av februari 1987 bidrar signifikant till att höja månadens och t o m vinterhalvårets medelvärde. Även på andra bakgrundsstationer i Sverige noteras kraftigt förhöjda halter under denna period. Denna och andra episoder diskuteras i detalj längre fram i denna rapport.

Som framgår av tabell 1 är svaveldioxidhalterna på Svenska Högarna och Landsort betydligt lägre än halterna i centrala Stockholm. Grovt sett är vinterhalvårsmedelvärdet av SO₂ halterna ungefär en femtedel av halterna i staden. Förhållandet är relativt konstant under perioden men räknat i absoluta termer (antalet µg/m³) har skillnaden minskat kraftigt. Det bör noteras att halter under ca 2 µg/m³ är lägre än vad instrumentet förmår detektera och måste därför betraktas som osäkra. Detta inträffar framförallt under sommarhalvåret. Men även under de senaste vinterhalvåren noteras mycket låga halter (se tabell 1).

Om man jämför 98%-ilerna av halterna på Svenska högarna och på Torkel Knutssongatan är de relativa skillnaderna något mindre än för medelvärdena; 98%-ilerna på Svenska högarna ligger på ca. en tredjedel av halterna i centrala Stockholm. Detta hänger samman med att de högsta SO₂ halterna på Svenska Högarna ofta beror på intransport under episoder då även halterna i många tätorter i Sverige blir förhöjda [se även 3].

Av tabell 1 framgår även att svaveldioxidhalterna avtar snabbt med avståndet från Stockholms centrala delar. Halterna vid friluftsområdet Kanaan, som ligger ca 2 mil NV om centrum är i genomsnitt endast ca 30% högre än halterna på Svenska högarna. Variationerna mellan olika vinterhalvår är betydligt större än variationerna mellan mästationerna i bakgrundsluften utanför tätorterna.

Kvävedioxid

Kvävedioxidhalterna uppvisar precis som för svaveldioxid en kraftig variation under året (figur 5). De högsta halterna noteras under vinterhalvåret och de lägsta under sommarhalvåret.

Tyvärr är tidstäckningen inte lika god för kväveoxidmätningarna. Databortfallet beror framförallt på tekniska problem med mätinstrumenten. Halterna under sommaren ligger ofta nära eller till och med under de halter som kväveoxidinstrumenten kan detektera.

Tabell 1. Sammanställning av SO₂ halter under vinterhalvår vid Svenska Högarna, Landsort. För jämförelse ges data för Torkel Knutssongatan i centrala Stockholm samt Kanaan ett friluftsområde knappt 2 mil NV om centrum och Aspvreten utanför Nyköping. "-" betyder att data saknas.

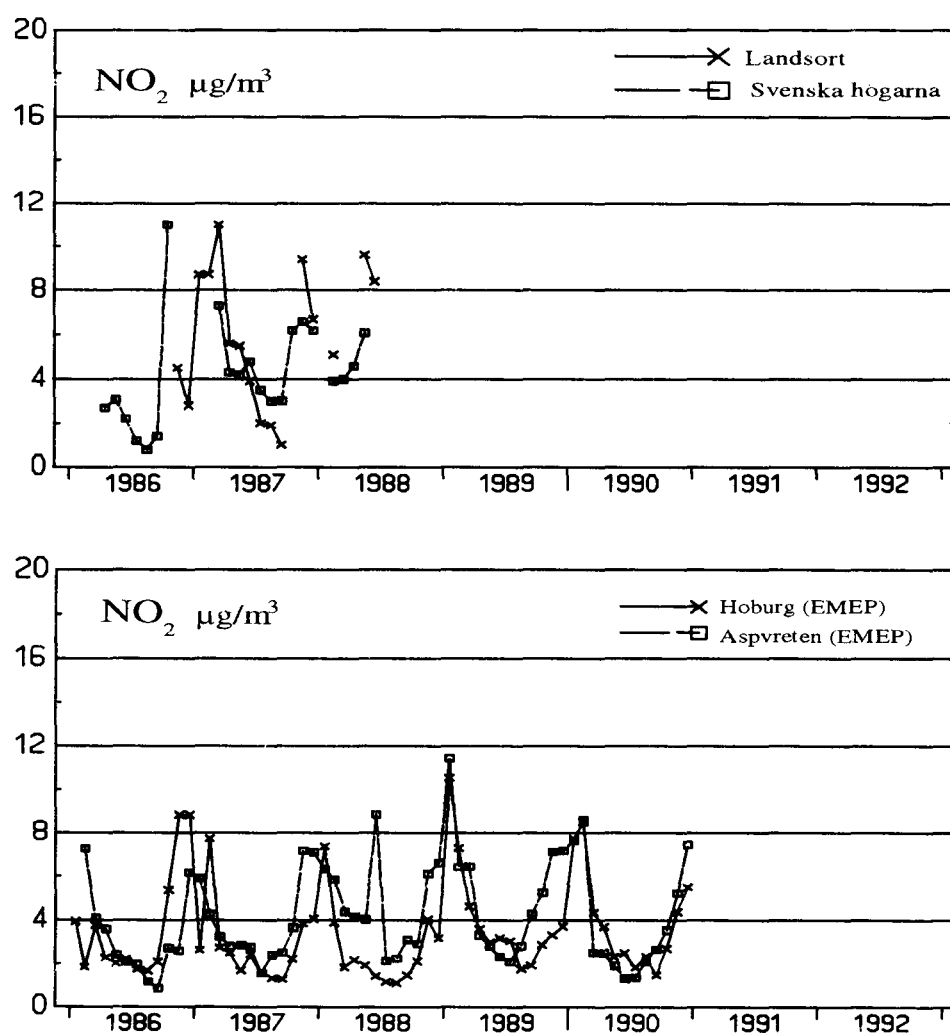
	Svenska högarna	Landsort	Kanaan	Aspvreten (EMEP) ¹	Torkel knutssongatan
1986/87					
Medelvärde	8.1	7.5	11	6.7	40
Standard-avvikelse	9.4	9.9	13	-	10
Max-värde (timme)	100	113	123	-	261
98%-il (timme)	36	36		-	123
Täckningsgrad	75	66	83	-	95
1987/88					
Medelvärde	5.9	11	6.1	4.8	24
Standard-avvikelse	6.4	10	6.8	-	16
Max-värde (timme)	51	95	46	-	114
98%-il (timme)	26	42		-	66
Täckningsgrad	98	72	89	-	99
1988/89					
Medelvärde	2.5	-	3.4	2.5	19
Standard-avvikelse	4.7	-	4.4	-	14
Max-värde (timme)	47	-	44	-	161
98%-il (timme)	21	-	16	-	56
Täckningsgrad	95	-	48	-	90
1989/90					
Medelvärde	1.4	-	3.7	2.8	12
Standard-avvikelse	3.2	-	6.0	-	9.8
Max-värde (timme)	32	-	65	-	122
98%-il (timme)	12	-	23	-	40
Täckningsgrad	32	-	91	-	95
1990/91					
Medelvärde	-	(2.7)	-	(3.1) ²	8.6
Standard-avvikelse	-	(1.3)	-	-	6.8
Max-värde (timme)	-	(5.5)	-	-	59
98%-il (timme)	-	(5.1)	-	-	30
Täckningsgrad	-	4	-	-	96
1991/92					
Medelvärde	1.9	2.7	3.3		7.7
Standard-avvikelse	3.5	3.8	5.6		6.2
Max-värde (timme)	68	47	51		50
98%-il (timme)	9.4	16	22		25
Täckningsgrad	71	89	50		93

¹ Baseras på dygnsmedelvärden

² Baseras endast på data för 1990 (okt-dec).

Detta faktum i kombination med svårigheterna att hålla temperaturen konstant i instrumentutrymmena under de varmaste somrardagarna har lett till ett relativt stort mätdatabortfall under sommarhalvåret. Men tendensen med lägre värden under sommarhalvår jämfört med vinterhalvår är ändå tydliga och sammanfaller med det mönster som man noterar på näraliggande bakgrundsstationer inom EMEP-programmet [1]. Variationerna i månadsmedelvärden mellan olika mätstationer i bakgrundsluften är mindre än 50%.

Vinterhalvårsmedelvärdena av kvävedioxid är ca 5 gånger lägre på Svenska högarna och Landsort jämfört med innerstaden (Torkel knutssongatan, taknivå, se tabell 2). På motsvarande sätt ligger 98%-ilerna en faktor 2.5 lägre på bakgrundsstationerna jämfört med halterna i taknivå i Stockholms innerstad. Kvävedioxidhalterna i gatunivå är drygt 30% högre jämfört med taknivåhalterna [12].



Figur 5. *Månadsmedelvärden av kvävedioxidhalterna vid Svenska högarna och Landsort.*

Tabell 2. Sammanställning av NO₂ halterna under vinterhalvåret vid Svenska högarna och Landsort. För jämförelse ges data för Torkel knutssongatan (taknivåhalter) i centrala Stockholm samt vinterlvårsmedelvärdena vid EMEP-stationerna Aspvreten och Hoburg. "-" betyder att data saknas.

	Svenska högarna	Landsort	Aspvreten (EMEP) ¹	Hoburg (EMEP) ¹	Torkel knutssongatan
1986/87					
Medelvärde	8.1	7.3	4.1	6.0	34
Standard-avvikelse	7.9	10	-	-	19
Max-värde (timme)	86	214	-	-	207
98%-il (timme)	30	35	-	-	85
Täckningsgrad (%)	25	64	-	-	92
1987/88					
Medelvärde	5.5	4.7	5.7	3.9	28
Standard-avvikelse	4.9	6.6	-	-	16
Max-värde (timme)	63	49	-	-	99
98%-il (timme)	21	28	-	-	65
Täckningsgrad (%)	70	58	-	-	83
1988/89					
Medelvärde	-	-	6.7	5.3	35
Standard-avvikelse	-	-	-	-	19
Max-värde (timme)	-	-	-	-	111
98%-il (timme)	-	-	-	-	77
Täckningsgrad (%)	-	-	-	-	87
1989/90					
Medelvärde	-	-	6.4	5.1	36
Standard-avvikelse	-	-	-	-	17
Max-värde (timme)	-	-	-	-	135
98%-il (timme)	-	-	-	-	74
Täckningsgrad (%)	-	-	-	-	95
1990/91					
Medelvärde	-	-	(5.4) ²	(4.1) ²	29
Standard-avvikelse	-	-	-	-	14
Max-värde (timme)	-	-	-	-	133
98%-il (timme)	-	-	-	-	62
Täckningsgrad (%)	-	-	-	-	98
1991/92					
Medelvärde	(5.6)	-	-	-	30
Standard-avvikelse	(4.4)	-	-	-	15
Max-värde (timme)	(36)	-	-	-	95
98%-il (timme)	(19)	-	-	-	66
Täckningsgrad (%)	(15)	-	-	-	95

¹ Baserade på dygnsmedelvärden av kvävedioxid.

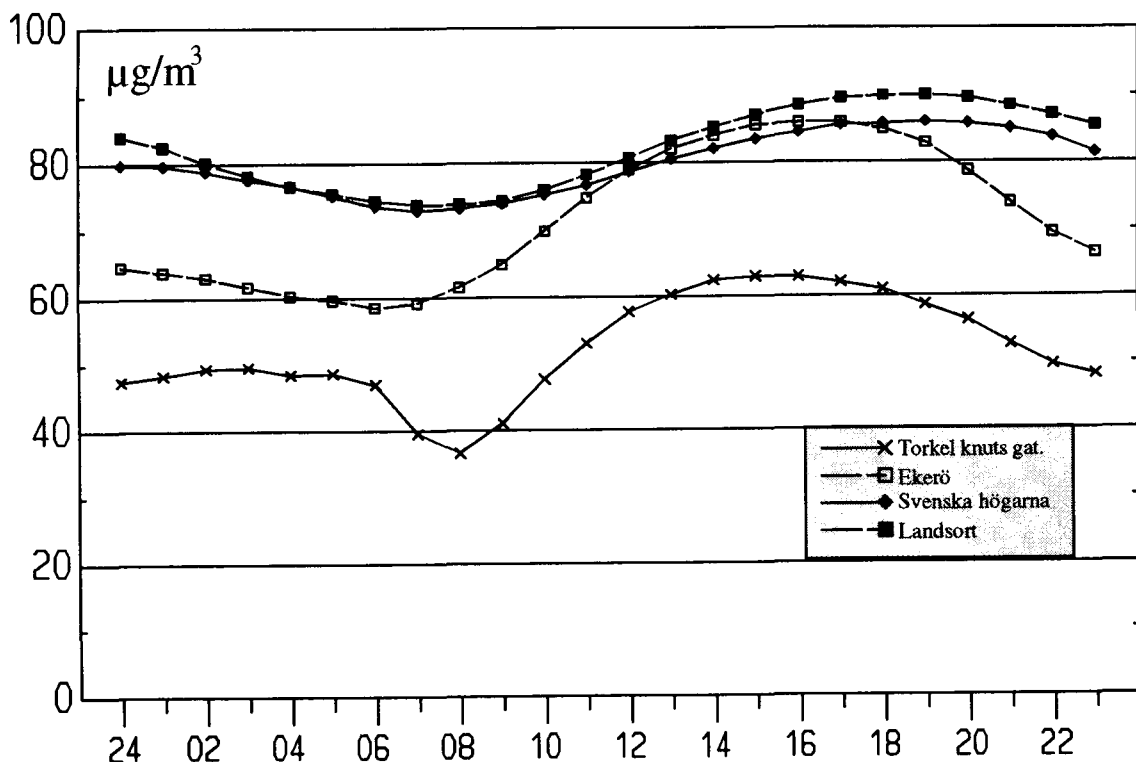
² Baseras endast på data för oktober till december 1990

Ozon

De högsta ozonhalterna noteras normalt på mätstationerna utanför staden (Ekerö, Svenska högarna och Landsort). Halterna på Torkel knutssongatan i taknivå ligger 20% till 50% lägre jämfört med halterna utanför Stockholm. Anledningen till de relativt låga halterna i innerstaden är de höga halterna av kvävemonoxid från trafikens utsläpp; ozonet förstörs effektivt vid reaktionen med kvävemonoxid.

De högsta halterna av ozon noteras under dagtid (figur 6). Detta hänger till största delen samman med att luften blandas om effektivare under dagen vilket gör att destruktionen av ozon genom upptag på marken kompenseras av turbulent inblandning av ozon från högre liggande luftlager. Natttid är ofta omblandningen begränsad och luften närmast marken (något eller några tiotal meter över marken) tunnast ur på ozon p g a markupptag.

Av figur 6 framgår att dygnsvariationerna är mer utpräglade vid mätstationerna på Ekerö och i centrala Stockholm jämfört med Svenska högarna och Landsort. Detta sammanhänger med ett mindre effektivt upptag av ozon över vattenytor jämfört med upptaget på vegetation eller andra marktytor. I Stockholm bidrar dessutom utsläppen av kväveoxider till att sänka ozonhalten under kvällen, natten och morgonen då omblandningen är begränsad.



Figur 6. Den genomsnittliga dygnsvariationen av ozonhalterna på Svenska högarna, Landsort, Ekerö och i centrala Stockholm under sommarhalvåret 1986 t om 1992.

Sommarhalvårsmedelvärdena (april t o m september; kl. 9-16) på Landsort och Svenska högarna är praktiskt taget identiska och varierar mellan 70 och 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (se figur 7). Halterna i centrala Stockholm är knappt 40% lägre under sommarhalvåret. Naturvårdsverkets rekommenderade riktvärde för sommarhalvåret (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) överskrids under samtliga sommarhalvår 1986 och 1992 både på Svenska högarna, Landsort och Ekerö samt även i centrala Stockholm under sommarhalvåret 1987 till 1991.

Dessutom överskrids det rekommenderade högsta timmedelvärdet på 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Detta värde bör inte överskridas under mer än 12 timmar per år. De flesta överskridandena (hela 244 timmar totalt) noterades på Svenska högarna under sommarhalvåret 1987. Även i Stockholm noteras ett stort antal timmar med halter över 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 1987 noterades överskridanden under totalt 29 timmar.

De högsta timmedelvärdena noteras under sommaren (juni/juli) beroende på att man då har de bästa förutsättningarna för ozonbildning. Takvärdet på 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (bör ej överskridas vid något tillfälle) överskrids vid ett flertal tillfällen på Svenska högarna, Landsort och Ekerö under perioden 1986 till 1992. Under våren och försommaren noteras högsta månadsmedelvärdena av ozon. Månadsmedelvärdet (kl 9 till 16) på upp till 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ noteras på Ekerö. Under våren sker en betydande nedtransport av ozon från stratosfären som bidrar till att höja de genomsnittliga halterna av ozon vid marken. De lägsta halterna förekommer under oktober till februari.

TRENDER

Svaveldioxid

Av tabell 1 framgår att halterna av svaveldioxid har sjunkit kraftigt både i innerstaden och i yttre skärgården under perioden 1986 till 1990. På Svenska Högarna har halterna reducerats med ca 30% till 40% per år. Medelvärdet av svaveldioxidhalterna under vinterhalvåret 1991/92 var ca 76% lägre jämfört med 1986/87. För halterna på Torkel Knutssonsgatan i Stockholm var motsvarande minskning ca 80%.

Svaveldioxidutsläppen har sjunkit kraftigt i Sverige. 1980 var de totala utsläppen 517 tusen ton och 1990 var de 167 tusen ton [5]. Mellan 1984 och 1990 var minskningen ca 47% [6]. De största källorna utgörs idag av oljeförbränning, processutsläpp (industri) och sjöfart. Minskningen beror framförallt på minskad oljeförbrukning och lägre svavelhalt i oljan. Under 1986-1990 var minskningen av de svenska utsläppen från oljeeldning ca. 70%. Detta har lett till sjunkande halter av svaveldioxid i såväl bakgrundsluften i Sverige som i tätortsluften.

Kväveoxider

Informationen om halterna av kväveoxider på Svenska högarna och Landsort har för dålig tidstäckning för att man skall kunna säkerställa någon trend i halterna. Mätningar av kvävedioxidhalter vid Aspvreten utanför Nyköping och Hoburg på Gotland inom ramen för EMEP-programmet uppvisar dock ingen systematisk trend.

I vissa tätorter tycks halterna av kväveoxider ha sjunkit [3]. Av de åtta kommuner i östra Sverige som ingår i den sk luftvårdsgruppen noteras de kraftigaste minskningarna med i runda tal 50% mellan 1987 och 1991 i Lidingö, Norrköping och Norrtälje [3]. Liksom för svaveldioxid är det framför allt under vintermånaderna som man i vissa fall kan notera en nedgång i kvävedioxidhalterna.

Trots en ökning av trafikarbetet i Stockholm har kvävedioxidhalterna sjunkit något under de senaste fyra till fem åren. Detta beror på en ökad användning av katalysatorer i bensindrivna bilar, lägre bränsleförbrukning per fordonskilometer och delvis också de senaste årens varmare vintrar [3].

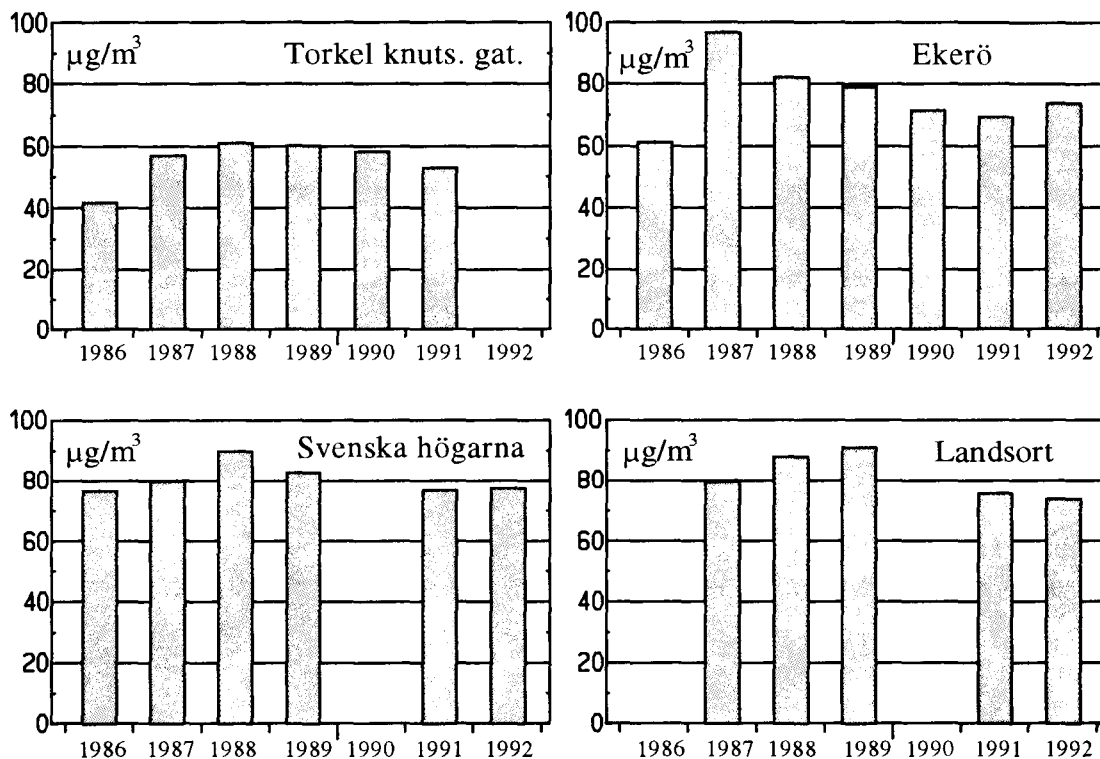
Det ökande användandet av katalysatorer i bensindrivna bilar under senare år med lägre utsläpp av kväveoxider per fordonskilometer som har lett till en sjunkande trend i utsläppen. Enligt SCB's och Naturvårdsverkets uppskattningar ökade de totala utsläppen av kväveoxider i Sverige under perioden 1984 till 1986/87 och har därefter sjunkit något. Den 31 december 1990 var ca 28% av personbilarna utrustade med katalytisk avgasrening. Den resterande andelen av bilarna utan katalysator står för ca 90% av kväveoxidutsläppen från bensindrivna bilar [5].

Ozon

Mätningar sedan slutet på 1800-talet i Paris och 1950-talet i Arkona visar att ozonhalterna har ökat kraftigt i Europa under 1900-talet. Under senare delen av 1800-talet var bakgrundshalterna i Europa omkring $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Idag ligger bakgrundshalten på ca $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [7]. Ökningen beror på de ökade utsläppen av kväveoxider och kolväten. Nuvarande ökningstakt globalt i troposfären är ca 10% per årtionde.

Mätstationer i Sverige av marknära ozon visar en något varierad bild av trenderna under de senaste 5 till 10 åren [7]. Halterna av ozon på Svenska högarna, Landsort, Ekerö och Torkel knutssonsgatan i centrala Stockholm uppvisar samtliga en svagt sjunkande trend sedan 1987/88 men tidsperioden är väl kort för att avgöra om detta är en avspeglning av en minskad nettobildning av ozon eller beror på fluktuationer i de meteorologiska förhållandena, som spelar stor roll för ozonhalterna.

I Naturvårdsverkets rapport MIST'92 [7] om atmosfärisk oxidantbildning presenteras en analys av trenderna i ozonhalterna vid Aspvreten utanför Nyköping och Rörvik söder om Göteborg. Säsongsmedelvärdena (april - september) av ozonhalterna vid Aspvreten ökar idag med ca 4%-5% per år. Vid Rörvik uppvisar däremot ozonhalterna närmast en sjunkande tendens.



Figur 7. Sommarhalvårsmedelvärden av ozon på Svenska högarna, Landsort, Ekerö och Torkel knutssonsgatan. (Beräkningarna inkluderar endast dagtid; 9 - 16).

STOCKHOLMS PÅVERKAN PÅ HALTERNA PÅ SVENSKA HÖGARNA OCH LANDSORT

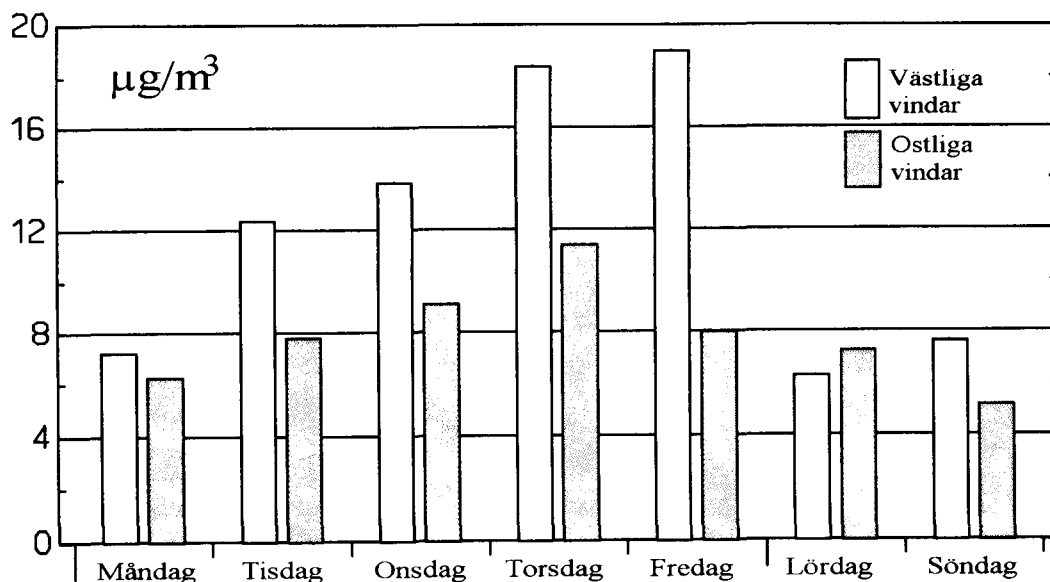
En stor del av de luftföroreningar som släpps ut i Stockholm kommer att exporteras till omkringliggande regioner. Med utgångspunkt från mätningarna av kväveoxider, svaveldioxid och ozon samt meteorologiska parametrar på Svenska högarna och Landsort har Stockholms bidrag till halterna analyserats.

Kväveoxider

På grund av trafikintensitetens stora variationer under en vecka uppvisar kväveoxidhalterna i centrala Stockholm ett tydligt mönster med förhöjda halter under måndag till fredag och jämförelsevis låga halter under lördagar och söndagar. Halterna i taknivå på Torkel Knutssonsgatan är sålunda ca. 40% till 50% högre under vardagarna jämfört med helgerna.

Även på Svenska Högarna kan man under vinterhalvåret 86/87 se motsvarande mönster. I figur 8 återges hur halterna av kväveoxider (summan av NO₂ och NO) varierar under veckan i genomsnitt under vinterhalvåret 86/87. Att detta beror på transport av

kväveoxider från Stockholm syns tydligt genom att separat studera kväveoxidhalternas variationer under veckor med västliga respektive ostliga vindar. Av figuren framgår att halterna är högre under perioder med västliga vindar jämfört med ostliga.

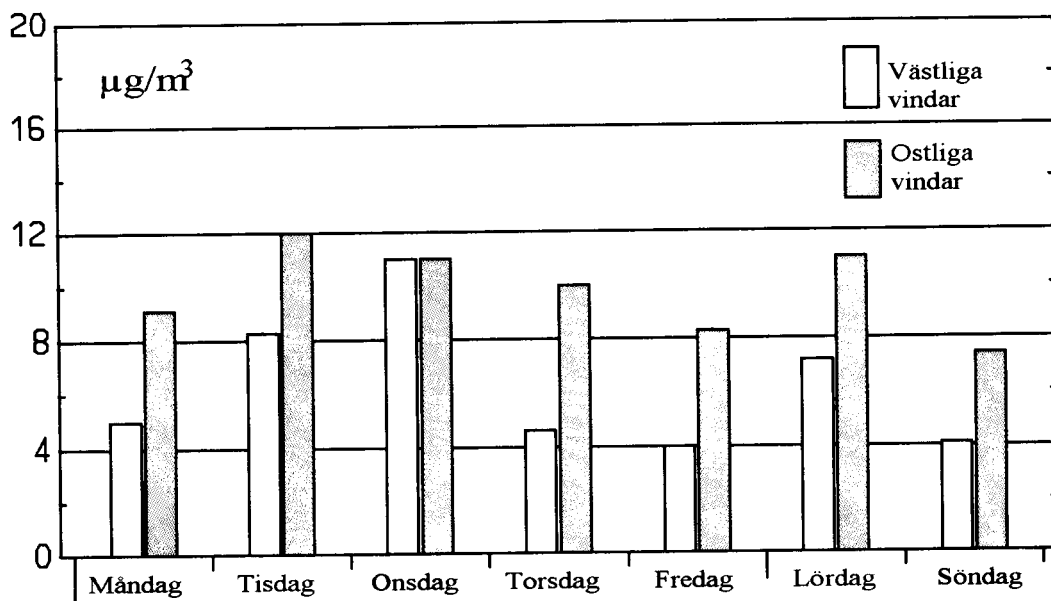


Figur 8. *Kväveoxidhalternas genomsnittliga variationer under en vecka på Svenska högarna (avser oktober till mars 1986/87). Dagarna har delats upp i perioder med övervägande västliga respektive ostliga vindriktningar.*

På motsvarande sätt kan man jämföra halterna på Svenska högarna och Landsort under veckor med nordliga vindar. Framförallt under vardagar är då halterna på Landsort betydligt högre än halterna på Svenska högarna.

Svaveldioxid

Svaveldioxidhalterna på Svenska högarna och Landsort är till skillnad från kväveoxidhalterna till största delen beroende på utsläpp utanför Sveriges gränser. Under 1986/87 var halterna betydligt högre i de ostliga vindsektorerna jämfört med de västliga sektorerna. Variationerna i halterna av svaveldioxid under veckan i centrala Stockholm är betydligt mindre än motsvarande variationer av kväveoxidhalterna (se figur 9). Skillnaden i SO₂ halterna under vardagar och helger var mindre än 20% under vinterhalvåret 1986/87. Detta hänger samman med mindre variation i utsläppen av svaveldioxid, som till största delen härrör från emissioner till följd av förbränning av olja och kol och endast i mindre utsträckning från trafiken. På motsvarande sätt kan man inte skönja några tydliga skillnader i halterna av SO₂ under vardagarna jämfört med lördagar och söndagar på Svenska Högarna.



Figur 9. Svaveldioxidhalternas genomsnittliga variationer under en vecka på Svenska högarna (avser oktober till mars 1986/87). Dagarna har delats upp i perioder med övervägande västliga respektive östliga vindriktningar.

Ozon

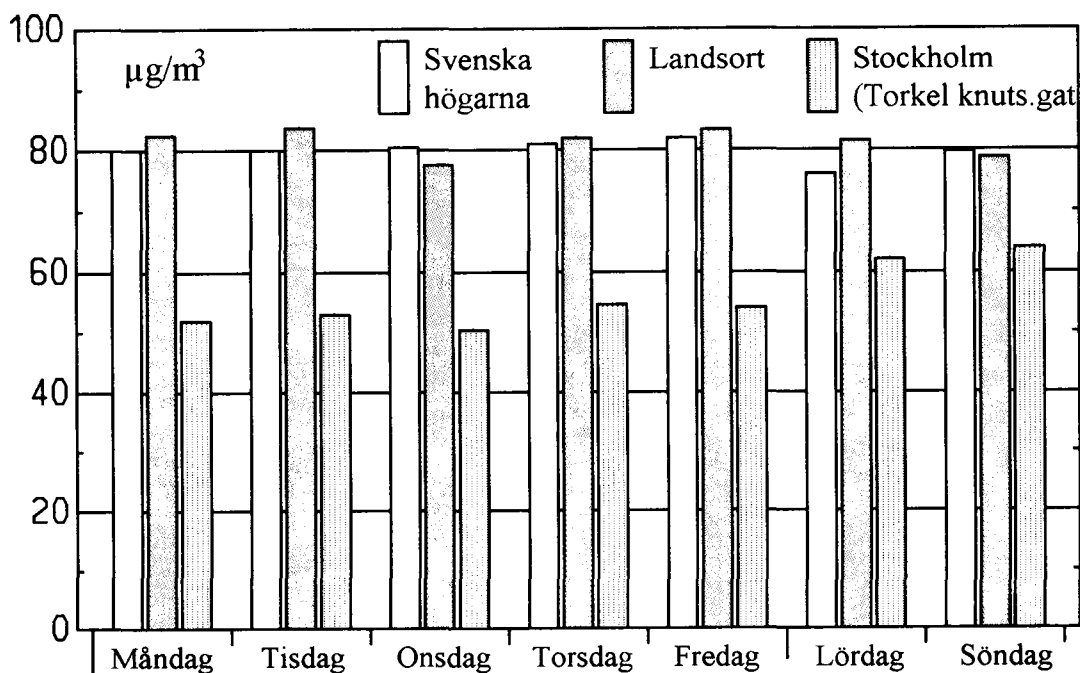
Av presentationen ovan framgår att de lägsta halterna av ozon uppmäts inne i Stockholm p g a att ozonet reagerar med kvävemonoxid som släpps ut från framförallt trafiken (se figur 6). Men efterhand som luftföroreningsplymen över Stockholm blandas med omgivande luft och transporteras ut från Stockholm förändras förutsättningarna så att ozon kan nybildas. Hur mycket ozon som trafiken i Stockholm (eller någon annan tätort) ger upphov till är mycket svårt att uppskatta beroende på den mycket stora komplexiteten i de fotokemiska omvandlingarna, som leder till ozonbildning. Det är inte bara storleken på utsläppen av de enskilda kolvätena och kväveoxiderna som spelar roll. Vilken typ av kolväten, deras reaktionsbenägenhet, graden av oxidationspotential i den *omgivande* luften samt även de meteorologiska förutsättningarna är av avgörande betydelse för ozonbildningen. Det relativa förhållandet mellan mängden kväveoxider och mängden kolväten spelar också en stor roll för hur mycket ozon som så småningom bildas.

Modellberäkningar för en luftmassa som transporteras över London antyder att ozonhalten kan öka från $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ före passagen till $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 100 km efter det att luftmassan passerat Londonområdet med kraftiga utsläpp av kväveoxider och kolväten [7]. En motsvarande beräkning för Göteborgstrafikens bidrag tyder på en potentiell ozonbildning av ca 10 till $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inom loppet av 6 timmar efter att plymen lämnar Göteborg [8].

I den tidigare presenterade rapporten [4] konstaterades att endast under vissa korta perioder kunde "Stockholmsbidraget" klart påvisas vid mätningarna på Svenska högarna och Landsort (1986-1988). Under gynnsamma betingelser, dvs. svaga vindar, varmt och klart väder kunde en förhöjning av ozonhalten med upp till $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ noteras efter en luftmassa passerat Stockholm. Det konstaterades dock att huvuddelen av regionens uppmätta ozonhalter byggs upp i luftmassorna redan innan de passerar Stockholm.

Med nuvarande något mer omfattande databas från mätningarna på Svenska högarna och Landsort kan man erhålla en uppfattning om det genomsnittliga bidraget av Stockholmstrafiken till ozonhalterna under sommarhalvåret 1986 till 1991. Med tanke på den stora skillnaden i utsläppen av kväveoxider och kolväten under vardagar jämfört med lördagar och söndagar bör Stockholmstrafikens potentiella bidrag till ozonproduktionen vara större under vardagar jämfört med helger. Halterna jämfördes under veckor med enbart västliga, ostliga respektive nordliga vindar.

Figur 10 visar emellertid att inte under något av sommarhalvåret kan man skönja någon tydlig systematisk skillnad i ozonhalterna om man jämför vardagar med helger. Inte heller kan man urskilja något mönster om man jämför halterna i veckor med västliga/ostliga respektive nordliga/sydliga vindar på Svenska högarna respektive Landsort.



Figur 10. Den genomsnittliga variationen i ozonhalterna undersommarhalvårets veckodagar på Svenska högarna och Landsort.

Den enda systematiska skillnad i halterna mellan olika veckodagar är ökningen i ozonhalt i Stockholms innerstad under lördagar och söndagar. Detta sammanhänger med en minskad destruktion av ozon under dessa dagar till följd av minskade utsläpp av kväveoxider.

Ozonhalternas variationer i och omkring Stockholm står alltså under inflytande av mer storskaliga processer. Utsläppen av kväveoxider från den europeiska kontinenten har en avgörande betydelse för ozonhalterna i Sverige. Sett över en längre tidsperiod kan därför inte Stockholmstrafikens bidrag till ozonhalterna i regionen urskiljas i analysen av ozonmätningarna på Svenska högarna, Landsort eller Ekerö.

EPISODER MED FÖRHÖJDA LUFTFÖRORENINGSHALTER

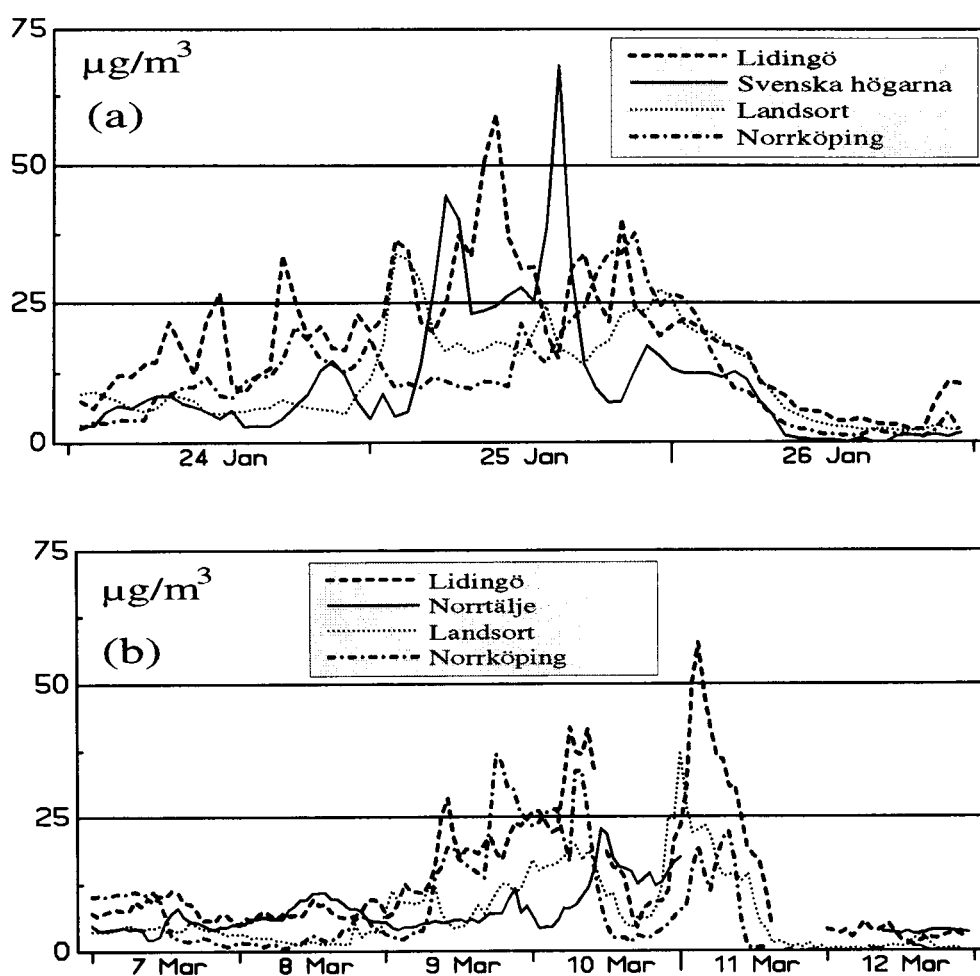
Ett av de viktigaste syftena med mätningarna på Svenska högarna och Landsort är att kartlägga intransporten av luftföroreningar från källor utanför landet. Vid ett flertal tillfällen har förhöjda halter av NO₂ och SO₂ noterats på Svenska högarna och Landsort. Ofta kan det dock vara svårt att fastställa om dessa förhöjningar beror på utsläpp lokalt i regionen eller om föroreningarna kommer från områden utanför Sveriges gränser. Men genom att samtidigt analysera halterna i ett flertal tätorter och vid bakgrundsstationerna kan en relativt säker bedömning av ursprunget till episoderna göras. Ett flertal exempel på luftföroreningsepisoder har redovisats i tidigare rapporter från Miljöförvaltningen [se t ex referens nr. 3 och 10].

Svavel- och kvävedioxid

En av de kraftigaste episoderna under perioden som mätningarna pågått inträffade i början av februari 1987. De högsta timmedelvärdena av SO₂ på Svenska högarna och Landsort var 100 ug/m³ respektive 113 ug/m³, vilket är i nivå med riktvärdet för tätorter under vinterhalvår (110 ug/m³ räknat som 98%-il av timmedelvärdena). Dygnsmedelvärdena av svaveldioxid den 3 februari är bland de högsta som noterats vid EMEP-stationerna under perioden 1984 till 1989.

Figurerna 11a och 11b nedan visar exempel på luftföroreningsepisoder under det senaste året, 1992. Av figur 11a framgår hur halterna varierade vid ett flertal mätstationer i östra Sverige i samband med en episod i slutet av januari 1992.

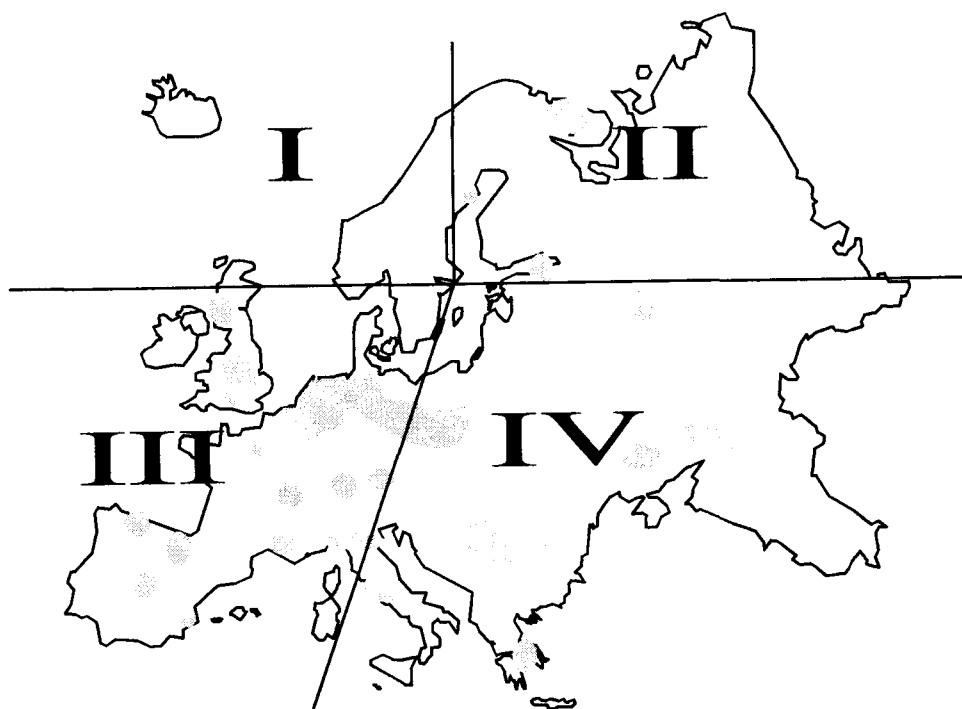
Kraftigt förhöjda halter noteras ungefär samtidigt vid mätstationerna på Svenska högarna och Landsort. På Svenska högarna var de maximala timmedelvärdena av svaveldioxidhalterna 65 ug/m³, vilket är 35 gånger högre än medelvärdet för första kvartalet 1992. Även under mars månad noterades en episod med kraftigt förhöjda SO₂ halter (figur 11b).



Figur 11. Timmedelvärden av SO₂ halterna under två luftföroreningsepisoder under första kvartalet 1992.

Dessa exempel visar att mätningarna av SO₂ är betydelsefulla för att erhålla ett bra underlag för att kunna bedöma betydelsen av intransport av luftföroreningar. Som nämnts tidigare spelar utsläppen av svavel i länder i bl a Östeuropa stor roll för SO₂ halterna som mäts upp på Svenska Högarna och Landsort (jfr. figur 9). Olika länders bidrag till halterna under olika år är beroende av temperaturer och dominerande vindriktningar.

I samband med en omfattande undersökning av aerosolens kemiska sammansättning för att kartlägga olika källområdens bidrag genomfördes under 1986 en rad s k trajektorieberäkningar, som visar transportvägarna för olika luftmassor [2]. För att jämföra halterna av SO₂ och NO₂ i olika luftmassor grupperades trajektorierna i fyra olika sektorer baserat på förekomsten eller avsaknaden av områden med betydande källor för luftföroreningar (se figur 12). De trajektorier som inte entydigt befunnit sig i en viss sektor under hela transporten till mätstationen har inte tagits med i denna analys.

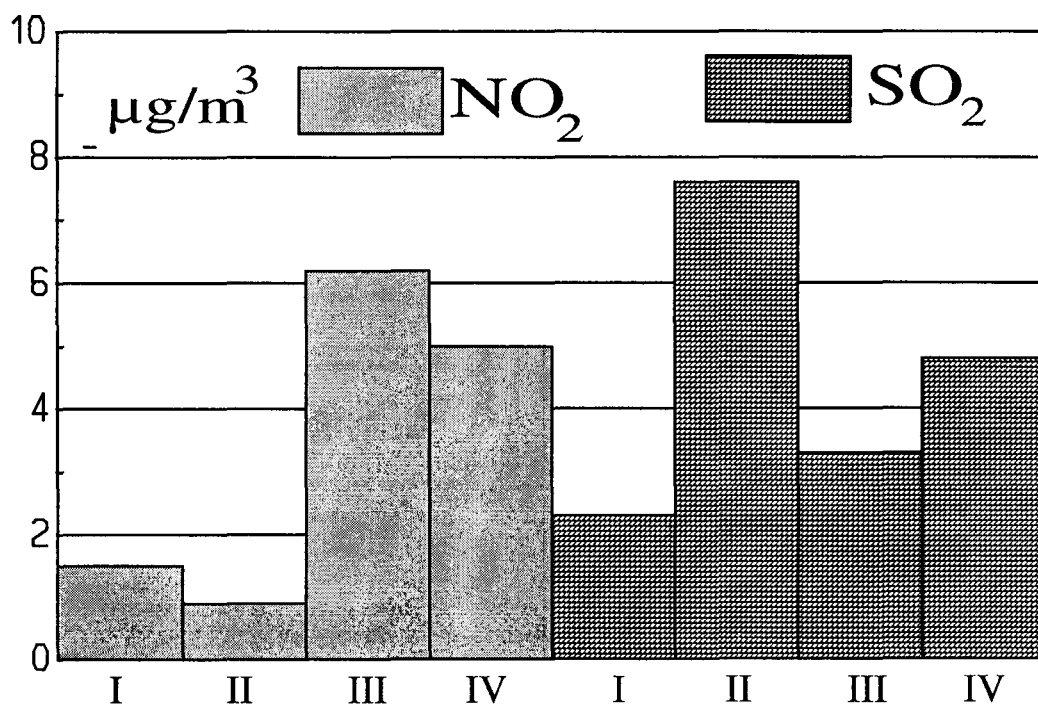


Figur 12. Indelningen i olika sektorer baserat på förekomsten av områden med betydande utsläpp av luftföroreningar (skuggade fält; från ref. nr 2).

Figur 13 visar medelvärden av svavel- och kvävedioxidhalterna i luftmassor som har sitt ursprung i respektive område som anges i figur 12. De högsta halterna av SO_2 noteras sektor II och IV, dvs de östliga sektorerna. Detta bekräftar den stora betydelsen av långdistanstransport av luftföroreningar från befolkningscentra och industriområden i Central- och Östeuropa, där utsläppen är betydligt större än i Sverige.

De högsta halterna av NO_2 återfinns man i luftmassor som har sitt ursprung i de södra sektorerna med viss övervikt för den sydvästliga sektorn. Detta bekräftar det mönster som tidigare noterats att kväveoxiderna till största delen härrör från västra Europa och svavel från östra Europa [11]. Det bör emellertid påpekas att det som av instrumentet identifieras som " NO_2 " delvis kan bestå av andra oxiderade kväveföreningar som bildas under långdistanstransport av luftföroreningar. Exempelvis bildas periodvis betydande mängder PAN (peroxyacetylnitrat). Detta ämne uppfattas av instrumentet såsom NO_2 .

Det är inte alltid som halterna blir förhöjda då en luftmassa uppehållit sig företrädesvis över ett område med stora utsläpp av luftföroreningar. Speciellt i samband med lågtryck är



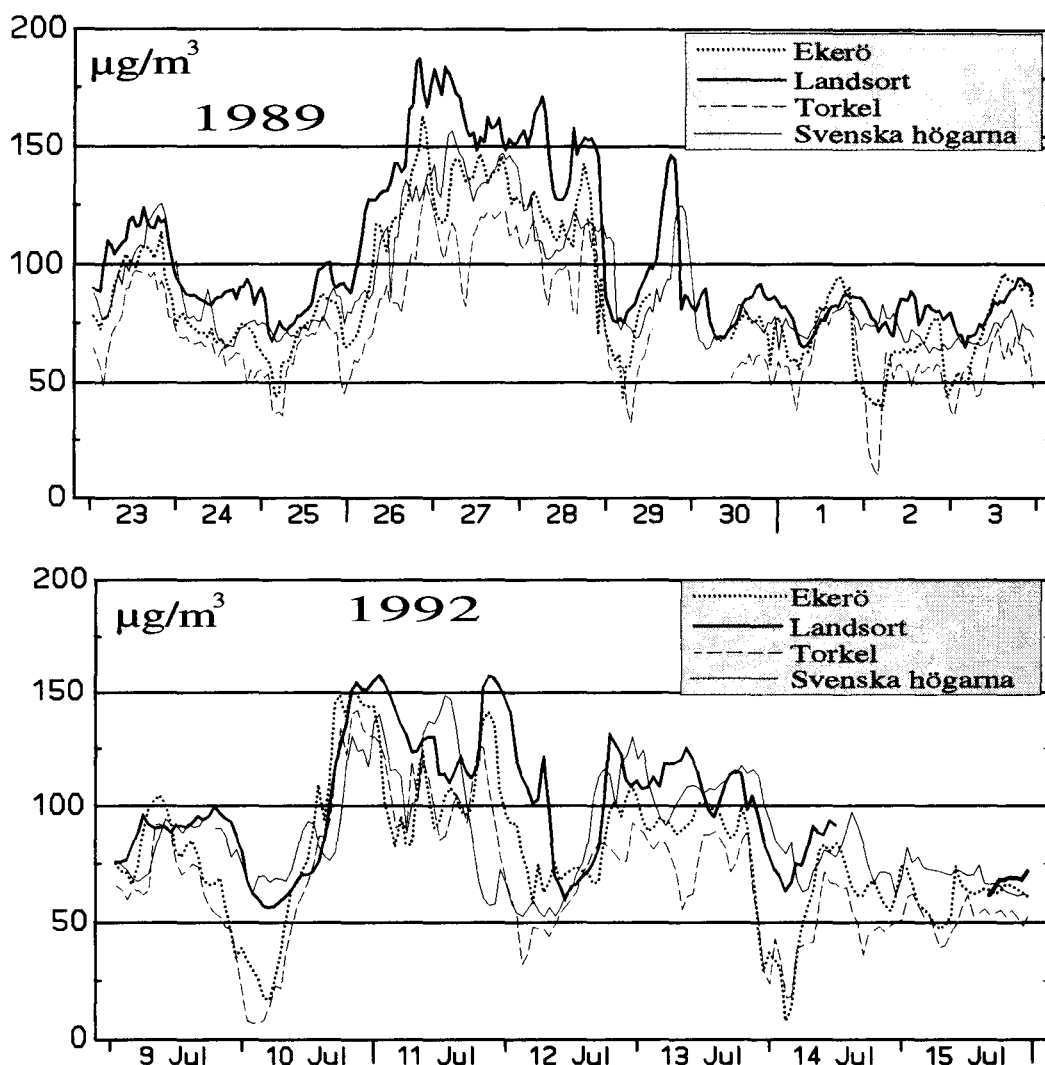
Figur 13. Svavel- och kvävedioxidhalternas beroende av luftmassans härkomst. Indelningen i de olika sektorerna hänför sig till trajektorieberäkningar och framgår av figur 12.

vindarna kraftiga vilket medför att föroreningarna kan spädas effektivt. De högsta halterna är oftast associerade med relativt svaga vindar och högtryck [11].

Ozonepisoder

De kraftigaste episoderna med förhöjd ozonhalt i Sverige är i regel associerade med ett högtrycksområde som rör sig öster eller sydost om Sverige. Vädret kännetecknas av soliga och varma dagar med relativt svaga vindar. Luften transporterats då in över Sverige från områden med stora utsläpp av kväveoxider och kolväten i Väst- och Centraleuropa.

Som påpekats tidigare noteras de högsta timmedelvärdena av ozon på Svenska högarna, Landsort och Ekerö under sommarmånaderna. Figurerna 14a och 14b illustrerar två perioder med mycket höga halter av ozon i Mellansverige. Som framgår av figuren uppvisar ozonhalterna mycket tydlig samvariation.



Figur 14. Timmedelvärden av ozonhalterna under juni/juli 1989 (övre figuren) respektive juli 1992 (undre figuren) på Ekerö, Svenska högarna, Landsort och Torkel knutssongatan (centrala Stockholm).

De högsta halterna noteras på Ekerö, Svenska högarna och Landsort och de genomsnittligt lägsta halterna på Torkel knutssongatan i centrala Stockholm. De höga ozonhalterna beror i dessa fall sannolikt från förhöjd fotokemisk produktion av ozon p g a utsläpp av kväveoxider och kolväten i västra Europa. Under ett flertal timmar överskrids det av Naturvårdsverket rekommenderade takvärdet på $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ett värde som inte bör överskridas vid något tillfälle. Under 1989 och 1991 noterades totalt 10 timmar med halter över $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Notera även att halterna på Ekerö och Torkel sjunker kraftigt under vissa nätter. Detta inträffar i samband med relativt klara nätter med låga vindhastigheter och liten vertikal omblandning av luften.

LITTERATURHÄNVISNINGAR

1. EMEP CCC-Report 4/90. Data Report 1988. Part 1: Annual summaries. Norsk Institutt for Luftforskning, Lillestrøm, Norway.
2. Karakterisering av den atmosfäriska aerosolen vid tre bakgrundsstationer i södra Sverige - Stockholms inverkan på dess omgivning. För Miljöförvaltningen på uppdrag Avd för Krämfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1992.
3. Luftföroreningar i några svenska tätorter - Sammanställning av mätningar 1984 - 1991/92. Rapport från Tekniska avdelningen vid Miljöförvaltningen i Stockholm, 1992.
4. Ozonsituationen i Stockholm - En redovisning av ozonundersökningar i Stockholmsregionen, 1982-1988. Stockholms stad, Miljöförvaltningen, tekniska avdelningen, Stockholm, 1989.
5. Utsläpp till luft av försurande ämnen. Rapport 3995, Naturvårdsverket, Solna, 1992.
6. Utsläpp till luft i Sverige av svaveldioxid (SO₂), kväveoxider (NO_x) och koldioxid (CO₂) 1990. SCB Statistiska meddelanden, Na 18 SM 9201, SCB, 115 89 Stockholm.
7. Miljötilståndet i Sverige, tillstånd och trender (MIST'92). Atmosfärisk oxidantbildning. Naturvårdsverket, Solna, 1992.
8. Derwent, R. G. och Jenkin, M.E., 1990. Hydrocarbon involvement in photochemical ozon formation in Europe. Report AERE-R13736, Modelling and Assessments Group, Environmental and Medical Sciences Division, Harwell Laboratory, Oxfordshire, OX11 0RA, England.
9. Naturvårdsverket, 1990. Miljöeffekter av kväveoxider och kolväten från vägtrafik i Sverige. Statens Naturvårdsverk, Rapport 3856, Solna.
10. Luften i Stockholm. Månadsrapport för december 1991. Rapport från Tekniska avdelningen, Miljöförvaltningen, Stockholm, 1991.
11. Monitor 1989. Klimatet och naturmiljön. Naturvårdsverket, Solna, 1989.
12. Luftföroreningsmätningar vid de fasta stationerna i Stockholm under 1991 och under vinterhalvåret 1991/92. Rapport från Tekniska avdelningen, Miljöförvaltningen, Stockholm.

Slb·analys

Stockholms Luft- och Bulleranalys

är en resultatenhet inom miljöförvaltningen i Stockholm.

Slb-analys:

- utreder
- mäter
- beräknar
- informerar

avseende ljudmiljö och luftkvalitet både utomhus och inomhus. Slb-analys genomför uppdrag inom dessa områden såväl lokalt (i tätorter) som regionalt (i länet).