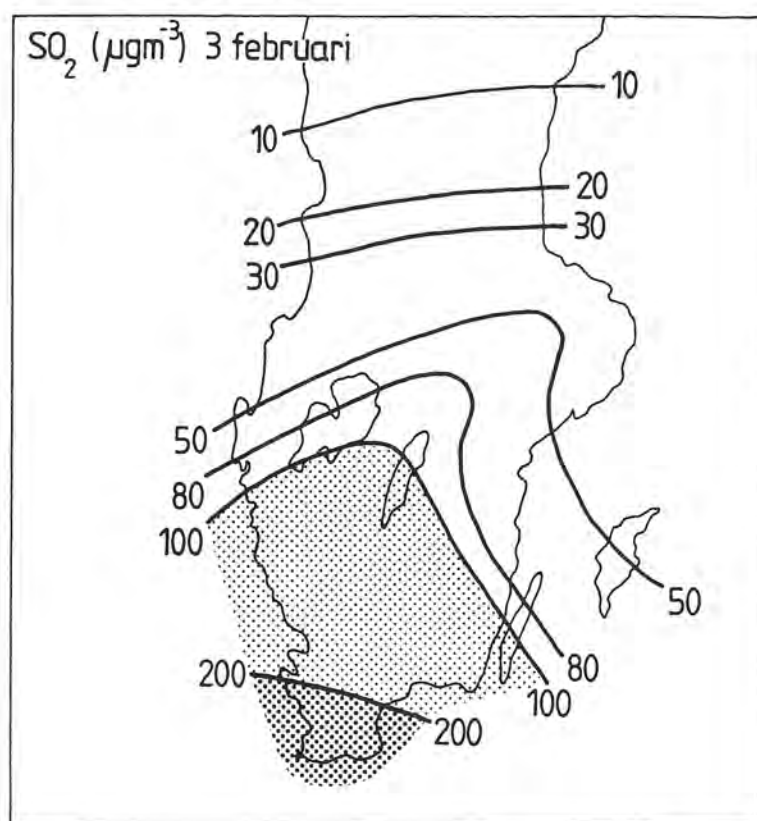


**LUFTFÖRORENINGSEPIDODEN ÖVER SÖDRA SVERIGE**

2–4 februari 1987

SMHIChrister Persson
Lennart Robertsson**IVL**Peringe Grennfelt
Karin Kindbom
Gun Lövblad
Per-Arne Svanberg

LUFTFÖRORENINGSEPIDODEN ÖVER SÖDRA SVERIGE

2—4 februari 1987

SMHI

Christer Persson
Lennart Robertsson

IVL

Peringe Grennfelt
Karin Kindbom
Gun Lövblad
Per-Arne Svanberg

Issuing Agency	Report number RMK 56
	Report date September 1987
Author (s) Christer Persson and Lennart Robertsson, SMHI Peringe Grennfelt, Karin Kindbom, Gun Lövblad and Per-Arne Svanberg, Swedish Environmental Research Institute (IVL)	
Title (and Subtitle) The Air Pollution Episode over southern Sweden 2-4 February 1987	
Abstract During the period 2-4 February 1987 one of the most severe episodes of polluted air, which has ever been registered in Sweden, occurred over southern Sweden. The sulfur dioxide concentrations reached at that time daily mean values around $300 \mu\text{g m}^{-3}$ in background as well as in urban areas. The sulfur dioxide concentrations were in urban areas along the Swedish west coast 10-20 times higher and in background areas 40-50 times higher than the normal mean levels of sulfur dioxide at the corresponding places. Also higher concentrations of nitrogen oxides and soot occurred. The meteorological transport calculations show that very large sulfur emissions in Central Europe had contaminated the air that reached southern Sweden during the period 2-4 February. The emissions of sulfur dioxide and soot in Central Europe were extremely large due to the very cold weather. During the period very stable stratification occurred in the lower parts of the atmosphere, which caused very limited turbulent dispersion and dilution of the air pollutants. The high concentrations of sulfur dioxide and soot, which occurred over southern Sweden, were to a larger part (about 90% or more) caused by the long range transport of air pollutants.	
Key words Air pollution, episode, sulfur dioxide, soot, long range transport, atmospheric transport, trajectory	
Supplementary notes	Number of pages Language Swedish
ISSN and title	
Report available from:	

INNEHÅLL

	Sid
SAMMANFATTNING	
1. INLEDNING	1
2. VÄDERSITUATIONEN	4
3. FÖRORENINGSUTSLÄPPEN I EUROPA	5
4. EPISODENS FÖRLOPP I SVERIGE – Tranport, spridning och föroreningshalter	11
5. DISKUSSION AV FÖRORENINGSHALTERNA	25
6. FÖRORENINGSEPIDODEN VISAR	26
7. FÖRSLAG TILL SYSTEM FÖR PROGNOSEKING OCH KARTLÄGGNING AV OMFATTANDE FÖRORENINGS- EPISODER	27
REFERENSER	29

SAMMANFATTNING

Utgående från föroreningsdata från stationer inom IVL:s sk urban-mättnät för tätortsluft och det sk EMEP-nätet för bakgrundsluft samt meteorologisk information har IVL och SMHI i samarbete utvärderat luftföroreningssituationen i Sverige under de sex första dygnet av februari 1987.

Under perioden 2-4 februari inträffade över södra Sverige en av de kraftigaste episoder av förorenad luft som över huvud taget registrerats i Sverige. Vid detta tillfälle nådde svaveldioxidhalten i Skåne värden omkring $300 \mu\text{g m}^{-3}$ såväl i bakgrundsområden som i tätorter. Svaveldioxidhalten var i tätorter utefter västkusten 10-20 gånger högre och i bakgrundsluften 40-50 gånger högre än medelbelastningen på motsvarande platser. Förutom höga halter av svaveldioxid uppträdde även förhöjda halter av sot och kvävedioxid.

De meteorologiska transportberäkningarna visar att mycket stora svavelutsläpp i Centraleuropa hade påverkat den luft som strömmade in över sydligaste Sverige under perioden 2-4 februari. Emissionerna av svaveldioxid och sot i Centraleuropa var extremt höga på grund av det mycket kalla vädret. Natttemperaturer på -15°C till -20°C förekom allmänt. Under perioden rådde mycket stabil skiktning i de lägre delarna av atmosfären med liten omblandning och dålig utspädning av luftföroreningarna som följd. De höga halterna av svaveldioxid och sot som uppträdde över södra Sverige var till största delen (ca 90% eller mer) orsakade av den långväga föroreningstransporten.

SUMMARY

Based on data from the IVL urban network of air pollution stations, the EMEP network of background air pollution stations and meteorological information, SMHI and IVL have in cooperation evaluated the air pollution situation in Sweden during the first six days of February 1987.

During the period 2-4 February one of the most severe episodes of polluted air, which was ever registered in Sweden, occurred over southern Sweden. The sulfur dioxide concentrations reached daily mean values around $300 \mu\text{g m}^{-3}$ in background as well as in urban areas in the very south of Sweden. The sulfur dioxide concentrations were in urban areas along the Swedish west coast 10-20 times higher and in background areas 40-50 times higher than the normal mean levels at the corresponding places. Also high concentrations of nitrogen oxides and soot occurred.

The meteorological transport calculations show that very large sulfur emissions in Central Europe had contaminated the air that reached southern Sweden during the period 2-4 February. The emissions of sulfur dioxide and soot in Central Europe were extremely large due to the very cold weather. The night temperatures were over large areas -15°C to -20°C . During the period very stable stratification occurred in the lower parts of the atmosphere, which caused very limited turbulent dispersion and dilution of the air pollutants. The high concentrations of sulfur dioxide and soot, which occurred over southern Sweden, were to a larger part (about 90% or more) caused by the long range transport of air pollutants.

1. INLEDNING

Genom åtgärder för att begränsa utsläpp av svaveldioxid och sot till luft har halterna av dessa ämnen i tätorterna successivt minskat i Sverige från slutet av 1960-talet och början av 1970-talet, vilket framgår av figurerna 1-3. Normalt är halterna av dessa föroreningar idag till och med i stora industristäder som Göteborg och Malmö långt under de riktvärden för luftkvalitet som naturvårdsverket satt upp.

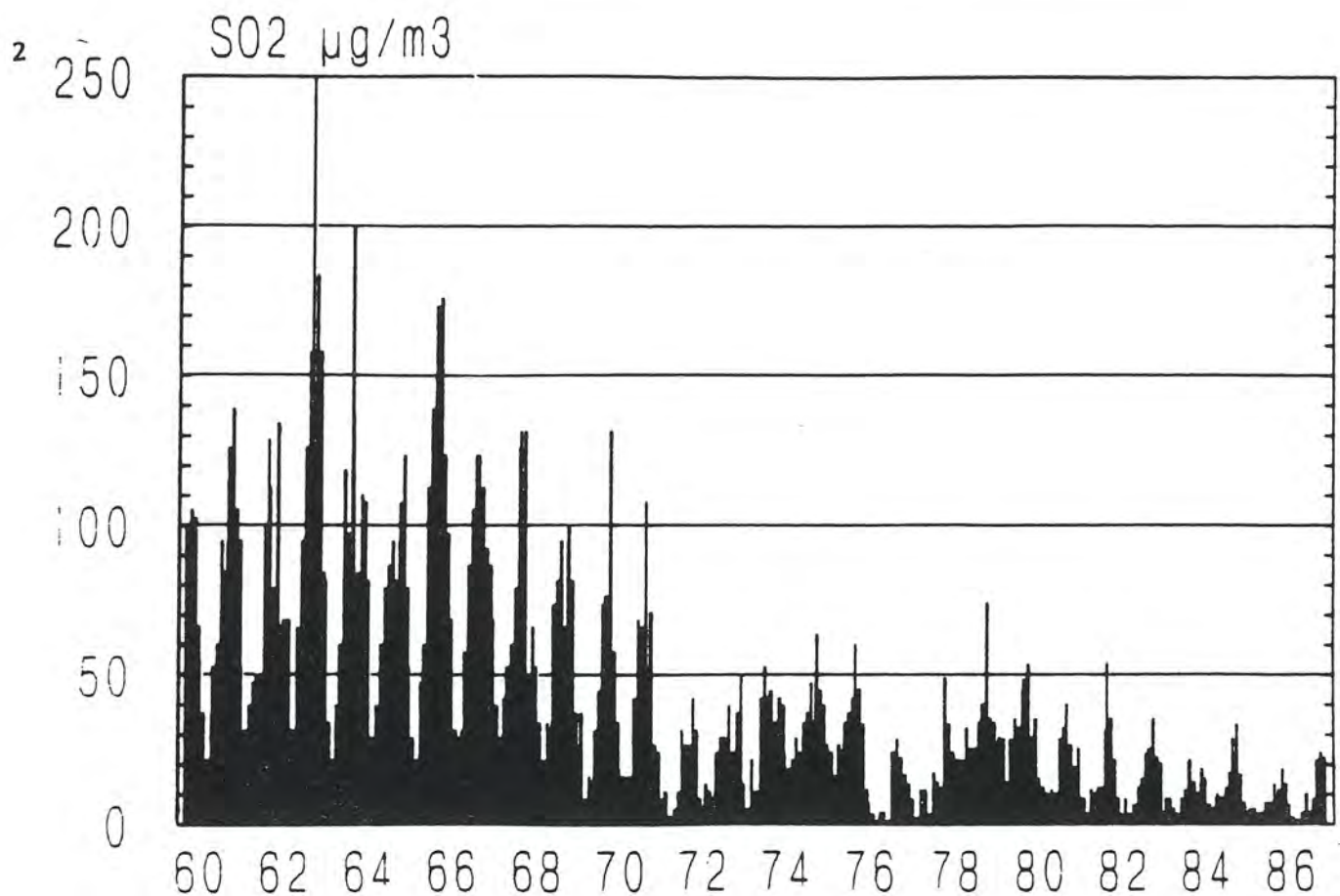
Det lyckade åtgärdsarbetet har dock medfört att andra länders emissioner, genom atmosfärens långväga transport av luftföroreningar, antagit en alltmer betydelsefull roll då det gäller svaveldioxid- och sothalter i Sverige.

För kväveoxider är bilden en annan. Emissionsinventeringar indikerar en långvarig ökning. Den ökade biltrafiken är här den främsta orsaken. Mätresultat tyder på att de föreslagna riktvärdena för kvävedioxid överskrids i de flesta större tätorter. Kväveoxidernas betydelse har på senare tid blivit mycket uppmärksammas genom att de bland annat medverkar till försurning, övergödning av hav och sjöar, ozonbildning genom atmosfärskemiska reaktioner och bildandet av toxiska ämnen. Kunskapen har medfört att åtgärdsarbetet har startats och ett beslut om skärpta avgaskrav för bensindrivna bilar har nyligen tagits.

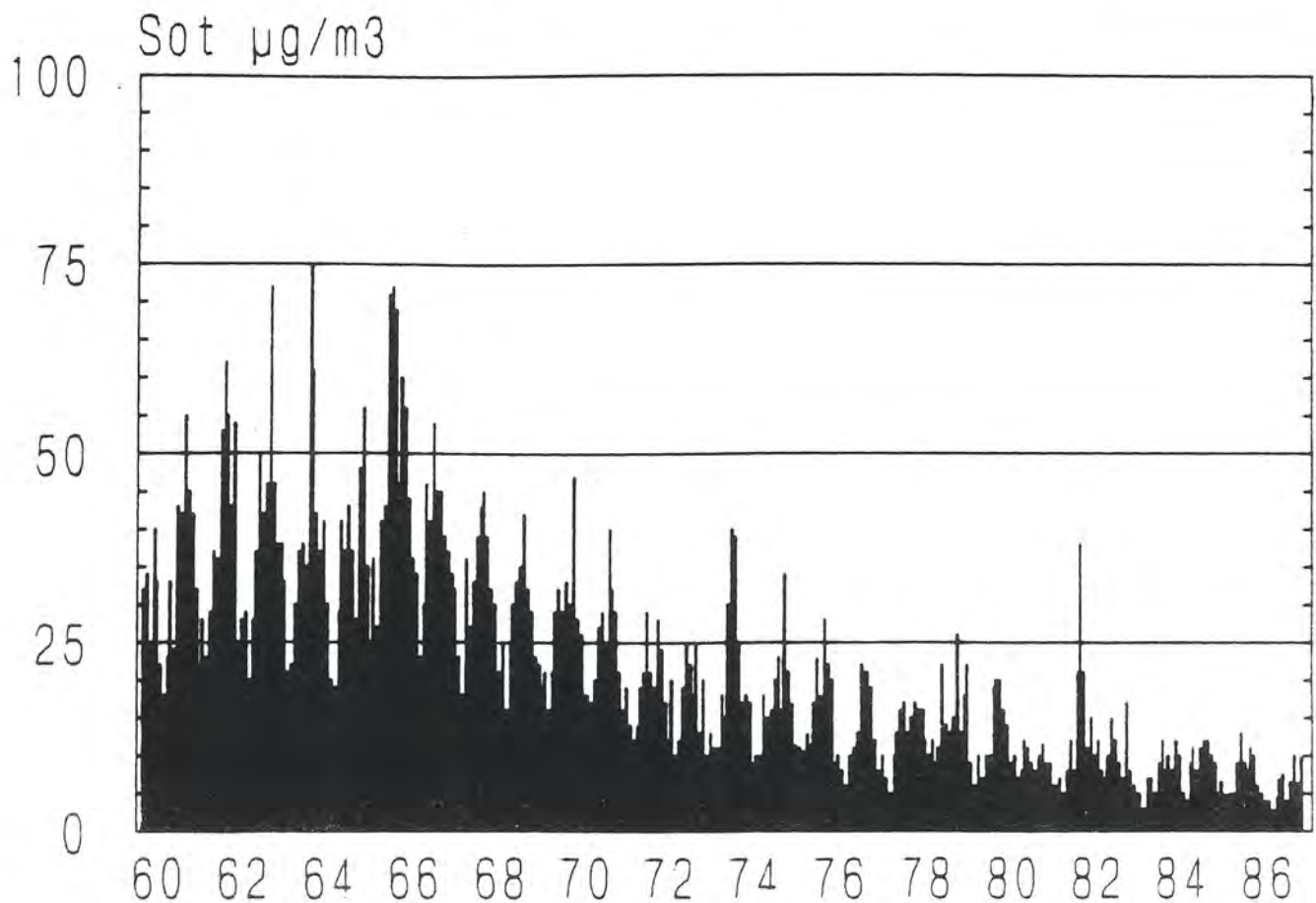
Påverkan på luftkvaliteten i Sverige av långväga transporterade föroreningar sker ofta i form av "episoder", d v s relativt korta perioder (1-5 dygn) med transport av förorenad luft från emissionsområden på kontinenten. Påverkan kan variera mellan olika tillfällen, men är speciellt kraftig i samband med stabila högtryck över Central- eller Östeuropa. Episoderna innebär förhöjningar av halterna av en rad luftföroreningar. De kan dock ha lite olika karaktärsdrag. Vintertid är ofta svaveldioxid- (SO_2), sot- och kvävedioxidhalter (NO_2) höga medan halterna av ozon (O_3) är mycket låga. Sommartid är oftast ozonhalterna förhöjda medan någon ökning i SO_2 - eller NO_2 -halten ej kan observeras.

Under perioden 2-4 februari 1987 inträffade över södra Sverige en av de kraftigaste episoder av förorenad luft som över huvud taget registrerats i Sverige. Svaveldioxidhalten nådde vid detta tillfälle halter omkring $300 \mu\text{g m}^{-3}$ såväl i bakgrundsområden som i tätorter. I tätorter utefter västkusten var svaveldioxidhalterna 10-20 gånger medelbelastningen och i bakgrundsluften 40-50 gånger medelbelastningen på motsvarande platser. Förutom höga halter av svaveldioxid uppträdde även förhöjda halter av sot och kvävedioxid.

Utgående från föroreningsdata från stationer inom det s k urbanmät-nätet för tätortsluft och det s k EMEP-nätet (European Monitoring and Evaluation Programme) för bakgrundsluft samt meteorologisk information har IVL och SMHI i samarbete utvärderat luftföroreningssituationen i Sverige under de sex första dygnen av februari. I bilaga 1 återges en stationskarta samt föroreningsdata dag för dag för samtliga stationer.



FIGUR 1. Mätning av svaveldioxid i centrala Göteborg. Månadsmedelvärden perioden 1960-1987. Källa: Göteborgs kommun, Miljö- och Hälsoskyddskontoret. "Luftföroreningsmätningar i Göteborg". Publikation 1987:7.



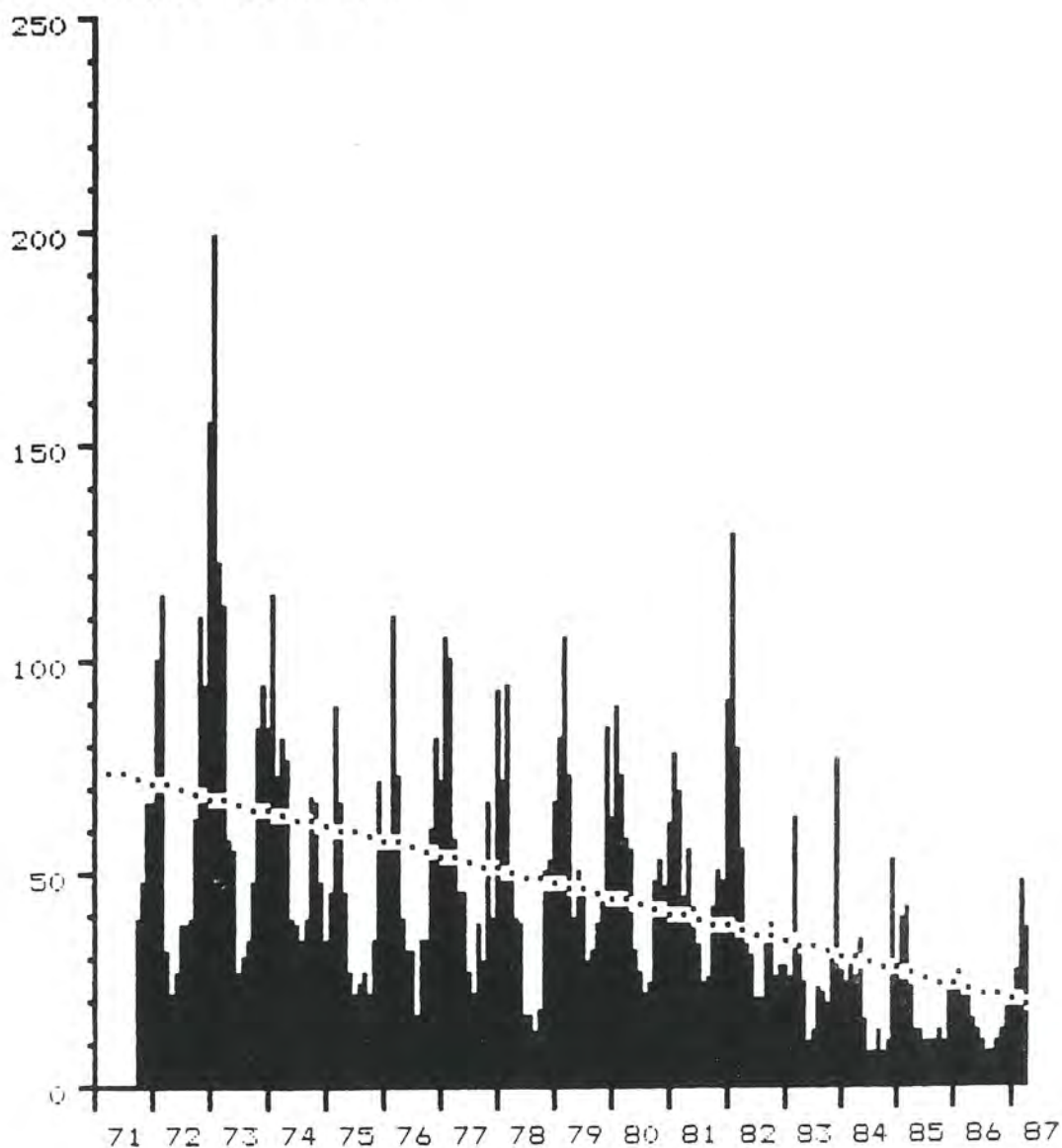
FIGUR 2. Mätning av sot. Månadsmedelvärden 1960-1987 i centrala Göteborg. Källa: Göteborgs kommun, Miljö- och Hälsoskyddskontoret. "Luftföroreningsmätningar i Göteborg". Publikation 1987:7.

MALMÖ MILJÖ- OCH HÄLSOSKYDDSFÖRVALTNING
SEKTION FÖR MILJÖDATA

SVAVELDIOXID-MÅNADSMEDELVÄRDEN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

MÄTFLATS: RADHUSET I MALMÖ
REDOVISNINGSPERIOD: 1971 - MARS 1987

SVAVELDIOXID (SO_2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$



FIGUR 3. Mätningar av svaveldioxid i centrala Malmö. Källa: Malmö kommun, Miljö- och Hälsoskyddskontoret. Sammanställningar av mätdata 1987-04-14.

I direkt anslutning till att episoden inträffade gjordes en preliminär utvärdering i samarbete mellan IVL och SMHI (IVL-rapport 87/77, 1987-03-31).

2. VÄDERSITUATIONEN

I detta avsnitt ges en allmän presentation av väderförhållandena under och omkring den aktuella perioden. En närmare diskussion av hur väderförhållandena påverkade föroreningarnas transport och spridning i atmosfären redovisas i avsnitt 4. För att underlätta den diskussionen har vi valt att placera en del grundläggande meteorologisk information i figurerna 10-15, som ingår i avsnitt 4.

Väderutvecklingen dag för dag över Europa under perioden 1-6 februari redovisas i figurerna 10 a - 15 a i form av en serie förenklade väderkartor. Under slutet av januari tillväxte ett högtryck över Centraleuropa. Högtrycket bildades efter en kraftig intransport av kall luft från Skandinavien och Ryssland. Intransporten av kalluft skedde i ett djupt skikt av atmosfären. En högtrycksrygg kom därefter att sträcka sig från Centraleuropa över de Brittiska öarna och upp till Island. I högtryckets centrala delar sjönk temperaturen ned till omkring -20 grader nattetid på grund av klart väder och kraftig utstrålning. Detta medförde även mycket stabil temperaturskiktning med liten omblandning och dålig utspädning av luftföroreningar som följd. Kylan nådde sin kulmen under perioden 30-31 januari. Då noterades som lägst i Warszawa -27°C (30/1), i Prag -21°C (31/1), i Berlin -13°C (31/1), i Hamburg -15°C (30/1) och i München -18°C (31/1).

Under den 2 och 3 februari försköts högtrycksryggen österut vilket gav en strömning som förde förorenad luft från Centraleuropa norrut mot Skandinavien. Den 4 februari nådde ett lågtryck norra Skandinavien och vinden blev västlig över Sverige och den förorenade luften strömmade österut.

I figurerna 10 a - 15 a framgår också dagliga temperatursonderingar från Köpenhamn, vilka visar den vertikala temperaturskiktningen i atmosfären. Det är framför allt i de lägsta 1 500 m av atmosfären (upp till 850 hPa tryckytan) som stabilitetsförhållandena påverkar förorenings-spridningen. Under perioden 1-6 februari rådde hela tiden stabil skiktning i dessa nivåer, d v s temperaturen avtog med höjden med mindre än 0.8°C per 100 m. Ofta rådde t o m inversion, d v s temperaturen tilltog med höjden, vilket medförde mycket liten turbulent omblandning.

Med hjälp av rutinmässigt insamlad väderinformation, speciellt vind- och tryckinformation, på olika höjder för hela Europa under den aktuella perioden har s k trajektorier beräknats. Denna väderinformation uppdateras var 6:e timma. En trajektoria beskriver ett visst luftpakets transportväg och kan utnyttjas för att spåra varifrån förorenad luft har kommit. I figurerna 10 a - 15 a redovisas trajektorier, som visar luftens transportväg fram till några utvalda platser. Trajektorieberäkningarna och föroreningstransporterna diskuteras närmare i avsnitt 4. Trajektorierna har beräknats på SMHI med en modell utvecklad av Kållberg (1984).

3. FÖRORENINGSUTSLÄPPEN I EUROPA

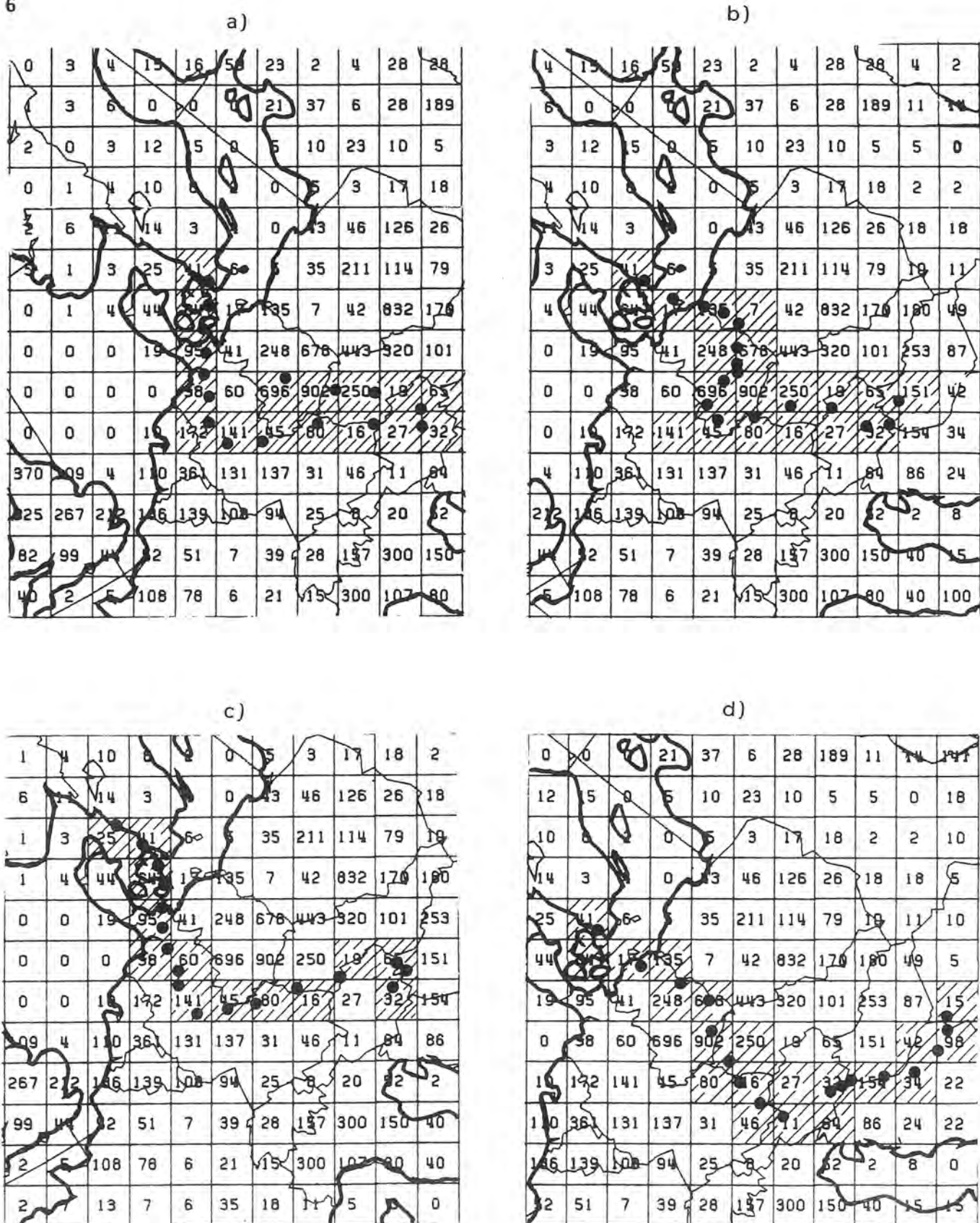
Det är väsentligt att ha en klar bild av fördelningen av föroreningsutsläppen över Europa för att förstå hur den aktuella föroreningsepisoden byggdes upp. I grundkartan till figur 4 anges i ett rutnät den geografiska fördelningen av svavelutsläppen uttryckta som årsmedelvärden. Utsläppen sker nästan uteslutande i form av svaveldioxid. De mycket stora utsläppen i Centraleuropa framgår tydligt.

För att illustrera vilka källområden som främst påverkade den luft som strömmade in över södra Sverige under perioden 2-4 februari, har vi lagt in positionerna för några av de beräknade mottagarorienterade trajektorierna i en emissionskarta. En trajektoria beskriver alltså ett visst luftpakets transportväg. I detta fall har vi valt att illustrera transportvägen under de sista fyra dygnet innan luften nådde fram till mottagarpunkten vid den angivna tiden. En karta, 4 a - h, presenteras för varje trajektoria. De "emissionsrutor" som främst har påverkat den inströmmande luften har markerats. Ju längre tid luften tillbringar över respektive "emissionsruta" desto större betydelse har utsläppen inom det området. Givetvis har en viss horisontell omblandning skett, varför även områden något utanför de markerade kan ha påverkat föroreningsbelastningen.

En närmare diskussion av figurerna 4 a - h samt en detaljerad redovisning av samtliga beräknade trajektorier finns i avsnitt 4.

Svavelutsläppens storlek över Europa påverkas i hög grad av utomhustemperaturen. Den genomsnittliga årstidsvariationen i förhållande till årsmedelvärdet, som utnyttjas för beräkningarna inom det sk EMEP-projektet, anges i figur 5. Vintertid är emissionen betydligt större än sommartid. Under de sista dagarna av januari och början av februari 1987 rådde mycket kallt väder i Centraleuropa. Nattemperaturerna på några platser framgår av figurerna 6 och 7. I t ex Prag, Warszawa och München låg nattemperaturerna mellan ca -15°C och -27°C , vilket medförde avsevärt större utsläpp än vid normala vinterförhållanden. Dessa stora utsläpp skedde till den luft som nådde södra Sverige under föroreningsepisoden 2-4 februari. Nattemperaturen avser temperaturen kl 01 och är i regel några grader högre än minimitemperaturen.

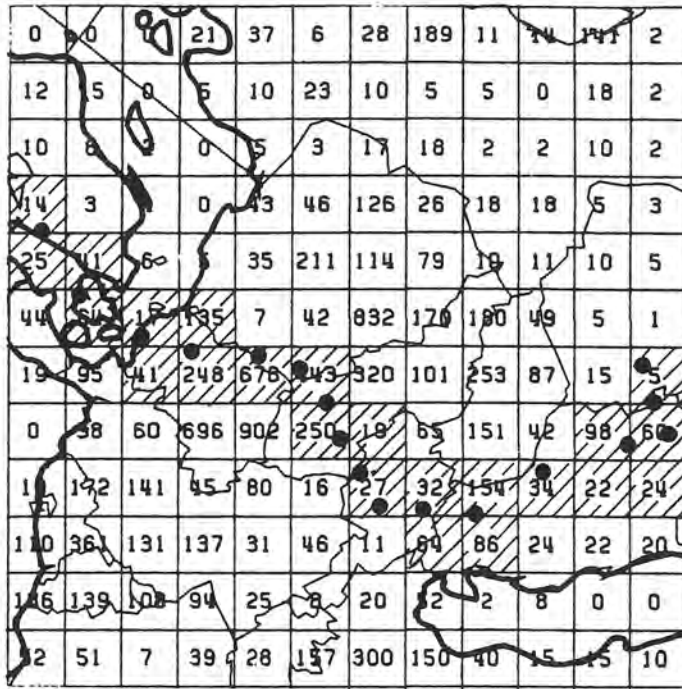
I Sverige var dock inte temperaturen extremt låg under själva föroreningsepisoden, vilket framgår av figur 8. I slutet av januari var temperaturen betydligt lägre med minimitemperaturer ner till mellan -20°C och -30°C i södra och mellersta Sverige. Emissionen i Sverige var alltså som störst under perioden 28-30 januari och minskade därefter.



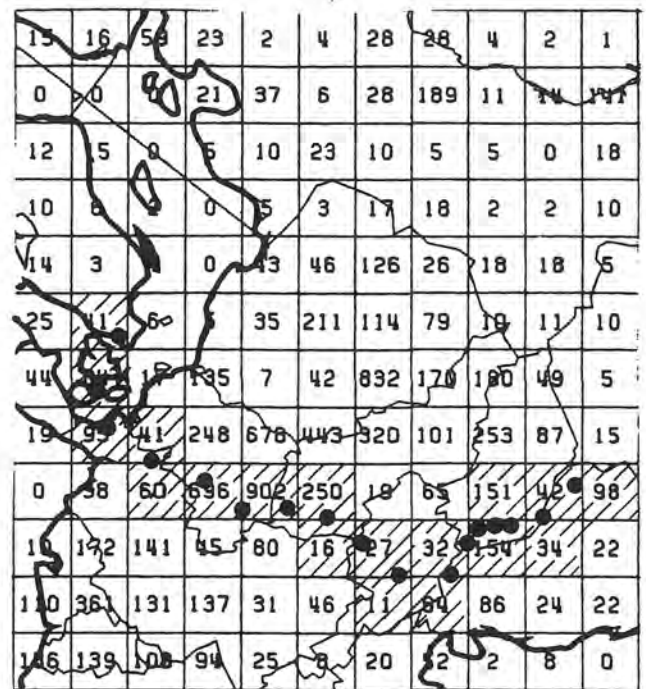
FIGUR 4. a-h. Emission av svavel år 1985 (1000-tal ton S) över Europa angivet i de 150 km rutor, som utnyttjas i EMEP/MSC-W modellberäkningar (europaisk samarbetsprojekt). Informationen erhållen från Det Norske Meteorologiske Institutt. I delfigurerna a-h har positionerna för var 6:e timma markerats för utvalda mottagarorienterade 4 dygnstrajektorier. En trajektoria i varje figur. De "emissionsrutor" som direkt berörs av trajektorierna har streckats.

- a) Malmö 2 februari kl 13.
- b) Malmö 3 februari kl 01.
- c) Göteborg 3 februari kl 01.
- d) Malmö 3 februari kl 13.

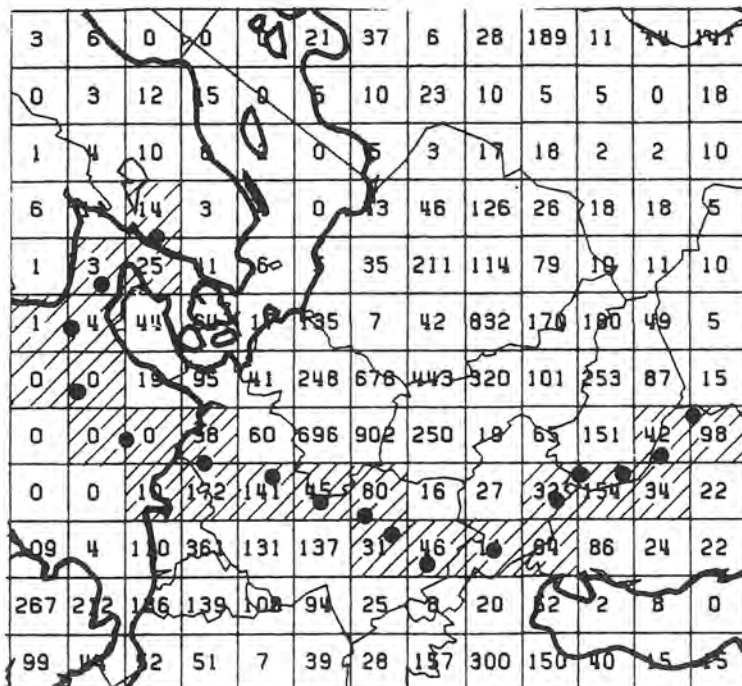
e)



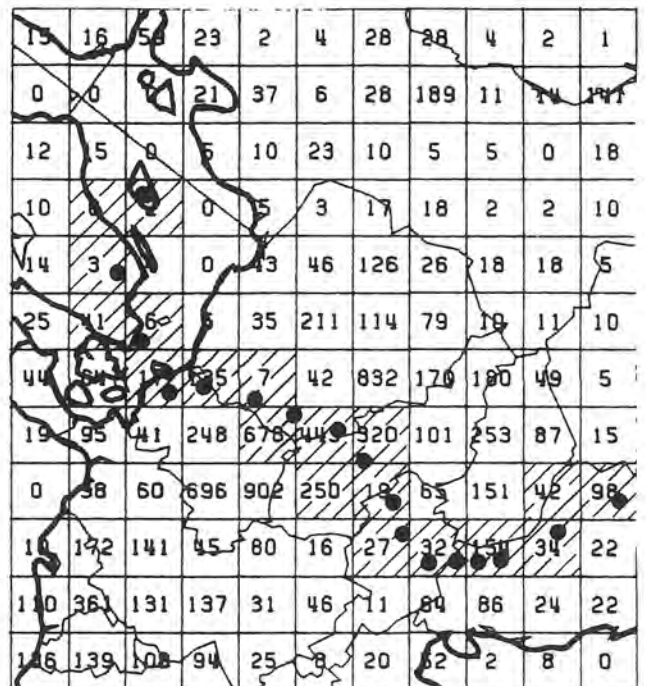
f)



g)



h)



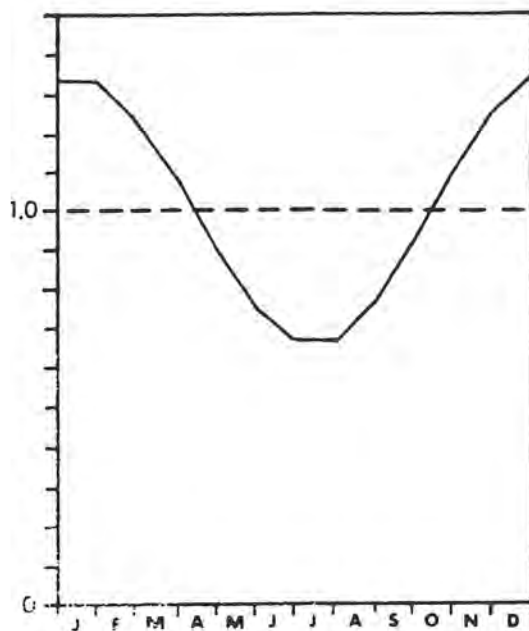
FIGUR 4. Fortsättning

e) Göteborg 3 februari kl 13.

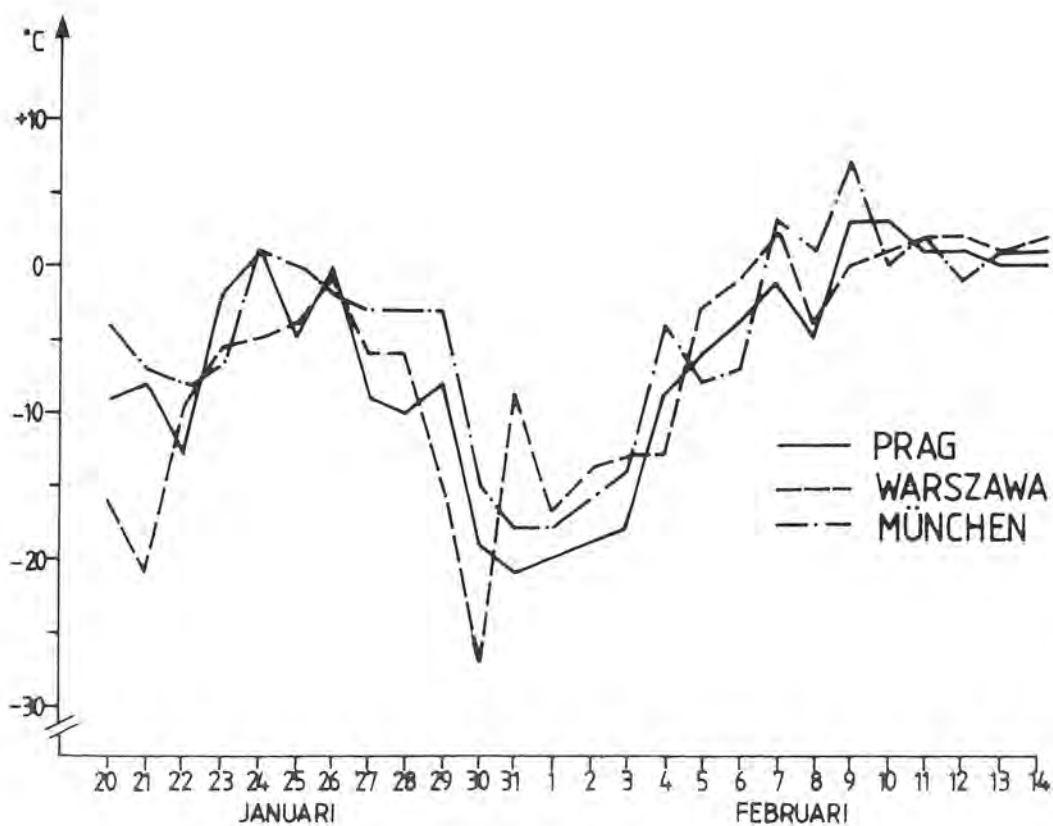
f) Malmö 4 februari kl 01.

g) Göteborg 4 februari kl 01.

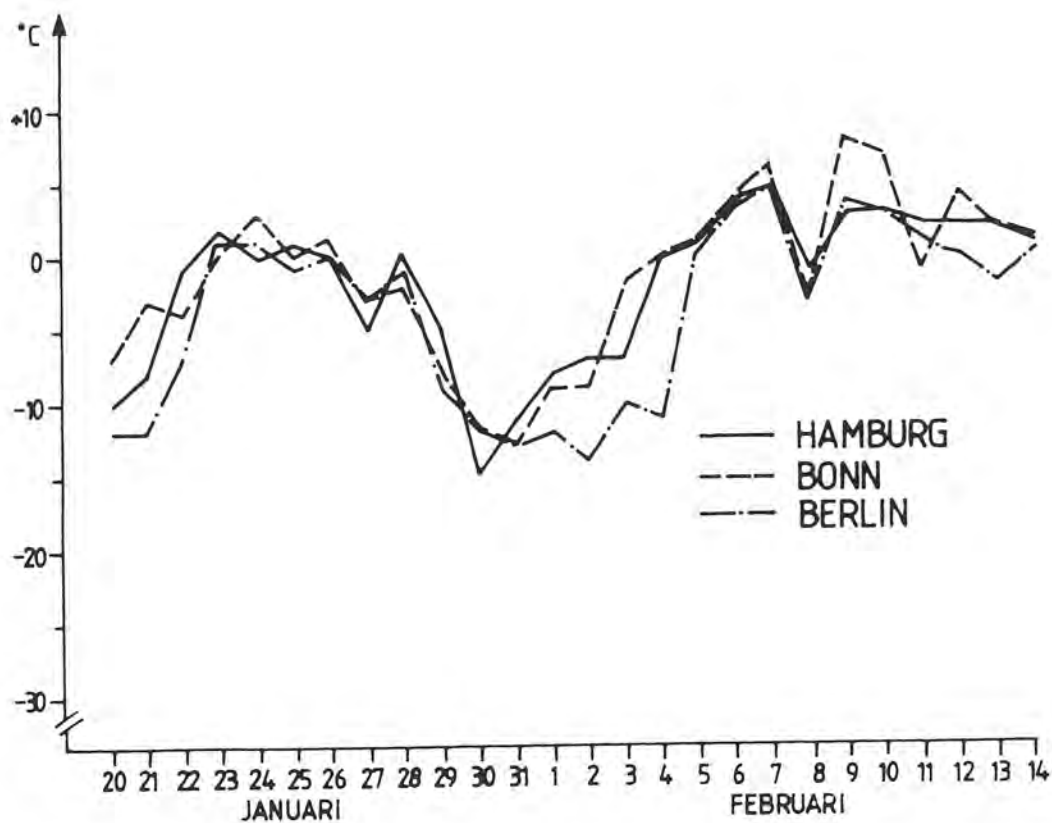
h) Visby 4 februari kl 01.



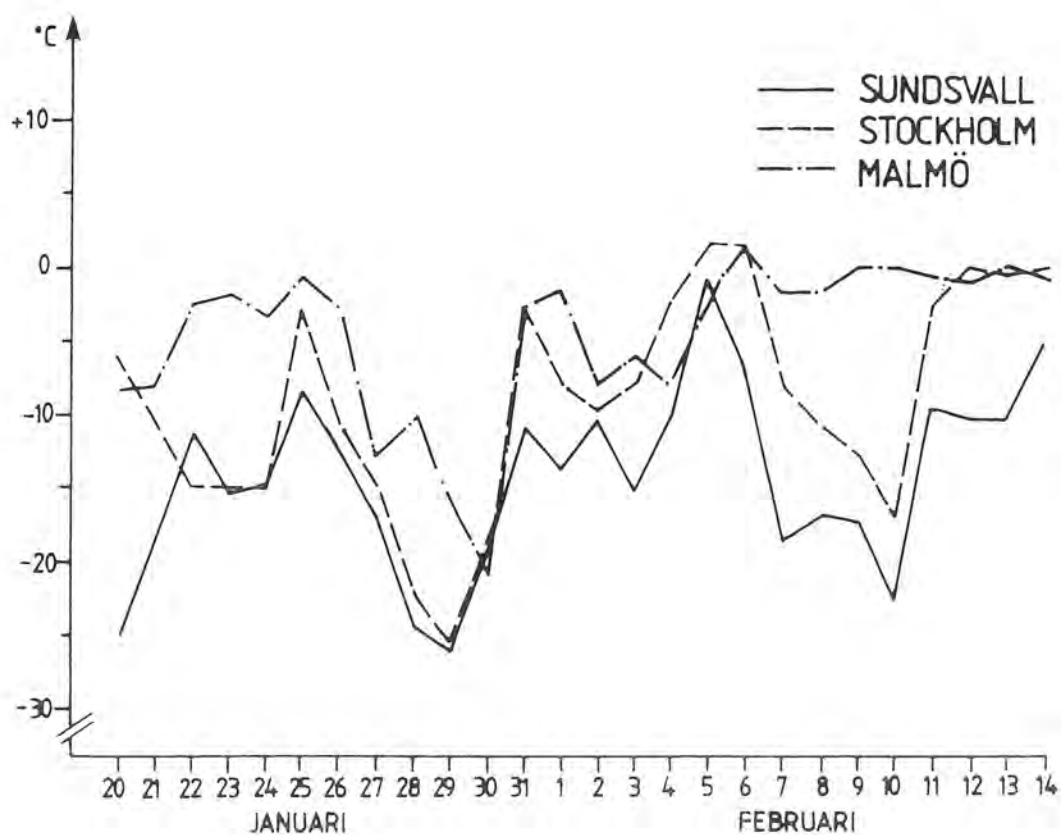
FIGUR 5. Svavelemissionens säsongvariation så som den tillämpas i modellberäkningarna inom det europeiska samarbetsprojektet EMEP. Informationen har erhållits från Det Norske Meteorologiske Institutt.



FIGUR 6. Nattemperatur i Prag, Warszawa och München under perioden 20 januari - 14 februari 1987.



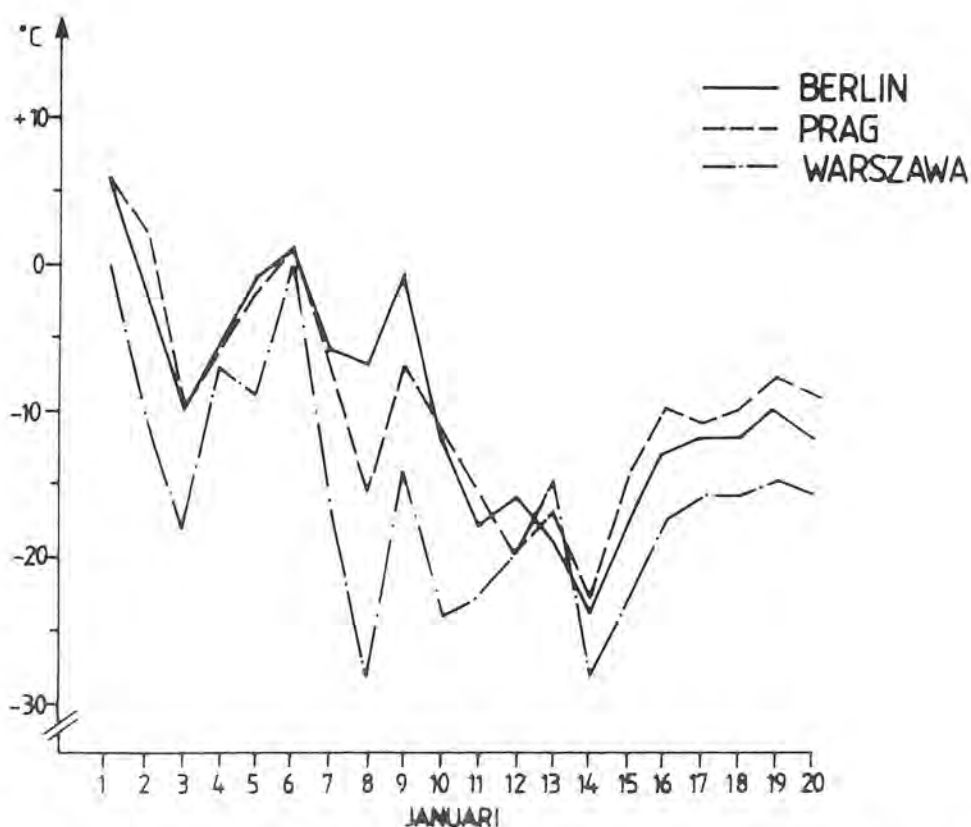
FIGUR 7. Nattemperatur i Hamburg, Bonn och Berlin under perioden 20 januari - 14 februari 1987.



FIGUR 8. Minimitemperaturen i Malmö, Stockholm och Sundsvall under perioden 20 januari - 14 februari 1987.

Informationen om utsläpp av t ex sot och kväveoxider är inte lika detaljerad som för svavel. Det finns en viss samvariation mellan svavel- och sotutsläpp. Kväveoxidutsläppen härrör till stor del från andra källor, främst bilismen, varför samvariationen med svavelutsläppen i allmänhet är relativt liten. Förhållandet mellan svavelutsläpp och kväveutsläpp sett som årsmedelvärde varierar från område till område i Europa, främst beroende på skillnader i biltäthet, t ex mellan öst- och västländer.

Det kan i detta sammanhang vara intressant att konstatera, trots att det inte påverkade föroreningsepisoden 2-4 februari, att ytterligare en period med extremt kallt väder inträffade strax innan - i mitten av januari 1987. Av figur 9 framgår att nattemperaturen under 11-15 januari var omkring -20°C i Centraleuropa, vilket medförde mycket stora svavelutsläpp. Vid det tillfället fördes dock föroreningarna främst västerut. Mycket höga föroreningshalter uppträdde i bl a Holland (Steenkist, 1987).



FIGUR 9. Nattemperaturen i Berlin, Prag och Warszawa under perioden 1-20 januari 1987.

4. EPISODENS FÖRLOPP I SVERIGE - Transport, spridning och föroreningshalter

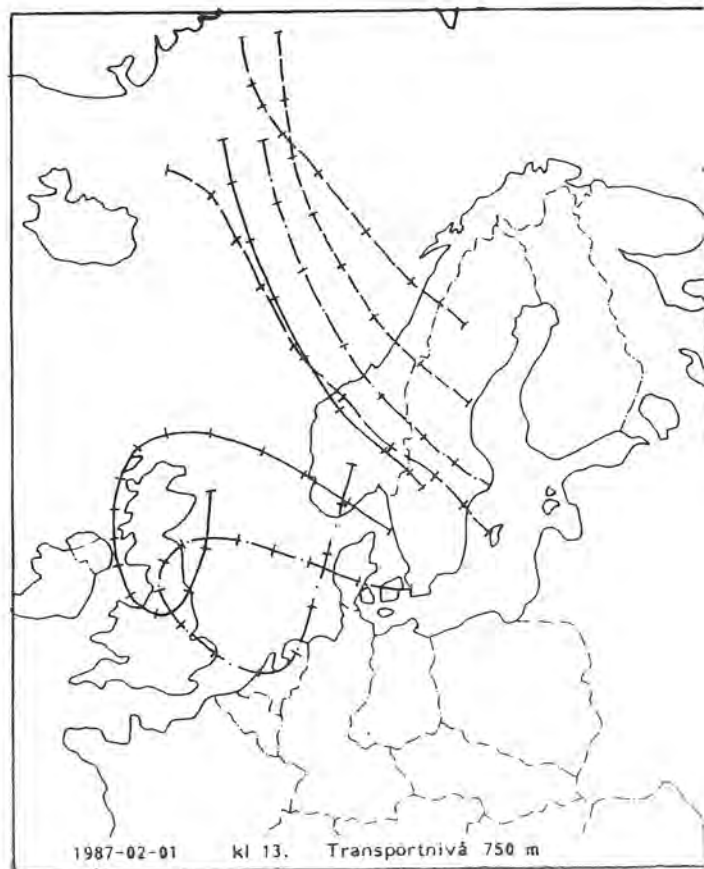
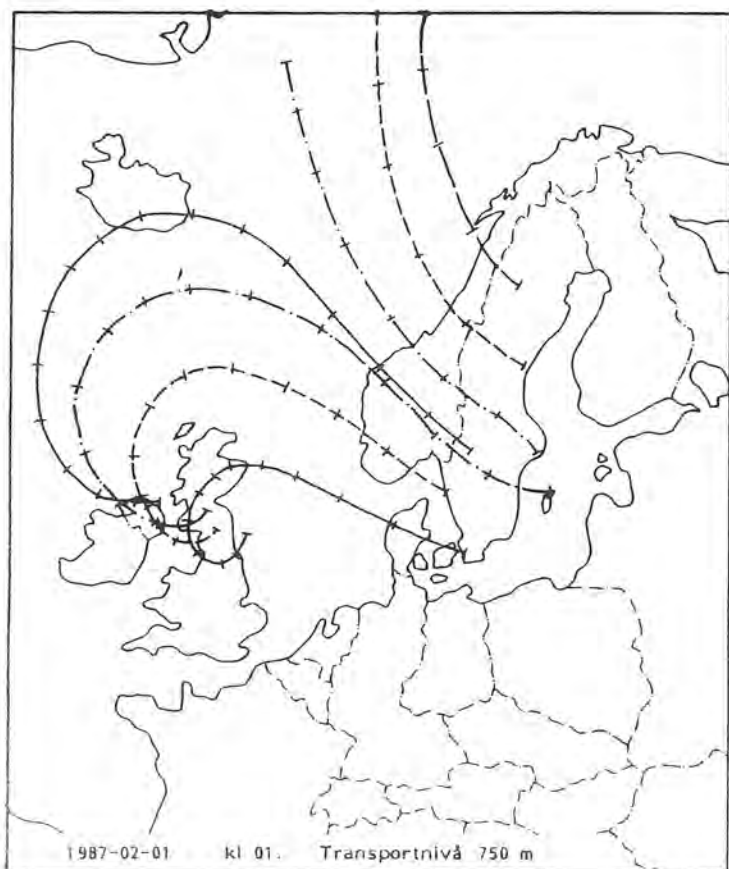
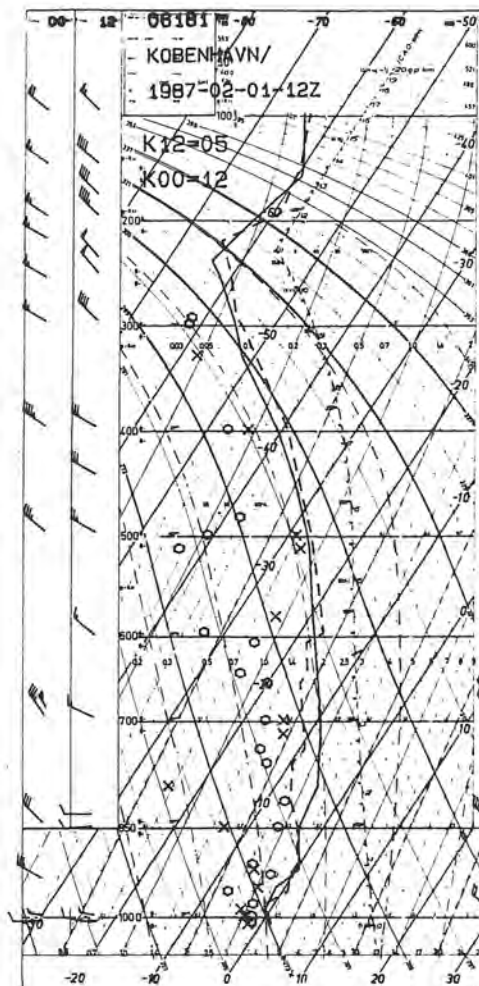
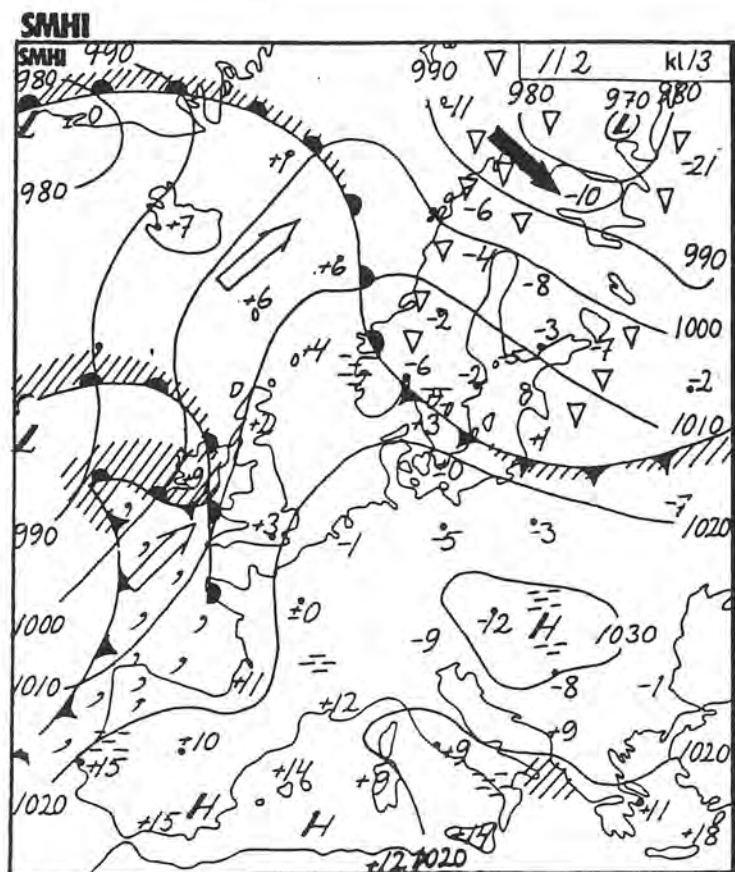
Transportvägen för föroreningar nära marken bestäms av vindförhållandena i gränsskiktet (det välblandade skiktet närmast marken) och hur vinden där varierar geografiskt och i tiden. Under transporten sker en större eller mindre turbulent spridning av föroreningarna både horisontellt och vertikalt. En del av föroreningarna omvandlas kemiskt och/eller deponeras på den mark- eller havsyta, som den förorenade luften blåser över. Storleken på såväl den turbulenta spridningen som depositionen beror i hög grad på de rådande väderförhållandena.

Teoretiskt kan föroreningars transportväg beräknas med hjälp av trajektorier. För att sådana beräkningar skall ge ett riktigt resultat fordras, utöver en korrekt information om det horisontella vindfältet, att den vertikala fördelningen av föroreningarna är känd och att trajektorierna beräknas för just de nivåer föroreningarna befinner sig i. Det är speciellt viktigt i detta fall, då föroreningarna under episoddagarna befann sig i ett ganska grunt gränsskikt.

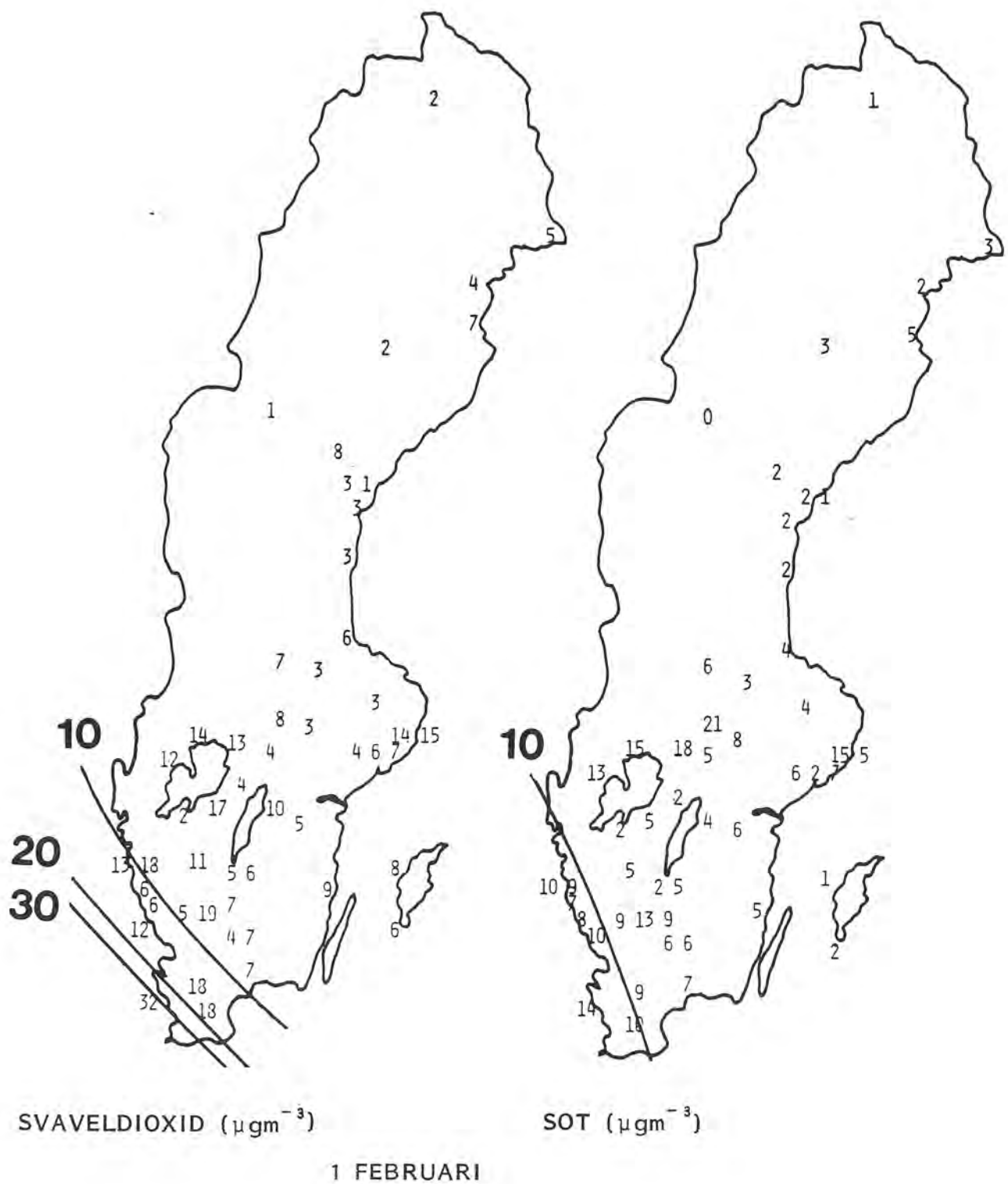
Högtryckssituationen över Centraleuropa i slutet av januari och de första dagarna av februari innebar mycket dåliga spridningsförhållanden för utsläppta luftföroreningar på grund av svaga vindar och mycket liten turbulent omblandning såväl horisontellt som vertikalt. Det senare orsakades av att den vertikala temperaturskiktningen var mycket stabil, ofta med en inversion i nivån 500–1 000 m, som effektivt förhindrade spridning till högre höjder. Stora mängder luftföroreningar samlades i det lägsta skiktet av atmosfären (gränsskiktet) under inversionen.

För denna studie har trajektorier beräknats för den vid varje tillfälle bedömda dominerande transportnivån inom gränsskiktet. I flertalet fall har nivån bedömts ligga någonstans mellan 400 m och 900 m höjd. Trajektorierna är mottagarorienterade med ankomsttid kl 00 och 12 UT varje dag och de sträcker sig 4 dygn bakåt i tiden. Trajektorier har beräknats för Malmö, Göteborg, Visby, Karlstad, Stockholm, Sundsvall och Storuman. Sönderingsdiagram, som visar den vertikala temperaturskiktningen och vindens variation med höjden, har legat till grund för bedömning av relevant trajektorienivå.

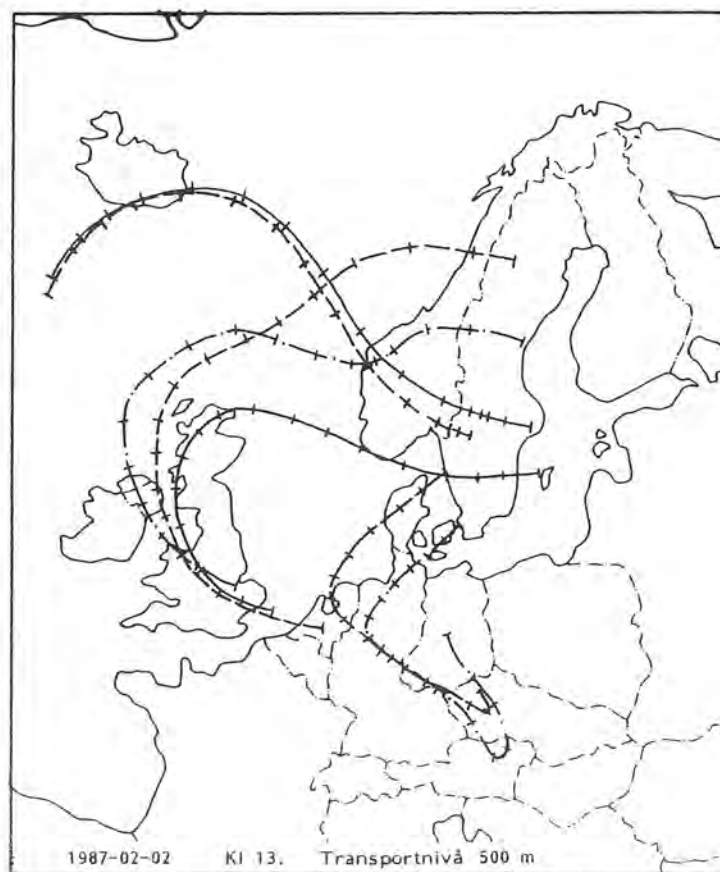
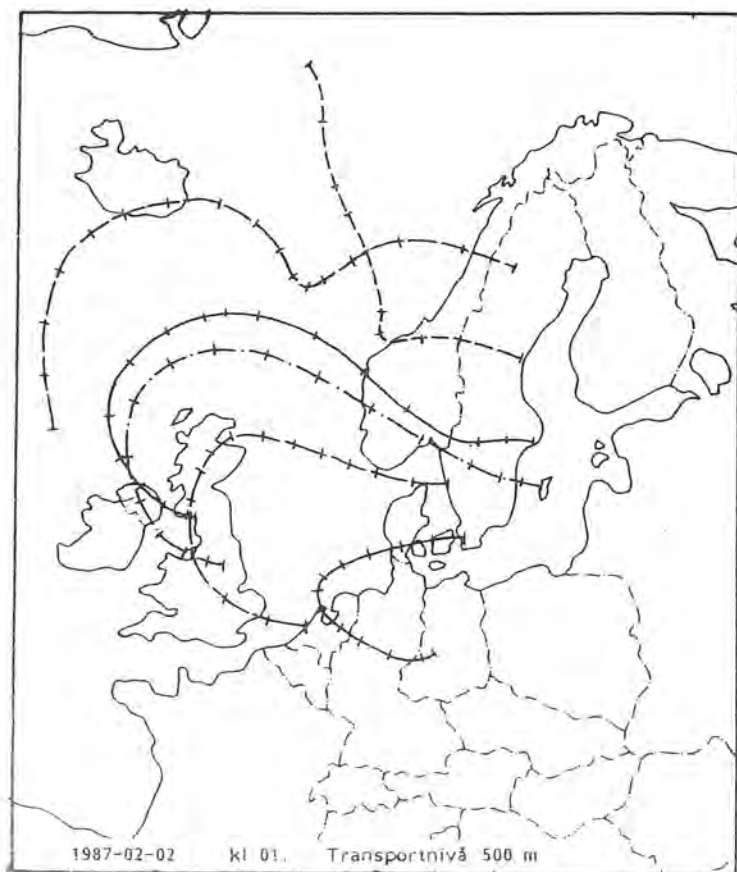
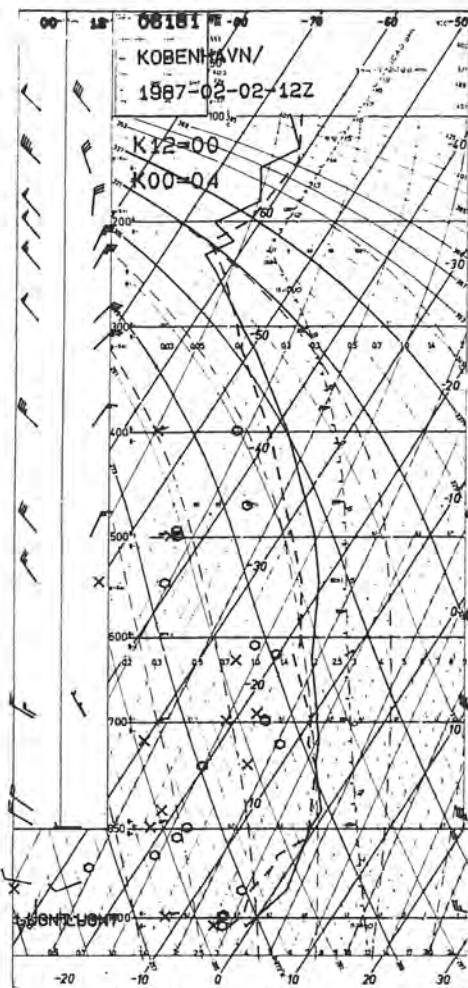
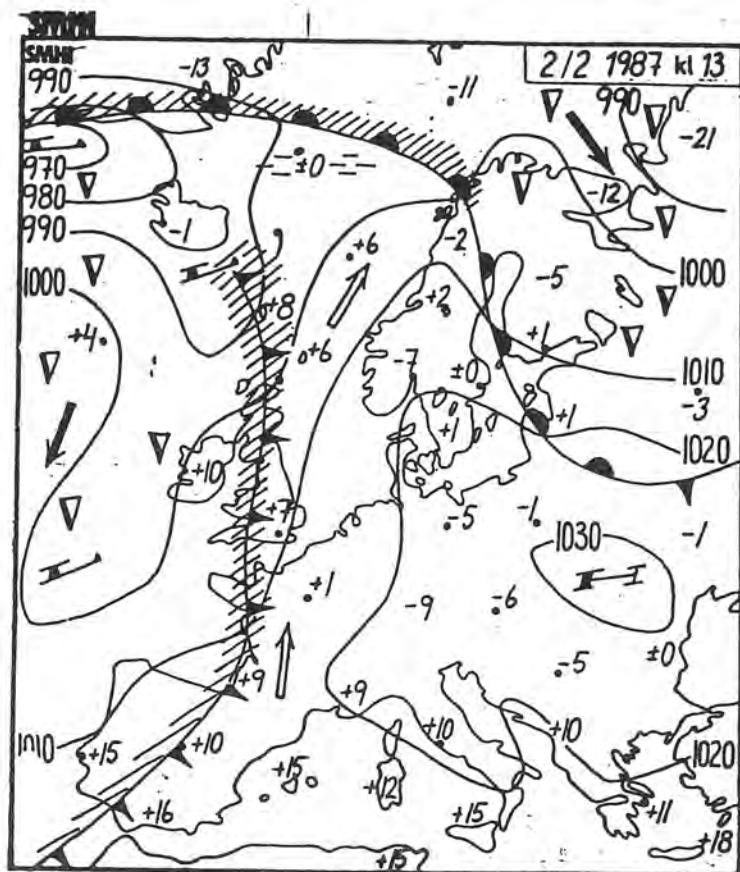
I figurerna 10–15 har luftföroreningsepisoden sammanställts dygn för dygn vad avser väderinformation, föroreningarnas transportvägar till olika delar av Sverige under de aktuella dagarna samt aktuella föroreningshalter av SO_2 och sot över Sverige. Den luft som strömmade in över Sverige den 1 februari kom, vilket framgår av figur 10, från Nordsjön eller Norska Havet och föroreningsnivåerna var låga i Sverige. Den 2 februari kl 01 visar trajektorierna att luft från områden med stora föroreningsutsläpp i norra Tyskland och Danmark började nå sydligaste Sverige. Senare samma dag strömmade förorenad luft även upp över Västkusten, medan östra Götaland fortfarande fick in ren luft från Nordsjön. Detta syns i figur 11 b i förhöjda sothalter vid väst- och sydkusten den 2 februari (Rörvik $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Vavihill $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Under detta dygn steg även svaveldioxidhalterna kraftigt i Skåne (Helsingborg $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Vavihill $311 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dessa dygnsmedelvärden är sinsemellan förskjutna 7 timmar i tiden (provbyte kl 00⁰⁰ resp 07⁰⁰) och antyder att mycket höga halter förekom mellan dessa klockslag den 3 februari. Vi ser av figurerna 4 a och 4 b, vilka visar svavelemissionerna, att mycket stora svavelutsläpp



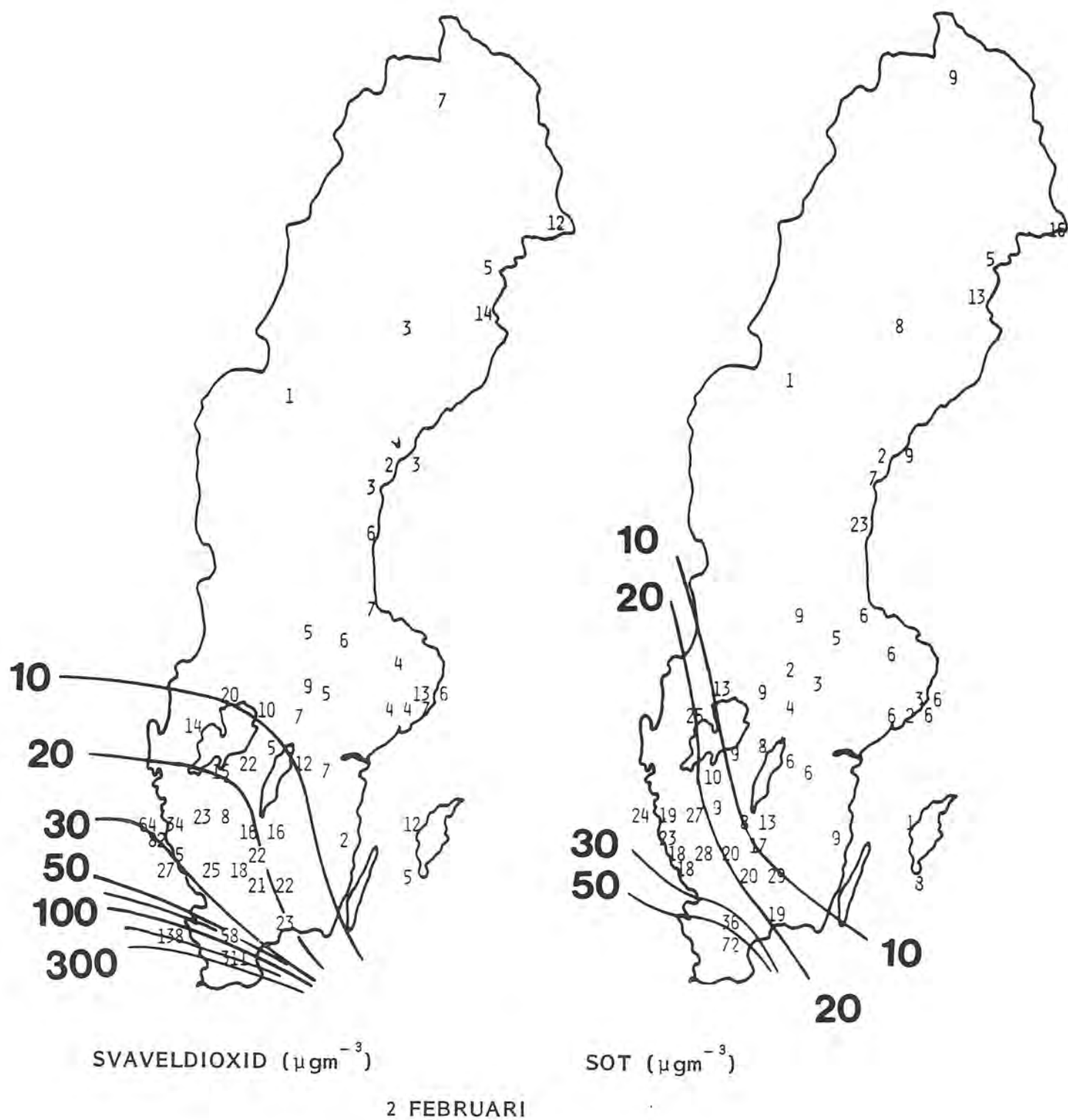
FIGUR 10 a. Meteorologisk information för den 1 februari: (överst t v) förenklad väderkarta över Europa, (överst t h) temperatursonderingar från Köpenhamn inritade i s k sonderingsdiagram. Hjälpdragen kurva avser temperatursonderingar för den tidpunkt som anges i diagrammet, streckad kurva avser sonderingen 12 timmar tidigare. Vindinformationen, som ges till vänster i diagrammet, illustrerar varifrån vinden blåser och vindhastigheten. Hel "flagga" = 5 m/s och halv flagga = 2.5 m/s, (nederst) beräknade mottagarorienterade trajektorier kl 01 och kl 13.



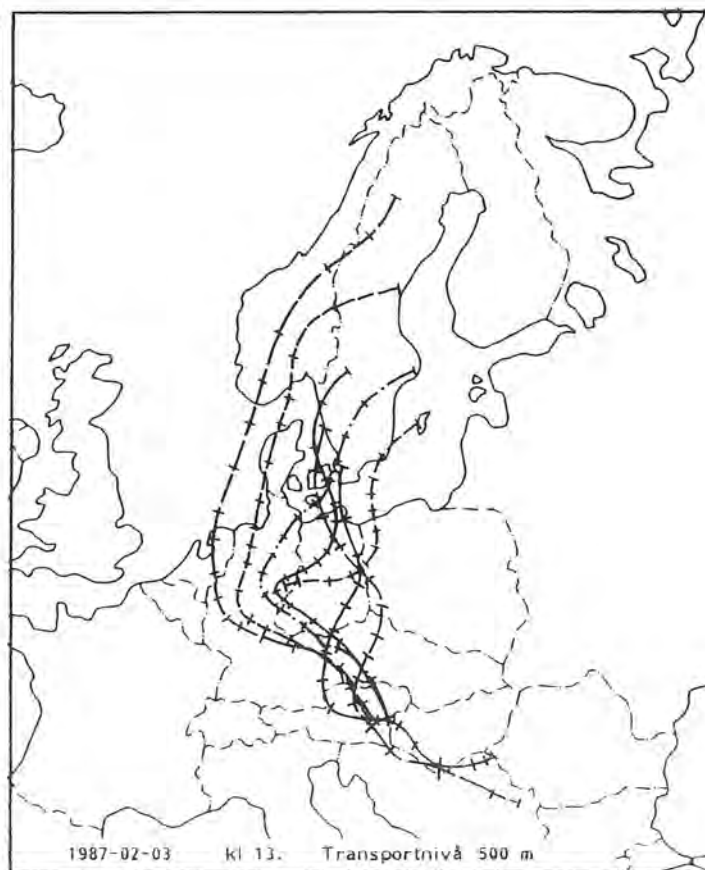
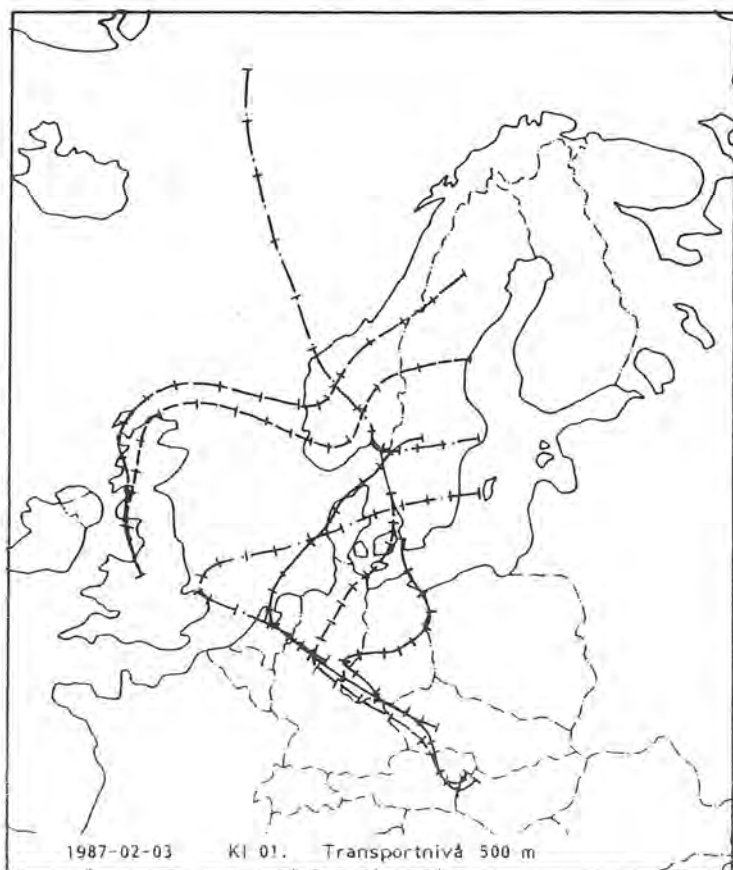
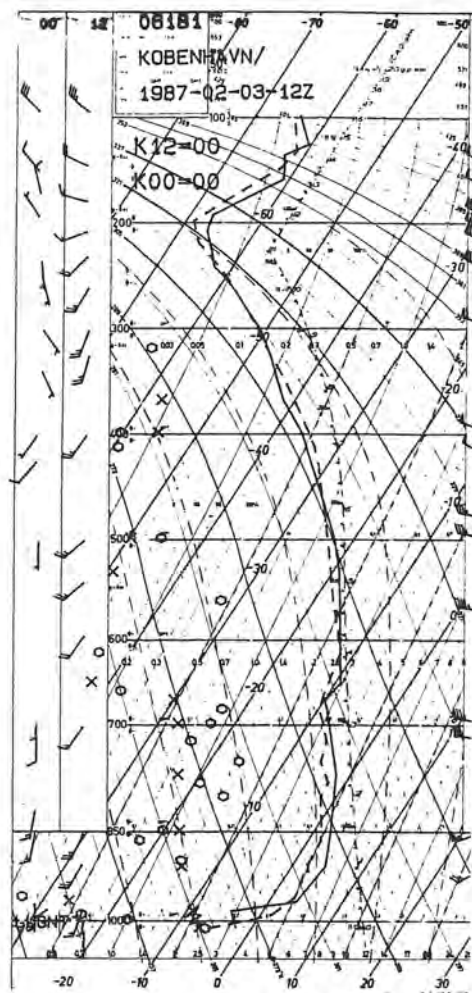
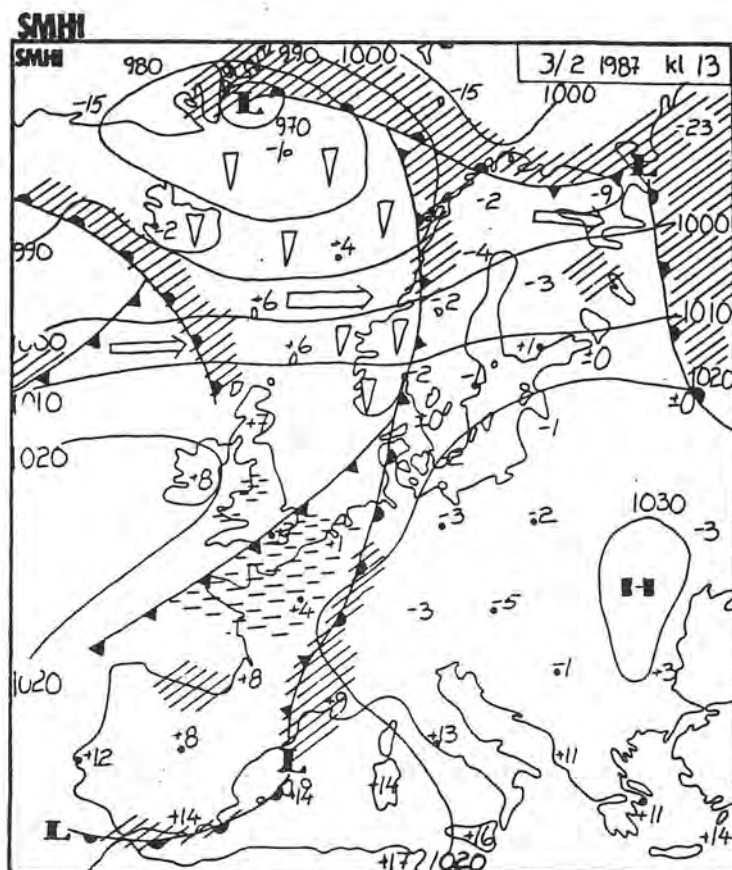
FIGUR 10 b. Uppmätta dygnsvärden (μgm^{-3}) av svaveldioxid (SO_2) och sot för 1 februari.



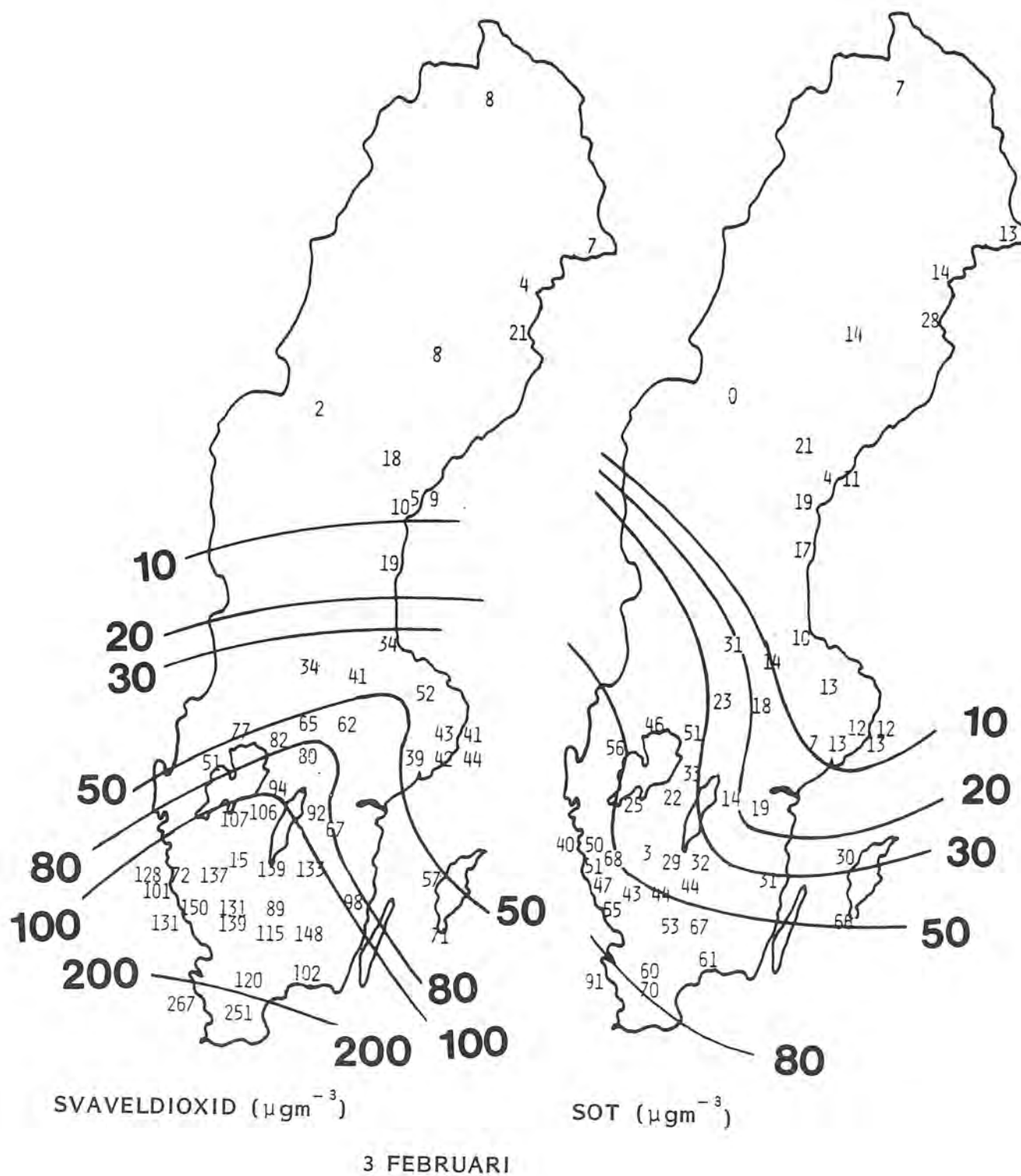
FIGUR 11 a. Samma som figur 10 a för den 2 februari.



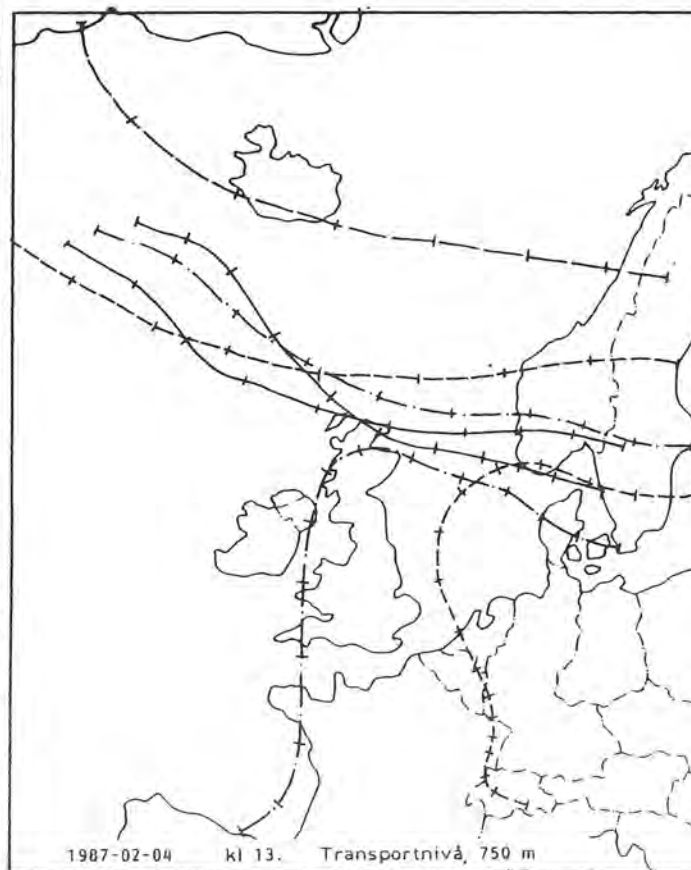
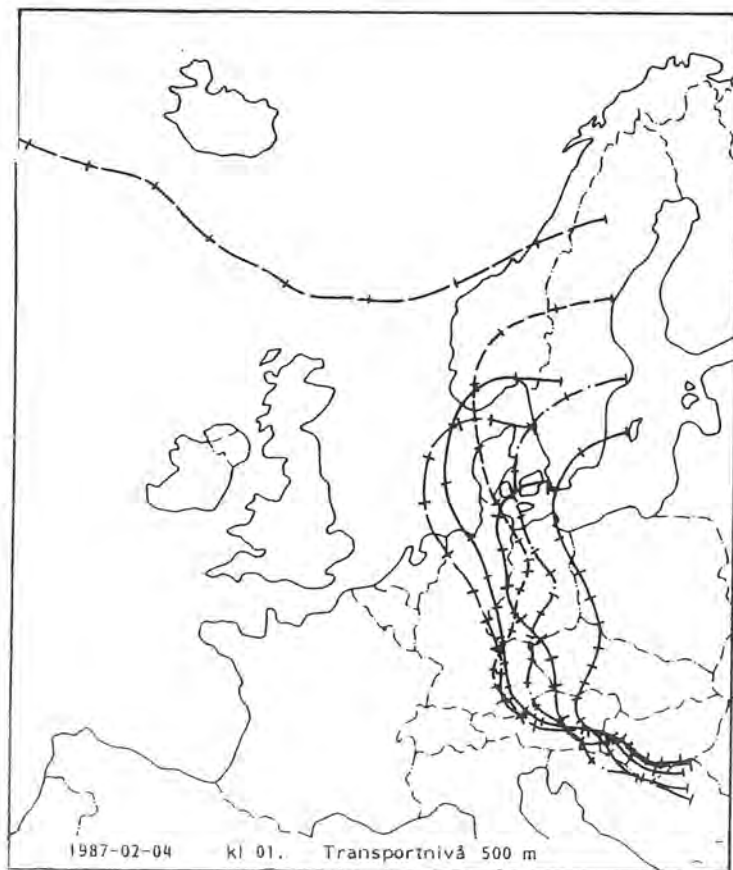
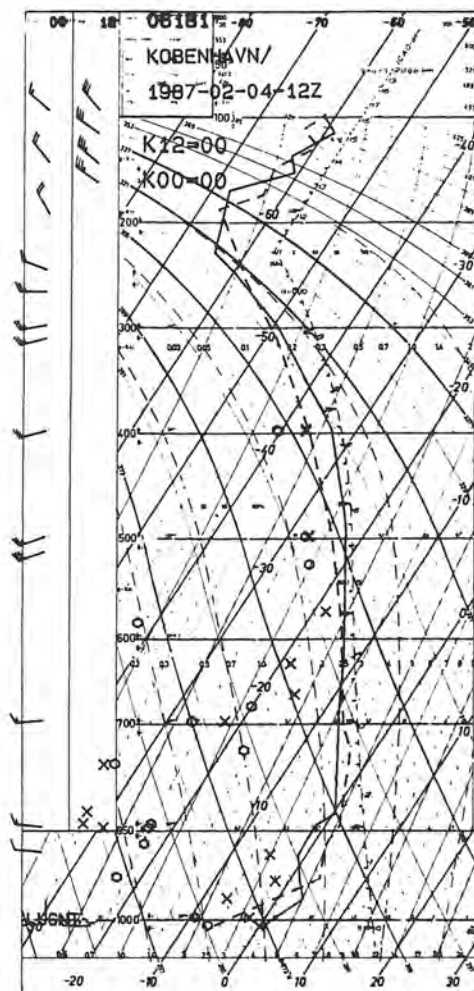
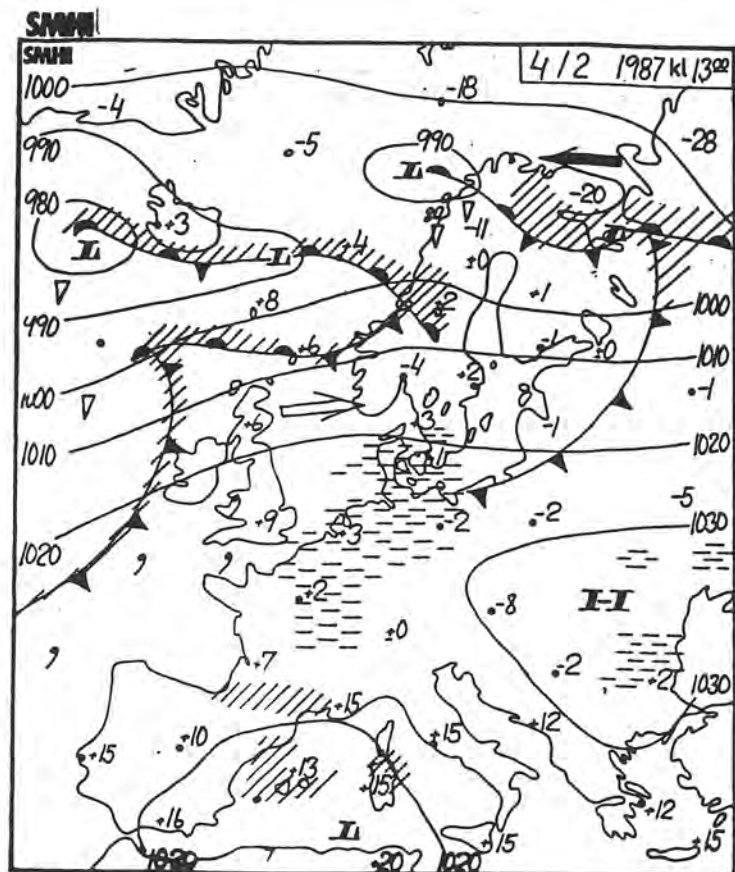
FIGUR 11 b. Uppmätta dygnsvärden (μgm^{-3}) av svaveldioxid (SO_2) och sot för 2 februari.



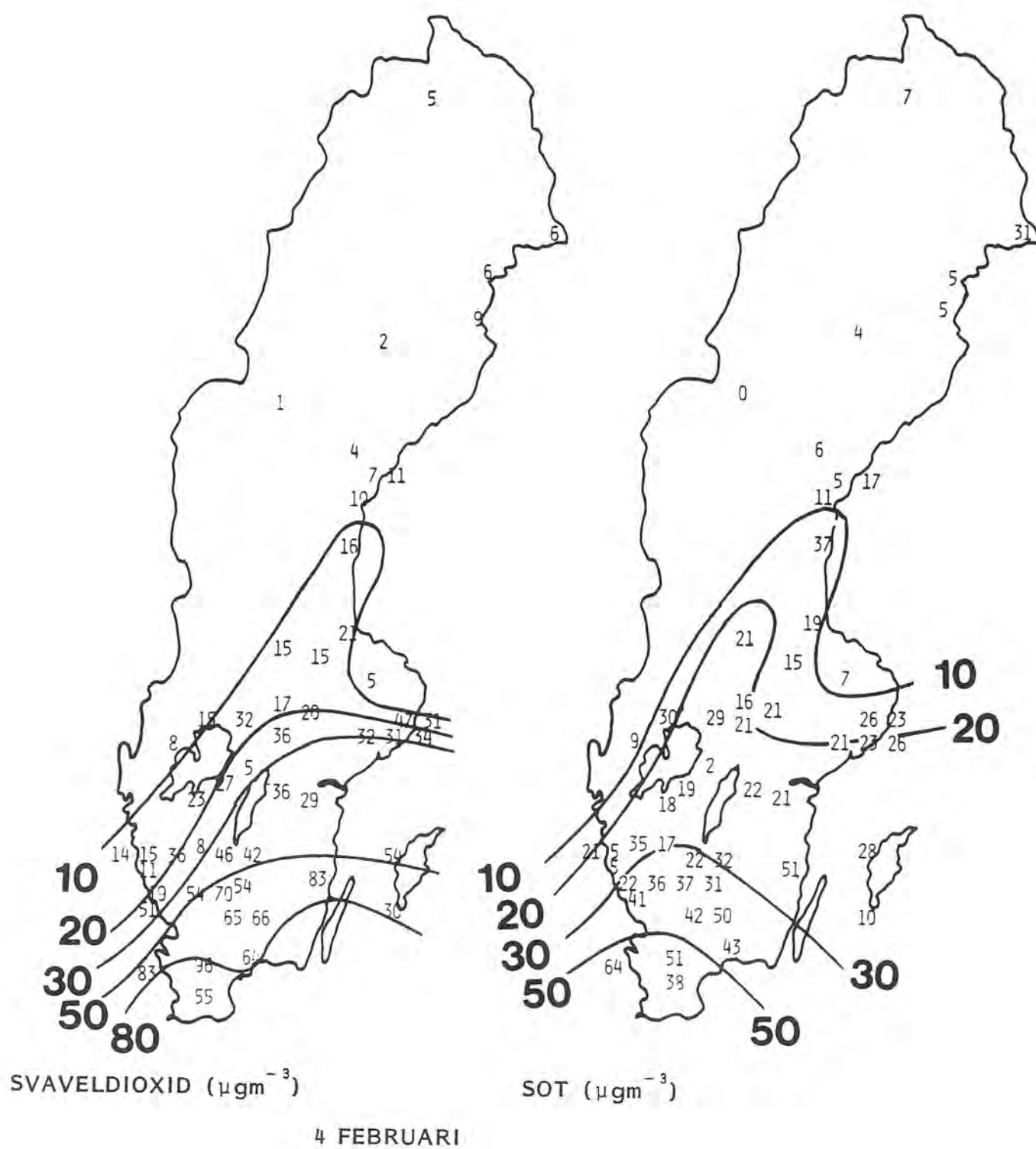
FIGUR 12 a. Samma som figur 10 a för den 3 februari.



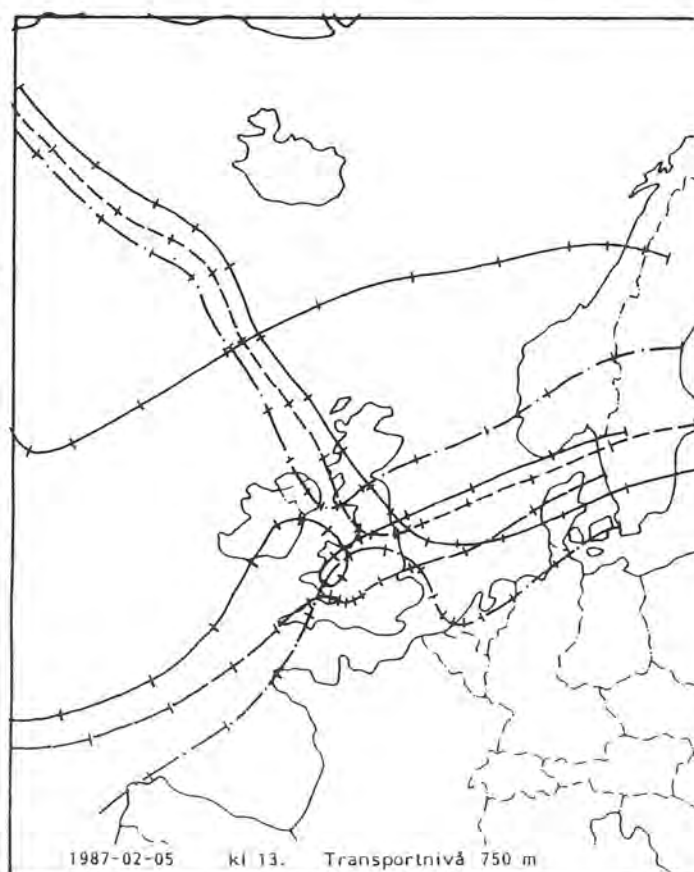
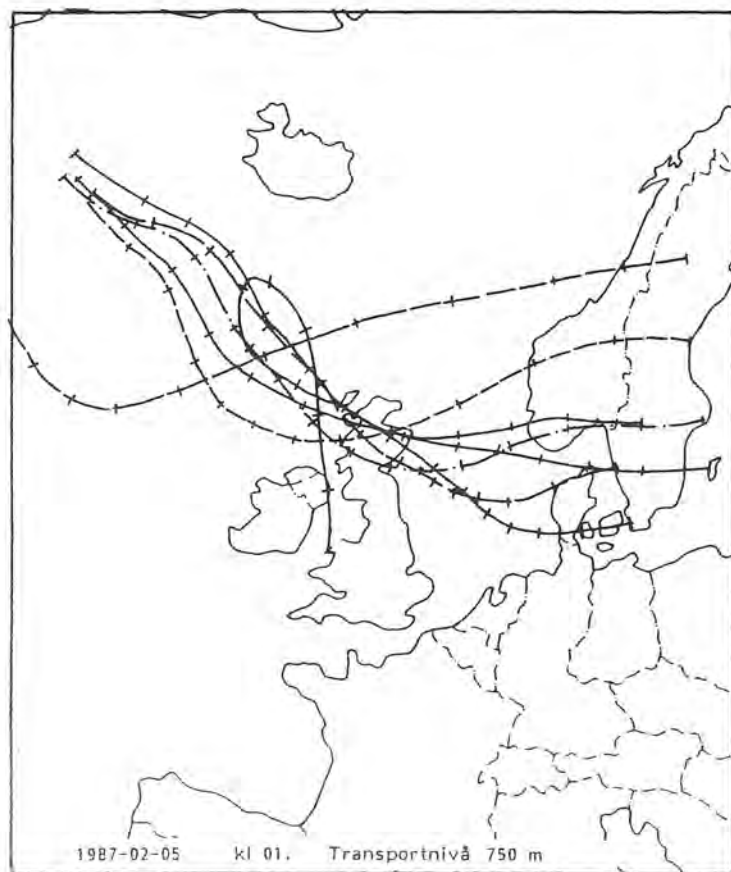
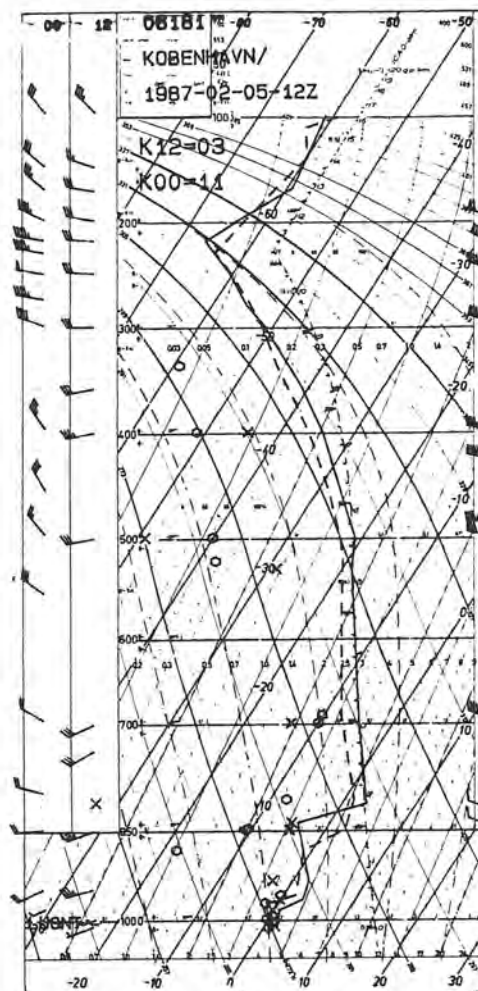
FIGUR 12 b. Uppmätta dygnsvärden (μgm^{-3}) av svaveldioxid (SO_2) och sot för 3 februari.



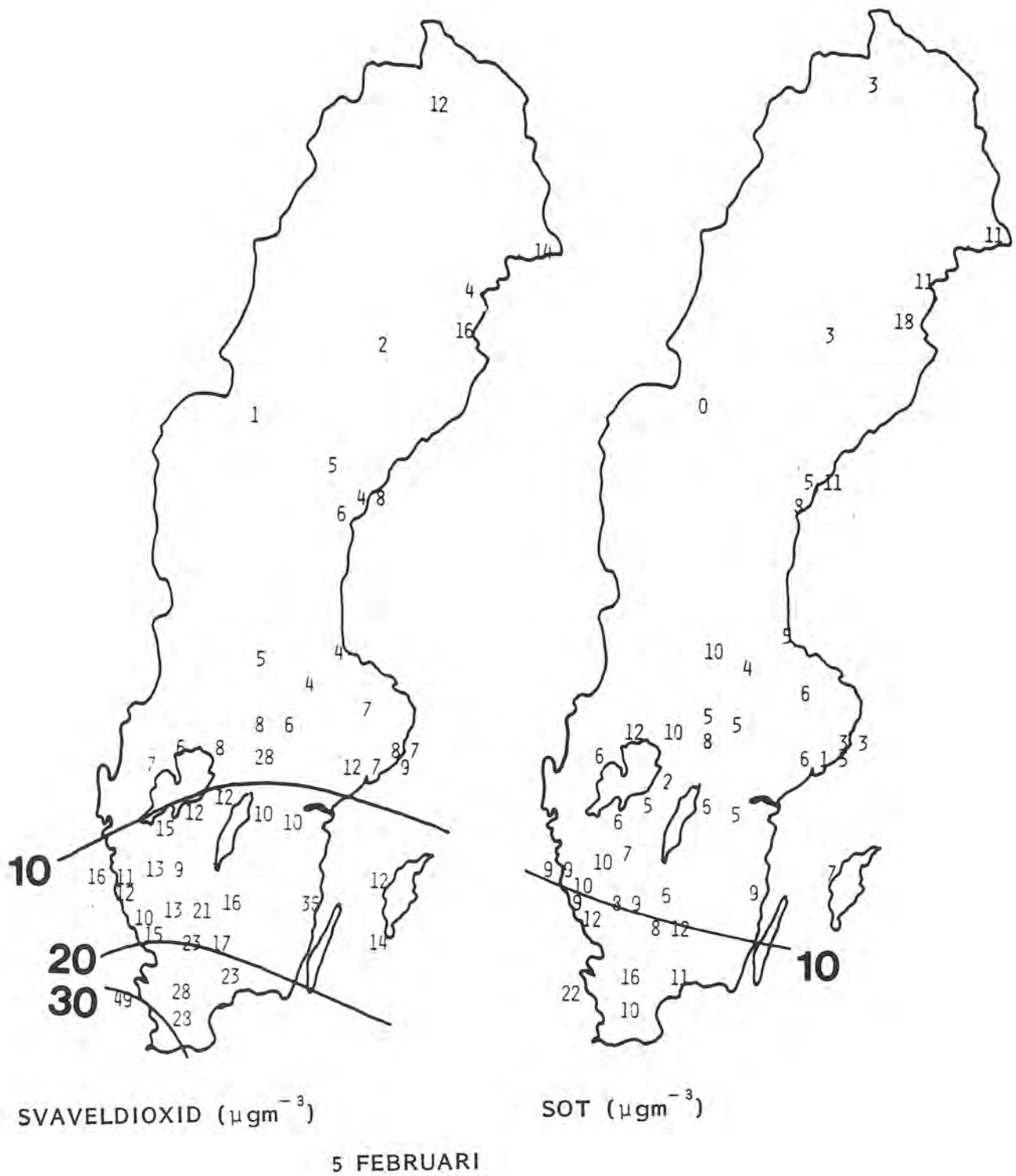
FIGUR 13 a. Samma som figur 10 a för den 4 februari.



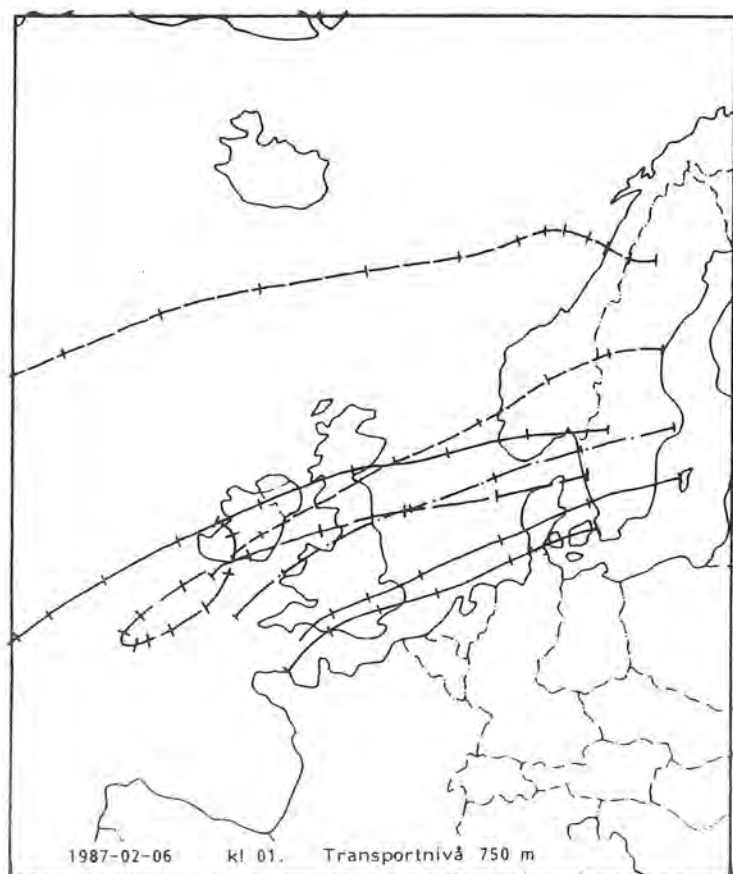
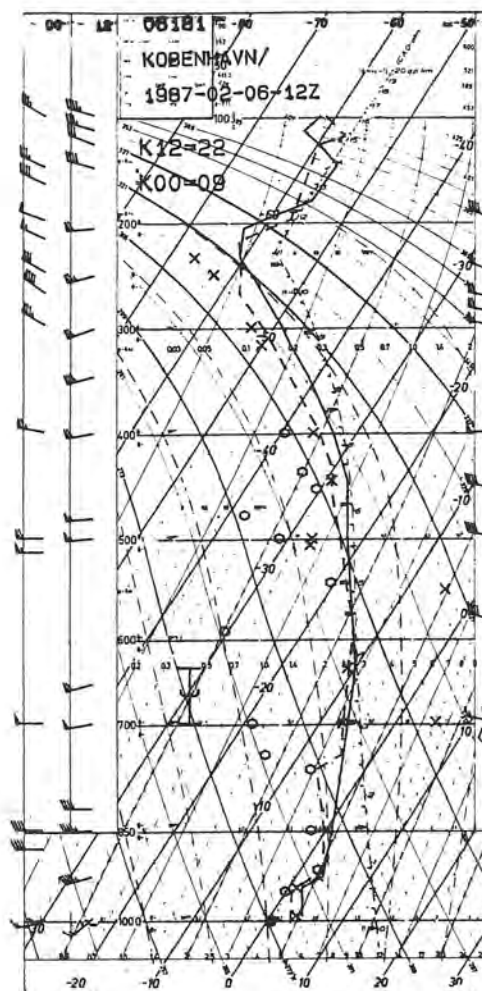
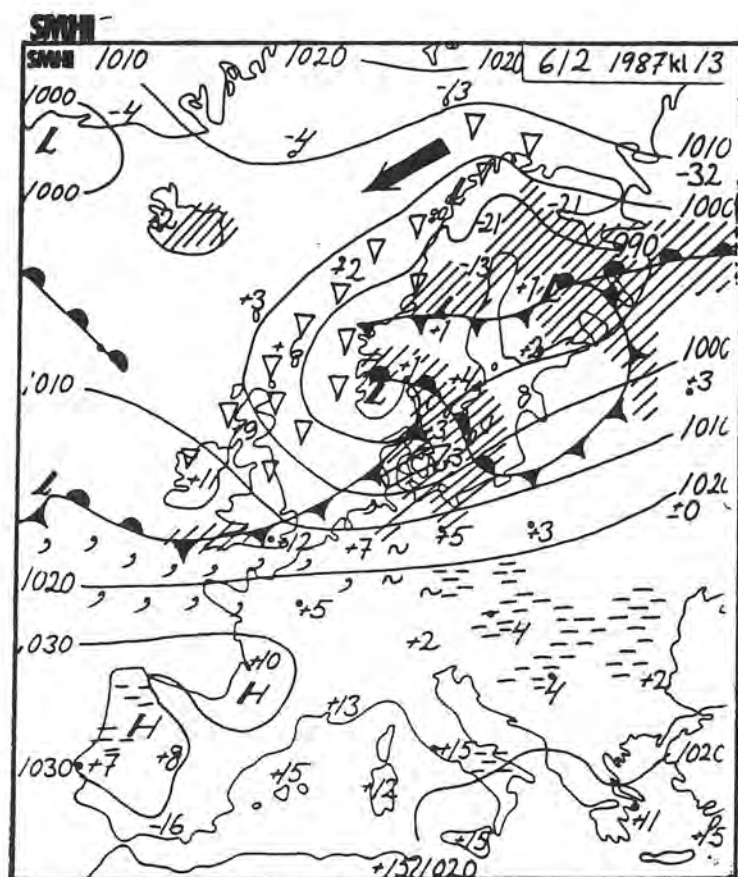
FIGUR 13 b. Uppmätta dygnsvärden (μgm^{-3}) av svaveldioxid (SO_2) och sot för 4 februari.



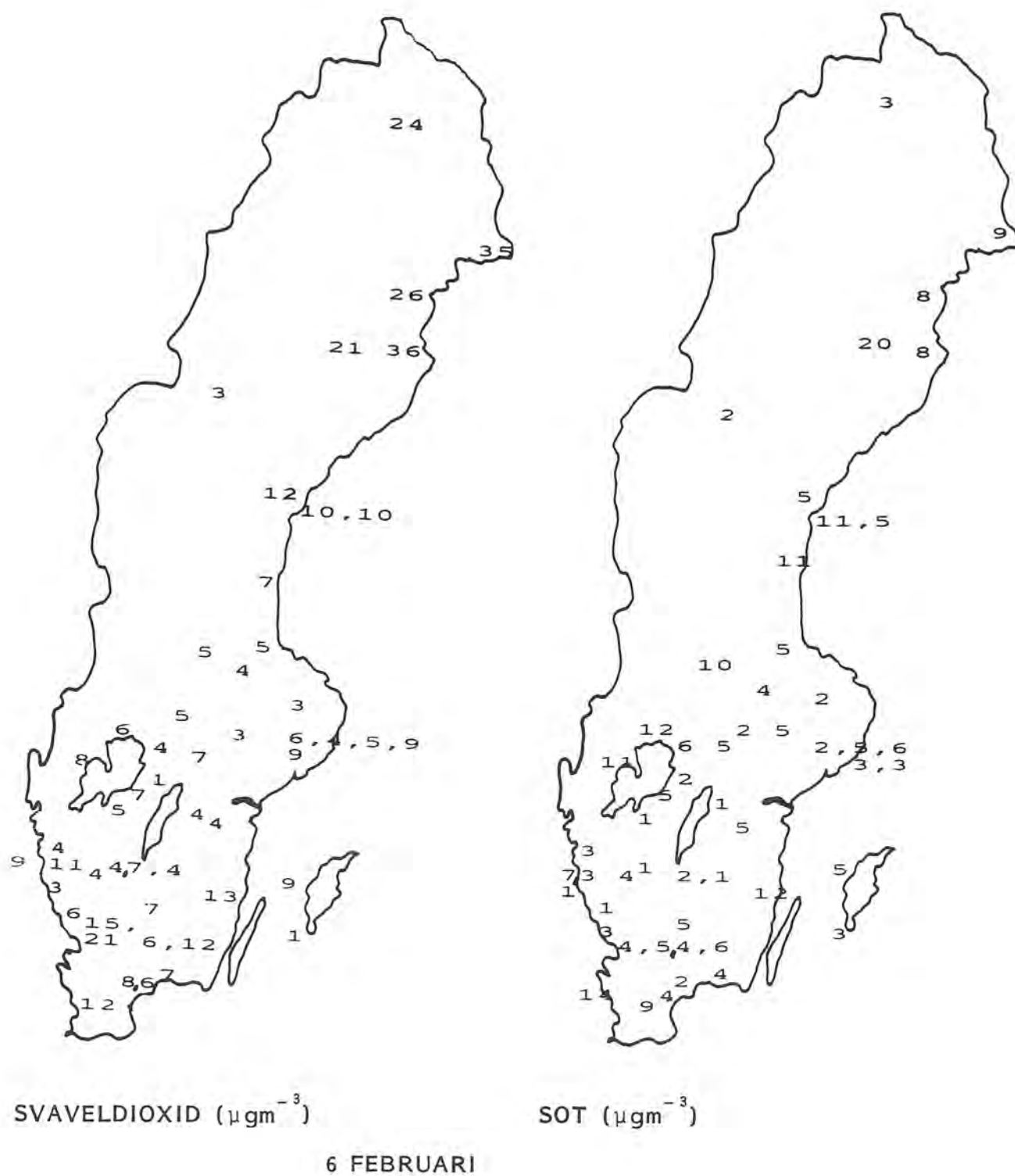
FIGUR 14 a. Samma som figur 10a för den 5 februari.



FIGUR 14 b. Uppmätta dygnsvärden (μgm^{-3}) av svaveldioxid (SO_2) och sot för 5 februari.



FIGUR 15 a. Samma som figur 10 a för den 6 februari.



FIGUR 15 b. Uppmätta dygnsvärden (μgm^{-3}) av svaveldioxid (SO_2) och sot för 6 februari.

hade påverkat den luft som strömmade in över sydligaste Sverige under eftermiddagen den 2 februari. Jämför gärna emissionerna i de berörda områdena i Centraleuropa med de som anges för t ex Stockholmsområdet.

Även den 3 februari strömmade luft in över södra Sverige, som enligt figurerna 4 b - 4 e kraftigt påverkats av utsläpp i Centraleuropa. Trajektorieberäkningarna visar en direkttransport även till Svealand från Centraleuropa. Mycket höga föroreningshalter uppmättes i södra Sverige, enligt figur 12 b, och föroreningsnivån var hög också i Svealand.

Den långväga transporten av föroreningar från Centraleuropa kan mycket väl förklara de observerade höga svaveldioxid- och sothalterna enligt figurerna 11 och 12. Det är viktigt att notera att transporten till södra Sverige av förorenad luft från Centraleuropa under hela episoden skedde över kalla landområden eller istäckt hav. Den vertikala temperaturskiktningen förblev därigenom stabil i den lägsta kilometern av atmosfären under hela transporten, vilket medförde att utspädningen var mycket liten. Det innebär att föroreningshalterna förblev höga i gränsskiktet även på stora avstånd från källorna. Det är viktigt att observera att stabil skiktning är en förutsättning för att riktigt höga föroreningshalter ska kunna uppträda i samband med en långväga transport av detta slag. Den stabila skiktningens betydelse illustrerades också tydligt i samband med Tjernobylyolyckan, då höga halter av radioaktivitet i luften nådde Sverige efter ca 1 500 km transport (Persson m fl, 1987).

För att exemplifiera den ringa utspädningen av föroreningarna under transporten vid denna episod kan vi välja den 3 februari. Till sydligaste Sverige strömmade upp luft från Östtyskland. På den skånska landsbygden uppmättes då över $300 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ som dygnsvärde, medan dygnshalten var ca $600 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ då samma luft befann sig över Berlin (Steenkist, 1987).

Trajektorierna i figur 12 a, visar att även luften över Norrland under en del av den 3 februari hade sitt ursprung i Centraleuropa. Påverkan från de stora källområdena på kontinenten var där kortvarig. Dessutom skedde denna transport under $\frac{1}{2}$ -1 dygn över Nordsjön där havsyttans temperatur var betydligt högre än för omgivande landområden. Det medförde en kraftig labilisering av den vertikala temperaturskiktningen och en betydande omblandning och utspädning av den förorenade luften. De uppmätta halterna av sot- och svaveldioxid i Norrland, vilka framgår av figur 12 b, visade därför inte någon större påverkan från långtransport under 3 februari.

Under natten och morgonen den 4 februari nåddes fortfarande Götaland och Svealand (se figur 13) av mycket förorenad luft från Centraleuropa. Senare på dagen, med början i de västra delarna, visar trajektorierna att luft från väster strömmade in, som i betydligt mindre utsträckning påverkats av föroreningsutsläpp.

Den 5 februari var föroreningsepisoden slut. Svaveldioxid- och sothalterna i Syd- och Mellansverige var åter "normala".

I samband med studier av Tjernobylyolyckan gjordes en grov uppskattning av sannolikheten för att långväga atmosfärisk föroreningstransport sker från kontinenten till Sverige (Persson m fl, 1986). En sådan uppskattning kan ha viss relevans även i detta sammanhang. Vi nöjer oss

dock här med att konstatera att sannolikheten för måttligt stabil skiktning under transporten uppskattades till ca 20% i genomsnitt. Sannolikheten för mycket stabil skiktning över såväl land som hav, som var fallet i den ovan beskrivna episoden, är givetvis betydligt mindre. Vid transport söderifrån över Östersjön inträffar den stabila skiktningen främst under vinter, vår och försommar då havsytans temperatur är låg i förhållande till lufttemperaturen.

5. DISKUSSION AV FÖRORENINGSHALTERNA

Svaveldioxid

Under de senaste åren har SO_2 -halter i tätortsluft större än $300 \mu\text{g m}^{-3}$ endast uppmätts vid enstaka tillfällen och då i speciellt utsatta mätpunkter nära föroreningsutsläpp och vid mycket ogynnsamma spridningsförhållanden. Vanligtvis underskrids även det föreslagna skärpta riktvärdet för dygnsmedelvärden av SO_2 ($150 \mu\text{g m}^{-3}$) med god marginal.

De svaveldioxidhalter som observerats i södra Sverige under tiden 2-4 februari kan således genomgående betraktas som höga. Beträffande resultaten vid Vavihill är de båda extremt höga värdena 311 resp 265 $\mu\text{g m}^{-3}$ unika också så tillvida att det är första gången sådana nivåer uppmätts inom EMEP-nätet (1978-1986) i svenska bakgrundsområden.

SO_2 -halterna som dygnsmedelvärde under både den 3 och 4 februari uppvisar kraftiga gradienter. Halterna minskar från söder till norr och från väster till öster.

Kvoten SO_2/NO_2 är både vid bakgrunds- och urbanstationerna högre än vanligt. En orsak till denna ökning i kvoten är säkerligen att luftmassorna i stor utsträckning härstammade från Östeuropa där SO_2 -utsläppen är höga i jämförelse med NO_x -utsläppen. Östeuropa har stor förbränning av kol med stora emissioner av SO_2 , medan biltrafiken och den därmed sammanhängande NO_x -emissionen är liten. Vid de låga temperaturer som rådde ökade dessutom förbränningen i förhållande till biltrafiken. Ytterligare en orsak till den höga SO_2/NO_2 -kvoten kan vara att flera av de kemiska reaktionerna som omvandlar SO_2 till sulfat och NO till NO_2 var långsamma beroende på antingen låg temperatur, låg ozonhalt eller mycket liten fotokemisk aktivitet. Såväl en långsam omvandling av SO_2 som en långsam bildning av NO_2 medför en ökning av kvoten. Torrdepositions hastigheten för SO_2 är dessutom mycket liten då marken är snötäckt och minusgrader råder. Under den studerade episoden var alltså sänkprocesserna för atmosfäriskt SO_2 mindre effektiva än normalt, vilket kom att förstärka de höga SO_2 -halterna på stora avstånd.

De observerade SO_2 -halterna är till största delen av regionalt ursprung. Detta framgår bl a från en jämförelse mellan halterna vid närbelägna tätorts- och bakgrundsstationer. I så gott som hela området som berörs av episoden den 3 februari tycks de lokala bidragen till SO_2 -halten variera mellan mindre än 5 till ca $10 \mu\text{g m}^{-3}$. På några enstaka stationer i anslutning till industrier kan lokala bidrag upp till $30 \mu\text{g m}^{-3}$ antas föreligga. I stort sett kan man vid totala föroreningsnivåer på kring $100 \mu\text{g m}^{-3}$ således bortse från det lokala bidraget. I den allra sydligaste delen av landet är det dock omöjligt att direkt ur mätdata utläsa vilka lokala bidrag som föreligger eftersom föroreningsgradienten är kraftig. Tidsförskjutningen mellan renluftsmätningarna och urbanluftsmätningarna försvårar också denna bedömning. Säkerligen är dock det lokala bidraget litet även där.

Sot

Förhöjda sothalter observerades i stora delar av landet - från Sydsverige upp till Gävletrakten - den 3 och 4 februari.

Också för sothalterna är de lokala bidragen på de flesta platser sannolikt små. I tätorterna i södra och västra Sverige kan de lokala bidragen i allmänhet uppskattas till mindre än $5 \mu\text{g m}^{-3}$. I Stockholmstrakten, med en total sothalt den 3 februari kring $10 \mu\text{g m}^{-3}$, bedöms ca 50% vara lokalt.

Största delen av de uppmätta sothalterna härrör alltså från långväga källor. Uppskattade isolinjer för sot visar ett något annorlunda mönster än för SO_2 . Kvoten SO_2/sot visar att fördelningen SO_2 och sot inte är likformig över landet. Möjligen har sotet delvis ett något annorlunda ursprung.

Kvävedioxid

Även förhöjda NO_2 -halter kunde observeras 2-4 februari såväl i tätorter som i renluftsområden. NO_2 uppvisar dock inga gradienter som liknande de för SO_2 och sot. Detta tyder på en avsevärt större andel av lokalt producerad NO_2 . Studier av de enskilda mätvärdena i tätorter jämfört med bakgrundsluft och på flera stationer i samma tätort indikerar att det lokala NO_2 -bidraget uppgår till ca 50% i södra och mellersta Sverige. I norra Sverige är de lokala bidragen helt dominerande, mer än 90%.

6. FÖRORENINGSEPIDODEN VISAR

Episoden 2-4 februari var mycket allvarlig även med europeiska mått mätt. Att episoden var kraftig framgick bl a av de föroreningslarm som kom från några storstäder i norra Tyskland (t ex Berlin och Hamburg). Att den blev så omfattande beror på spridningssituationen i kombination med att de låga temperaturerna medförde mycket stora emissioner. Det finns inte några detaljerade data på hur emissionerna i Europa beror av temperaturen men som visas av figur 5 blir utsläppen under kalla situationer avsevärt större än de årsmedelemissioner som normalt används vid studier av föroreningstransport.

Episoden fäster också uppmärksamheten på följande. Trots vår kunskap om svavelproblemen och dess orsaker så finns det källområden i Europa, där utsläppssituationen av svaveldioxid snarare är sämre idag än för 15-20 år sedan, när de första larmen kring svavlets långdistanstransport och effekter kom. Trots att vi idag i en ökande utsträckning pekar på problemen med kvävedioxider och andra luftföroreningar kan vi konstatera att svavelproblemet är långt ifrån löst.

Mätningarna pekar också på behovet av en långsiktig bevakning av luftkvaliteten i ett sammanhållet nät. Tack vare det aktuella stationsnätet kunde en sammanhängande bild av episoden erhållas. Inte ens den stationstäthet som nu förelåg (nära 50 mätstationer i Sverige) är dock tillräckligt för att i detalj se strukturen i episoden. Tidsupplösningen skulle också behövt ha varit bättre på några platser. Redovisningen ger dock en mer detaljerad bild av en episod än vad som hittills varit möjligt att få.

7. FÖRSLAG TILL SYSTEM FÖR PROGNOSENING OCH KARTLÄGGNING AV OMFATTANDE FÖRORENINGSEPIDODER

Episoder med kraftigt förhöjda halter av luftföroreningar uppträder då och då över Sverige. De meteorologiska förhållandena spelar vid dessa tillfällen stor roll för vilka föroreningshalter som förekommer och var och när de högsta halterna uppträder. Dels kan under vissa meteorologiska förhållanden stora mängder föroreningar transporteras över stora avstånd (> 1 000 km) varvid föroreningar från Centraleuropa kan nå Sverige (som var fallet i den ovan redovisade episoden), dels kan de meteorologiska betingelserna i andra situationer leda till kraftigt förhöjda halter av föroreningar lokalt kring utsläppskällorna.

Det är ur miljövårdsstrategisk synpunkt av stort intresse att klargöra betydelsen av dessa båda processer samt även belysa atmosfärkemiska processers inverkan under olika slag av föroreningsepisoder. I samhället finns också ett behov av prognoser av sådana föroreningsepisoder, samt omedelbar information om föroreningsläget i Sverige under tiden episoden pågår och prognoser av episodernas utveckling och upplösning. För detta behövs tillgång till ett riksomfattande nät av föroreningsstationer, samarbete med någon eller några kontinuerliga mätstationer i Europa samt meteorologisk information över Europa i realtid.

I föreliggande arbete har resultat från två olika typer av mätnät behandlats. Det ena utgör fem av de svenska stationerna inom EMEP-nätet där mätningar utförs i sk renluftsområden på stort avstånd från punktkällor och tätorter. Det andra omfattar 39 kommuner där mätningar genomförs i tätortens centrum men på något avstånd från storkällor, typ trafikleder och panncentraler. Dessutom har uppgifter från traditionella uppdragsmätningar i urban miljö resp från mätningar i kommuners egen regi ingått. Det skulle vara möjligt att väsentligt förbättra underlaget för en kartläggning av föroreningsepisoder genom att: 1) något utöka mätnätet, 2) göra det möjligt att snabbt samla in resultat från pågående mätningar samt 3) arbeta fram färdiga rutiner för mätdatabearbetning.

Genom att utforma en sådan insamling och koppla samman den med meteorologiska beräkningar av föroreningstransport kan ett system för kartläggning och prognosering av föroreningsepisoder erhållas. Internationellt utbyte av mätdata pågår i andra sammanhang och kan utgöra en länk i det föreslagna systemet när det gäller att beskriva luftmassans ursprungsegenskaper och transport.

Målet för ett sådant system skulle kunna vara att vid vissa kriterier ge:

- prognoser av föroreningsepisoder, ca 1 dygn i förväg, innan de uppträder
- kontinuerlig information om det aktuella föroreningsläget i Sverige under en episod
- prognoser avseende utvecklingen av föroreningsepisoden
- prognoser för när episoden upphör, ca 1 dygn i förväg
- omedelbar utvärdering av episodens karaktär

Ytterligare motiv

Lokala prognosystem för en enskild ort kan inte ta hänsyn till föroreningsepisoder orsakade av en långväga transport av luftföroreningar. Dessa prognoser kan härigenom förbättras.

Prognoser av föroreningsepisoder kan bl a utnyttjas inom miljövärdsforskningen för att initiera kompletterande provtagningar för totalutvärdering av episodens betydelse.

En snabb insamling av mätdata skapar förutsättningar för centraliserad information och bearbetning.

För att hantera den meteorologiska beredskapen på bästa sätt inom kärnkraftområdet, kommer system att utvecklas vars principiella utseende sammanfaller med det behov som finns inom området för konventionella föroreningar.

Behovet av att snabbt få ut objektiv och korrekt information under episoddygn är stort. Naturvårdsverket, länsstyrelser och kommuner torde exempelvis ha ett sådant intresse. Detta behov skulle kunna tillfredsställas med hjälp av ett system där såväl föroreningsmätningar över hela landet som meteorologisk information på lokal och europeisk skala ingår.

REFERENSER

Kållberg P, 1984: *Air parcel trajectories from analyzed or forecast wind-fields. Workshop on simplified dynamical models for short-range forecasting on the mesoscale.* Swedish Meteorological and Hydrological Institute.

Persson C, Rodhe H och De Geer L-E, 1987: *The Chernobyl accident - A meteorological analysis of how radionuclides reached and were deposited in Sweden.* Ambio Vol 16 No 1, 20-31.

Persson C, Rodhe H och De Geer L-E, 1986: *Tjernobylolyckan - en meteorologisk analys av hur radioaktivitet spreds till Sverige.* SMHI Meteorologi Nr 24

Steenkist R, N.V. KEMA, Holland: *Personlig kommunikation, 1987*

MÄTDATA - LUFTFÖRORENINGAR

Dygnsmedelvärden av svaveldioxid, kvävedioxid och sot har erhållits från mätstationer inom 42 tätorter i hela Sverige. Stationernas läge framgår av kartan. De flesta ingår i det s k "Urbanmätnätet" som är ett samarbetsprojekt mellan 38 kommuner och IVL. Dygnsmedelvärdena gäller kalenderdygn från kl 00⁰⁰ - 24⁰⁰. Dygnsmedelvärden för SO₂, NO₂ och sot har också hämtats från mätningarna inom det europeiska samarbetsprojektet EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) som drivs inom ECE för att studera långväga transport av luftföroreningar inom Europa. Fem av de svenska stationerna drivs av IVL på naturvårdsverkets uppdrag. Dygnsmedelvärdena gäller från kl 06⁰⁰ UT aktuellt dygn till kl 06⁰⁰ UT dygnet därpå d v s från kl 07⁰⁰ till kl 07⁰⁰ svensk normaltid.

Kartan visar de stationer från vilka mätdata var tillgängliga 1-5 februari.

MÄTSTATIONSPLACERING NORR → SÖDER

STATIONER INOM URBANMÄTNÄTET ★
Dygnsnedelvärden 00⁰⁰-24⁰⁰

Kiruna
Haparanda
Piteå
Skellefteå
Lycksele
Sollefteå
Härnösand
Timrå
Hudiksvall
Gävle
Falun
Borlänge
Avesta
Uppsala
Köping
Lindesberg
Tyresö
Karlskoga
Karlstad
Örebro
Åmål
Lidköping
Mariestad
Motala
Linköping
Jönköping
Ulricehamn
Borås
Göteborg
Varberg
Falkenberg
Värnamo
Älmhult
Oskarshamn
Visby
Hylte
Karlshamn
Hässleholm
Helsingborg

EMEP-STATIONER ●
Dygnsnedelvärden 07⁰⁰-07⁰⁰

Bredkålen
Velen
Rörvik
Hoburg
Vavihill

ÖVRIGA STATIONER ▲

Härnösand 2
Tyresö 2
Salem
Haninge
Huddinge
Jönköping 2
Älmhult 2
Hylte 1



BILAGA 1:2

STATION FEBRUARI	SVAVELDIOXID (UG/M3)				
	1	2	3	4	5
★BREDKÄLEN	1	1	2	1	1
KIRUN	2	7	8	5	12
HÄPARANDA	5	12	7	6	14
PITEA	4	5	4	6	4
SKELLEFTEA	7	14	21	9	16
LYCKSELE	2	3	8	2	2
SOLLEFTEA	8	-	18	4	5
▲HÄRNÖSAND	1	2	5	7	4
HÄRNÖSAND	3	3	9	11	8
TIMRA	3	3	10	10	6
HUDIKSVALL	3	6	19	16	-
GÄVLE	6	7	34	21	4
FALUN	-	-	-	-	-
BORLÄNGE	7	5	34	15	5
AVESTA	3	6	41	15	4
UPPSALA	3	4	52	5	7
KÖPING	3	5	62	20	6
LINDESBERG	8	9	65	17	8
▲TYRESÖ	15	13	43	47	8
TYRESÖ	14	6	41	31	7
▲SALEM	4	4	39	32	12
▲HANINGE	6	4	42	31	7
▲HUDDINGE	7	7	44	34	9
KARLSKOGA	13	10	82	32	8
KARLSTAD	14	20	77	15	6
ÖREBRO	4	7	80	36	28
AMAL	12	14	51	8	7
LIDKÖPING	2	15	107	23	15
MARIESTAD	17	22	106	27	12
★VELEN	4	5	94	5	12
MOTALA	10	12	92	36	10
LINKÖPING	5	7	67	29	10
▲JÖNKÖPING	5	16	139	46	-
JÖNKÖPING	6	16	133	42	-
ULRICEHAMN	(11)	(8)	(15)	(8)	(9)
BORÅS	-	23	137	36	13
▲GÖTEBORG	13	64	72	14	16
GÖTEBORG	18	34	128	15	11
★RÖRVIK	6	82	101	11	12
VARBERG	6	5	150	19	10
FALKENBERG	12	27	131	51	15
VÄRNAMO	7	22	89	54	16
▲ÄLMHULT	4	21	115	65	23
ÄLMHULT	7	22	148	66	17
OSKARSHAMN	9	2	98	83	36
VISBY	8	12	57	54	12
★HOBURG	6	5	71	30	14
▲HYLTE	5	18	131	54	13
HYLTE	19	25	139	70	21
KARLSHAMN	7	23	102	64	23
HÄSLEHOLM	18	58	120	96	28
HELSINGBORG	32	138	267	83	49
★VÄVIHILL	18	311	251	55	28

BILAGA 1:3

STATION FEBRUARI	SOT (UG/M3)				
	1	2	3	4	5
☆ BRECKÅLEN	0	1	0	0	0
KIRUNA	1	9	7	7	3
HAPARANDA	3	16	13	31	11
PITEA	2	5	14	5	11
SKELLEFTEA	5	13	28	5	18
LYCKSELE	3	8	14	4	3
SOLLEFTEA	2	-	21	6	-
▲ HÄRNÖSAND	2	2	4	5	5
HÄRNÖSAND	1	9	11	17	11
TIMRA	2	7	19	11	8
HUDIKSVALL	2	23	17	37	-
GÄVLE	4	6	10	19	5
FALUN	-	-	-	-	-
BORLÄNGE	6	9	31	21	10
AVESTA	3	5	14	15	4
UPPSALA	4	6	13	7	6
KÖPING	8	3	18	21	5
LINDESBERG	21	2	23	16	5
▲ TYRESÖ	15	3	12	26	3
TYRESÖ	5	6	12	23	3
▲ SALEM	6	6	7	21	6
▲ HANINGE	2	2	13	23	1
▲ HUDDINGE	7	6	13	26	5
KARLSKOGA	18	9	51	29	10
KARLSTAD	15	13	46	30	12
ÖREBRO	5	4	-	21	8
ÄMÄL	13	25	56	9	6
LIDKÖPING	2	10	25	18	6
MARIESTAD	5	9	22	19	5
☆ VELEN	2	8	33	2	2
MOTALA	4	6	14	22	6
LINKÖPING	6	6	19	21	5
▲ JÖNKÖPING	2	8	29	22	-
JÖNKÖPING	5	13	32	32	-
ULRICEHAMN	(5)	(9)	(3)	(17)	(7)
BORÄS	-	27	68	35	10
▲ GÖTEBORG	9	24	40	5	9
GÖTEBORG	10	19	50	21	9
☆ RÖRVIK	7	23	51	5	10
VARBERG	8	18	47	22	9
FALKENBERG	10	18	55	41	12
VÄRNAMO	9	17	44	31	6
▲ ÄLMHULT	6	20	53	42	8
ÄLMHULT	6	29	67	50	12
OSKARSHAMN	5	9	31	51	9
VISBY	1	1	30	28	7
☆ HÖBORG	2	8	66	10	-
▲ HYLTE	9	28	43	36	8
HYLTE	13	20	44	37	9
KARLSHAMN	7	19	61	43	11
HÄSLEHOLM	9	36	60	51	16
HELSINGBORG	14	-	91	64	22
☆ VÄVIHILL	10	72	70	38	10

BILAGA 1:4

STATION FEBRUARI	NO2 (UG/M3)				
	1	2	3	4	5
★BREDKÄLEN	1	1	2	1	1
KIRUNA	5	22	26	22	6
HAFARANDA	8	31	22	28	22
PITEA	10	21	37	21	30
SKELLEFTEA	10	47	63	30	48
LYCKSELE	6	19	32	12	10
SOLLEFTEA	17	-	47	26	32
▲HARNÖSAND	5	7	14	20	18
HARNÖSAND	8	33	36	38	31
TIMRA	19	34	49	46	50
HUDIKSVALL	14	38	44	49	-
GÄVLE	45	51	29	32	22
FALUN	44	55	67	56	50
BORLÄNGE	26	32	38	37	31
ÄVESTA	16	16	35	21	24
UPPSALA	20	22	48	40	22
KÖPING	30	15	49	31	25
LINDESBERG	43	19	35	22	25
▲TYRESÖ	37	21	37	30	22
TYRESÖ	30	21	34	32	23
▲SALEM	-	-	-	-	-
▲HANINGE	10	14	41	27	21
▲HUDDINGE	32	26	38	41	38
KARLSKOGA	39	30	62	38	31
KARLSTAD	44	50	74	62	40
ÖREBRO	38	28	66	44	35
ÄMAL	35	41	50	22	26
LIDKÖPING	18	34	56	34	35
MARIESTAD	25	32	56	46	31
★VELEN	4	14	25	5	24
MOTALA	18	23	44	29	29
LINKÖPING	25	34	49	40	29
▲JÖNKÖPING	11	33	38	32	-
JÖNKÖPING	30	44	58	46	-
ULRICEHAMN	(19)	(18)	(17)	(13)	(25)
BORÄS	28	48	65	42	36
▲GÖTEBORG	-	-	-	-	-
GÖTEBORG	42	65	59	46	38
★RÖRVIK	15	2	28	1	19
VARBERG	20	85	50	42	44
FALKENBERG	29	50	66	64	50
VÄRNAMO	15	44	50	42	41
▲ÄLMHULT	16	60	58	64	58
ÄLMHULT	20	54	46	55	48
ÖSKARSHAMN	16	26	44	29	31
VISBY	13	17	29	23	25
★HÖBORG	2	21	18	62	45
▲HYLTE	14	55	50	50	43
HYLTE	19	52	53	54	45
KARLSHAMN	18	47	39	54	53
HÄSLEHOLM	27	75	45	55	50
HELSINGBORG	47	99	68	77	61
★VÄVIHILL	35	37	27	30	41

SMHI Rapporter, METEOROLOGI OCH KLIMATOLOGI (RMK)

- Nr 1 Thompson, T. Udin, I. and Omstedt, A
Sea surface temperatures in waters surrounding Sweden
Stockholm 1974
- Nr 2 Bodin, S
Development on an unsteady atmospheric boundary layer model.
Stockholm 1974
- Nr 3 Moen, L
A multi-level quasi-geostrophic model for short range weather
predictions
Norrköping 1975
- Nr 4 Holmström, I
Optimization of atmospheric models
Norrköping 1976
- Nr 5 Collins, W G
A parameterization model for calculation of vertical fluxes
of momentum due to terrain induced gravity waves
Norrköping 1976
- Nr 6 Nyberg, A
On transport of sulphur over the North Atlantic
Norrköping 1976
- Nr 7 Lundqvist, J-E, and Udin, I
Ice accretion on ships with special emphasis on Baltic
conditions
Norrköping 1977
- Nr 8 Eriksson, B
Den dagliga och årliga variationen av temperatur, fuktighet
och vindhastighet vid några orter i Sverige
Norrköping 1977
- Nr 9 Holmström, I, and Stokes, J
Statistical forecasting of sea level changes in the Baltic
Norrköping 1978
- Nr 10 Omstedt, A, and Sahlberg, J
Some results from a joint Swedish-Finnish sea ice experi-
ment, March, 1977
Norrköping 1978
- Nr 11 Haag, T
Byggnadsindustrins väderberoende, seminarieuppsats i före-
tagsekonomi, B-nivå
Norrköping 1978
- Nr 12 Eriksson, B
Vegetationsperioden i Sverige beräknad från temperatur-
observationer
Norrköping 1978
- Nr 13 Bodin, S
En numerisk prognosmodell för det atmosfäriska gränsskiktet
grundad på den turbulenta energiekvationen
Norrköping 1979
- Nr 14 Eriksson, B
Temperaturfluktuationer under senaste 100 åren
Norrköping 1979
- Nr 15 Udin, I, och Mattiasson, I
Havs- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata
- en modellstudie
Norrköping 1979
- Nr 16 Eriksson, B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del I. Arealnederbörd
Norrköping 1979
- Nr 17 Eriksson, B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del II. Frekvensanalys
av månadsnederbörd
Norrköping 1980
- Nr 18 Eriksson, B
Årsmedelvärdet (1931-60) av nederbörd, avdunstning och
avrinning
Norrköping 1980
- Nr 19 Omstedt, A
A sensitivity analysis of steady, free floating ice
Norrköping 1980
- Nr 20 Persson, C och Omstedt, G
En modell för beräkning av luftföroreningars spridning och
deposition på mesoskala
Norrköping 1980
- Nr 21 Jansson, D
Studier av temperaturinversioner och vertikal vindskjuvning
vid Sundsvall-Härnösands flygplats
Norrköping 1980
- Nr 22 Sahlberg, J and Törnevik, H
A study of large scale cooling in the Bay of Bothnia
Norrköping 1980
- Nr 23 Ericson, K and Hårsmar, P-O
Boundary layer measurements at Klockrike. Oct. 1977
Norrköping 1980
- Nr 24 Bringfelt, B
A comparison of forest evapotranspiration determined by some
independent methods
Norrköping 1980
- Nr 25 Bodin, S and Fredriksson, U
Uncertainty in wind forecasting for wind power networks
Norrköping 1980
- Nr 26 Eriksson, B
Graddagsstatistik för Sverige
Norrköping 1980
- Nr 27 Eriksson, B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del III. 200-åriga
nederbördsserier
Norrköping 1981
- Nr 28 Eriksson, B
Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige
Norrköping 1981
- Nr 29 Pershagen, H
Maximisnödjust i Sverige (perioden 1905-70)
Norrköping 1981
- Nr 30 Lönqvist, O
Nederbördsstatistik med praktiska tillämpningar
(Precipitation statistics with practical applications)
Norrköping 1981
- Nr 31 Melgarejo, J W
Similarity theory and resistance laws for the atmospheric
boundary layer
Norrköping 1981
- Nr 32 Liljas, E
Analys av moln och nederbörd genom automatisk klassning av
AVHRR data
Norrköping 1981
- Nr 33 Ericson, K
Atmospheric Boundary layer Field Experiment in Sweden 1980,
GOTEX II, part I
Norrköping 1982
- Nr 34 Schoeffler, P
Dissipation, dispersion and stability of numerical schemes
for advection and diffusion
Norrköping 1982
- Nr 35 Undén, P
The Swedish Limited Area Model (LAM). Part A. Formulation
Norrköping 1982
- Nr 36 Bringfelt, B
A forest evapotranspiration model using synoptic data
Norrköping 1982
- Nr 37 Omstedt, G
Spridning av luftförorening från skorsten i konvektiva
gränsskikt
Norrköping 1982
- Nr 38 Törnevik, H
An aerobiological model for operational forecasts of pollen
concentration in the air
Norrköping 1982
- Nr 39 Eriksson, B
Data rörande Sveriges temperaturklimat
Norrköping 1982
- Nr 40 Omstedt, G
An operational air pollution model using routine meteorologi-
cal data
Norrköping 1984
- Nr 41 Persson, Christer, and Funkquist, Lennart
Local scale plume model for nitrogen oxides.
Model description.
Norrköping 1984
- Nr 42 Gollvik, Stefan
Estimation of orographic precipitation by dynamical
interpretation of synoptic model data.
Norrköping 1984
- Nr 43 Lönqvist, Olov
Congression - A fast regression technique with a great number
of functions of all predictors.
Norrköping 1984
- Nr 44 Laurin, Sten
Population exposure to SO₂ and NO_x from different sources in
Stockholm.
Norrköping 1984
- Nr 45 Svensson, Jan
Remote sensing of atmospheric temperature profiles by TIROS
Operational Vertical Sounder.
Norrköping 1985
- Nr 46 Eriksson, Bertil
Nederbörds- och humiditetsklimat i Sverige under vegetations-
perioden.
Norrköping 1986
- Nr 47 Taesler, Roger
Köldperioder av olika längd och förekomst.
Norrköping 1986
- Nr 48 Wu Zengmao
Numerical study of lake-land breeze over Lake Vättern.
Sweden.
Norrköping 1986
- Nr 49 Wu Zengmao
Numerical analysis of initialization procedure in a two-
dimensional lake breeze model.
Norrköping 1986
- Nr 50 Persson, Christer
Local scale plume model for nitrogen oxides. Verification.
Norrköping 1986
- Nr 51 Melgarejo, José W.
An analytical model of the boundary layer above sloping
terrain with an application to observations in Antarctica
Norrköping 1986
- Nr 52 Bringfelt, Björn
Test of a forest evapotranspiration model
Norrköping 1986
- Nr 53 Josefsson, Weine
Solar ultraviolet radiation in Sweden
Norrköping 1986
- Nr 54 Dahlström, Bengt
Determination of areal precipitation for the Baltic sea
Norrköping 1986
- Nr 55 Persson, Christer (SMHI), Rodhe, Henning (MISU), De Geer,
Lars-Erik (FOA)
The Chernobyl accident - A meteorological analysis of how
radionuclides reached Sweden.
Norrköping 1986
- Nr 56 Persson, Christer, Robertsson, Lennart (SMHI), Grennfelt,
Peringe, Kindbom, Karin, Lövblad, Gun, och Svanberg, Per-Arne
(IVL)
Luftföroreningsepisoden över södra Sverige 2 - 4 februari
1987
Norrköping 1987



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.