

Svavel- och kvävenedfallet över Stockholms län

Beräkningar för 1994/95

Svavel- och kvävenedfallet över Stockholms län

Beräkningar för 1994 /95

Rapporten är sammanställd av Christer Johansson vid Stockholms luft och bulleranalys (Slb). I arbetet har även Tage Jonson och Per-Åke Johansson från Slb, samt Anna ekström och Lennart Ljungqvist från Länsstyrelsen deltagit.

Februari, 1997

Förord

Trots att utsläppen av svavel och kväve i länet har minskat, är nedfallet av dessa ämnen fortfarande för högt för känsliga marker. Nedfallet sker dels med nederbörden, dels genom fastläggning av gaser och partiklar på mark och vegetation. Förhållandena i länet har i viss utsträckning följts under 80-talet och mera systematiskt under 90-talet. I dagsläget drivs de flesta av nedfallsmätningarna i länet av Länsstyrelsen och av Stockholms läns luftvårdsförbund.

Rapporten presenterar resultat från mätningar och modellberäkningar för det hydrologiska året 1994/95. Halterna samt nedfallet av svavel och kväveföreningar, beräknas med modeller som utvecklats speciellt för Stockholms län inom Stockholms läns luftvårdsförbund. Dessutom används resultat från ett stort antal mätningar av deposition, krondropp, föroreningshalter och nederbörd från de miljöövervakningsprogram som drivs av Länsstyrelsen eller Luftvårdsförbundet.

Rapporten har arbetats fram i samarbete mellan Länsstyrelsen och Stockholms läns luftvårdsförbund. Rapporten är sammanställd av Christer Johansson vid Stockholms luft- och bulleranalys (Slb). I arbetet har även Tage Jonson och Per-Åke Johansson från Slb, samt Anna Ekström och Lennart Ljungqvist och Anna Ekström från Länsstyrelsen deltagit.

Länsstyrelsen ser nedfallsberäkningarna som ett viktigt instrument som gör det möjligt att beskriva förhållandena i hela länet på ett enhetligt och jämförbart sätt i den framtida miljöövervakningen.

Länsstyrelsen i februari 1997

Björn Risinger
Miljövårdsdirektör

Innehåll

SAMMANFATTNING	4
INLEDNING	6
GENOMFÖRANDE	8
Emissionsdata.....	8
Nederbördsdata och våtdeposition av svavel och kväve	8
Modellberäkningar - ingångshalter och meteorologiska data	10
Noggrannheten av modellberäkningarna.....	11
Jämförelser mellan beräknad och uppmätt nederbörd och våtdeposition	12
Uppmätta och beräknade halter av kväveoxider	15
Jämförelser mellan uppmätta och beräknade halter av svaveldioxid	18
RESULTAT	20
Nederbördens geografiska fördelning	20
Beräknad deposition av kväve.....	22
Beräknad deposition av svavel.....	26
Beräknad deposition i relation till krondroppsmätningar.....	28
REFERENSER.....	32
BILAGOR	

1. Kartor i A4-format
2. Torr- och våtdepositionsprocesser
3. Fotokemiska reaktioner
4. Nederbördens fördelning — faktoranalys
5. Beskrivning av gridmodellen

Sammanfattning

Rapporten presenterar resultat från spridningsberäkningar och mätningar av svavel- och kvävenedfallet för perioden oktober 1994 — september 1995 (ett hydrologiskt år). För beräkningarna används spridningsmodeller som utvecklats speciellt för Stockholms län och som ingår i miljöövervakningssystemet som drivs av Luftvårdsförbundet i Stockholms län.

Modellberäkningarna ger halter av svaveldioxid och kväveoxider för varje timme med 4x4 kilometers upplösning i hela länet. Torr- och våtdepositionen har summerats till månadsvärden. För beräkningarna används en detaljerad emissionsdatabas samt resultaten från ett stort antal mätningar av meteorologi, deposition, krondropp och föroreningshalter som genomförts inom ramen för Luftvårdsförbundets och Länsstyrelsens regionala miljöövervakning. Beräkningarna jämförs med mätningar.

Våtdepositionen av svavel och kväve är till största delen beroende av nederbördens geografiska fördelning, som varierar kraftigt på grund av lokala klimatförhållanden. I genomsnitt syns två områden med förhållandevis hög nederbörd — inre delarna av Södertörn och norra delarna av Norrtälje kommun. I dessa områden är nederbördsmängden nästan dubbelt så stor som över de yttre delarna av skärgården, där de minsta mängderna förekommer. Som mest noteras drygt 900 mm nederbörd för det hydrologiska året 1994/95. Detta är ca. 30% högre än de genomsnittligt högsta värdena för 10 år (1984 — 1993). Den relativa geografiska fördelningen av årsnederbörden 1994/95 skiljer sig inte väsentligt från den genomsnittliga fördelningen under de senaste 10 åren.

Den högsta våtdepositionen av svavel sker över Södertörn med drygt 6 kg S/ha/år. I yttre skärgården ligger värdena på omkring 3 till 4 kg/ha/år. För kväve är motsvarande siffror drygt 7 kg N/ha/år respektive 4 kg N/ha/år. Den geografiska fördelningen av torrdepositionen bestäms i hög grad av var utsläppen sker. Beräkningarna visar på mycket skarpa gradienter med den högsta torrdepositionen i Stockholmsregionen och lägre värden ut mot landsbygden och skärgården. Högsta torrdepositionen av svavel och kväve beräknas uppgå till 5 kg S/ha/år respektive 7 kg N/ha/år, vilket är drygt hälften av den totala depositionen.

Som mest uppgår den totala depositionen (summan av våt- och torrdepositionen) av svavel och kväve till drygt 9 kg S/ha/år respektive 12 kg N/ha/år. Det lägsta nedfallet, som sker över landsbygdsområden och skärgården, är på knappt hälften av de högsta värdena. I hela länet överskrids de undre kritiska belastningsgränserna för både svavel och kväve.

Bidragen till nedfallet från utsläpp av kväve och svavel i Stockholms län har beräknats med hjälp av spridningsmodellen. För kväve kan drygt 50% av den totala depositionen i Storstockholm härledas till utsläppen i länet. För svavel är motsvarande siffra 30% — 40%.

Utanför tätortsområdena har utsläppen inom länet endast liten betydelse för den totala depositionen. Här står intransporterade svavel- och kväveföreningar för huvuddelen. Mätningarna visar att halterna i luften som transporteras in är jämnt fördelade över länet. De geografiska variationerna i depositionen över landsbygden och skärgården är därför dels beroende av nederbördens fördelning, som bestämmer variationen i våtdeposition, dels markanvändningen, som påverkar variationen i torrdeposition.

Det enda säkra sättet att bedöma noggrannheten i beräkningarna är att så långt det går jämföra beräknade halter, deposition och nederbörd med uppmätta värden (i vissa punkter). För nederbörden erhålls en god beskrivning på de flesta platserna. I genomsnitt för 12 mätstationer är beräknad årsnederbörd inom 2% av uppmätt värde. Under sommaren kan dock avvikelserna bli stora p g a mycket stora variationer i nederbördsmängderna för olika platser i länet.

När det gäller kväveoxidhalter (NO_x och NO_2) erhålls en god överensstämmelse mellan beräkningar och mätningar i Stockholms innerstad. Beräknade månadsmedelvärden ligger för de flesta månaderna inom 20% av uppmätta värden. För svaveldioxidhalterna (SO_2) är skillnaden större speciellt för sommarmånaderna då halterna är mycket låga.

Beräknat totalt nedfall av svavel stämmer relativt väl med krondroppsmätningarna. Beräknat totalt nedfall av kväve kan däremot inte jämföras med kvävenedfallet i krondropp, eftersom träden tar upp en avsevärd del av det kväve som tillförs skogen via luft och nederbörd.

Inledning

Förr eller senare återvänder alla föroreningar som släpps ut i luften tillbaka till jordytan igen. När det gäller nedfall av svavel- och kväveföreningar blir resultatet ofta försurning och/eller övergödning av de naturliga ekosystemen. I skogsmark kan detta leda till näringsobalans, kväveläckage och frigörande av giftiga metaller (t ex aluminium) vilket i sin tur leder till minskad tillväxt i skogen. Även effekter på ytvatten, grundvatten och dricksvatten har påvisats. Eftersom dessa effekter hör till de stora miljöproblemen i Stockholms län har övervakningen i form av mätningar varit relativt intensiv under senare år.

Sedan knappt 10 år har nedfallet av svavel och kväve till marken i Stockholms län övervakats genom regelbunden insamling och analys av nederbörd. Under 1987 upprättade Stockholms Miljöförvaltning 4 mätstationer för insamling och analys av nederbörd. Fram till juni 1994 drevs dessa genom medel från staden och Miljövårdsfonden vid Stockholms läns landsting (se Slb-analys, 1993 och Slb-analys, 1995). Nu ingår de i Luftvårdsförbundets i Stockholms län övervakningssystem (se Luftvårdsförbundet, 1995). Dessutom finns ytterligare 8 mätstationer upprättade av Länsstyrelsen under 1993 för analys av nederbörd, krondropp och markvatten. Gasformiga kväve- och svavelföreningar har mätts under betydligt längre tid i Stockholms innerstad. Partikelbundna svavel- och kväveföreningar mäts regelbundet av Luftvårdsförbundet sedan 1994.

Både gasformiga och partikelbundna ämnen kan avsättas direkt på mark, vattenytor eller vegetation. Denna process kallas *torrdeposition* eller torrt nedfall. Om ämnena fångas upp av moln- eller regndroppar och återvänder till markytan via nederbörden benämns processen *våtdeposition* eller vått nedfall. Mätningar ger en god bild av våtdepositionen. Torrdepositionen är svårare att mäta, men krondroppsmätningarna ger information om markens och växtlighetens förmåga (alternativt brist på förmåga) att ”ta hand om” svavel- och kväveföreningar.

Modellberäkningar av depositionen ger svar på en rad viktiga frågor som mätningarna inte direkt kan ge information om:

- torrdepositionens betydelse för den totala depositionen av olika ämnen
- det relativa bidraget från olika föroreningskällor till belastningen (antingen olika samhällssektorer eller olika geografiska områdens relativa betydelse)
- den rumsliga och tidsmässiga fördelningen av depositionen av olika ämnen.

Med beräkningar kan effekten av olika (framtida) utsläppsbegränsande åtgärder värderas och följas upp. Beräkningarna ger därvid ett bättre underlag för beslut om åtgärder än vad enbart mätningar ger.

En realistisk beskrivning av torr- och våtdepositionsprocesserna är av avgörande betydelse för beräkningarna av transporten och nedfallet av luftföroreningarna i olika områ-

den. Torrdepositionen varierar drastiskt mellan olika ämnen och är även beroende på ytans beskaffenhet och atmosfärens stabilitet. Vid förbränningsprocesser emitteras kväve till största delen i form av kvävemoxid (NO), som efterhand oxideras till bland annat kvävedioxid (NO_2), salpetersyra (HNO_3) eller blir bundet i partikelform som nitrat (NO_3^-). Dessa olika former av oxiderade kväveföreningar har väsentligt olika depositions-hastigheter. Salpetersyra fastnar mycket effektivt på de flesta ytor medan partikulärt bundet kväve i form av nitrat torrdeponeras mycket långsamt och kan transporteras långa sträckor innan det fastläggs på markytan.

I många modeller används konstanta depositions-hastigheter för olika ämnen. Torrdepositionen av vissa ämnen till vegetation varierar emellertid kraftigt under dygnet beroende på att bladens/barrens klyvöppningar begränsar hastigheten varmed ämnen tas upp. Typ av vegetation är också av stor betydelse. En skogsbeklädd yta utsätts för ett större nedfall jämfört med en plan gräsyta p g a att gasformiga och partikelbundna ämnen effektivt fångas upp av trädens barrskrud. Tillsammans med geografisk information om markanvändning mm erhålls en korrekt geografisk fördelning av depositionen till olika delar av länet.

När det gäller våtdepositionen spelar nederbördens fördelning i tiden och i rummet en avgörande roll för nedfallet. Trots att det i Sverige i genomsnitt oftast är uppehållsväder är våtdepositionen ofta lika betydelsefull som torrdepositionen. Bidraget till våtdepositionen från källor utanför regionen uppskattas utgående från mätningar av nederbördens kemiska sammansättning på olika platser i länet.

Genomförande

Emissionsdata

Beräkningarna baseras på 1994 års emissionsdatabas för Stockholms län (Luftvårdsförbundet i Stockholms län, 1995). I emissionsdatabasen finns detaljerad information om tids- och rumsvariationen i utsläppen av bl a kväve och svavel.

De största energi- och industrianläggningarna (ca 500 st) beskrivs som punktkällor. För dessa finns detaljerad information om utsläppen och variationen i tiden. Utsläppen från vägtrafik beräknas för varje enskilt vägnitt (ca 4300 st) och behandlas som linjekällor. Några källor har helt utelämnats p g a svårigheter att beskriva utsläppen på ett realistiskt sätt. Detta gäller sjöfartens utsläpp, där endast färjornas utsläpp i hamn finns med i beräkningen. Utsläppen längs farlederna är i emissionsdatabasen inlagda som en linjekälla i marknivå. I modellberäkningarna skulle detta leda till en kraftig överskattning av haltbidragen från färjorna och utsläppen ingår därför inte i beräkningarna.

Utsläppen från arbetsmaskiner har inte heller tagits med i beräkningarna eftersom den geografiska och tidsmässiga fördelningen inte kunnat beskrivas. Slutligen är inte den enskilda uppvärmningens bidrag med eftersom dessa källor är inlagda i emissionsdatabasen som areakällor i marknivå, vilket skulle leda till överskattning av halterna (ett utsläpp 10-tals meter över marken ger väsentligt lägre halter och därmed torrdeposition jämfört med om utsläppet sker i marknivå). Detta betyder att beräkningarna till viss del kommer att underskatta de lokala (länets egna) källornas bidrag till depositionen. Utsläppsberäkningarna med emissionsdatabasen har så långt möjligt jämförts med andra uppskattningar av motsvarande utsläpp, t ex statistik från SCB.

Nederbördsdata och våtdeposition av svavel och kväve

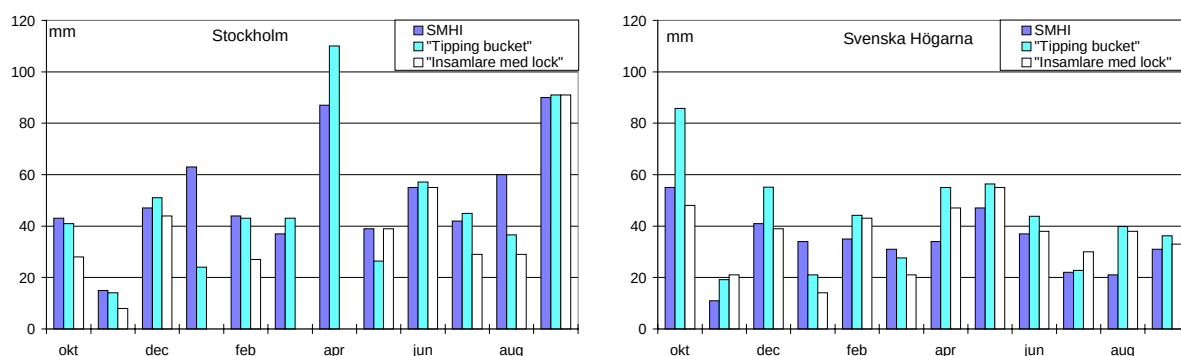
En noggrann kvantifiering av nederbördsmängderna, både den tidsmässiga och rumsliga variationen, är avgörande för beräkningen av den totala depositionen av kväve och svavel. Den geografiska variationen i nederbörden har erhållits genom en statistisk analys av 25 nederbördsstationer utspridda i länet. Arbetet har genomförts av Håkan Törnevik (Narsil AB, Norrköping). Arbetsgången beskrivs i detalj i bilaga 4.

Kort beskrivet så utnyttjas 10 års data (dygnsnederbörd) på de 25 mätplatserna för att beräkna 5 principalkomponenter, som tillsammans förklarar den största delen av den geografiska variationen (tidsberoende variation). Utgående från dessa 5 värden för var och en av de 25 platserna uppskattas sedan värdet på de 5 komponenterna i alla resterande gridrutor i hela länet (2x2 km). Uppskattningen görs genom att manuellt interpolera mellan observationerna med hänsyn till bl a land-hav fördelning och kännedom om de meteorologiska processer som styr nederbördsfördelningen i området. Därefter beräknas variationerna från en tidpunkt till en annan med hjälp av mätvärden från 5 av mätstationerna.

Beräkningarna av nederbördsfälten utgår från SMHI's nederbördsmätningar. Vid utvärderingen av depositionen av kväve och svavel bidrar osäkerheterna i nederbördsmätningarna till de samlade osäkerheterna i beräkningarna. Det är dock svårt att kvantifiera dessa osäkerheter eftersom de varierar från en plats till en annan.

Som exempel på dessa osäkerheter visas i Figur 1 nederbördsmängder i Stockholm och på Svenska Högarna mätt med tre olika typer av insamlare: SMHI's nederbördsinsamlare, "tipping bucket"-insamlare och "insamlare med lock". SMHI's insamlare är specialkonstruerad för att på ett optimalt sätt mäta nederbördsmängder under olika förhållanden. "Tipping bucket"-metoden används framförallt om man vill ha mycket detaljerad tidsupplösning (< timme) av nederbörden. "Insamlare med lock" är den insamlare som främst används för att göra kemisk analys av nederbörden (locket ligger på under torra perioder för att minimera kontaminering och lyfts av automatiskt då nederbörd faller).

Figuren visar att skillnaderna mellan mätningarna med de olika metoderna är stora vissa månader. Insamlarna i Stockholm står inte på samma plats vilket kan vara en del av förklaringen. Skillnaderna på Svenska Högarna torde dock inte bero på avståndet mellan mätplatserna utan snarare hänga samman med olika effektivitet att samla in nederbörden under olika meteorologiska förhållanden. SMHI's insamlare på Svenska Högarna tenderar att ge något lägre värden än de båda övriga insamlarna.



Figur 1. Jämförelse mellan månadsvis insamling av nederbörd i Stockholm och på Svenska Högarna med tre olika nederbördsinsamlare; SMHI's, "tipping bucket"-metoden och "insamlare med lock".

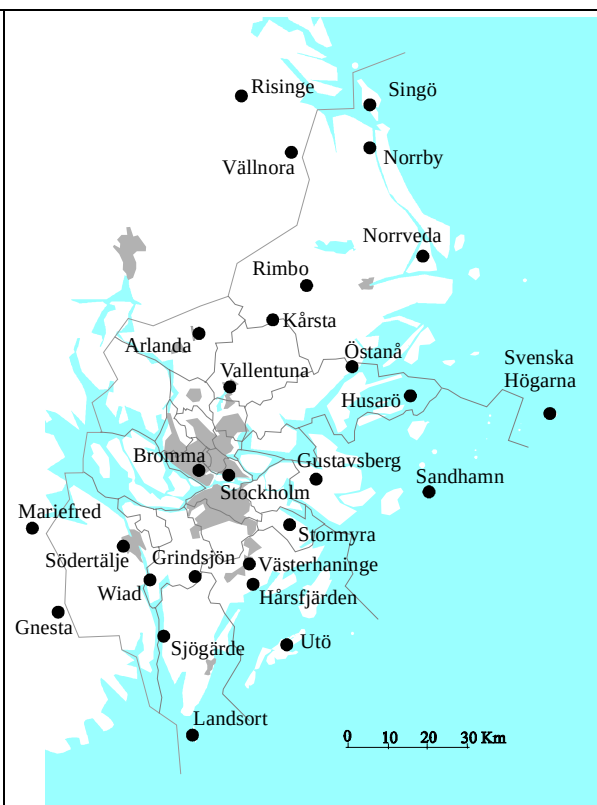
Ackumulerad månadsnederbörd multipliceras med uppmätta halter i nederbörden av sulfat, nitrat och ammonium för att erhålla den totala våtdepositionen av dessa ämnen. Nederbördskemiska analyser görs på månadsprover från 10 mätstationer som ingår i Länsstyrelsens krondroppsmätningar samt vid ytterligare 5 mätstationer som ingår i Luftvårdsförbundets och Miljöförvaltningens mätprogram (Norr Malma, Svenska Högarna, Torkel Knutssonsgatan, Kanaan och Landsort, se Figur 2).

Tidigare utvärdering av kemiska analyser av nederbörden för en betydligt längre period än den som nu rapporteras, har visat att halterna minskar med ökande nederbördsmängder (Slb-analys, 1995). Ur resultaten för den nu aktuella perioden (12 månader) kan dock inte något tydligt samband mellan nederbördsmängd och halt i nederbörden fastställas. Därför görs ingen korrigering för att nederbördsmängderna varierar i området.

Månadsmedelvärdena av sulfat-, nitrat- respektive ammoniumhalterna vid de fem mätstationer, som har nederbördsinsamlare med lock, har multiplicerats med nederbördsfältet för månaden. Detta har då resulterat i 36 depositionsfält; ett fält för varje komponent och månad. För varje ämne summeras sedan dessa fält till ett depositionsfält för hela året.



Figur 2. Mätstationer för provtagning och analys av nederbörd och krondropp (Luftvårdsförbundet och Länsstyrelsen i Stockholms län).



Figur 3. Mätstationer som utnyttjats för att beskriva nederbördens geografiska variation (Mätstationerna ingår i SMHI's stationsnät för nederbörd).

Modellberäkningar - ingångshalter och meteorologiska data

Beräkningarna av (bidraget till) torrdepositionen från utsläppen i länet görs med hjälp av en spridningsmodell. Modellen och dess delar beskrivs i bilaga 2, 3, och 5. Spridningen av olika ämnen från olika källor beräknas minut för minut under hela året utifrån detaljerade meteorologiska mätningar, dels en 50 meter hög mast i Högdalen i södra Stockholm, dels en 24 meters mast i Norra Malma, ca 1 mil norr om Norrtälje. Dessa mätningar utgörs av vindhastighet och temperatur (på två höjdnivåer) samt vindriktning, globalstrålning, relativ fuktighet och nederbörd (en nivå). Meteorologiska mätningar vid ytterligare 8 mätstationer används av modellen för att beräkna vindfältet och den turbulenta spridningen av olika ämnen i hela länet.

För varje timme under året beräknas halterna och nedfallet av ett tiotal ämnen i drygt 5000 punkter (4 x 4 km² ytor). Beräkningarna har genomförts en månad i taget. I efterhand summeras var och en av svavel- och kväveföreningarna så att det totala lokala bidraget till depositionen av svavel och kväve erhålls. Den totala torrdepositionen (dvs

inkluderande bidrag till halterna från källor utanför länet) beräknas genom att utnyttja uppmätta halter i bakgrundsmiljö på 2 platser i länet (Landsort och Norra Malma). Det antas att källor lokaliserade utanför länet bidrar lika mycket till halterna på alla platser i hela länet.

Omvandlingen mellan olika reaktiva kväveföreningar och gasformigt och partikelbundet nitrat och ammonium görs med en fotokemisk beräkningsmodell. Till grund för de fotokemiska beräkningarna ligger dels uppmätta ozonhalter på tre platser i länet (Torkel Knutssongatan, Norra Malma och Landsort), dels uppskattade halter av hydroxylradikalen (OH, för beräkning av oxidationen av NO₂ till HNO₃) samt metylperoxyradikalen (CH₃COO₂, för beräkning av PAN-halterna). Uppskattningarna grundar sig på beräkningar med EMEP-modellen. Ozonhalterna är kritiska för de beräknade NO₂ halterna. De uppmätta ozonhalterna reduceras med hänsyn till emissionerna av kvävemoxid (NO). Detta är speciellt betydelsefullt över större tätortsområden. De uppskattade halterna av OH och CH₃COO₂ är inte lika kritiska för den totala torrdepositionen av kväve eftersom den domineras av NO₂.

Torrdepositionen av olika ämnen beräknas utifrån mätningar (timmedelvärden) av globalstrålning, relativ fuktighet och temperatur. Torrdepositionen är dessutom beroende av ämnets och markytans egenskaper. För var och en av gridrutorna i länet (4 x 4 km) har andelen av olika marktyper (sjö, skog, åker, låghusområde, höghusområde och industriområde) beräknats utifrån kartunderlag från Lantmäteriverket. För en mer detaljerad beskrivning av beräkningsmodellen hänvisas till Bilaga 2 (*Torr- och våtdepositionsprocesser*).

Hur noggranna är beräkningarna?

Osäkerheten i beräkningarna bestäms av noggrannheten i indata och hur väl modellerna kan beskriva verkligheten. När det gäller indata finns osäkerheter i:

- emissionsdata (både absolut, tidsmässig och geografisk variation)
- detaljeringsgrad och/eller fel i den topografiska informationen
- de meteorologiska mätningarna och
- luftföroreningsdata (bakgrundshalter) samt indata för fotokemiska reaktioner.

När det gäller modellerna så finns uppkommer osäkerheter p g a felaktigheter eller för-
enklingar i:

- vindmodellen
- nederbördsberäkningarna
- gridmodellen
- beräkningarna av de fotokemiska transformationerna och
- depositionsmodellen.

Det stora antalet parametrar och den komplexa kopplingen mellan dessa i beräkningsmodellerna gör att den slutliga noggrannheten i resultatet inte är enkel att beräkna. Det enda säkra sättet att bedöma noggrannheten är att så långt det går jämföra beräknade halter, deposition och nederbörd med uppmätta värden.

En jämförelse mellan mätningar och beräkningar är dock inte helt trivial. Utsläppen i Stockholms län som ligger till grund för modellberäkningarna, bidrar endast till viss del till de totala halterna respektive den totala depositionen som mäts upp. Detta gör att det inte går att jämföra modellberäkningarna med mätningar av luftföroreningshalter och deposition på ett enkelt sätt.

Bidraget från utsläppen utanför länet måste först adderas till de beräknade halterna. Detta görs baserat på mätningarna vid Landsort och Norr Malma. Den relativa betydelsen för halterna på olika platser av detta "bakgrundsbidrag" kommer att variera beroende på storleken på de lokala utsläppen i området. Exempelvis beror halterna av kväveoxider i *Stockholms innerstad* till största delen på de lokala utsläppen och de modellberäknade halterna bör därför överensstämma väl med uppmätta värden.

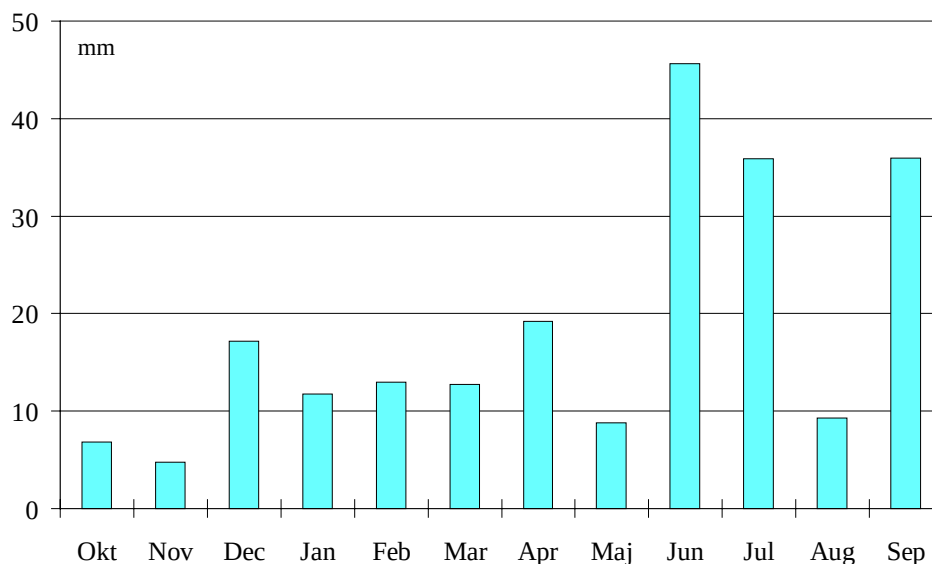
När det gäller beräkningarna av våtdeposition är det endast den geografiska fördelningen av nederbörden som beräknats. Uppmätta halterna av svavel och kväveföreningar i nederbörden på ett fåtal platser används för att beräkna våtdepositionen i hela länet. Osäkerheten i våtdepositionen beror framförallt på hur väl nederbördens geografiska variation kan beräknas.

Det är också viktigt att komma ihåg, beträffande halter i luften beräknade med gridmodellen, att ett *medelvärde* för en 16 kvadratkilometer (4 x 4 km) stor yta avses. För varje sådan yta beräknas en viktad medelemission som ligger till grund för spridningsberäkningarna. Vertikalt är modellen indelad i 10 skikt, vilket betyder att värdena över varje ruta också är *volym*medelvärden. Tyvärr finns inga mätningar som exakt motsvarar detta mått och någon perfekt överensstämmelse kan därför aldrig förväntas. I gridmodellen antas å andra sidan att halten av ett ämne är någotsånär konstant i en gridvolym. Om man har alltför stora gradienter inom en gridvolym bör upplösningen ökas. I dagsläget begränsas upplösningen av datorkapaciteten.

Jämförelser mellan beräknad och uppmätt nederbörd och våtdeposition

De fem principalkomponenterna förklarar ca 85% av den genomsnittliga geografiska variationen i nederbörden (se bilaga 4). Enskilda månader, främst under sommaren med konvektiv nederbörd, kan skillnaderna i nederbördsmängd mellan olika platser vara mycket stor. Under vissa månader faller stora mängder nederbörd på en eller ett par mätstationer, medan andra är helt torra. Periodvis under sommaren är nederbördsfördelningen närmast slumpmässig vilket gör att osäkerheterna i de beräknade värdena blir relativt stor.

De absoluta skillnaderna mellan uppmätt och beräknad nederbörd för 18 av SMHI's nederbördsstationer framgår av Figur 4. För de flesta månaderna är de absoluta skillnaderna mindre än 20 mm. Detta motsvarar mindre än 30% av uppmätt nederbörd.

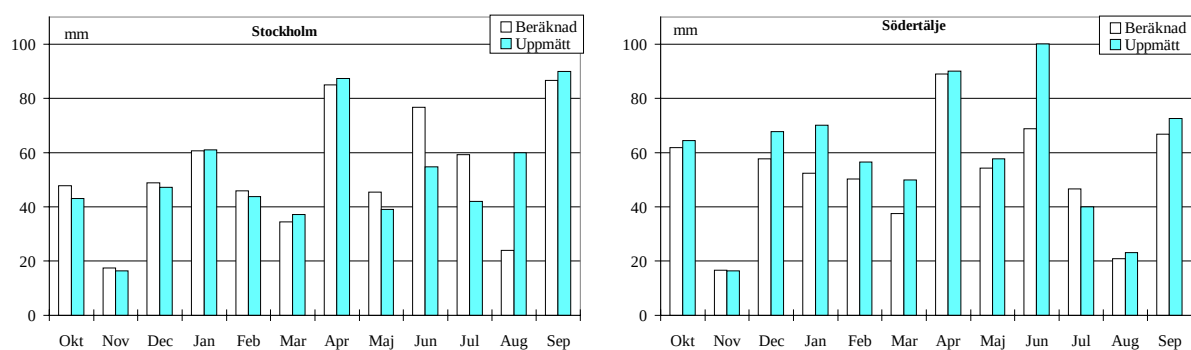


Figur 4. Medelvärdet för varje månad av absoluta skillnaden mellan den beräknade och uppmätta nederbörden. I analysen ingår 18 av SMHI's nederbördsstationer i länet.

Största skillnaderna inträffar under sommarmånaderna. För juni och juli är den absoluta skillnaden mellan uppmätta och beräknade mängder 46 respektive 36 mm. Detta motsvarar 74% respektive 79% av den uppmätta medelnederbörden under dessa månader, dvs relativt en kraftig överskattning av nederbörden i jämförelse med övriga månader.

Skillnaden mellan uppmätt och beräknad årsnederbörd är i genomsnitt 11% (2% till 29%) för de 18 mätstationerna.

Figur 5 visar att samvariationen mellan de beräknade och uppmätta värdena i genomsnitt är mycket bra. Enstaka månader, t ex i augusti i Stockholm, kan avvikelserna vara markanta. Det skall dock observeras att de beräknade värdena är avsedda att avspegla den genomsnittliga nederbördsmängden över en 4 km x 4 km stor yta, medan mätningarna representerar nederbörden i en punkt. Speciellt under sommaren kan de lokala variationerna vara mycket stora.



Figur 5. Jämförelse mellan uppmätt nederbörd (SMHI) och beräknad nederbörd för Stockholm och Södertälje.

Osäkerheterna i de beräknade värdena varierar något från område till område eftersom den statistiska analysen är beroende av hur väl mätplatserna avspeglar de geografiska skillnaderna. Vid utplaceringen av nederbördsstationer är det därför viktigt att så väl som möjligt fånga extremvärdena och gradienterna i nederbördsmönstret. Ur depositionssynpunkt är det speciellt viktigt att de områden som är försurningskänsliga och har hög nederbörd finns väl representerade i nederbördsmätningarna. I detta avseende är nuvarande mätstationer inte helt idealt placerade.

I Tabell 1 redovisas jämförelser mellan beräknad nederbördsmängd, sulfat-, nitrat- och ammoniumdeposition på de mätstationer för deposition som finns i länet. När det gäller de årliga nederbördsmängderna är skillnaden mellan beräknat och uppmätt medelvärde för alla mätstationer endast 8 mm, vilket är mindre än 2%.

För enskilda mätstationer kan skillnaderna vara betydligt större. Vid Lämshaga i Värmdö kommun och Mjölsta i Norrtälje kommun är de beräknade värdena 25% till 30% lägre än de värden som mätts upp. Vid Norra Malma å andra sidan överskattas nederbördsmängden med nästan 30%.

För de flesta mätstationer är skillnaden mellan uppmätt och beräknad nederbörd i enlighet med vad som kan förväntas om man betraktar den stora geografiska variationen i nederbördsmönstret.

Våtdepositionen har beräknats genom att multiplicera de beräknade nederbördsmängderna med halterna av sulfat, nitrat respektive ammonium på mätstationerna. De mätstationer som är utrustade med locksamlare tenderar att ge något lägre halter än de stationer som har öppna insamlare. Denna skillnad i insamlingsteknik har visat sig bidra till vissa systematiska skillnader i halterna. I de öppna insamlarna är värdena något högre än i insamlare med lock, troligtvis beroende på viss torrdeposition i insamlingstrattarna under torra perioder. Det är dock svårt att fastställa exakt hur mycket detta betyder eftersom ingen mätstation har både locksamlare och öppen insamlare. Skillnaden torde dock erfarenhetsmässigt ligga på omkring 10% — 30%, beroende på ämne, plats och tid på året.

Tabell 1. Jämförelser mellan beräknad våtdeposition med uppmätt på ett antal platser i Stockholms län.

Mätstation *		Nederbörd (mm)			Sulfat (kg S/ha/år)			Nitrat (kg N/ha/år)			Ammonium (kg N/ha/år)		
		Be- räkn.	Upp- mätt	Skilln.	Be- räkn.	Upp- mätt	Skilln.	Be- räkn.	Upp- mätt	Skilln.	Be- räkn.	Upp- mätt	Skilln.
Sticklinge	K	611	620	-10	4,0	4,8	-0,8	2,7	2,6	0,1	2,1	3,2	-1,1
Alby	K	569	600	-32	3,8	3,5	0,3	2,7	2,2	0,5	2,0	2,0	0,0
Säbysjön	K	585	696	-111	3,9	5,2	1,3	2,7	3,1	-0,4	2,1	3,1	-1,0
Farstanäs	K	653	651	2	4,2	4,3	-0,1	2,8	3,0	-0,2	2,2	2,8	-0,6
Lämshaga	K	619	849	-230	3,9	6,3	-2,7	2,6	4,4	-1,8	2,1	4,4	-2,3
Gladö	K	933	783	150	5,7	5,2	0,5	3,6	3,2	0,4	3,1	3,4	-0,3
Mjölsta	K	544	770	-226	3,4	4,5	-1,1	2,2	3,2	-1,0	1,8	2,5	-0,7
Svulten	K	545	690	-145	4,0	4,6	-0,6	2,6	3,1	-0,5	2,2	2,7	-0,5
Bergboö	K	630	641	-11	3,9	4,1	-0,2	2,5	2,3	0,2	2,1	2,3	-0,2
Fiskartorpet	K	617	632	-15	4,0	4,6	-0,6	2,7	3,0	-0,3	2,1	3,9	-1,8
Kanaan		583	624*	-41	3,8	3,2	0,6	2,5	2,1	0,4	2,0	1,8	0,2
Norra Malma		683	541*	119	4,1	2,5	1,6	2,6	1,7	0,9	2,2	1,4	0,8
Svenska Högarna		467	399*	68	3,0	2,6	0,4	2,0	1,8	0,2	1,6	1,1	0,5
Torkel Knuts.gat.		614	622*	-8	4,0	3,3	0,7	2,7	1,9	0,8	2,1	1,8	0,3
Medelvärde		618	631	-13	4,0	4,2	-0,2	2,6	2,7	-0,1	2,1	2,6	-0,5

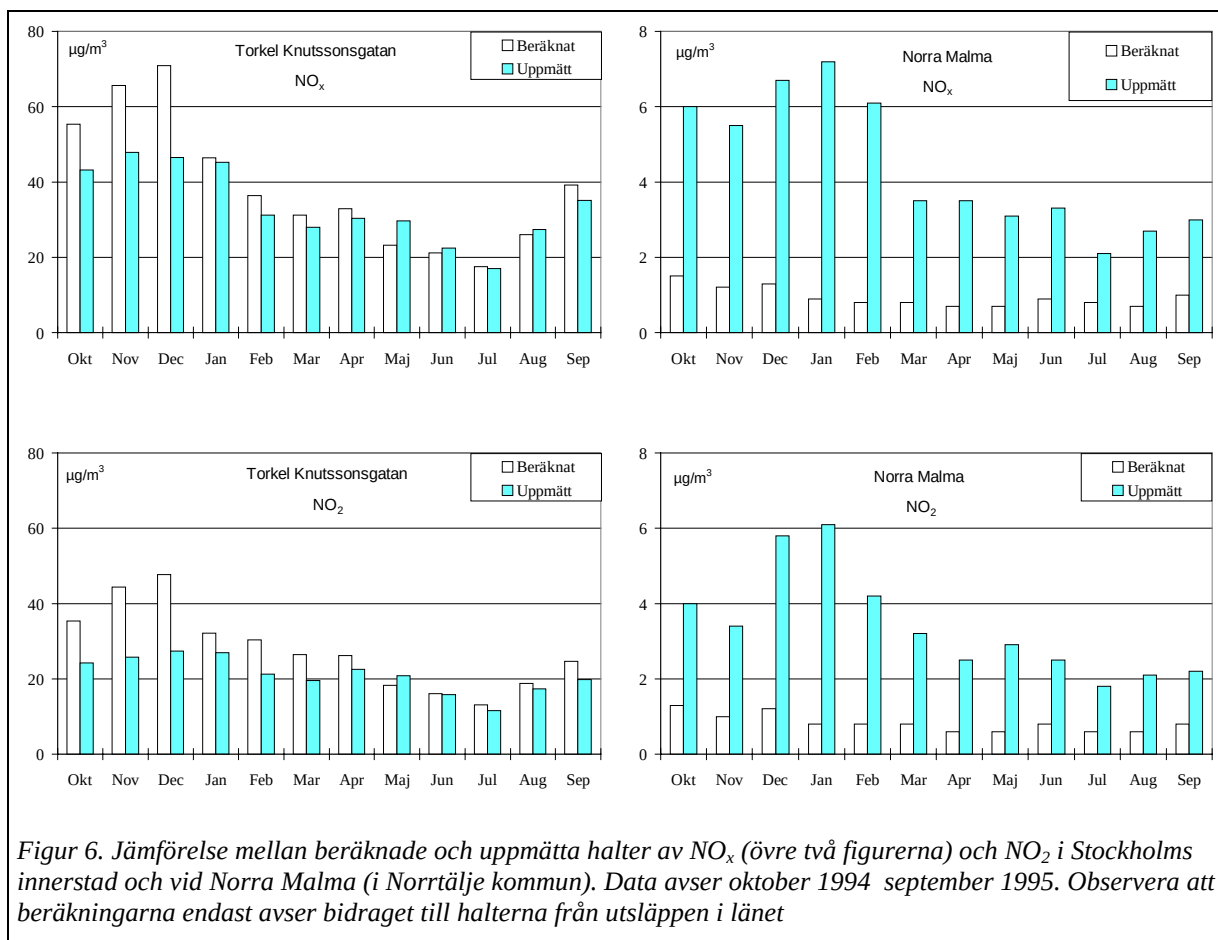
K=Öppen insamlare tillhörande krondroppsstationerna

* Nederbörd från närmaste SMHI-station

I genomsnitt är de beräknade värdena av våtdepositionen inom 25% av de uppmätta värdena. Till stor del beror skillnaden på olika nederbördsmängd, dvs 20% för hög nederbördsmängd ger ca 20% för hög halt sulfat, nitrat och ammonium. Det bör dock noteras att skillnaden mellan de lägsta och högsta uppmätta värdena på våtdepositionen är betydligt större än skillnaden mellan de uppmätta och beräknade värdena.

Uppmätta och beräknade halter av kväveoxider

Som framgår av Figur 6 och Tabell 2 är överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta halter av NO_x och NO₂ på Torkel Knutssonsgatan i Stockholms innerstad mycket bra. Modellberäkningarna tenderar dock att systematiskt ge högre halter, speciellt under oktober till och med december 1994. Detta tycks till stor del bero på att meteorologiska data från Högdalenmasten delvis saknas under denna period. I de fall data saknas från Högdalenmasten får data från masten i Norra Malma alltför stor vikt för spridningsberäkningarna i Stockholmsregionen.



Skillnaderna mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden för NO_x framgår även av Tabell 2. Observera att de beräknade värdena inte har korrigerats för bidrag till halterna från källor utanför länet. Av tabellen framgår att den genomsnittliga skillnaden mellan beräknade och uppmätta NO_x halter på Norra Malma är $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Om man antar att haltbidragen från källor utanför beräkningsområdet fördelas jämnt över området är detta ett ungefärligt mått på bidragen till halterna från utsläpp utanför länet. För NO_2 är motsvarande värde $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I genomsnitt för hela året är de beräknade NO_x halterna 4% och 15% högre än de uppmätta halterna på Sveavägen respektive Torkel Knutssonsgatan. Om man inkluderar haltbidragen från källor utanför beräkningsområdet ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) blir de beräknade värdena 13% respektive 25% högre än uppmätta värden.

Tabell 2. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade halter av NO_x (µg/m³). De beräknade värdena avser endast bidrag till halterna från lokala källor, dvs ingen korrigering har gjorts för haltbidrag från källor utanför länet.

Månad	Torkel Knutssonsgatan			Sveavägen			Norra Malma		
	Uppmätt	Beräknat	Skillnad	Uppmätt	Beräknat	Skillnad	Uppmätt	Beräknat	Skillnad
Okt	43	55	12	45	58	13	6,0	1,5	-4,5
Nov	48	66	18	43	66	23	5,5	1,2	-4,3
Dec	46	71	24	48	73	25	6,7	1,3	-5,4
Jan	45	46	1	43	48	5	7,2	0,9	-6,3
Feb	31	36	4	31	38	7	6,1	0,8	-5,3
Mar	28	31	3	32	32	0	3,5	0,8	-2,7
Apr	30	33	3	34	33	-1	3,5	0,7	-2,8
Maj	30	23	-7	42	25	-17	3,1	0,7	-2,4
Jun	22	21	-1	28	23	-5	3,3	0,9	-2,4
Jul	17	17	0	22	16	-6	2,1	0,8	-1,3
Aug	27	26	-1	34	23	-11	2,7	0,7	-2
Sep	35	39	4	46	33	-13	3,0	1,0	-2
Medel	34	39	5	37	39	2	4,4	0,9	-3,5

Jämförelsen med mätningarna skall ses mot bakgrund av att de beräknade värdena (med gridmodellen) egentligen avser ett medelvärde för en volym medan mätningarna avser värden i en punkt. I beräkningarna är den horisontella gridstorleken 4 km x 4 km. Inom denna area beräknas halterna utifrån en medelemission för hela arean. Eventuella horisontella skillnader på olika emission inom en gridruta slätas alltså ut i beräkningarna. I Tabell 2 redovisas mätningarna från Torkel Knutssonsgatan och Sveavägen. Dessa mätstationer ligger endast 3 km ifrån varandra men vissa månader är skillnaderna i NO_x-halt mellan mätstationerna lika stor eller större än skillnaderna mellan beräknade värden och uppmätta värden.

Skillnaderna mellan beräkningarna och mätningarna beror också på osäkerheter i emissionsdatabasen och i beräkningsmodellerna. När det gäller emissionsdata finns det stora osäkerheter i emissionsfaktorerna för tung trafik. Emissioner från arbetsfordon och sjöfarten längs lederna ingår inte i beräkningarna. Utsläppen av NO_x från arbetsfordon, som utgör en väsentlig del av de totala NO_x utsläppen, kan förväntas ge förhöjda halter lokalt omkring eller i anslutning till mer eller mindre tillfälliga byggnads- eller vägarbetsplatser. När det gäller flygplatser ingår utsläppen från markaktiviteter och flygplansrörelser upp till 200 meters höjd. I modellberäkningarna sker dock alla utsläpp

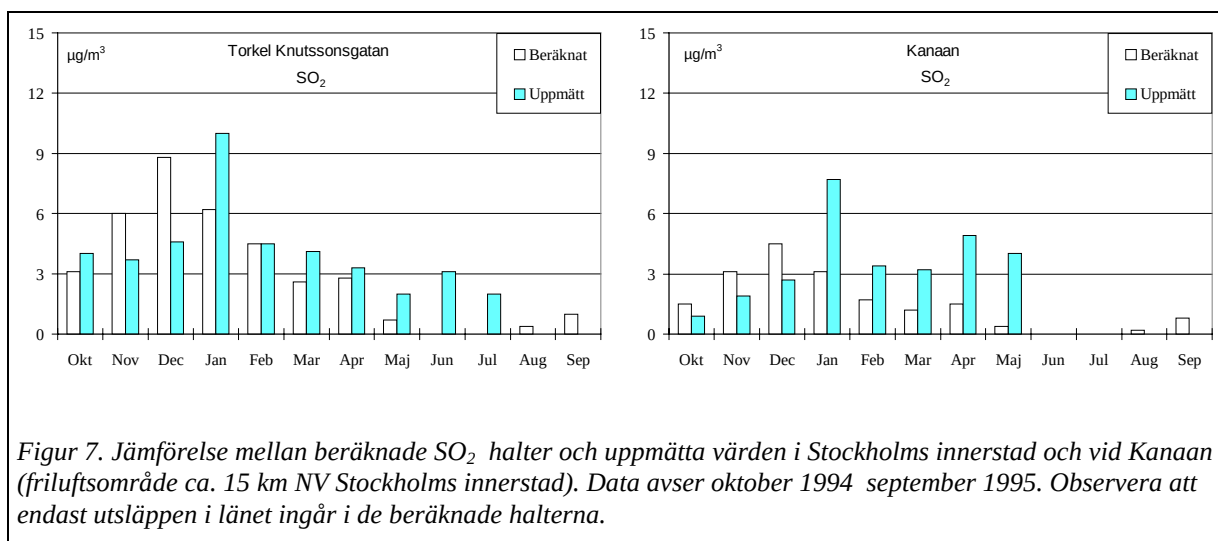
i marknivå, vilket leder till en överskattning av bidraget från utsläppen på högre nivå. Bidragen från alla dessa källor läggs till den samlade bakgrundsnivån som även utgörs av källor utanför länets gränser.

Jämförelser mellan uppmätta och beräknade halter av svaveldioxid

I Tabell 3 och Figur 7 redovisas resultaten från beräkningarna och mätningarna av SO₂. På Torkel Knutssonsgatan mäts SO₂ hela året med en upplösning på en timme. På Kanaan och Norra Malma genomförs mätningar endast under vinterhalvåret.

Figur 7 visar att svaveldioxidhalterna varierar mycket markant under året. I Stockholms innerstad, som har de högsta halterna i hela länet, uppmättes som mest 10 µg/m³ under januari (månadsmedelvärde), vilket är drygt dubbelt så mycket som genomsnittet för hela året. Vid Norra Malma är halterna mindre än hälften av halterna i Stockholms innerstad. Under långa perioder, framförallt under sommaren, är halterna lika med eller lägre än vad instrumenten förmår detektera. I dessa fall är de uppmätta värdena mycket osäkra och det är svårt att jämföra beräknade värden med uppmätta värden.

De beräknade värden som redovisas i Tabell 3 och Figur 7 har inte korrigerats för bidrag till halterna från källor utanför beräkningsområdet, dvs halterna representerar de värden som erhålls då hänsyn tas endast till källorna i Stockholms län.



Beräkningarna visar att utsläppen i Stockholms län inte ger något bidrag till de genomsnittliga halterna vid Norra Malma, dvs den svaveldioxid som mäts upp här härrör nästan helt från utsläpp utanför länets gränser. Dessa källor ger en genomsnittlig bakgrundshalt under vinterhalvåret på knappt 2 µg/m³. Även i Stockholm uppmäts betydligt högre svaveldioxidhalter än vad beräkningarna ger (då endast hänsyn tas till länets utsläpp).

När det gäller SO₂ är osäkerheten i emissionerna större än för NO_x. Som påpekats tidigare ingår inte utsläppen av svavel från den enskilda uppvärmningen och sjöfartens utsläpp längs lederna i beräkningarna (se under "Emissionsdata" ovan). För att kompense-

ra för dessa källor korrigeras den totala depositionen med hjälp av mätningarna. Med detta förfarande kan bidragen från länets egna utsläpp underskattas något. Detta gäller då framförallt områden med stor andel enskild uppvärmning och i kustområdena längs Furusundsleden och Sandhamnsleden.

Likaså blir den geografiska fördelningen av svaveldepositionen inte helt korrekt eftersom fjärrvärmeanslutningen varierar från område till område. Den enskilda uppvärmningens bidrag till den totala depositionen varierar under året främst beroende på väderförhållanden. Trots dessa osäkerheter är överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta värden i Stockholms innerstad mycket bra.

Tabell 3. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade halter av SO₂ (µg/m³). De beräknade värdena avser endast bidrag till halterna från lokala källor, dvs ingen korrigering har gjorts för haltbidrag från utsläpp utanför länet.

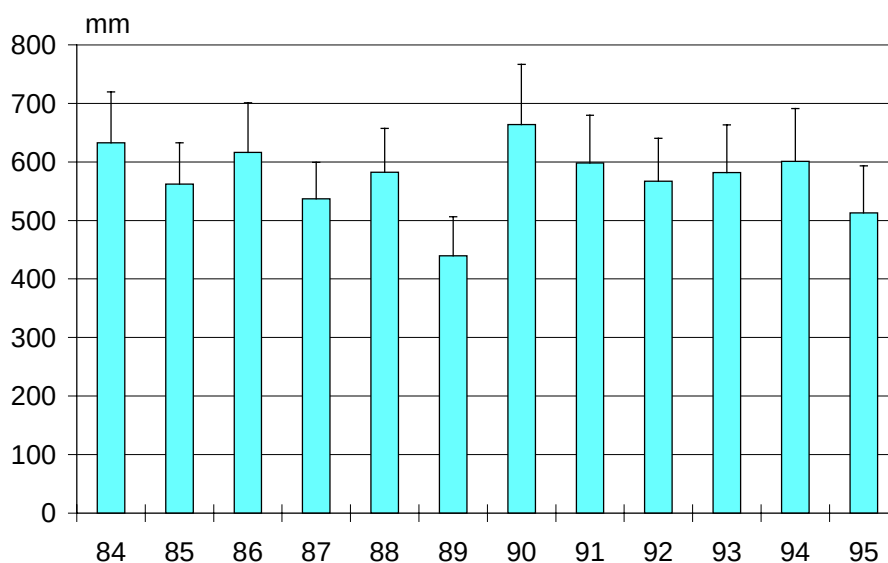
Månad	Torkel Knutssonsgatan			Kanaan			Norra Malma (passiva mätningar)		
	Uppmätt	Beräkn.	Skillnad	Uppmätt	Beräkn.	Skillnad	Uppmätt	Beräkn.	Skillnad
Okt	4,0	3,1	-0,9	0,9	1,5	0,6	1,1	0,0	-1,1
Nov	3,7	6,0	2,3	1,9	3,1	1,2	0,7	0,0	-0,7
Dec	4,6	8,8	4,2	2,7	4,5	1,8	1,7	0,1	-1,6
Jan	10,0	6,2	-3,8	7,7	3,1	-4,6	5,3	0,1	-5,4
Feb	4,5	4,5	0,0	3,4	1,7	-1,7	1,3	0,1	-1,2
Mar	4,1	2,6	-1,5	3,2	1,2	-2,0	1,2	0,0	-1,2
Apr	3,3	2,8	-0,5	4,9	1,5	-3,4	1,1	0,0	-1,1
Maj	2,0	0,7	-1,3	4,0	0,4	-3,6	0,6	0,0	-0,6
Jun	3,1	0,0	-3,1		0,0		0,4	0,0	-0,4
Jul	2,0	0,0	-2,0		0,0		0,3	0,0	-0,3
Aug		0,4			0,2		0,4	0,0	-0,4
Sep		1,0			0,8		0,5	0,0	-0,5
Medel	4,1	3,0	-1,1	3,6	1,5	-2,1	1,6	0,0	-1,6

Resultat

Nederbördens geografiska fördelning

Figur 8 visar den genomsnittliga årsnederbörden på 26 mätstationer i Stockholms län under de senaste 11 åren. Genomsnittet för hela perioden är 575 mm och som mest föll 664 mm 1990. Det torraste året var 1989 med 440 mm. I genomsnitt för de senaste två åren (1994/95) var nederbördsmängden ungefär lika stor som för hela 10 års perioden.

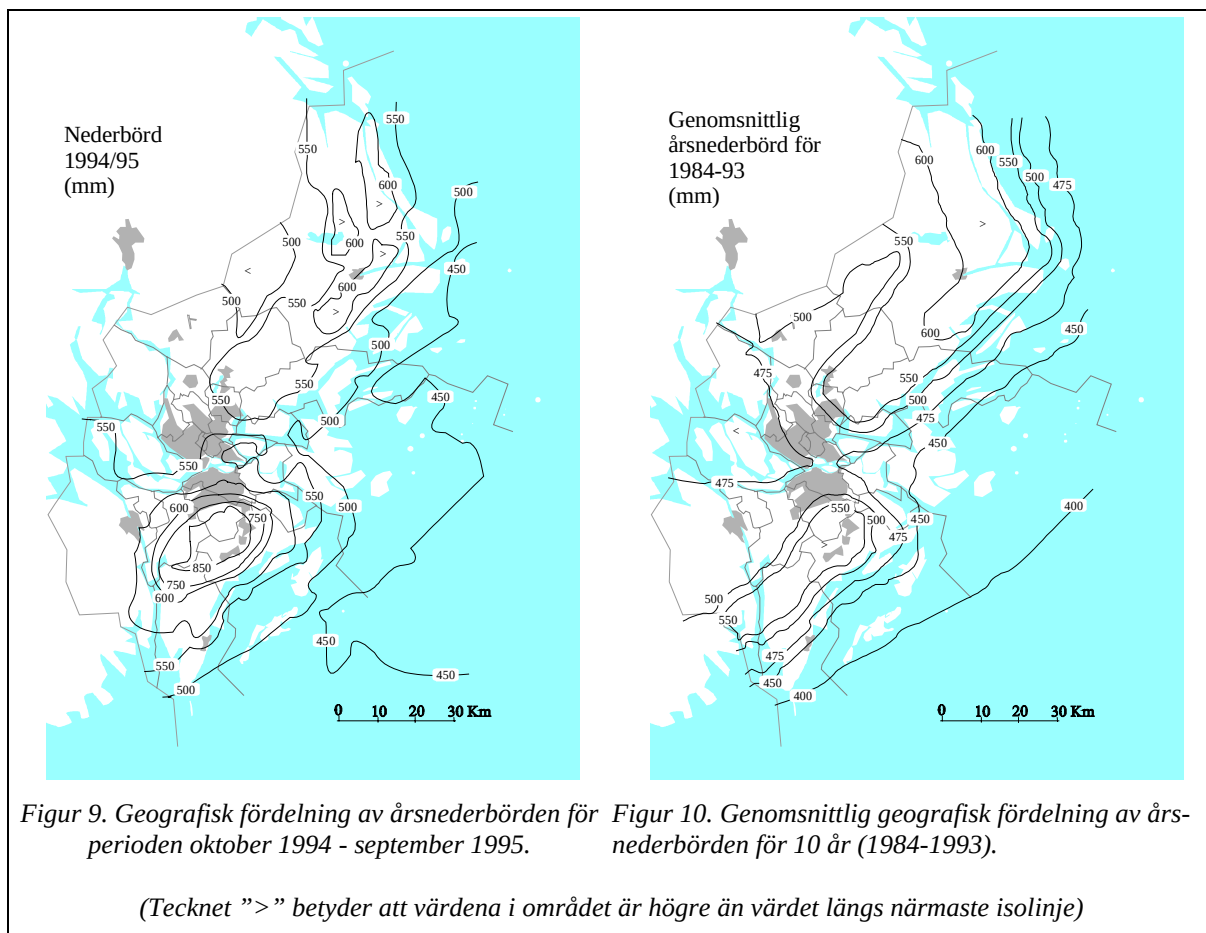
Variationen mellan olika år är betydligt mindre än variationen mellan olika mätplatser under ett och samma år. Den genomsnittliga absoluta skillnaden mellan efterföljande år är ca 14% av medelvärdet för åren. Skillnaden mellan det högsta och lägsta årsmedelvärdet under perioden är knappt 40% av periodens medelvärde. Detta skall jämföras med skillnaden mellan högsta och lägsta värdet på mätstationerna ett enskilt år som i genomsnitt är hela 60% av årsmedelvärdet för alla mätstationer. Under 1995 noterade exempelvis Västerhaninge 651 mm medan Svenska högarna noterade 292 mm.



Figur 8. Variation i den årliga nederbörden i Stockholms län. Årsvärdena är medelvärden för 26 mätstationer. De vertikala intervallen indikerar en standardavvikelse.

Eftersom våtdepositionen av svavel och kväve är direkt proportionell mot nederbördsmängden är det därför av mycket stor betydelse att beskriva den geografiska fördelningen av nederbörden så noggrant som möjligt. I Figur 9 och Figur 10 visas den geografiska variationen av årsnederbörden för det nu aktuella året 1994/95 respektive den genomsnittliga nederbördens variation under 10 år (1984-1993). Två områden med förhöjd nederbörd kan identifieras i båda fallen, dels över Södertörn, dels över de inre delarna av norra Norrtälje kommun. För tioårsperioden är nederbördsmängderna som mest omkring 600 mm/år. Detta är ungefär detsamma som beräknats för en 30 års period (Modén och Nyberg, 1965). Samma geografiska nederbördsmönster kan urskiljas för medelårs-

nederbörden för 30 år, 10 år och även för 1994/95. Mönstret karakteriseras av två områden med förhöjd nederbörd in över land, minskande nederbörd ut mot Östersjön och lägre nederbörd över Mälardalen. Detta relativt komplexa nederbördsmönster är ett resultatet av inverkan av kustlinjen och land-hav-fördelningen på det lokala klimatet i området.



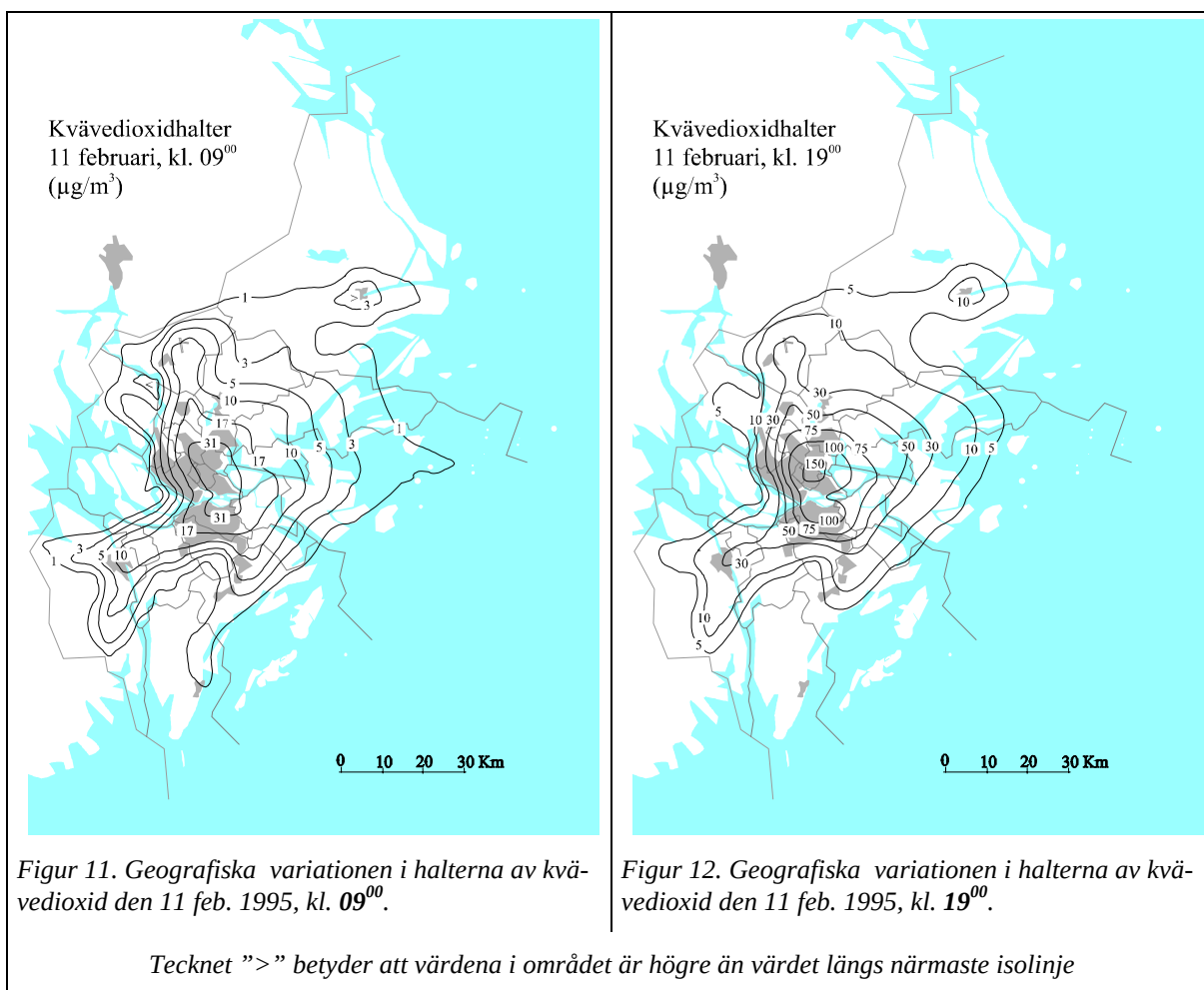
Den genomsnittliga nederbördsmängden 94/95 för alla mätstationerna inte är särskilt hög i jämförelse med åren under tioårsperioden 1984—1993, så var dock nederbördsmängderna förhållandevis höga över Södertörn. Här noteras som mest 850 till 900 mm under 94/95. I de inre norra delarna av Norrtälje noteras ca. 600 mm vilket är mer normalt.

Nederbördsmängden avtar kraftigt från land ut mot Östersjön. I yttre skärgården är mängderna halverade i jämförelse med de högsta mängderna över fastlandet. För enskilda månader under året kan variationerna vara betydligt större. Som påpekats tidigare uppmäts de största geografiska variationerna under sommaren, då mycket lokala skurar kan förekomma. Vissa månader kan någon enstaka nederbördsstation registrera 10-tals mm medan andra platser är helt torra.

Beräknad deposition av kväve

Depositionen av kväve är till stor del beroende av halten kvävedioxid. Figur 11 och Figur 12 nedan visar exempel på den geografiska variationen i halterna av kvävedioxid kl. 09 och kl. 19 den 11 februari 1995. I båda fallen var vindarna ungefär sydvästliga och det blåste drygt 3 m/s. Figurerna visar tydligt att halterna är mycket starkt kopplade till var utsläppen av kväveoxider sker.

Skillnaden i totala utsläpp av kväveoxider mellan dessa båda klockslag är betydligt mindre än skillnaden i de beräknade halterna. Utsläppen var ungefär desamma kl. 19 och kl. 09. Kvävedioxidhalterna är däremot upp till en faktor 5 högre kl. 19 jämfört med kl. 09. Detta visar tydligt vädrets inflytande på halterna. Förutom de meteorologiska förhållandena (vindar och stabiliteten) påverkas kvävedioxidhalterna också till stor del av ozonhalterna. Ozonhalterna minskar inne i tätorterna p g a reaktion med kvävemonoxid. Därvid bildas kvävedioxid. De högsta kvävedioxidhalterna inne i tätorter uppmäts ofta under våren då ozonhalterna är som högst.

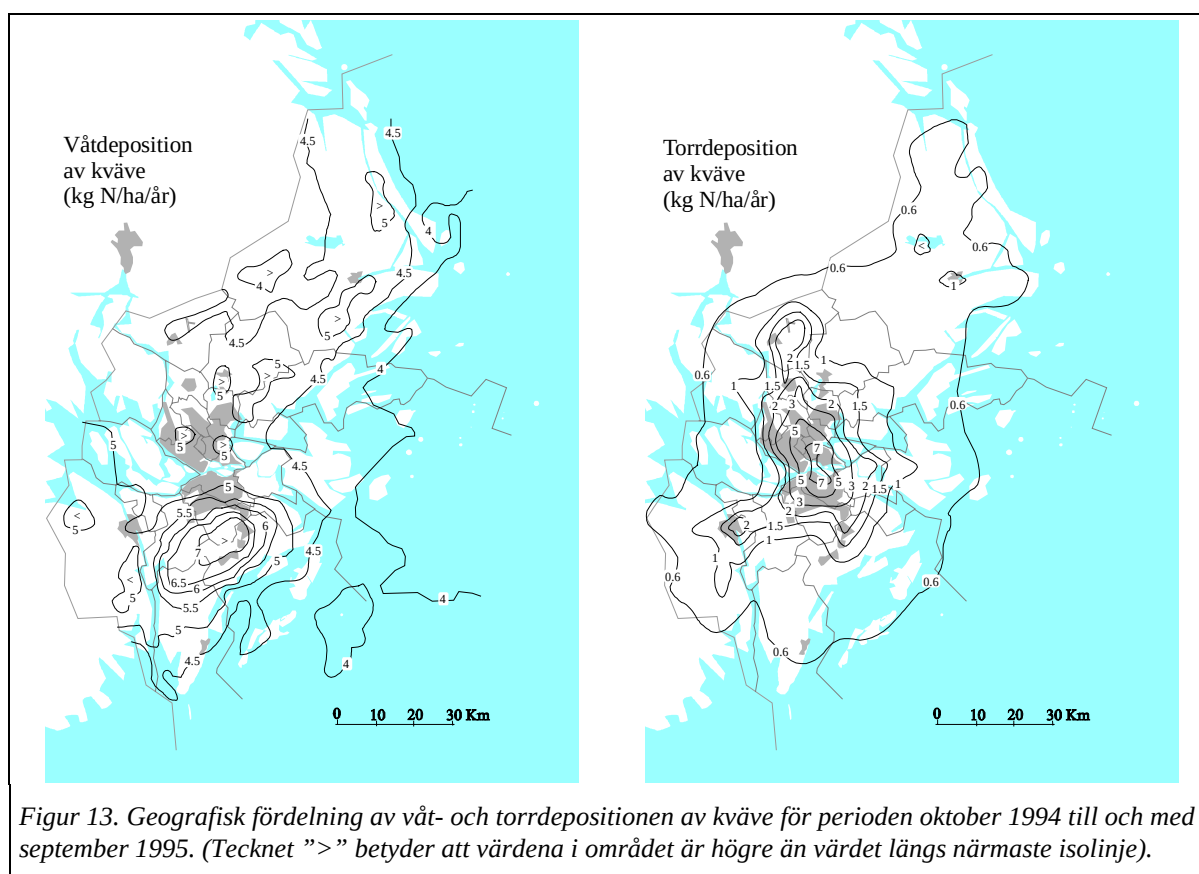


Figur 13 visar den geografiska fördelningen av våt- och torrdepositionen av kväve till marken i Stockholms län. Våtdepositionen av kväve uppgår som mest till 5 - 7 kg N per hektar och år. Den geografiska fördelningen sammanfaller med nederbördens fördelning, dvs den största våtdepositionen sker över inlandet speciellt på Södertörn i Tyresö,

Haninge och Huddinge kommuner. I yttre skärgården är våtdepositionen av kväve ca 50% lägre än de högsta värdena över fastlandet. Ammonium och nitrat i nederbörden bidrar med ungefär lika mycket till kvävebelastningen (en viss övervikt för nitrat).

Torrdepositionen uppgår som mest till knappt 7 kg kväve per hektar och år. De högsta värdena noteras över de inre delarna av Stockholm där de lokala källorna är mest betydelsefulla. När det gäller torrdeposition av kväve står den lokala trafiken för den dominerande delen i de större tätorterna. I Södertälje beräknas torrdepositionen uppgå till omkring 2 till 3 kg N/ha/år och i Norrtälje omkring 1 kg N/ha/år. Alldeles i närområdet till större vägar kan torrdepositionen av kväve vara betydligt större, upp till flera tiotals kg per hektar och år.

Det dominerande bidraget till torrdepositionen är kvävedioxid. Övriga oxiderade kväveföreningar som bidrar till depositionen utgörs främst av partikulärt nitrat och salpetersyra. Dessa bildas till största delen i luften under transporten från källor utanför länet. Den lokala produktionen av nitrat och HNO_3 beräknas vara helt försumbar. Här föreligger dock osäkerheter i modellberäkningarna.

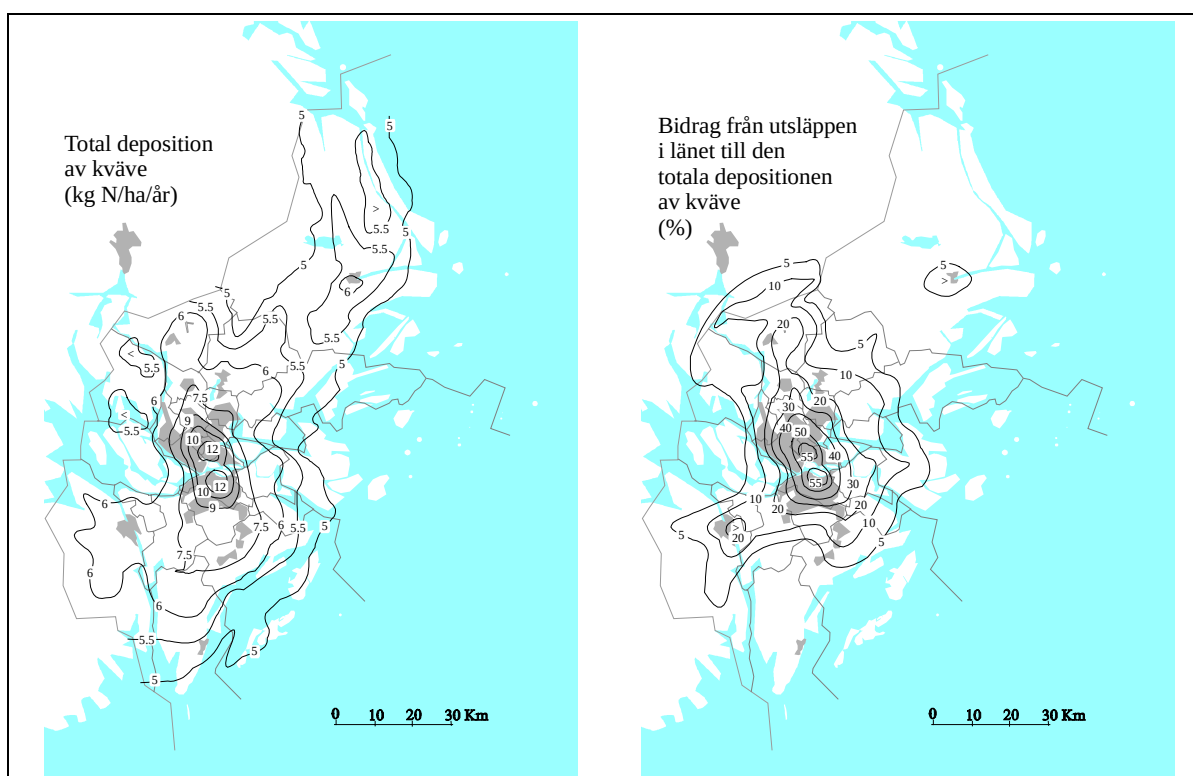


Den totala depositionen av kväve framgår av Figur 14. Den högsta totala depositionen beräknas inträffa över Storstockholmsområdet. Det är i dessa områden som både torr- och våtdepositionen är hög. Som mest beräknas den totala depositionen av kväve vara mellan 10 och 12 kg N/ha/år. I Stockholms innerstad utgör torrdepositionen mer än hälften av den totala kvävedepositionen. I övriga delar av länet, utanför Storstockholms-

området, är bidraget från torrdepositionen litet. Även över stora delar av Södertörn är depositionen förhöjd jämfört med övriga delar av länet. I dessa områden är det våtdepositionen som dominerar.

Över skärgården och de norra och västligaste delarna av länet dominerar bidraget från våtdepositionen av kväve. I dessa områden beräknas den totala depositionen vara 5 till 6 kg N/år. Av detta deponeras ca 80% genom våtdeposition.

Den undre kritiska belastningsgränsen¹ på 4 kg N/ha/år överskrids i hela länet. Den övre belastningsgränsen (15 kg N/ha/år) överskrids inte på någon plats. Det skall dock observeras att beräkningarna avser medelvärden för 4 x 4 km gridrutor. Som påpekats tidigare kan deposition vara väsentligt högre lokalt omkring större vägar och i tätortsområden.



Figur 14. Geografisk fördelning av den totala depositionen av kväve för perioden oktober 1994 - september 1995.

Figur 15. Bidrag till den totala kvävedepositionen från utsläppen i Stockholms län.

(Tecknet ">" betyder att värdena i området är högre än värdet längs närmaste isolinje)

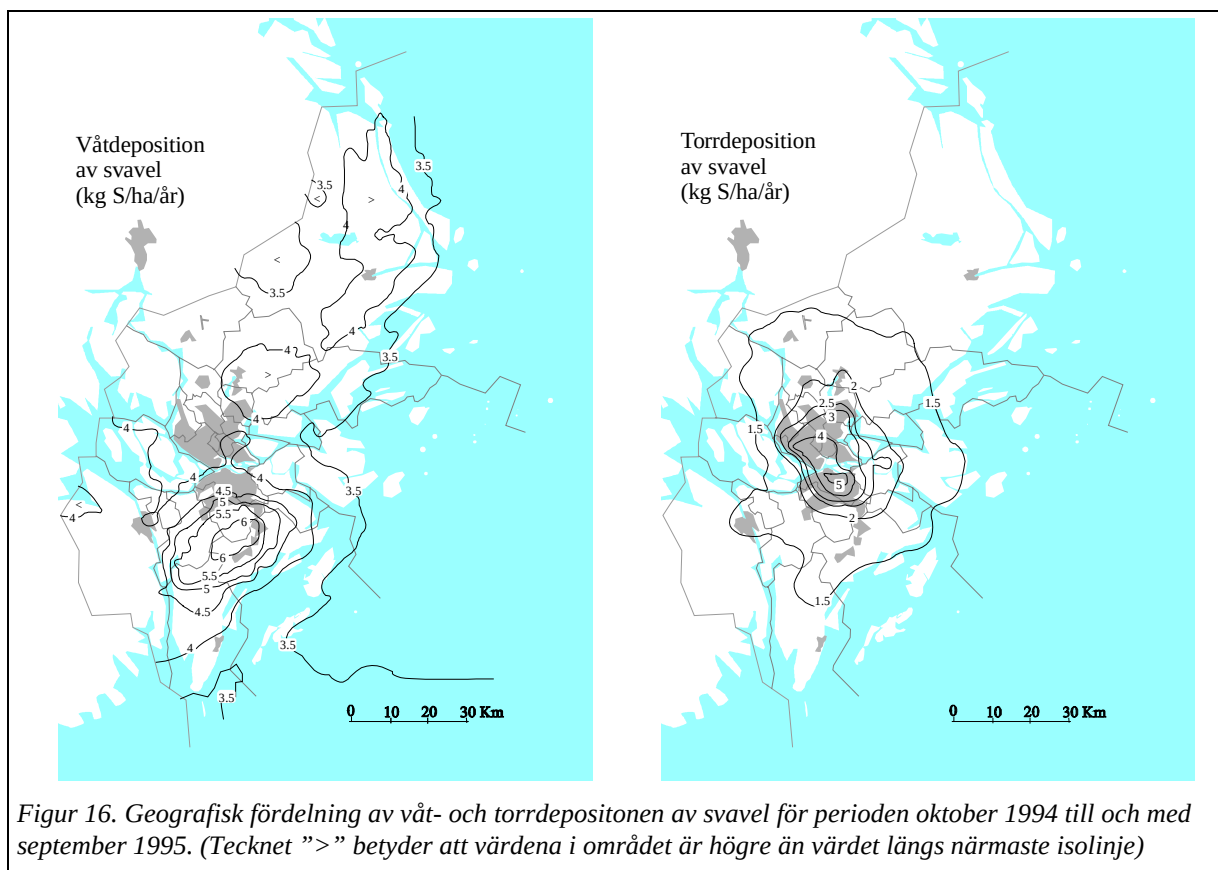
¹ Med kritisk belastningsgräns avses den högsta depositionen av en eller flera föroreningar, som inte beräknas leda till några negativa effekter på känsliga element i naturen, enligt nuvarande kunskap. Belastningsgränsen är beroende på jordart och vegetation. För Mellansverige anges därför ett intervall, som för svavel är 2.5 till 8 kg S/ha/år och för kväve 4 till 15 kg N/ha/år. De övre gränserna motsvarar de nivåer där de allra tåligast förekommande naturtyperna påverkas negativt av nedfallet.

Av Tabell 4 framgår den beräknade depositionen av kväve till några tätortsområden i länet. Det största lokala bidraget till kvävedepositionen inträffar i centrala Stockholm. Här bidrar utsläppen i länet med ca 50% av den totala kvävedepositionen. Det största bidraget kommer från de närmast belägna källorna i innerstaden. I centrala Stockholm motsvarar 50% av den totala depositionen omkring 5 kg N/ha/år, vilket utgör några procent av utsläppen av kväveoxider i Stockholms stad. Exakt andel beror givetvis på över hur stor yta man slår ut utsläppen.

Tabellen visar att det inte alltid är de tätorter med störst lokalt bidrag som har den högsta kvävebelastningen. I Handen, som har bland de högsta värdena på kvävedepositionen, utgör det lokala bidraget endast ca 15%. Anledningen till den höga kvävebelastningen i Handen är att nederbörds mängden är hög. Detta gör att våtdepositionen står för nästan 80% av den totala kvävedepositionen.

Tabell 4. Beräknad deposition av kväve (kg N/ha/år) till några tätortsområden i Stockholms län (oktober 1994 - september 1995).

Tätortsområde	Våt-deposition	Torr-deposition	Total deposition	Ungefärligt bidrag från utsläpp i länet (procent av totala depositionen)
Stockholm, Södermalm	4,8	6,5	11,3	55
Stockholm, Norrmalm	4,7	5,5	10,2	50
Handen	6,9	1,9	8,8	15
Lidingö	4,7	3,8	8,5	40
Täby	4,6	3,5	8,1	40
Salem	5,7	1,5	7,2	15
Södertälje	4,9	2,2	7,1	25
Märsta	4,6	2,0	6,6	20
Åkersberga	4,9	1,3	6,2	15
Ekerö	4,8	1,2	6,0	10
Norrtälje	4,9	1,0	5,9	10
Vaxholm	4,3	1,1	5,4	10
Nynäshamn	4,6	0,7	5,3	5



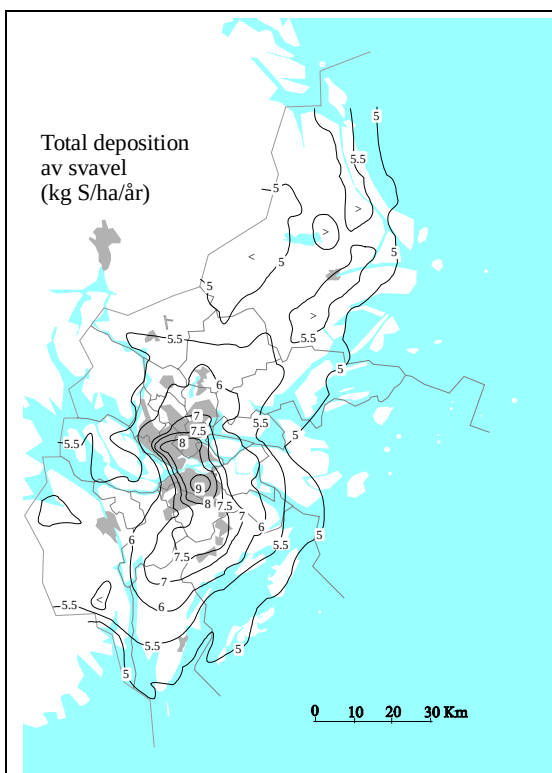
Beräknad deposition av svavel

Figur 16 visar den beräknade torr- och våtdepositionen av svavel. Den geografiska fördelningen är ungefär densamma som för kvävedepositionen. Den högsta våtdepositionen sker över Södertörn och uppgår till omkring 6 kg S/ha/år. Ute i skärgårdsområdet är våtdepositionen omkring 3 till 4 kg S/ha/år.

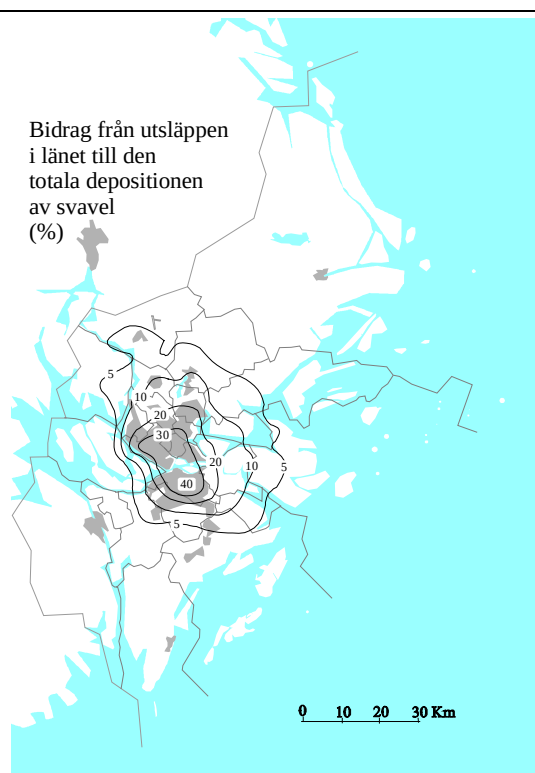
Torrdepositionen av svavel uppgår till som mest knappt 5 kg S/ha/år. Den högsta depositionen beräknas för de centrala delarna av Stockholm. Utanför Storstockholmsområdet beräknas torrdepositionen vara mellan 1,5 och 2 kg S/ha/år.

Den högsta totala depositionen av svavel uppgår till knappt 9 kg S/ha/år (Figur 17). Dessa värden noteras i centrala Stockholm och utgör till ungefär lika stora delar av torrdeposition som av våtdeposition. I områden utanför Storstockholmsområdet utgör våtdepositionen omkring 70% av den totala depositionen. Totalt deponeras mellan 5 och 6 kg S/ha/år över landsbygds- och skärgårdsområden i länet. Skillnaderna i den totala depositionen mellan olika delar av länet är mindre för svavel än för kväve.

När det gäller kritiska belastningsgränser för svavel överskrider den nedre belastningsgränsen (2,5 kg S/ha/år) i hela länet. Den övre gränsen (8 kg S/ha/år) överskrider endast i de centrala delarna av Stockholm.



Figur 17. Geografisk fördelning av den totala depositionen av svavel för perioden oktober 1994 - september 1995.



Figur 18. Bidrag till den totala svaveldepositionen från utsläppen i Stockholms län.

Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre än värdet längs närmaste isolinje.

Av Tabell 5 framgår dels den beräknade depositionen i några tätortsområden, dels de lokala utsläppens bidrag till den totala svaveldepositionen. Centralt i Stockholm står de lokala källorna för mellan 30% och 40% av den totala depositionen. Detta motsvarar omkring 2,5 till 3 kg S/ha/år. Detta motsvarar några procent (<5%) av de lokala utsläppen i Stockholms stad (utslaget på hela stadens areal).

I skogsområden på landsbygden och i mindre tätorter utanför Storstockholm bidrar utsläppen i länet med mindre än 15% till den totala depositionen av svavel. Variationerna i svaveldeposition mellan olika områden på landsbygden beror därför inte på variationer i de lokala utsläppen. För olika skogsområden är det trädbeståndens förmåga att fånga upp SO₂ och sulfat på partiklar som spelar stor roll för variationerna. Dessutom spelar nederbörden stor roll för variationerna i den totala depositionen.

Tabell 5. Beräknad depositionen av svavel (kg S/ha/år) till några tätortsområden i Stockholms län.

Tätortsområde	Våt-deposition	Torr-deposition	Total deposition	Ungefärligt bidrag från utsläpp i länet (procent av totala depositionen)
Stockholm, Södermalm	4,0	4,6	8,6	40
Stockholm, Norrmalm	3,9	3,8	7,7	30
Handen	5,9	1,8	7,7	5
Lidingö	3,9	3,1	7,0	25
Täby	3,8	3,3	7,1	25
Salem	4,9	1,7	6,6	5
Södertälje	4,0	1,6	5,6	5
Marsta	3,8	1,8	5,6	10
Åkersberga	4,1	1,8	5,9	10
Ekerö	4,0	1,6	5,6	5
Norrtälje	4,1	1,4	5,5	<5
Vaxholm	3,6	1,8	5,4	10
Nynäshamn	3,8	1,5	5,3	5

Beräknad deposition i relation till krondroppsmätningar

I tio skogsområden i länet görs regelbunden analys av halterna av svavel och kväve i nederbörden som faller under trädkronorna (se Tabell 6). Rent allmänt beror skillnaden mellan halterna i nederbörden som faller in ovanför skogen och halterna under trädkronorna på att gasformiga och partikelbundna ämnen som fastnat och inte tagits om hand via trädens klyvöppningar tvättas av från träden. Dessutom kan ämnen som träden tagit upp från marken utsöndras på blad- eller barrytorna och därmed bidra till halterna i krondroppet. Denna process brukar kallas interncirkulation. Den relativa betydelsen av dessa processer varierar från ämne till ämne och även från område till område.

En annan viktig faktor som påverkar halterna och nedfallet via krondropp är skogsbeståndets sammansättning och blad- respektive barrtätheten. Både trädkronornas blad- eller barrtäthet och antalet träd per ytenhet spelar stor roll för hur effektivt gaser och partiklar fastnar och absorberas. De flesta mätplatserna domineras av granskog och inslaget av lövskog är endast 10% eller mindre. (Uppgifter om de olika beståndens barrtäthet saknas).

Krondroppsmätningarna av svavel och klorid bedöms utgöra ett mått på den totala belastningen (summan av torr- och våtdepositionen, se Länsstyrelsen, 1996). När det gäller kväve uppvisar krondroppet ofta lägra halter än nederbörden ovanför skogen, dvs. träd-kronorna tar upp kväve. Både gas- och partikelformiga kväveföreningar och ämnen lösta i nederbörden (nitrat och ammonium) kan tas upp.

Tabell 6. Krondroppsytor i Stockholms län. I tabellen redovisas även den andel skog som motsvarar den 4x4 km gridruta i vilken respektive mätstation är placerad.

Plats	Trädens medelålder	Sammansättning			Andel skog i mo- dell- beräkn.
		%			
	år	Gran	Tall	Löv	%
Sticklinge	89	50	40	10	20*
Fiskartorpet	-	90	-	10	20*
Alby	62	100	-	-	70
Säbysjön	52	90	-	10	50
Farstanäs	95	80	10	10	35
Lämshaga	97	90	0	10	55
Gladö	103	90	10	0	70
Mjölsta	110	60	40	-	45
Svulten	87	95	5	-	80
Bergboö	97	70	20	10	50

* Denna gridruta består förutom skog av en blandning av sjö (18%), bebyggelse (40%) och åker (16%).

I Tabell 7 presenteras dels den totala depositionen till marken utifrån krondroppsmätningarna dels den beräknade totala depositionen. Såsom påpekats tidigare representerar de beräknade värdena ett medelvärde för en 4 x 4 km stor yta medan krondroppsmätningarna är mer eller mindre specifika för respektive lokal. Det kan ändå vara intressant att se relationerna för svavel respektive kväve.

Av tabellen framgår andelen skog i den gridruta i modellen i vilken mätplatsen ligger. Endast i fyra gridrutor är skogsandelen större än 50%. I fallet Sticklinge och Fiskartorpet (som ligger i samma gridruta) utgör skogsandelen endast 17%. Eftersom torrdepositionen till olika ytor varierar mycket kraftigt skall man inte förvänta sig att beräkningarna kan motsvara de specifika mätplatserna. Torrdepositionshastigheten till åker och ytvatten är oftast lägre än till skogsytor (under vintertid då alla ytor täcks av snö/is kan skillnaderna vara små, åtminstone för gasformiga svavel- och kväveföreningar).

De beräknade värdena för svaveldepositionen är lägre än krondroppsmätningarna. Detta är i överensstämmelse med vad man kan förvänta sig, eftersom beräknade värden är medelvärden för en yta som inte endast täcks av skog utan även består av åker och sjö-
ytor. I genomsnitt beräknas ca 6 kg S/ha/år deponeras i de gridrutor som täcker in mät-
platserna. Nettodepositionen enligt krondroppsmätningarna var 8,7 kg S/ha/år. De be-
räknade värdena motsvarar mellan 58% och 83% av de uppmätta värdena.

I både beräkningarna och krondroppsmätningarna noteras de högsta värden för Fiskar-
torpet (Stockholm) och Sticklinge (Lidingö), som båda ligger relativt nära lokala källor.
På dessa platser beräknas de lokala källorna bidra med 24% respektive 35% av den
totala svaveldepositionen (Tabell 8) .

**Tabell 7. Jämförelse mellan beräknad och uppmätt nederbörd och deposition vid
mätstationerna för provtagning av krondropp i Stockholms län.**

Mätplats	Nederbörd mm		Svavel kg S/ha/år			Kväve kg N/ha/år		
	Beräk- nad	Uppmätt öppet fält	Beräk- nad	Kron- dropp	B/K* %	Beräk- nad	Kron- dropp	B/K* %
Sticklinge	671	620	7,0	9,6	73%	8,3	7,2	115%
Alby	625	600	5,3	7,5	71%	5,5	3,9	141%
Säbysjön	643	696	6,1	8,3	73%	7,7	4,1	188%
Farstanäs	719	651	5,6	6,8	82%	6,0	4,2	143%
Lämshaga	681	849	5,6	9,7	58%	5,7	5,3	108%
Gladö	1026	783	7,4	10,9	68%	8,0	4,6	174%
Mjölsta	599	770	4,8	6,7	72%	4,6	2,3	200%
Svulten	700	690	5,5	9,3	59%	5,5	4,6	120%
Bergboö	692	641	5,5	9	61%	5,2	3,9	133%
Fiskartorpet	671	632	7,5	9,0	83%	10,0	8,5	118%
MEDEL	703	693	6,0	8,7	69%	6,7	4,9	137%

*B/K = Beräknat värde i procent av uppmätt.

Den beräknade genomsnittliga depositionen av kväve till de gridrutor som täcker in
mätplatserna för krondropp är 6,7 kg N/ha/år. Mätningarna av nettodepositionen enligt
krondroppsmätningarna var knappt 5 kg N/ha/år, dvs de beräknade värdena är ca 40%
högre än de uppmätta. Även i detta fall noteras de högsta värdena vid Sticklinge och
Fiskartorpet. De lokala utsläppen av kväve beräknas bidra med 29% respektive 46%.

Av Tabell 8 framgår även att det är framförallt variationerna i torrdepositionen som ger
upphov till de största skillnaderna mellan de olika mätplatserna. Den högsta torrdeposi-
tionen, både när det gäller svavel och kväve, beräknas för Fiskartorpet och Sticklinge.

Den högsta våtdepositionen beräknas inträffa vid Gladö som ligger alldeles väster om det område på Södertörn som under 1994/95 fått mest nederbörd i hela länet.

Tabell 8. Svavel och kvävedepositionen i områdena omkring krondroppsytorna. Med lokalt bidrag menas de lokala (i Stockholms län) källornas bidrag till den totala depositionen. Alla värden är i kg (S eller N) per hektar per år.

	Svavel			Kväve		
	Våt-deposition	Torr-deposition	Lokalt bidrag*	Våt-deposition	Torr-deposition	Lokalt bidrag*
Sticklinge	4,0	3,0	1,7	4,8	3,6	3,0
Alby	3,8	1,5	0,1	4,7	0,8	0,3
Säbysjön	3,9	2,2	0,8	4,7	2,9	2,3
Farstanäs	4,1	1,4	0,1	5,0	1,0	0,4
Lämshaga	3,9	1,7	0,4	4,6	1,0	0,5
Gladö	5,7	1,7	0,4	6,6	1,3	0,8
Mjölsta	3,4	1,4	0,0	4,0	0,6	0,0
Svulten	4,0	1,5	0,2	4,8	0,8	0,2
Bergboö	3,9	1,6	0,3	4,6	0,6	0,1
Fiskartorpet	4,0	3,5	2,2	4,8	5,2	4,6
MEDEL	4,1	2,0	0,6	4,9	1,8	1,2

* Dvs. bidrag från utsläpp i Stockholms län.

Referenser

Luftvårdsförbundet , 1995. Luftföroreningar i Stockholms län 1993 - 1994. Luftvårdsförbundet i Stockholms län. Rapport nr 1:95, Stockholms luft- och bulleranalys, Miljöförvaltningen, Box 30 024, 100 64 Stockholm.

Länsstyrelsen, 1996. Luftföroreningar i mellersta Sverige. Nedfall, halter och effekter, oktober 1994 - september 1995. Länsstyrelsen i Stockholms län, Miljövårdsenheten, Rapport nr. 20, september 1996.

Slb-analys, 1993. Luftföroreningar på Svenska Högarna och Landsort. Stockholmsregionens inverkan på omgivningen. Rapport nr. 1:93, Stockholms luft- och bulleranalys, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.

Slb-analys, 1995. Deposition av svavel och kväve till marken i Stockholms län. Presentation av mätningar av våtdepositionen och beräkningar av torrdepositionen 1988 - 1994. Rapport nr. 1:95, Stockholms luft- och bulleranalys, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.

Modén, H. och Nyberg, A. Stockholmsområdets klimat. Del 1. Nederbörden. SMHI, meddelanden, Serie B, Nr. 19, 1965.

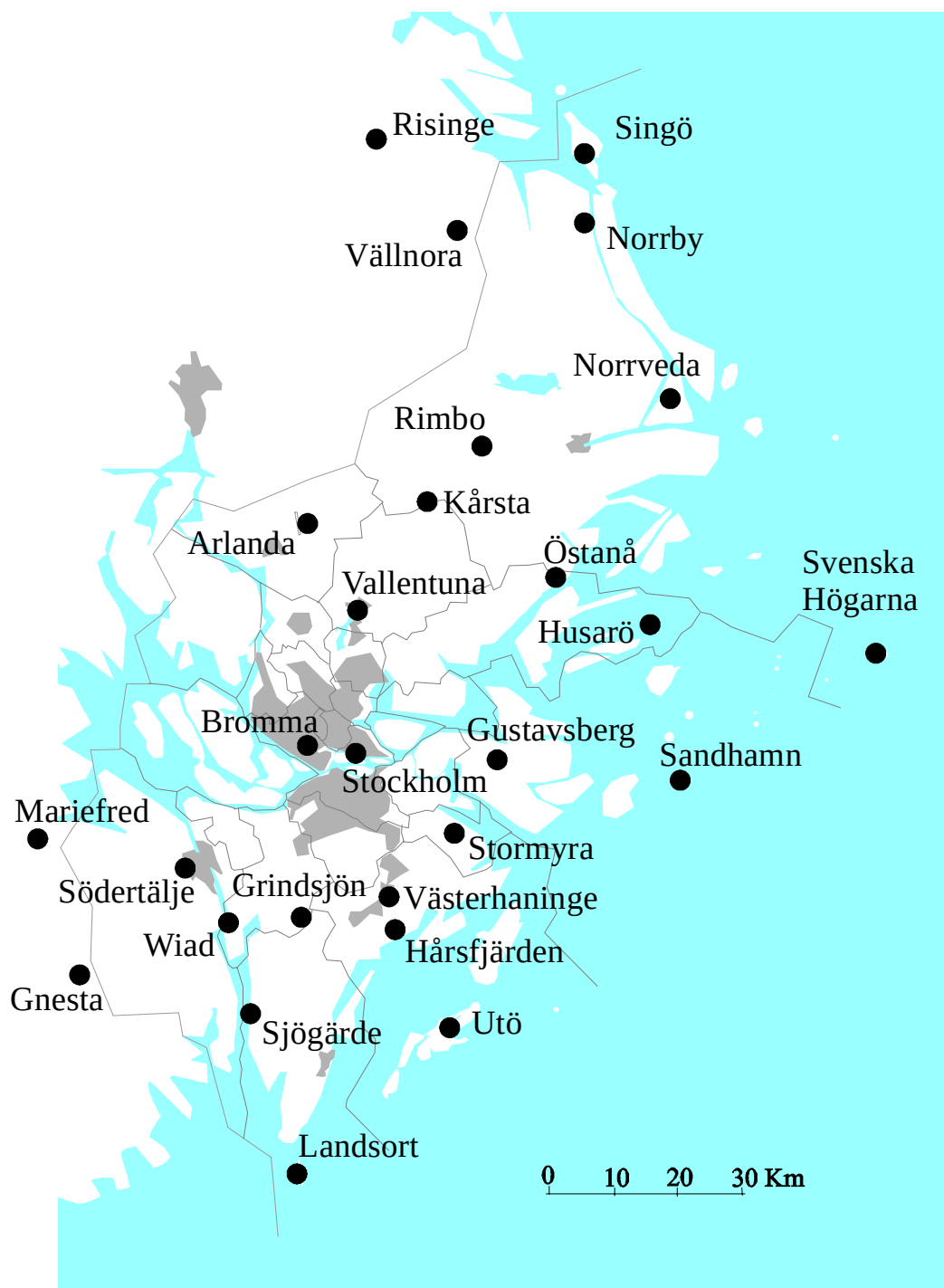
Bilaga 1

Kartor i A4-format

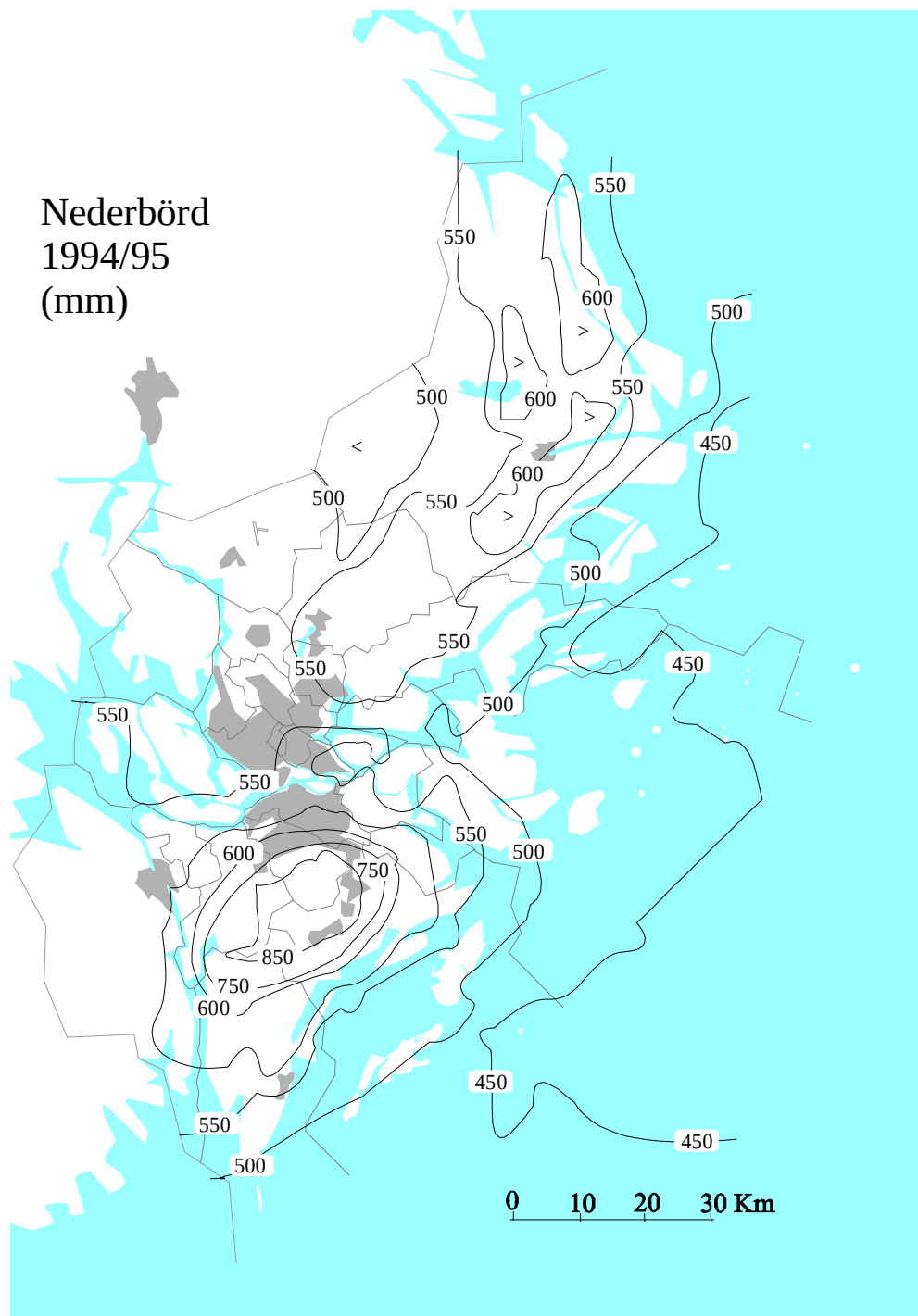
I denna bilaga presenteras figurena med kartor som visar depositionens och nederbördens geografiska fördelning. Figurena är desamma som redovisas i huvuddokumentet men har förstörats till A4 format för att ge en tydligare bild av variationerna.



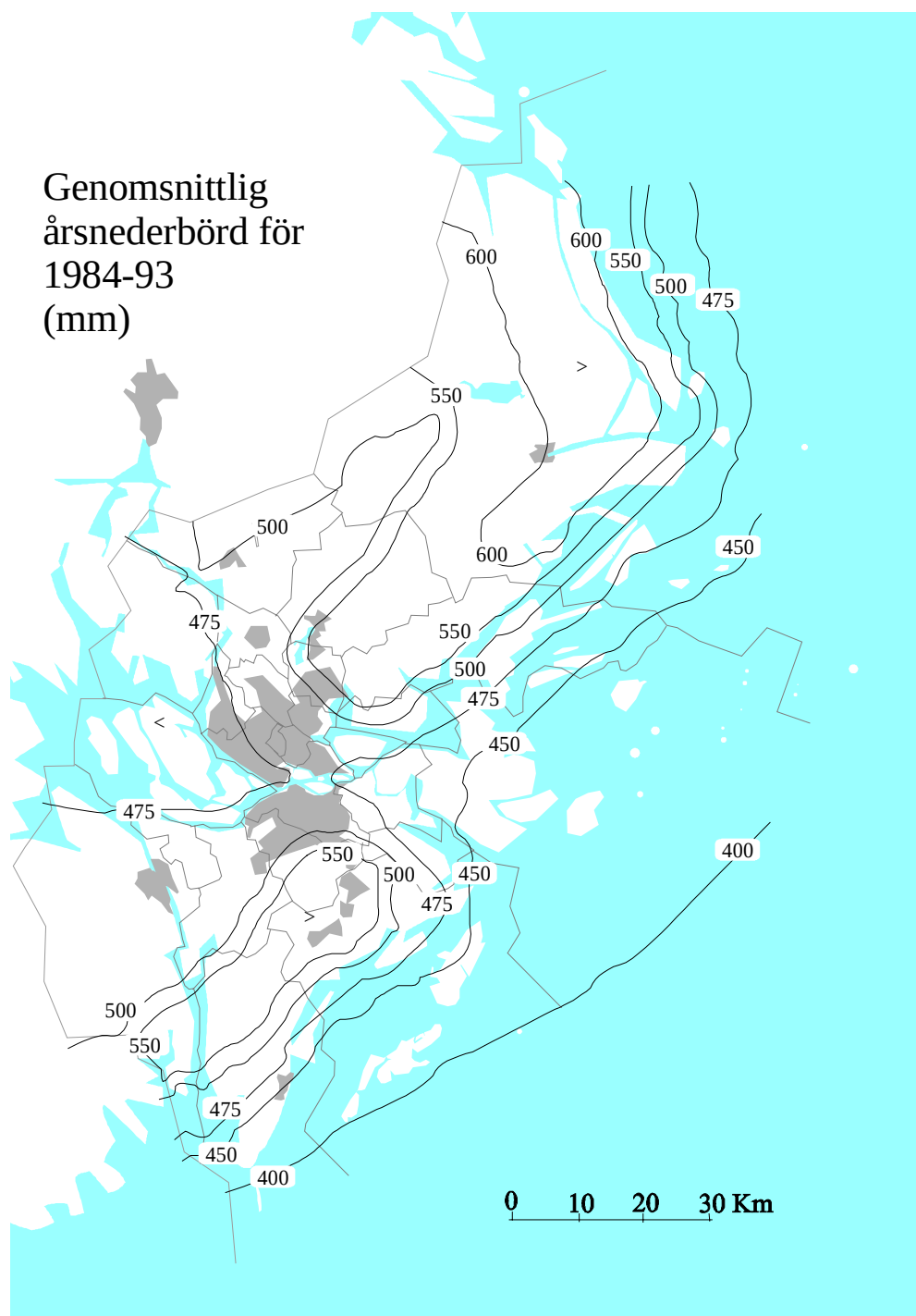
Mätstationer för provtagning och analys av nederbörd och krondropp.
Luftvårdsförbundet och Länsstyrelsen i Stockholms län.
(Figur 2 i texten)



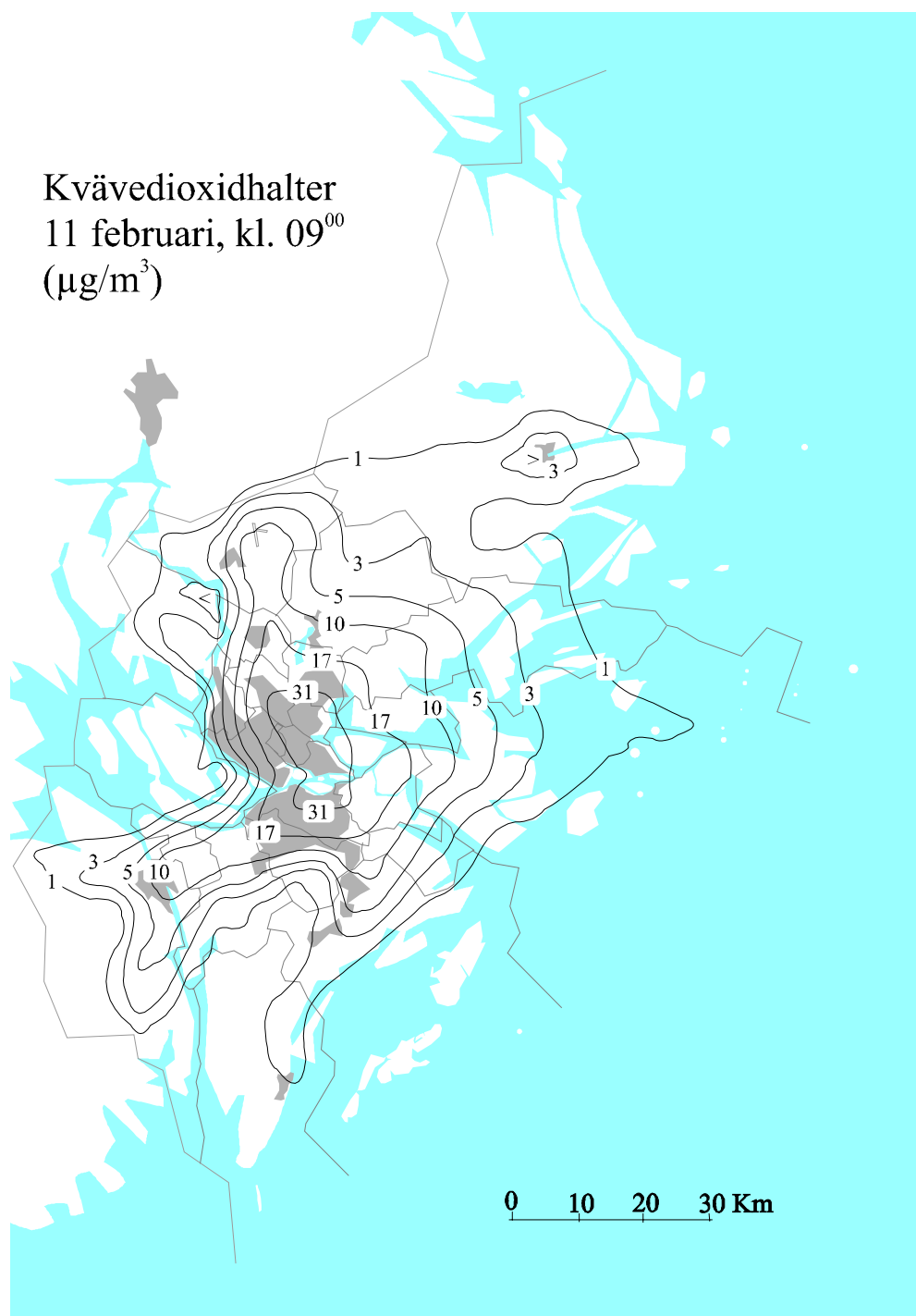
Mätstationer som utnyttjats för att beskriva nederbördens geografiska variation
Mätstationerna ingår i SMHI's stationsnät för nederbörd.
(Figur 3 i texten)



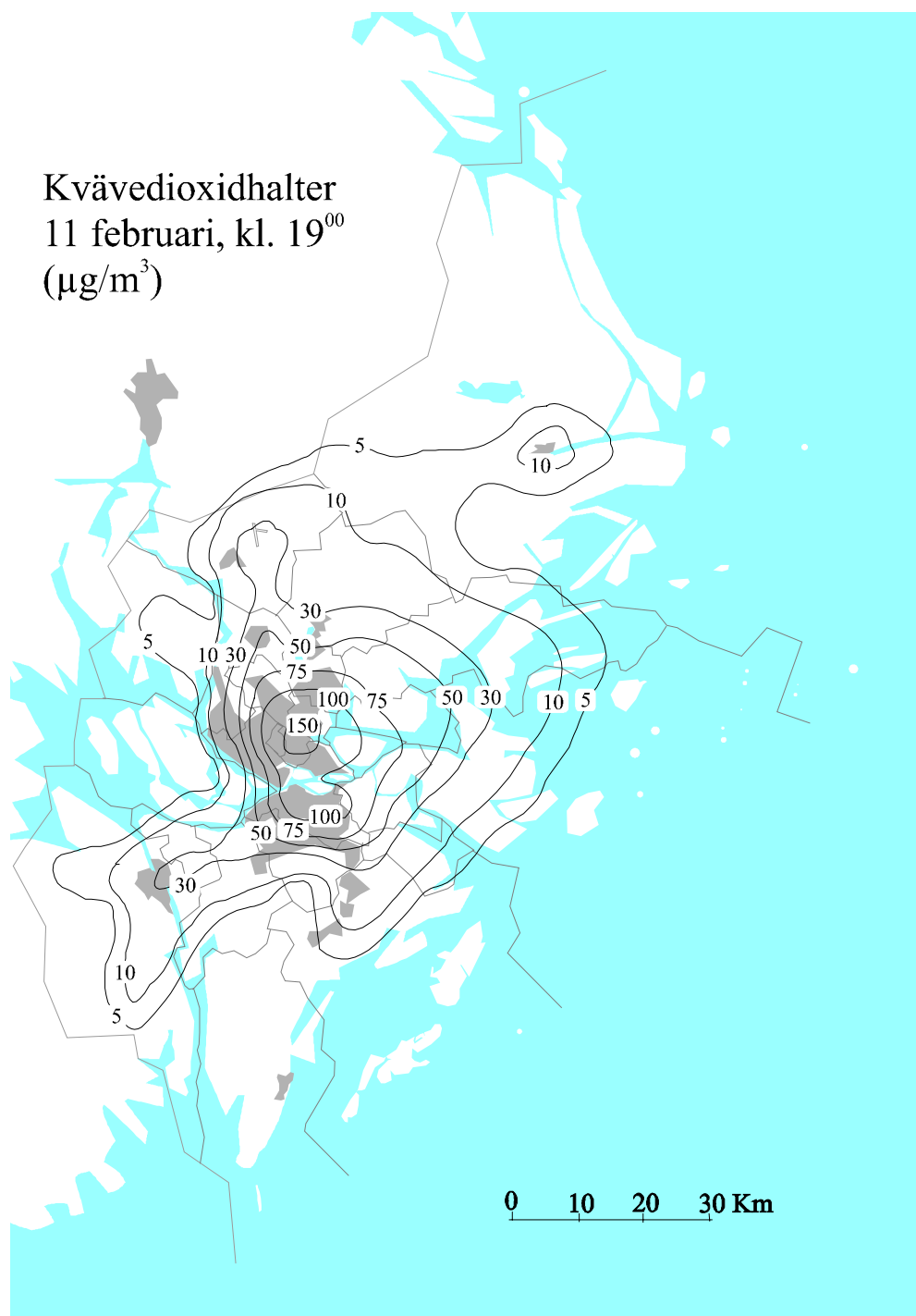
Geografisk fördelning av årsnederbörden för perioden oktober 1994 - september 1995.
Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre
än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 9 i texten)



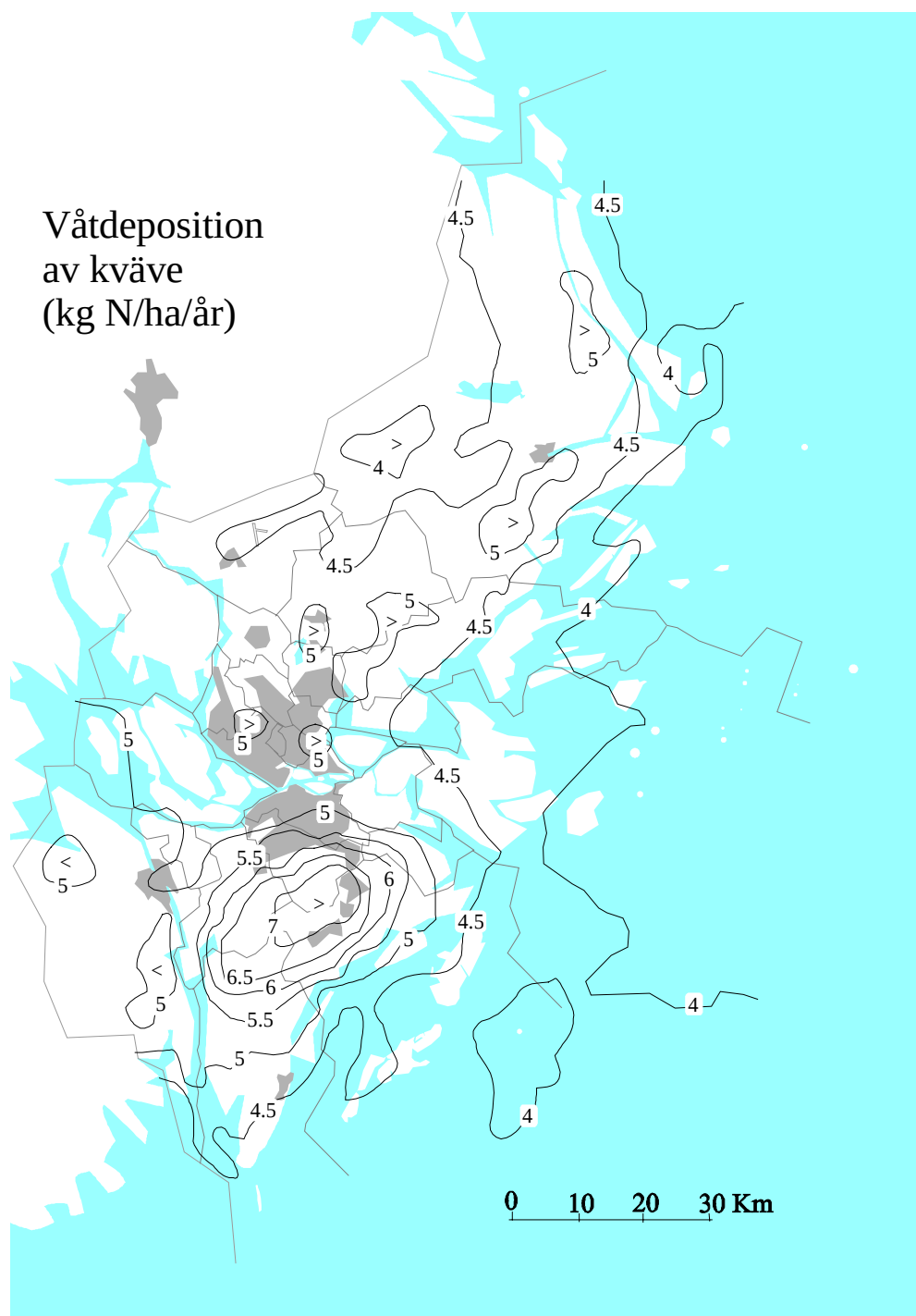
Genomsnittlig geografisk fördelning av årsnederbörden för 10 år (1984—1993).
Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre
än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 10 i texten)



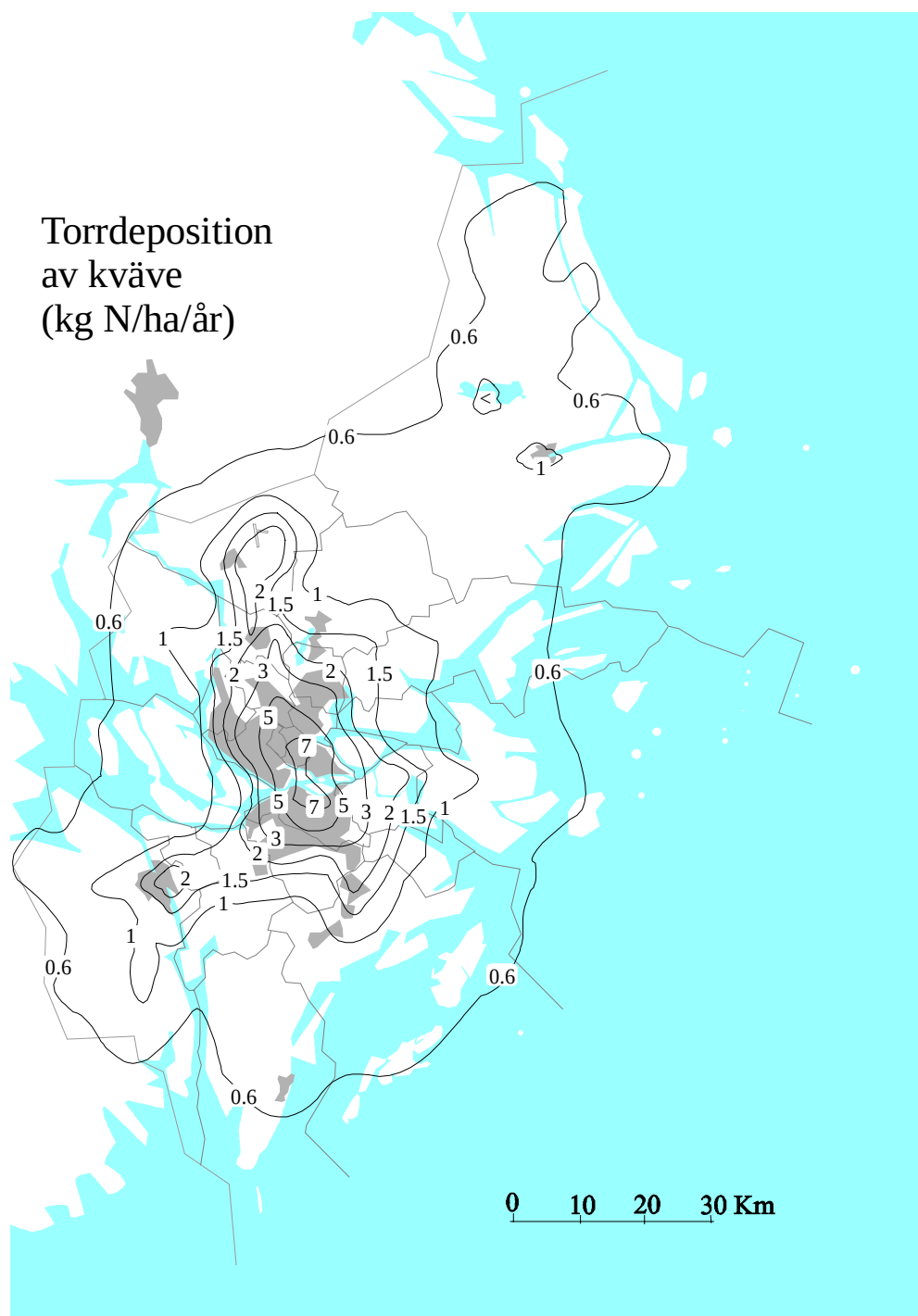
Geografiska variationen i halterna av kvävedioxid den 11 feb. 1995, kl. 09⁰⁰.
Tecknet ">" betyder att värdena i området är högre
än värdet längs närmaste isolinje
(Figur 11 i texten)



Geografiska variationen i halterna av kvävedioxid
den 11 feb. 1995, kl. 19⁰⁰.
(Figur 12 i texten)



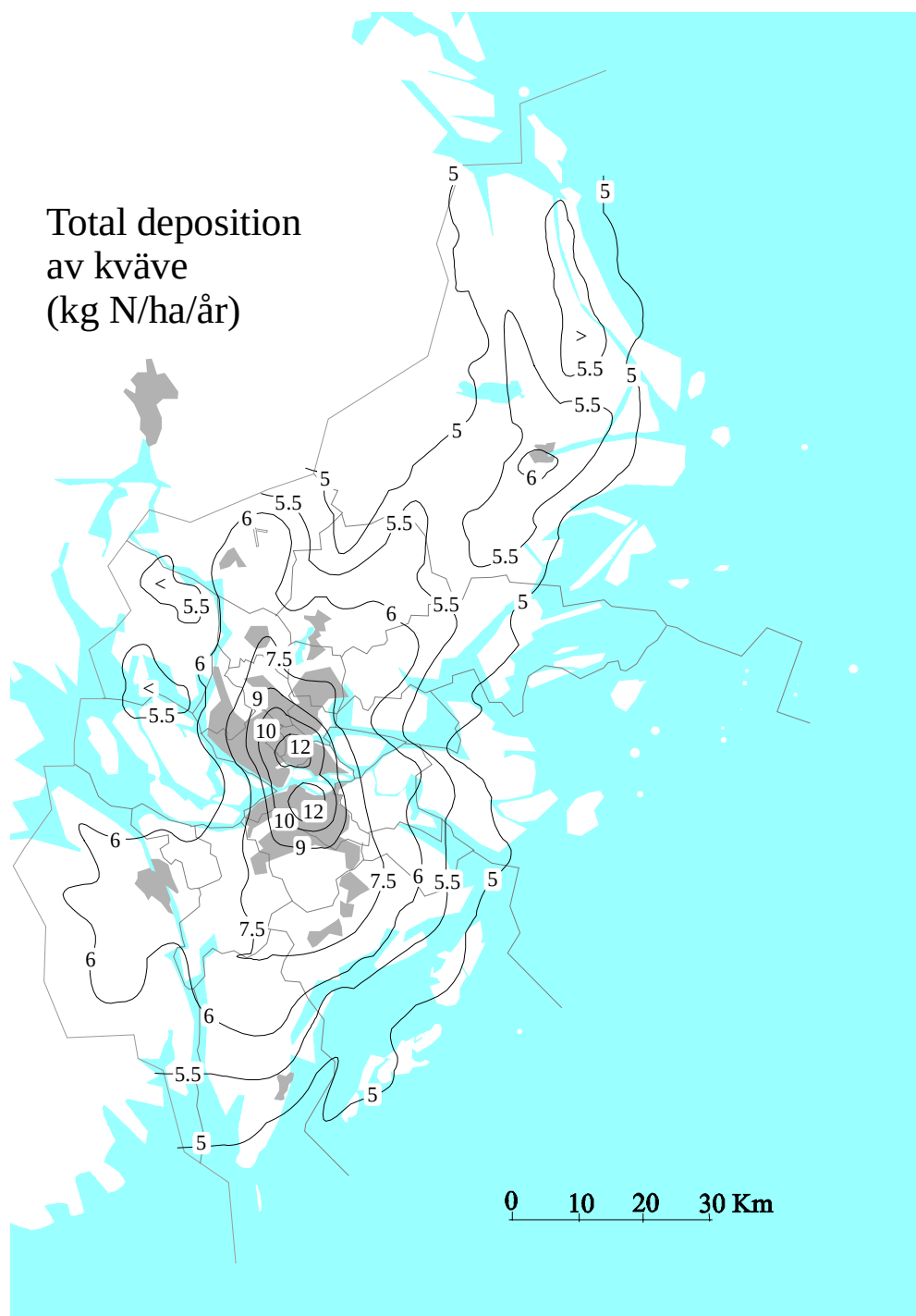
Geografisk fördelning av våtdepositionen av kväve för perioden oktober 1994 till och med september 1995.
Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 13 i texten)



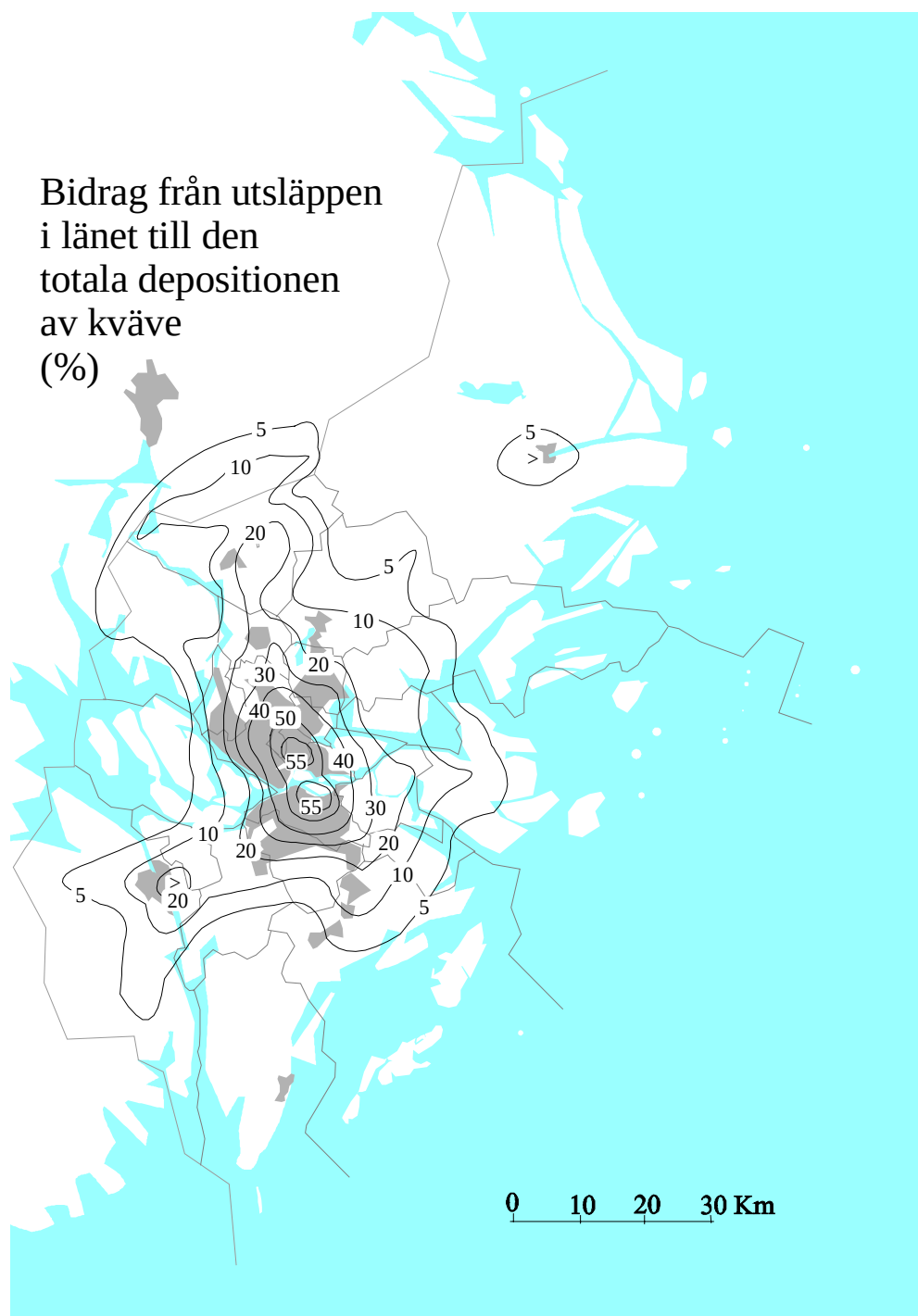
Geografisk fördelning av torrdepositionen av kväve för perioden
oktober 1994 till och med september 1995.

Tecknet "<" betyder att värdena i området är lägre
än värdet längs närmaste isolinje.

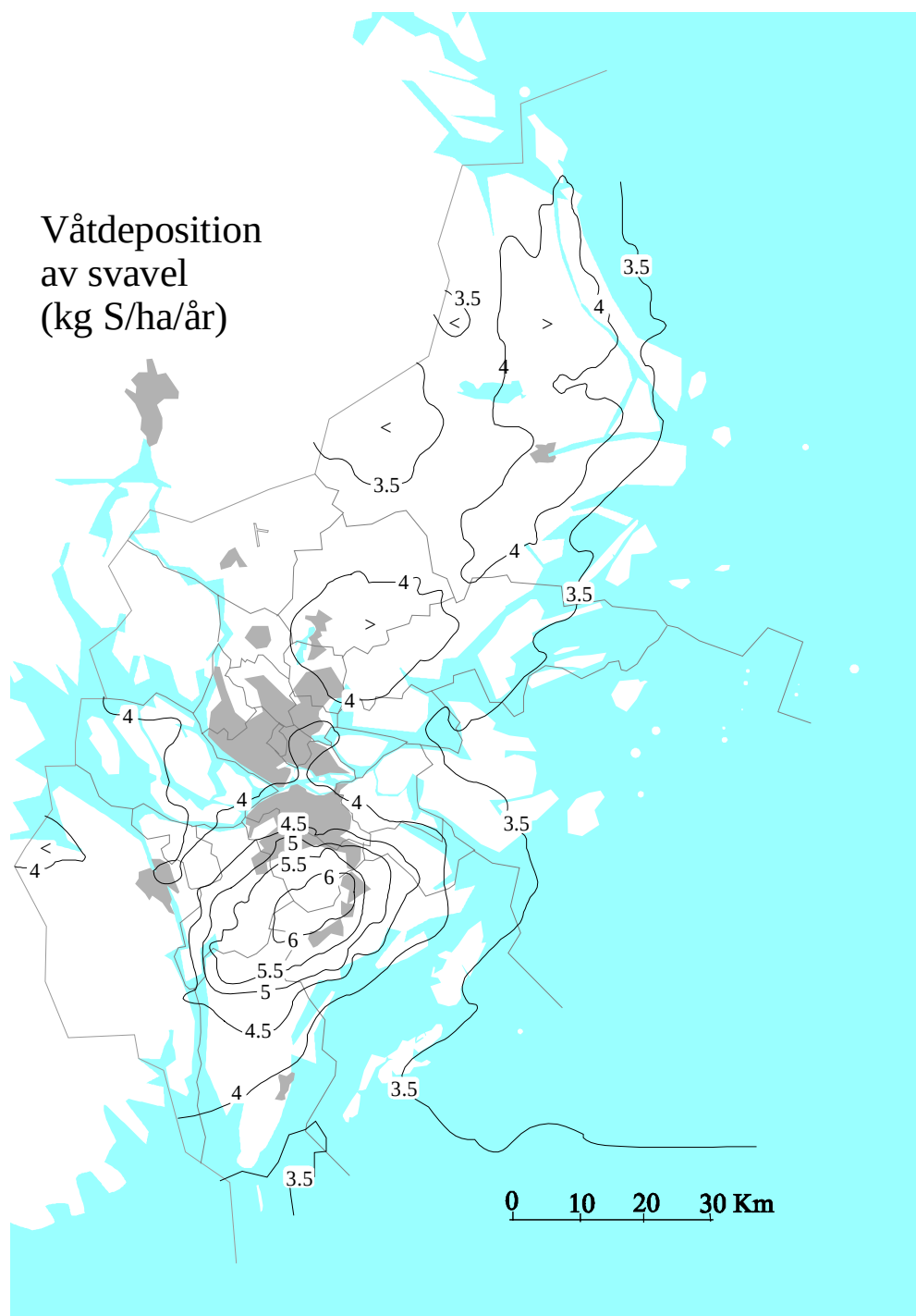
(Figur 13 i texten)



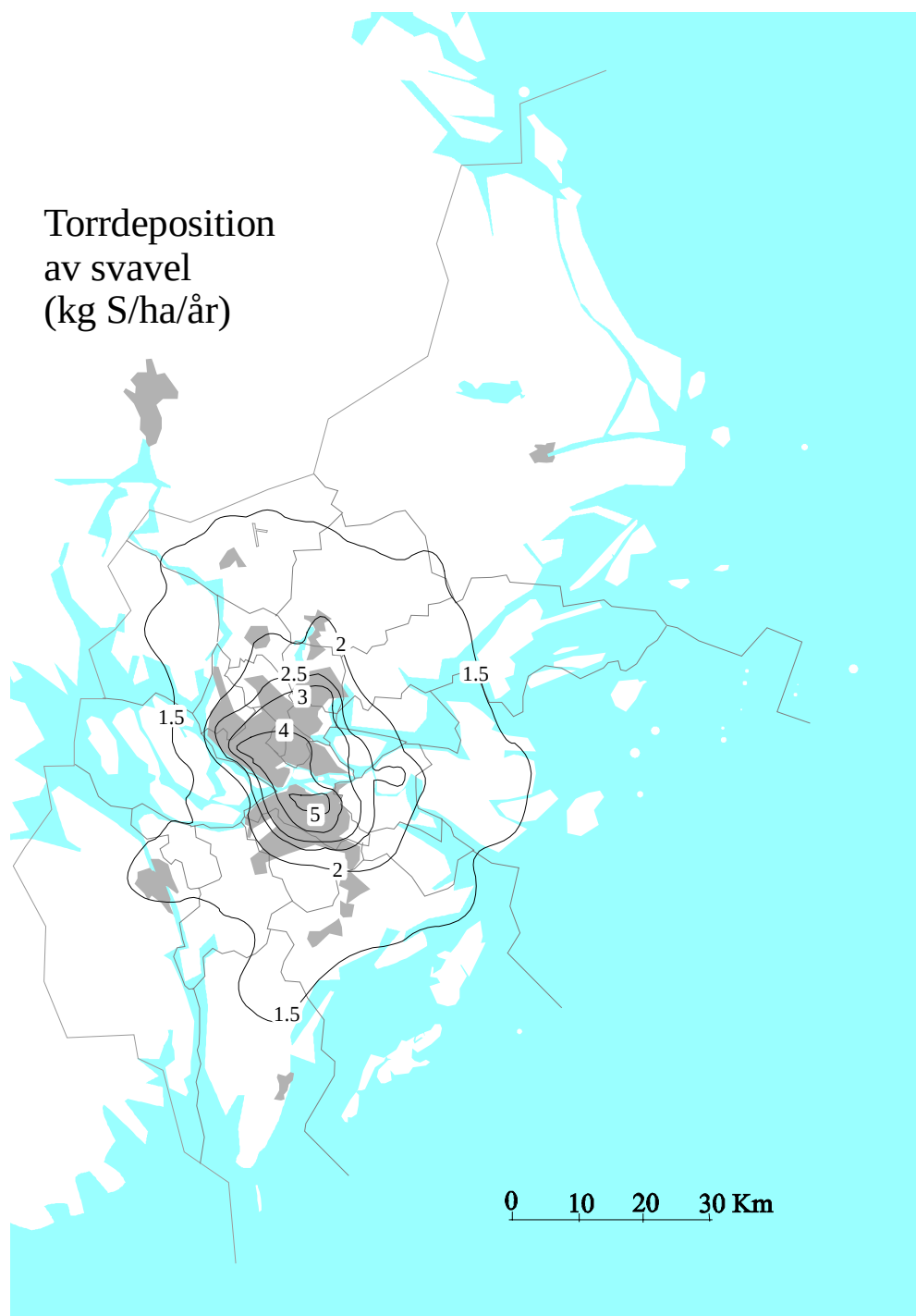
Geografisk fördelning av den totala depositionen av kväve och depositionen
(oktober 1994 till och med september 1995)
Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre
än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 14 i texten)



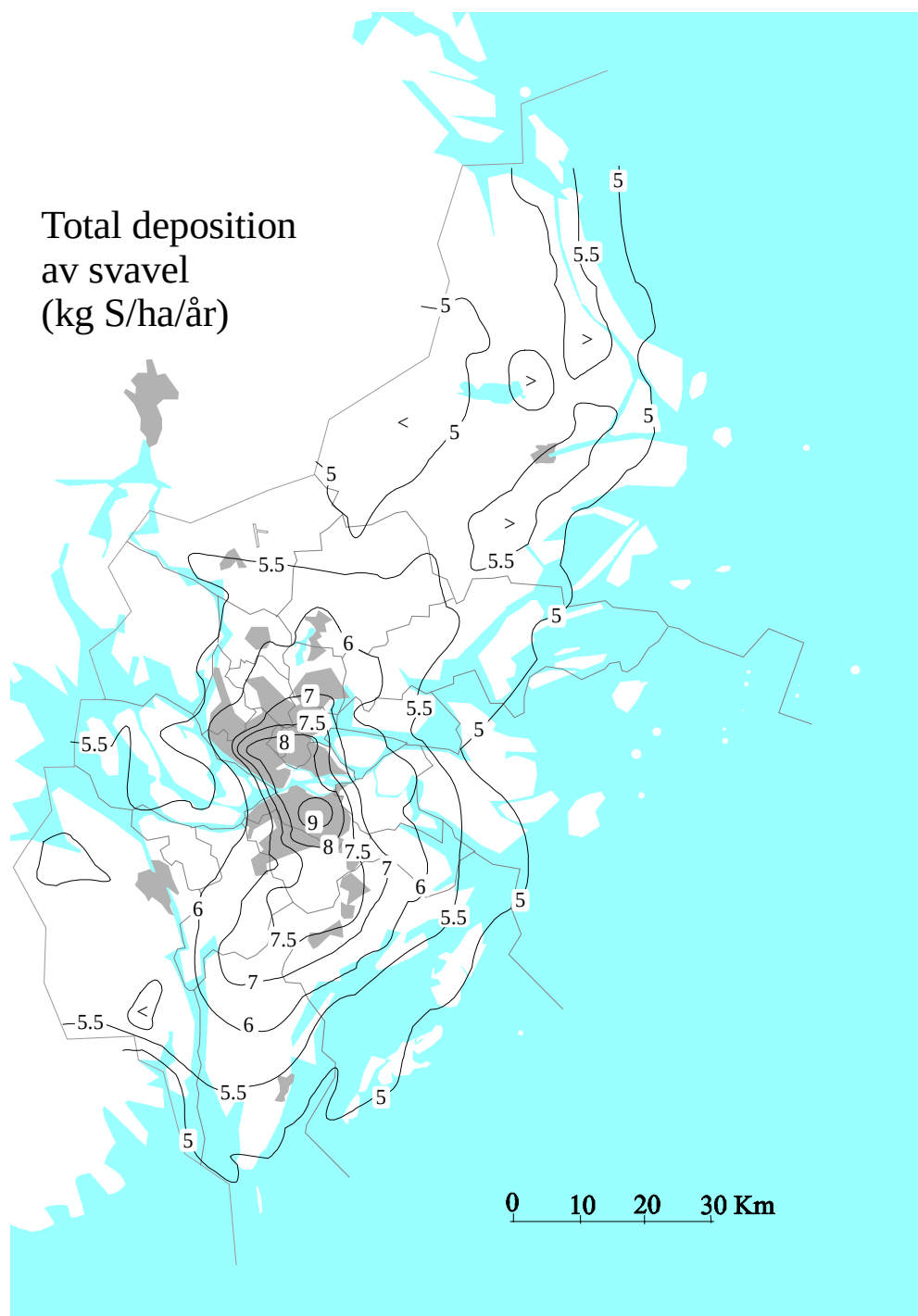
Bidrag till den totala kvävedepositionen från utsläppen i Stockholms län.
Tecknet ">" betyder att värdena i området är högre
än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 15 i texten)



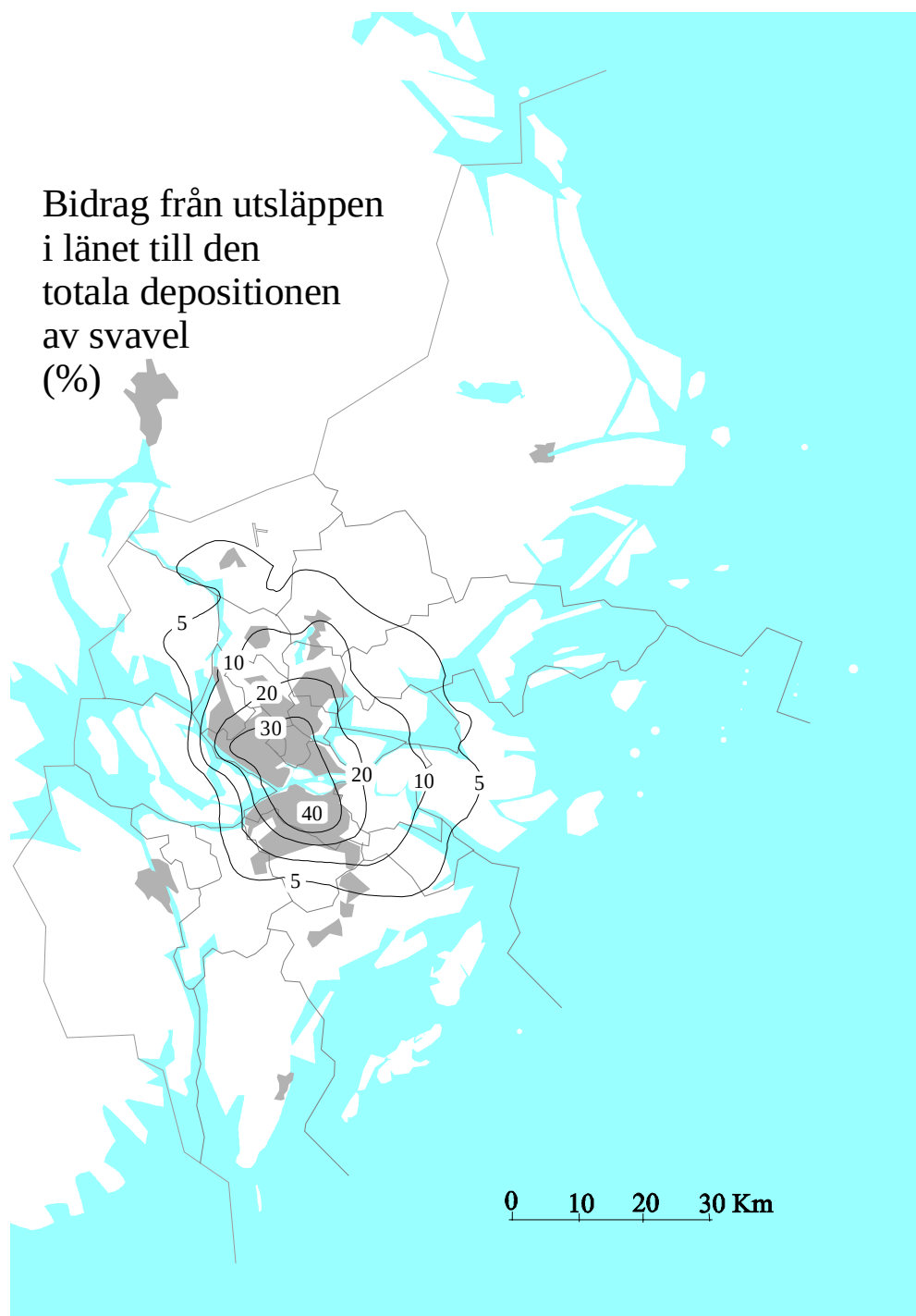
Geografisk fördelning av våtdepositionen av svavel för perioden oktober 1994 till och med september 1995.
Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 16 i texten)



Geografisk fördelning av torrdepositionen av svavel för perioden
oktober 1994 till och med september 1995.
(Figur 16 i texten)



Geografisk fördelning av den totala depositionen av svavel
för perioden oktober 1994 - september 1995.
Tecknen ">" och "<" betyder att värdena i området är högre respektive lägre
än värdet längs närmaste isolinje.
(Figur 17 i texten)



Bidrag till den totala svaveldepositionen från utsläppen i Stockholms län.
(Figur 18 i texten)

Bilaga 2

Torr- och våtdepositions- processer

INNEHÅLL

1. BAKGRUND.....	1
2. BESKRIVNING.....	2
2.1 Torrdeposition	2
2.1.1 Den aerodynamiska resistansen, R_a	3
2.1.2 Laminära gränsskiktsresistansen, R_b	4
2.1.3 Ytresistansen, R_s	4
2.2 Våtdeposition.....	7
2.2.1 Uttvättningsprocesser	7
3. LITTERATURREFERENSER.....	9

1. Bakgrund

Förr eller senare återvänder alla föroreningar som släpps ut till jordytan igen. Resultatet blir försurning och eutrofiering av de naturliga ekosystemen. Både gasformiga och partikelbundna ämnen kan avsättas direkt på mark, vattenytor eller vegetation. Denna process kallas *torrdeposition* eller torrt nedfall. Om ämnena fångas upp av moln- eller regndroppar och återvänder till markytan via nederbörden benämns processen *våtdeposition* eller vått nedfall.

En realistsik beskrivning av torr- och våtdepositionsprocesserna är av avgörande betydelse för beräkningarna av transporten och nedfallet av luftföroreningarna i olika områden.

Torrdepositionen varierar drastiskt mellan olika ämnen och är även beroende på ytans beskaffenhet och atmosfärens stabilitet. Vid förbränningsprocesser emitteras kväve till största delen i form av kvävemonoxid (NO), som efterhand oxideras till bland annat kvävedioxid (NO₂), salpetersyra (HNO₃) eller blir bundet i partikelform som nitrat. Dessa olika former av oxiderade kväveföreningar har väsentligt olika depositions hastigheter. Salpetersyra fastnar mycket effektivt på de flesta ytor medan partikulärt bundet kväve i form av nitrat torrdeponeras mycket långsamt och kan transporteras långa sträckor innan det fastläggs på markytan.

I många modeller används konstanta depositions hastigheter för olika ämnen. Torrdepositionen av vissa ämnen till vegetationsbeksädda ytor varierar emellertid kraftigt under dygnet beroende på att bladens/barrens klyvöppningar begränsar hastigheten varmed ämnen deponeras. Typ av vegetation är också av stor betydelse. En skogsbeksädd yta utsätts för ett större nedfall jämfört med en plan gräsyta p g a att gasformiga och partikelbundna ämnen effektivt fångas upp av trädens barrskrud. Tillsammans med geografisk information om landanvändning mm kan en ytriktig presentation av depositionen till olika delar av länet presenteras.

När det gäller våtdepositionen spelar nederbördens fördelning i tiden och i rummet en avgörande roll för nedfallet. Trots att det i Sverige i genomsnitt råder uppehållsväder i nio fall av tio är våtdepositionen ofta är lika betydelsefull som torrdepositionen. Bidraget till våtdepositionen från källor utanför regionen kan erhållas från lokala mätningar av nederbördens kemiska sammansättning på strategiska platser i länet.

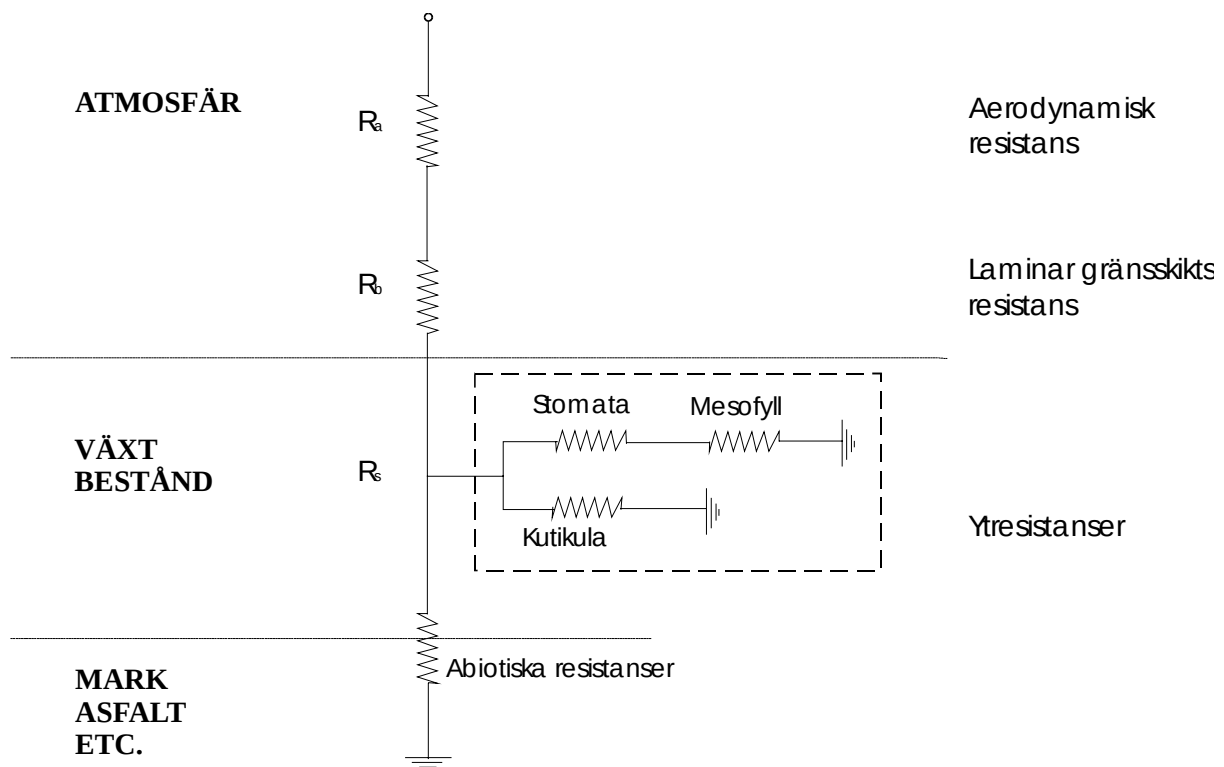
Trots mycket stora forskningsinsatser under flera årtionden finns fortfarande ett stort behov av enkla, tillförlitliga metoder att uppskatta torrdepositionen av olika ämnen (Davidson och Wu, 1989; Hicks et al., 1989). Eftersom mätningar av torrdepositionen över stora ytor är mycket komplicerade att genomföra är man hänvisad till att använda modellberäkningar för att uppskatta depositionen under längre tidsperioder. Parameteriseringarna som utnyttjas här bygger på de senaste forskningsresultaten från mätningar av torrdeposition och är relativt väl etablerade samband som används flitigt för torrdepositions uppskattningar.

För våtdepositionen av luftföroreningar finns däremot relativt väl etablerade mätmetoder. I Stockholms län finns ett flertal mätstationer för insamling av nederbörd, som sedan analyseras med avseende på halterna av huvudkomponenterna. I Sverige finns ett stort antal mätstationer för våtdeposition som drivs inom ramen för PMK och EMEP-programmen.

2. Beskrivning

2.1 Torrdeposition

Torrdepositionen beror av en rad parametrar, såsom vindhastigheten, temperaturen, solinstrålningen, ytans beskaffenhet och ämnenas kemiska egenskaper. Man brukar dela in torrdepositionsprocesserna med avseende på tre skikt i luften närmast markytan; den turbulenta transporten av gaser/partiklar i ytskiktet, diffusionen genom det quasi-laminära skiktet närmast ytan och slutligen själva upptaget av gaserna/partiklarna på ytan (Garland, 1977). För var och en av dessa tre skikt beskrivs transporten med hjälp av s k resistanser; den aerodynamiska resistansen (R_a), gränsskiktsresistansen (R_b) och ytresistansen (R_c). I figur 1 illustreras hur depositionen beskrivs med hjälp av resistansbegreppet.



Figur 1. Illustration av resistansbegreppet för beskrivning av torrdepositionen av luftföroreningar.

Inversen av summan av dessa resistanser är lika med torrdepositionshastigheten (v_d):

$$v_d = \frac{1}{R_a(z) + R_b + R_s} \quad (1)$$

Torrdepositionshastigheten anges ofta i enheten centimeter per sekund. Upptaget av ett visst ämne beräknas därefter enligt:

$$T = (v_d)_i(z_{ref}) c_i(z_{ref}) \quad (2)$$

där man antagit att flödet är proportionellt mot torrdepositions hastigheten och halten av ämnet på en viss referenshöjd (oftast 2 m).

2.1.1 Den aerodynamiska resistansen, R_a

Den aerodynamiska resistansen beror av vindhastigheten, stabiliteten och ytans skrovlighet. Under neutrala förhållanden (Monin-Obukhov länden, $L=0$) beräknas den aerodynamiska resistansen enligt:

$$R_a(z_r) = \frac{0.74}{u_*} \ln \frac{z_r}{z_o} \quad (3)$$

Under instabila förhållanden ($L < 0$) beräknas R_a enligt:

$$R_a(z_r) = \frac{0.74}{\kappa u_*} \left(\ln \frac{(x-1)}{(x+1)} - \ln \frac{(y-1)}{(y+1)} \right) \quad (4)$$

med

$$x = \sqrt{1 - 9 \frac{z_r}{L}} \quad (5)$$

och

$$y = \sqrt{1 - 9 \frac{z_o}{L}}. \quad (6)$$

Under stabila förhållanden ($L > 0$) beräknas R_a enligt:

$$R_a(z_r) = \frac{1}{\kappa u_*} (0.74) . \quad (7)$$

Värden på den skrovlighetsparamtern varierar kraftigt för olika ytor. För varje gridruta (2 x 2 km) görs en interpolation där hänsyn tas till relativa fördelningen av olika typer av ytor i gridrutan.

2.1.2 Laminära gränsskiktsresistansen, R_b

Den laminära gränsskiktsresistansen beror av gasens molekylära diffusionshastighet och friktionshastigheten (egentligen av tjockleken på det laminära skiktet närmast ytan). Den beräknas i modellen i enlighet med:

$$R_b = \frac{1}{\kappa u_*} \left(2 \frac{\theta}{D_i} \right)^{2/3} \quad (8)$$

D_i är den molekylära diffusionshastigheten för gasen i fråga och θ är luftens kinematiska viskositet ($=0.15 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ vid 20°C , 1 atm).

2.1.3 Ytresistansen, R_s

Mätningar av torrdepositionen av SO_2 , NO_2 och O_3 till olika typer av vegetationstäckan har visat att klyvöppningsgraden spelar en mycket viktig roll för torrdepositions-hastigheten (Fowler, 1978; Wesley and Hicks, 1978; Johansson, 1989). Som framgår av figur 1 brukar man dela upp ytresistansen i en resistans för upptag via bladens/barrens klyvöppningar (st=stomata) och mesofyll, resistansen för upptag på bladens/barrens kutikula och resistansen för upptag på marken (jord, asfalt, byggnader, sjötor etc.). Ytresistansen definierad enligt ekvation (1) kan därför skrivas:

$$R_s = \left(\frac{1}{R_m} \right)^{-1} \quad (9)$$

I ekvation (9) är "leaf area index" (LAI) ett mått som används för att räkna om stomata resistansen (r_{st}), mesofyllresistansen (r_{mes}) och kutikularresistansen (r_{cut}), som alla anges per ytenhet blad eller barr, till markyta.

2.1.3.1 Stomataresistansen, r_{st}

Upptaget via bladens/barrens stomata (eller klyvöppningar) beror på en rad faktorer såsom luftens temperatur och fuktighet, solinstrålningen samt även av markfuktigheten. Transporten genom stomata sker genom molekylär diffusion av gasen i fråga. I modellen utnyttjas empiriska samband baserade på omfattande undersökningar och analogier med transpirationen av vattenånga (Jarvis, 1976; Hicks et al., 1987):

$$r_{st} = r_{st,i}^{\min} \left(1 + \frac{a_i}{I_{PAR}} \right) \left(\frac{1}{1 - b_i [e_s(T) - e]} \right) \left(\frac{D_w}{D_i} \right) \frac{1}{f_T} \quad (10)$$

I ekvation (10) är $r_{st,i}^{\min}$ en minimiresistans, som är karakteristisk för vegetationstypen (se tabell 2). Konstanten, a_i , beskriver klyvöppningsgradens ljusberoende och är lika med ljusintensiteten då stomata resistansen är dubbelt så stor som den minimala stomataresistansen. Luftfuktighetens inverkan beskrivs av en empirisk konstant, b_i samt skillnaden i ångtryck mellan jämviktsångtrycket, $e_s(T)$ (som antas råda i klyvöppningarna) och luftens aktuella ångtryck, e .

f_T är en korrektionsfaktor för temperaturens inverkan och antar värden mellan 0 och 1 (Jarvis, 1976):

$$f_T = \frac{T - T_{\min}}{T_o - T_{\min}} \left(\frac{T_{\max} - T}{T_{\max} - T_o} \right)^{b_T} \quad (11)$$

$T_{\max}$ och $T_{\min}$ är de extrema temperaturer då klyvöppningarna stänger helt. T_o är temperaturen då fotosyntesen och klyvöppningarna fungerar optimalt. Experimentellt bestämda värden för olika växter har utnyttjats och redovisas i tabell 2. D_w är diffusiviteten för vattenånga (för vilken den minimala resistansen är bestämd) och D_i är diffusiviteten för gasen i fråga.

Tabell 2. Typiska värden på olika parametrar som används i modellen för att beräkna torrdepositionen till olika marktyper.

Markyta	Minimal klyvöppning ($s\ m^{-1}$) ¹⁾	Skrovlighetsparameter, z_0 (m)	Ljusfaktor (a i ekv 10) (W/m^2)	Temperatur - min (T_{min}) ($^{\circ}C$)	Temperatur - max (T_{max}) ($^{\circ}C$)	Temperatur - opt (T_o) ($^{\circ}C$)
Barrskog	350	0.7	25	0	40	15
Lövskog	400	0.7	25	0	40	15
Åker	130	0.1	40	5	45	25
Sjöytor	-	0.02	-	-	-	-
Tätort	-	1	-	-	-	-

¹⁾ Gäller för vattenånga.

2.1.3.2 Kutikular resistansen, r_{cut} och mesofyllresistansen, r_{mes}

Kutikula- och mesofyllresistanserna antas i modellen är kraftigt beroende av vilket ämne som betraktas. Endast de mest reaktiva och lösliga ämnena fastnar på barrens/bladens kutikula (Meyers et al., 1989). Informationen om betydelsen av kutikulaupptaget och mesofyllresistansens inverkan på den totala torrdepositionen är dock mycket begränsad. I modellen antas att mesofyllresistansen är konstant över dygnet. Typiska värden redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Värden på kutikula resistansen och mesofyllresistansen ($s\ m^{-1}$) för några ämnen.

Resistans	Landanvändning	HNO ₃	NO ₂	PAN	SO ₂ , NH ₃ *	O ₃
Kutikula res.	Forest	0	500	1000	0.5*r _{st}	0.5*r _{st}
Kutikula res.	Crops	0	500	1000	2*r _{st}	2*r _{st}
Mesofyll res.	Forest	0	200	400	0	0
Mesofyll res.	Crops	0	0	0	0	0

* Ammoniak kan också avgå (emitteras) från marken.

2.2 Våtdeposition

2.2.1 Uttvättningsprocesser

Våtdepositionen beror av halten av ämnet i nederbörden och av nederbörds mängden. För små partiklar är de viktigaste mekanismerna för våtdeposition dels kondensation av vatten på partiklarna varvid molndroppar bildas, dels impaktion mot fallande regndroppar under ett moln. Upptaget av gaser i molndroppar bestäms främst av kemiska processer i dropparna; utbytet av gaser mellan vätskedropparna och luften omkring dem sker relativt snabbt så att jämvikt råder mellan halten i luften och halten i droppen.

I modellen beskrivs nederbördsuttvättningen med hjälp av s k uttvättningskvoter för olika ämnen:

$$w = \frac{c_n}{c_l} \quad (12)$$

där c_n och c_l är koncentrationen av ämnet i nederbörden respektive i luften i marknivå. Uttvättningskvoterna varierar mellan 10^5 till 10^6 . I tabell 3 redovisas de värden som används i modellen.

Ämne	Uttvättningskvot	Kommentar
HNO ₃	$1.4 \cdot 10^6$	
SO ₂	$3 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5 \sin(2\pi(\tau - \tau_o/\tau_a))$ τ =aktuell dag på året τ_o =80 dagar τ_a =365 dagar	I denna parameterisering tas hänsyn till upptag i molndroppar och regndroppar i enlighet med EMEP-modellen (Iversen et al., 1991)
NH ₃	$1.4 \cdot 10^6$	
Partiklar (NO ₃ ⁻ , etc.)	$1 \cdot 10^6$	

Våtdepositionen (massa per ytenhet och tidsenhet) kan uttryckas som

$$V = w P c_l \quad (13)$$

där P är nederbördsintensiteten under tidsperioden.

Förteckning över symboler:

Symbol	Namn	Enhet
v_d	Depositionshastigheten	m s^{-1}
R_a	Aerodynamiska resistansen	s m^{-1}
R_b	Laminära gränsskiktresistansen	s m^{-1}
R_s	Ytresistansen	s m^{-1}
r_s	Resistans för upptag på marken	s m^{-1}
r_{st}	Resistans för upptag via klyvöppningarna	s m^{-1}
r_{cut}	Resistans för upptag på kutikulan	s m^{-1}
r_{mes}	Resistans för upptag i mesofyll	s m^{-1}
u^*	Frikions hastigheten	m s^{-1}
z_r	Referenshöjden, i gridmodellen ekviv m den lägsta gridpunkten.	m
z_o	Skrovligheten	m
z	Höjd över marken	m
L	Monin Obukhovlängden	m
κ	von Karmans konstant	
Θ	Viskositeten	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
D_i	Diffusionskoefficienten av ämne i	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
c_i	Halten av ämne i	$\mu\text{g m}^{-3}$
w	Uttvättningskvot	
P	Nederbörds mängden	mm
T_o	Temperaturoptimum för fotosyntes och transpiration (ekv. 11)	$^{\circ}\text{C}$
T_{max}	Max och min temperatur för transpiration/fotosyntes (ekv 11)	$^{\circ}\text{C}$
LAI	"Leaf Area Index"; mängden bladyta per ytenhet mark	m^2/m^2
D_w	Diffusionskoefficienten för vattenånga	m^2/s
f_T	Korr faktor f temperaturens inverkan på torrdepositionen (ekv 11)	
$e_s(T)$	Måttadsångtrycket vid temp T	mb
e	Aktuellt ångtryck	mb
I_{PAR}	Fotosyntetiskt aktiv strålning (Beräknas utifrån uppmätt globalstrålning)	
a_i	Växttypspecifik empirisk konstant i ekv 10. Ljusintensiteten då stomataresistansen är dubbelt så stor som intensiteten vid minimal resistans	W/m^2
b_i	Växttypspecifik empirisk konstant i ekv. 10, som beskriver stomataresistansens ångtrycksberoende	
r_{st}^{min}	Minimal stomataresistans (vegetationsspefik)	s m^{-1}
c_n	Halten av ett ämne i nederbörden	$\mu\text{g/m}^3$
c_l	Halten av ett ämne i luften vid marken	$\mu\text{g/m}^3$

3. Litteraturreferenser

- Hicks, B.B., Baldocchi, D.D., Meyers, T.P. Hosker, R.P. and Matt, D.R., 1987. Multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measurable quantities. *Water, Air and Soil Pollution*, 36, 311-330.
- Hicks, B. B., Draxler, R.R., Albritton, D.L., Fehsenfeld, F.C., Hales, J.M., Meyers, T.P., Vong, R.L, Dodge, M., Schwartz S.E., Tanner R.L., Davidson, C.I., Lindberg, S.E. och Wesley, M.L., 1989. Atmospheric processes research and processes model development. State of Science/Technology Report No. 2, National Acid Precipitation Assessment Program.
- Davidson, C.I. och Wu, Y.L., 1989. dry deposition of particles and vapors. In "Acid Precipitation", vol. 3 (eds. Lindberg et al.), Springer-Verlag, New York.
- Fowler, D., 1978. Dry deposition of SO₂ on agricultural crop. *Atmospheric Environment*, 12, 369-373.
- Garland, J.A., 1977. The dry deposition of sulphur dioxide to land and water surfaces. *Proc. R. Soc. Lond. A.*, 354, 245-268.
- Iversen, T., Saltbones, J., Sandnes, H., Eliassen, A. och Hov, Ø., 1989. Airborne transboundary transport of sulphur and nitrogen over Europe - model description and calculations. EMEP MSC_W report 2/89.
- Jarvis, P.G., 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Phil. Trans. Royal Soc., London*, B273, 563-610.
- Johansson, C., 1987. Pine forest: a negligible sink for atmospheric NO_x in rural Sweden. *Tellus*, 39B, 426-438.
- Meyers, T.P., Huebert, B.J. and Hicks, B.B., 1989. HNO₃ deposition to a deciduous forest. *Boundary-Layer Meteorology*, 49, 395-410.
- Wesley, M. L. and Hicks, B.B., 1977. Some factors that affect the deposition rates of sulfur dioxide and similar gases on vegetation. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 27, 1110-1116.

Bilaga 3

Fotokemiska reaktioner

INNEHÅLL

1. Syfte.....	1
2. Beskrivning	1
2.1 Kemiska processer.....	2
2.1.1 Kväveoxid, NO	2
2.1.2 Kvävedioxid, NO ₂	2
2.1.3 Salpetersyra, HNO ₃	3
2.1.4 Peroxyacetylnitrat, PAN.....	3
2.1.5 Partikulärt nitrat, NO ₃ ⁻ , (exklusive ammoniumnitrat).....	3
2.1.6 Svaveldioxid, SO ₂	4
2.1.7 Partikulärt sulfat, SO ₄ ²⁻ (exklusive ammoniumsulfat)	4
2.1.8 Ammoniak, NH ₃	4
2.1.9 Ammoniumsulfat, (NH ₄) _{1.5} SO ₄	4
2.1.10 Ammoniumnitrat, NH ₄ NO ₃	4
3. Reaktionshastigheter	6
4. Litteraturreferenser	7

1. Syfte

Syftet med kemimodellen är att beskriva de kemiska reaktioner som är relevanta för att möjliggöra dels en kvantifiering av de lokala källornas bidrag till torr- och våtdepositionen av svavel- och kväveföreningar i regionen, dels en kvantifiering av fördelningen mellan olika oxiderade kväve- och svavelföreningar i gasfas och i partikelfas.

Tillsammans med geografisk information om landanvändning mm kan en ytriktig presentation av den totala depositionen till olika delar av länet presenteras. Bidraget till våtdepositionen från källor utanför regionen kan erhållas från lokala mätningar av nederbördens kemiska sammansättning på strategiska platser i länet.

2. Beskrivning

Den kemiska beräkningsmodellen baseras på den s k EMEP¹-modellen ("Nitrogen Model", *Iversen et al., 1989; Eliassen och Saltbones, 1983*). Endast vissa mindre modifieringar har införts. Med hjälp av EMEP modellen görs kontinuerligt beräkningar av emissionerna, transporten och depositionen av luftföroreningar i Europa. Exempelvis beräknas de olika bidragen från enskilda länders utsläpp till nedfallet i andra länder. Syftet är "att förse regeringar i Väst- och Östeuropa med information om depositionen och koncentrationen av långväga transporterade föroreningar och gränsöverskridande flöden".

Modellen består av 11 ämnen:

NO, NO₂, PAN, HNO₃, NO₃⁻, NH₄NO₃, NH₄⁺, NH₃, SO₂, SO₄²⁻, ([NH₄]₂SO₄ + NH₄HSO₄)/2

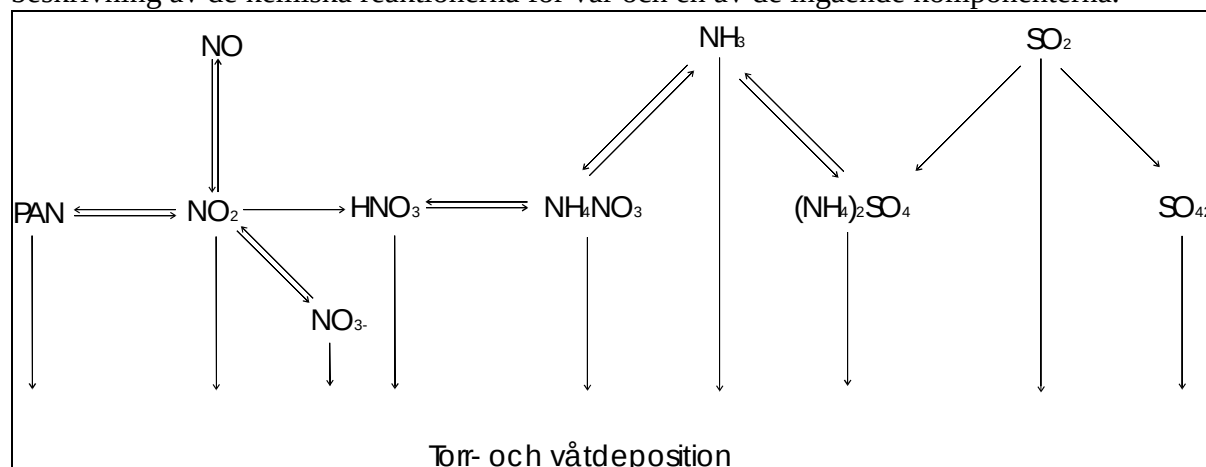
Som ingångsvariabler till modellen utnyttjas mätningar i Stockholms län av ozonhalter, temperatur, globalstrålning och relativ fuktighet. Hydroxylradikal- och metylperoxyradikalhalter har tagits fram ur modellberäkningar med mer avancerad kemi.

Den här beskrivna modellen utgör en del av en gridmodell för Stockholms län med 2 km upplösning. För detaljer om gridmodellen och parameteriseringar av våt- och torrdepositionen av de enskilda ämnena hänvisas till annan dokumentation.

¹ European Monitoring and Evaluation Programme, ett internationellt samarbetsprogram för miljöövervakning och utvärdering av gränsöverskridande luftföroreningar i Europa. EMEP drivs inom ramen för ECE (FN's ekonomiska kommission för Europa) i samarbete med UNEP (FN's miljöprogram) och WMO (World Meteorological Organization). Programmet har ett 60-tal mätstationer i ett 20-tal länder i Väst- och Östeuropa.

2.1 Kemiska processer

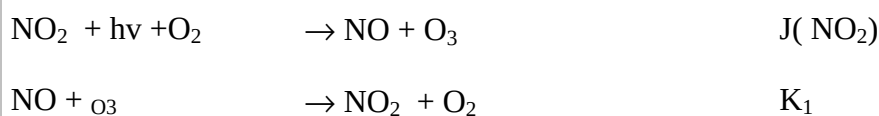
Figur 1 illustrerar de kemiska omvandlingar som ingår i modellen. Nedan ges en kortfattad beskrivning av de kemiska reaktionerna för var och en av de ingående komponenterna.



Figur 1. Schematisk illustration av de kemiska processerna som ingår i modellen.

2.1.1 Kvävemonoxid, NO

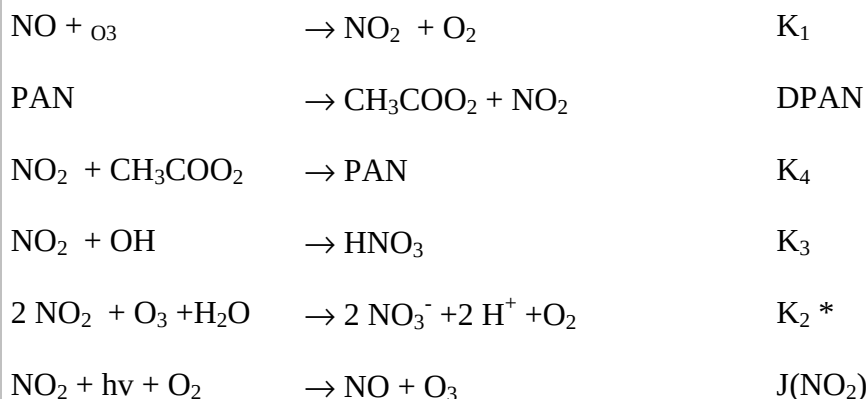
Kvävemonoxid bildas vid fotolysen av NO₂ och oxideras till NO₂ genom reaktionen med ozon:



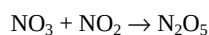
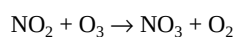
Dessa båda processer är relativt snabba med en tidskala på några minuter under dagtid.

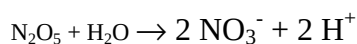
2.1.2 Kvävedioxid, NO₂

Följande kemiska reaktioner med NO₂ ingår i modellen:



* reaktionen sker endast i mörker enligt följande delsteg:



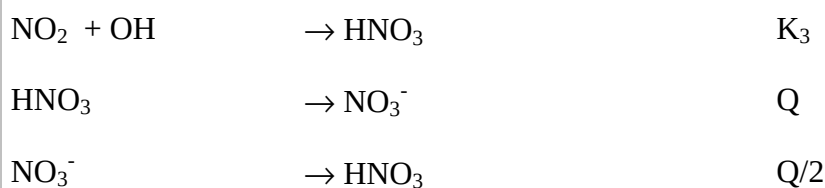


Den första reaktionen är hastighetsbestämmande.

Den viktigaste källan för NO_2 är oxidationen av NO och den viktigaste sänkan under dagtid är reaktionen med OH under bildning av salpetersyra (HNO_3). PAN kan utgöra en betydelsefull reservoar av kväveoxider framförallt under vintertid. Fotolyshastigheten av NO_2 uppskattas utifrån uppmätt globalstrålning baserat på sambandet som redovisas i *Bahe et al. (1980)*.

2.1.3 Salpetersyra, HNO_3

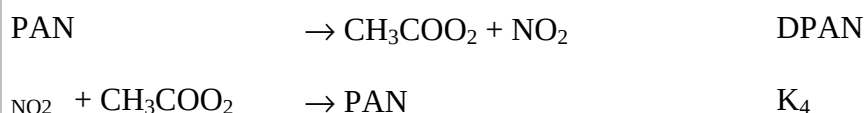
Salpetersyran bildas genom oxidationen av NO_2 med OH . I modellen kan salpetersyra bilda nitratpartiklar dels genom direkt reaktion med befintliga partiklar, dels genom reaktion med ammoniak (NH_3). Den senare processen beskrivs närmare nedan.



Hastigheten för evaporationen av HNO_3 från befintliga nitratpartiklar (andra än ammoniumnitrat) antas vara hälften av den hastighet varmed gasformig HNO_3 reagerar med partiklarna.

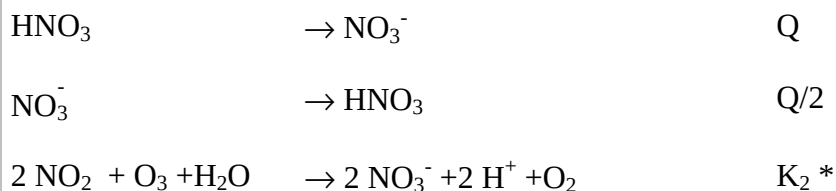
2.1.4 Peroxyacetylnitrat, PAN

PAN bildas genom reaktion mellan NO_2 och metylperoxyradikaler (CH_3COO_2). Vid sönderdelningen av PAN, som är kraftigt temperaturberoende, återbildas de ursprungliga ämnena. Detta gör att PAN i stort sett fungerar som en reservoar för kväveoxiderna.



2.1.5 Partikulärt nitrat, NO_3^- , (exklusive ammoniumnitrat)

Partikulärt nitrat, annat än ammoniumnitrat, bildas dels genom reaktionen mellan NO_2 och O_3 , främst nattetid, dels genom att salpetersyra reagerar med befintliga partiklar.



* Se 2.1.3

2.1.6 Svaveldioxid, SO₂

Oxidationen av SO₂ till sulfat kan ske antingen i gasfasreaktion med OH eller genom reaktion med H₂O₂ eller O₃ i vätskefas (molndropparna). Båda dessa processer parameteriseras i enlighet med EMEP-modellen (se vidare tabell 1).

2.1.7 Partikulärt sulfat, SO₄²⁻ (exklusive ammoniumsulfat)

Bildningen av sulfatpartiklar sker genom oxidationen av SO₂ i gasfas och i molndropparna (se 2.1.6 och tabell 1).

2.1.8 Ammoniak, NH₃

Ammoniak deltar inte i några kemiska reaktioner av betydelse men genomgår effektiv uttvättning med nederbörden och torrdeponeras effektivt på marken/vegetationen. En annan viktig sänka för ammoniak är bildningen av partikulärt ammoniumsulfat och ammoniumnitrat, som effektivt kan deponeras på marken genom uttvättning.

2.1.9 Ammoniumsulfat, (NH₄)_{1.5}SO₄

Ammoniumsulfat kan existera i två former ([NH₄]₂SO₄ eller NH₄HSO₄). I modellen antas dessa existera till lika stora delar och beskrivs därför i enlighet med formeln (NH₄)_{1.5}SO₄.

Källan för ammoniumsulfat är reaktionen mellan NH₃ och SO₄²⁻. Reaktionen antas ske ögonblickligen och antas vara irreversibel (dvs. ingen återbildning av NH₃ antas ske). Tre molekyler NH₃ reagerar med två molekyler SO₄²⁻ varvid två molekyler ammoniumsulfat bildas. Detta sker tills det inte finns någon sulfat eller ammoniak kvar.

2.1.10 Ammoniumnitrat, NH₄NO₃

Ammoniumnitrat kan bildas om det finns överskott av ammoniak efter bildningen av ammoniumsulfat (via reaktionen mellan NH₃ och SO₄²⁻). Därvid inställer sig en jämvikt mellan NH₃, HNO₃ i gasfas (g) och partikulärt ammoniumnitrat (fast, s eller som vattendroppe, aq):



Jämviktskonstanten, som erhålls ur:

$$[\text{NH}_3]_e[\text{HNO}_3]_e = K_{\text{NH}_4\text{NO}_3} \quad (1)$$

beror på den relativa fuktigheten och temperaturen. (Jämviktskoncentrationerna av ammoniak och salpetersyra betecknas här med "e").

Utgående från aktuella data på temperaturen och relativa fuktigheten kan jämviktskonstanten beräknas ur termodynamiska samband som finns redovisade i litteraturen (*Hildemann et al., 1984; Russel et al., 1983; Stelson och Seinfeld, 1982*). I modellen görs beräkningen i enlighet med förfarandet i EMEP-modellen. Om den relativa fuktigheten är mindre än den s k delikviscenspunkten är ammoniumnitratpartiklarna fasta (torra). Delikviscensfuktigheten ges av:

$$\ln RH_d(\%) = A_d/T + B_d$$

T är den aktuella absoluta temperaturen och A_d sätts till 856.23 K och $B_d = 1.2306$. Jämviktskonstanten (molekyler per cm^3) vid delikviescenspunkten kan därvid beräknas ur:

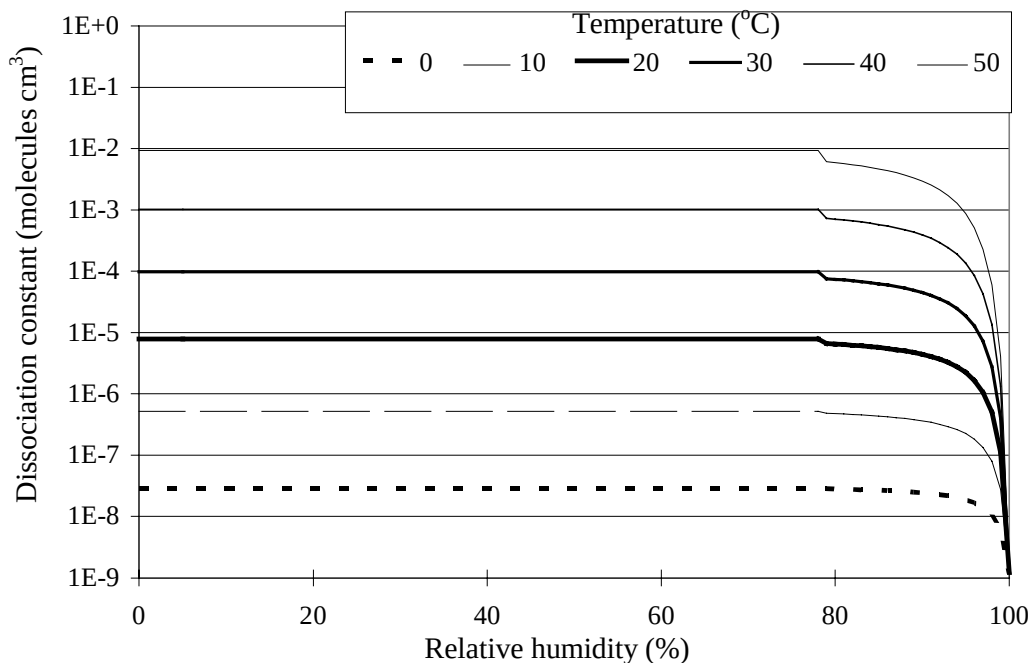
$$\ln K_d = a_k - b_k / T - c_k \ln(T/d_k)$$

där $a_k = 70.78$, $b_k = 24220 \text{ K}$, $c_k = 6.1$ samt $d_k = 298 \text{ K}$. Det aktuella värdet på jämviktskonstanten antas vara lika med K_d om relativa fuktigheten är mindre än RH_d . Om relativa fuktigheten är högre än RH_d kommer ammoniumnitratpartiklarna att uppträda som små vätskedroppar och jämviktskonstanten blir betydligt lägre. Därvid beräknas den ur:

$$\ln K = \ln K_d - \{20.75 + \ln K_d\} / \{U_o - RH\} * \{RH - RH_d\} / \{U_o - RH_d\}$$

I detta samband är $U_o=101$ och RH samt RH_d har enheten %. Exempel på hur dissociationskonstanten beror av relativa fuktigheten och temperature framgår av figur 2.

Om produkten mellan de beräknade koncentrationerna av NH_3 och HNO_3 (efter att ammoniumsulfat bildats) blir större än jämviktskonstanten kommer ammoniumnitrat att bildas så att jämvikt uppnås. Om produkten blir mindre än jämviktskonstanten sönderdelas eventuell befintlig ammoniumnitrat tills jämvikt erhålls.



Figur 2. Figuren visar hur dissociationskonstanten för ammoniumnitrat varierar med temperaturen och relativa fuktigheten.

Procedur för att beräkna ammoniumnitralhalten och därmed även NH_3 och HNO_3 halterna:

Om man antar att summan av reducerat och oxiderat kväve konserveras i processen erhålls:

$$[\text{NH}_3]_e + [\text{NH}_4\text{NO}_3]_e = [\text{NH}_3]_{ne} + [\text{NH}_4\text{NO}_3]_{ne} \quad (2)$$

och



där ne betecknar icke-jämviktshalterna (dvs. halterna före jämviktsberäkningen).

Ekvationerna (1), (2) och (3) ovan ger t ex:

$$[\text{NH}_3]_e = ([\text{NH}_3]_{ne} + [\text{HNO}_3]_{ne})/2 + \{([\text{NH}_3]_{ne} + [\text{HNO}_3]_{ne})^2/4 + K\}^{1/2} \quad (4)$$

Jämviktshalterna av HNO_3 och NH_4NO_3 kan sedan erhållas ur (1) och (2). Om ammoniumnitrathalten blir negativ fanns inte tillräckligt ammoniak och salpetersyra för att upprätthålla jämvikt.

Det är framförallt temperaturen och ammoniakhalten som bestämmer fördelningen mellan partikulärt ammoniumnitrat respektive ammoniak och salpetersyra i gasfas.

3. Reaktionshastigheter

I tabell 1 redovisas hur reaktionshastigheterna beräknas. Formeln

$$a \cdot \exp(-b/T)$$

används för att beskriva temperaturberoendet. Värdet på konstanterna a och b redovisas i tabellen.

KEMISK REAKTION	BETECK- NING	VÄRDE
$\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$ Fotolyshastigheten av NO_2	J_{NO_2}	Beräknas ur empiriskt samband med globalstrålningen (<i>Bahe et al., 1980</i>)
$\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$	K_1	$a = 1.8(-12) \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ molekyler}^{-1}$ $b = 1370 \text{ K}$
$2\text{NO}_2 + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $2\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{O}_2$	K_2	$a = 1.2(-13) \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ molekyler}^{-1}$ $b = 2450 \text{ K}$
$\text{NO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HNO}_3$	K_3	$1.5(-11) \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ molekyler}^{-1}$
$\text{NO}_2 + \text{CH}_3\text{COO}_2 \rightarrow \text{PAN}$	K_4	$3.2(-12) \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ molekyler}^{-1}$
$\text{SO}_2 + [\text{O}_3, \text{OH}, \text{H}_2\text{O}_2] \rightarrow$ SO_4^{2-}	K_T	$3.6(-6) +$ $2(-6) \cdot \text{SIN}[2\pi(\tau - \tau_0)/\tau_a] \text{ s}^{-1}$ $\tau_0 = 80 \text{ dagar}$ $\tau_a = 365 \text{ dagar}$ $\tau = \text{aktuell dag}$
$\text{PAN} \rightarrow \text{PRODUKTER}$	D	$a = 7.94(+14) \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ molekyler}^{-1}$ $b = 12530 \text{ K}$
$\text{HNO}_3 (\text{g}) \leftrightarrow \text{NO}_3 (\text{s})$	Q	$1(-5) \text{ s}^{-1}$ (för gasformigt till partikulärt nitrat) $0.5(-5) \text{ s}^{-1}$ (partikulärt till gasformigt nitrat)

4. Litteraturreferenser

- Bahe, F.C., Schurath, U. och Becker, K. H., 1980. The frequency of NO₂ photolysis at ground level, as recorded by a continuous actinometer. *Atmospheric Environment*, 14, 711-718.
- Eliassen A. och Saltbones, J., 1983. Modelling of the long-range transport of sulphur over Europe: A two-year model run and some model experiments. *Atmospheric Environment*, 17, 1457-1473.
- Hildemann, L.M., Russel, A.G. och Cass, G.R, 1984. Ammonia and nitric acid concentrations in equilibrium with atmospheric aerosols: Experiment vs theory. *Atmospheric Environment*, 18, 1737-1750.
- Iversen, T., Saltbones, J., Sandnes, H., Eliassen, A. och Hov, Ø., 1989. Airborne transboundary transport of sulphur and nitrogen over Europe - model description and calculations. EMEP MSC_W report 2/89.
- Russell, A., McRae, G. J. och Cass, G.C, 1983. Mathematical modeling of the formation and transport of ammonium nitrate aerosol. *Atmospheric Environment*, 17, 949-964.
- Stelson, A. W. och Senfeld, J. H., 1982. Relative humidity and temperature dependence of the ammonium nitrate dissociation constant. *Atmospheric Environment*, 16, 983-992.

Bilaga 4

Nederbördens fördelning

Metod för bestämning av
Nederbördsmönster
i Stockholms Län

INNEHÅLL

1. Bakgrund.....	1
2. Planerad verksamhet	1
3. Resultat: Nederbördsanalys.....	2
3.1 Levererade basdata.....	2
3.2 Principalkomponentanalys	2
3.3 Verifikation	4
3.4 Korrektion	4
3.5 Slutlig programmering av metoden	4
3.6 Slutsats	5
Appendix A.....	6
A1. Stationsförteckning 25 mätstationer.....	6
A2 Typiska nederbördsvariationer	7
A3. Medelvärde Nederbörd 1985-93	9
A4. PCA: Varianstäckning per komponent	10
A5. Egenvektorer PCA-analys	11
A6. Principalkomponenterna	12
A7. Egenvektorgrid.....	13
Appendix B	14
B1. Validering av PCA-metoden under perioden 1994-1995-10.	14
B2. Egenvektorkartor	14
Appendix C	15
C1. Innehåll på bifogad diskett	15
C2. Exekvering av nederbördsberäkning över länet baserad på fem stationer.	16

1. Bakgrund

SLB önskar beräkna totala depositioner av svavel och kväve för Stockholms län. Med den befintliga Airviro modellen kan torrdepositionsberäkningar utföras. SLB önskar dock även utföra våtdepositionsberäkningar.

För detta ändamål har 10 års historiska data av nederbörd från ett tretiototal nederbördsstationer inhandlats från SMHI. Man önskar finna en metod att bestämma typiska nederbördsmönster i länet, för att sedan kunna använda ett mindre antal mätstationer från det egna nätet för att bestämma sannolik nederbörd över hela länet, att användas för bestämning av våtdeposition.

2. Planerad verksamhet

Eftersom tidigare utredning visat att större delen av våtdepositionen orsakas av långväga transporterade föroreningar föreslogs att behandla våtdeposition över länet, enbart som en funktion av nederbörd, d.v.s. i praktiken utanför Airviro's depositionsmodell.

Problemet innebär därmed till större delen att beskriva nederbördsmönstret över länet, samt att därefter beskriva den funktion som översätter nederbördsmönstret till deponerade ämnen.

Arbetsordning och fördelning:

Tio års dygnsvisa nederbördsdata som levererats av SMHI analyseras med *Principal Component analysis* (PC-analys).

Mätstationer och gridrutenät plottas på karta.

Fem klimatstationer som bäst motsvarar de egna nätets 5 nederbördsstationer identifieras.

Meteorologisk analys av nederbördsstrukturen för interpolering av egenvektorer till aktuellt gridnät.

Regressionsanalys av 5 principalkomponenter baserad på endast 5 stationer, d.v.s. en metod att använda 5 egna mätstationer - koppla till 5 principal-komponenter som sedan kan användas för att beskriva nederbördsfördelningen i hela länet.

Fem SMHI-klimatstationer och jämförs med motsvarande (näraliggande) stationer i egna nätet för 1994-95. Korrektion mellan egna nätets nederbördsuppgifter och SMHI-nätet.

Nederbörd enligt *tipping bucket* mätning jämförs med mängd i depositionsburkarna samt SMHI-s närmaste klimatstation.

Tester, osäkerhetsanalys.

3. Resultat: Nederbördsanalys

3.1 Levererade basdata

Totalt har dygnsvärden av nederbörd från 31 stationer i Stockholms län levererats av SMHI. Period: 1984-1993. Varje station har levererats som en fil.

Efter omstrukturering och uppläggning på en fil har tillgänglighet av data analyserats. Genom att slutligen skära i materialet till totalt 25 stationer har vi fått ett material som är optimalt, d.v.s. tillräckligt omfattande i tiden, med samtidig god täckning i rummet. Detta innebär totalt 2497 mätvärden av dygnsnederbörd från varje station. Stationsförteckning av slutligt urval redovisas i appendix A1

Analysen visar att vi haft nederbörd i någon av dessa stationer under 80% av de dygn som redovisas, medan fördelning har varit mycket varierande från dag till dag. I appendix A2 redovisas ett urval av dessa som illustrerar den till synes närmast slumpmässiga nederbörds-fördelningen.

3.2 Principalkomponentanalys

Nederbördsdata har sedan analyserats med principalkomponentanalys (PCA) d.v.s:

$$x_i(t) = m_i + \sum \alpha_n(t) * h_n(i) , \text{ summa över } n \text{ där } n=1,2,3...25$$

$$x_i(t) = \text{dygnsmedelvärdet av nederbörd i station } i, i=1,2,3...25$$

$$m_i = \text{långtidsmedelvärdet av } x_i$$

$$\alpha_n(t) = \text{principalkomponent } n \text{ vid tidpunkt } t$$

$$h_n(i) = \text{egenvektor } n \text{ som beskriver motsvarande principalkomponents bidrag till mätstation } i$$

I PCA bestäms komponenterna och egenvektorerna med bivillkoret att den första komponenten α_1 skall kunna beskriva så stor del som möjligt av variationerna i alla stationer, givet en proportionalitetskonstant h (egenvektor).

D.v.s. nederbörds mängden x i en godtycklig station i vid en godtycklig tidpunkt t skall

kunna beskrivas som en summa av enbart tidsberoende principalkomponenter α samt unika icke-tidsberoende vikter (egenvektorer), unika för varje station: $h_n(i)$.

I appendix A3-A6 beskrivs medelvärden, egenvektorer m.m. för denna analys.

Vi ser att 5 komponenter kan beskriva 82% av variationen i samtliga stationer (i genomsnitt). Detta indikerar att med 5 väl valda mätstationer så bör vi kunna använda mönstret i de 5 egenvektorerna för att interpolera i länet med en noggrannhet som innebär att vi beskriver runt 80% av den förväntade variationen.

Vi ser dock i exemplet i A6 att genom att utnyttja 5 komponenter så kan felet bli i en enskild station av samma storleksordning som det skattade värdet. Under antagande om att egenvektorerna är robusta, d.v.s. verkligen beskriver en rumsfördelning typisk för nederbörd i området kan dessa användas för rumsinterpolation mellan ett godtyckligt antal mätstationer. Givet att vi har 5 mätstationer i området vid en viss tidpunkt, så kan en skattning av 5 principalkomponenter göras genom att lösa ekvationssystemet:

$$x_i = m_i + \alpha_1 * h_1(1) + \alpha_2 * h_2(1) + \alpha_3 * h_3(1) + \alpha_4 * h_4(1) + \alpha_5 * h_5(1)$$

$$x_2 = m_2 + \alpha_1 * h_1(2) + \alpha_2 * h_2(2) + \alpha_3 * h_3(2) + \alpha_4 * h_4(2) + \alpha_5 * h_5(2)$$

$$x_3 = m_3 + \alpha_1 * h_1(3) + \alpha_2 * h_2(3) + \alpha_3 * h_3(3) + \alpha_4 * h_4(3) + \alpha_5 * h_5(3)$$

$$x_4 = m_4 + \alpha_1 * h_1(4) + \alpha_2 * h_2(4) + \alpha_3 * h_3(4) + \alpha_4 * h_4(4) + \alpha_5 * h_5(4)$$

$$x_5 = m_5 + \alpha_1 * h_1(5) + \alpha_2 * h_2(5) + \alpha_3 * h_3(5) + \alpha_4 * h_4(5) + \alpha_5 * h_5(5)$$

Egenvektorerna $h_n(i)$ kan plottas på en karta med värden på platsen för varje observationsstation. Genom att analysera dessa manuellt till ett grid, kan ett regelbundet egenvektorgrid läggas upp.

I appendix A7 redovisas de 5 första egenvektorgriden för Stockholms län, baserat på materialet ovan.

För en godtycklig tidpunkt kan nu t.ex. mätdata från 5 mätstationer användas för att bestämma 5 principalkomponenter, samt därefter kan en nederbördsanalys för länet utföras genom att multiplicera komponenterna med tillhörande egenvektorgrid.

3.3 Verifikation

Data för perioden 1994-01-01-1995 t.o.m. 1995-10-31 har använts för verifikation av metoden. Denna redovisas i appendix B1.

Appendix B1 redovisas även som en Excel fil i bifogad diskett (se nedan 3.5). Det typiska felet (absolutmedelfel) motsvarar c:a 20% när vi jämför med de oberoende stationerna (20 st).

3.4 Korrektion

Betraktar vi de, på en karta över länet, analyserade egenvektorerna i bilaga B2 så finner vi att området i Norr såväl som över Södertörn beskriver ett från andra delar avvikande mönster. För att kunna beskriva denna variation på ett helt riktigt sätt så bör vi placera våra 5 mätstationer så att 2 av dem placeras i dessa områden. I föreliggande fall finns 1 station i norr (Norra Malma - dock ej placerad längst i norr) samt här finns inte någon station representativ för Södertörn.

Av detta skäl kan därför inte den fjärde komponenten skattas på ett realistiskt sätt. Den fjärde komponenten (se egenvektorn i appendix B2) beskriver en ost-västlig komponent samt även ett kraftigt avvikande mönster över Södertörn/Norra Uppland. Varje försök att skatta PCA-komponenten hörande till denna egenvektor kommer att baseras enbart på ost-väst gradienten i de fem mätstationerna. När den sedan appliceras kommer därutöver en kraftig effekt i Norr samt över Södertörn att alltid introduceras.

Genom att modifiera 4:e egenvektorn och helt ta bort maxima/minima över Södertörn/Norra Uppland har vi introducerat en korrektion som avsevärt förbättrar resultatet i metoden (då de aktuella 5 mätstationerna används)

3.5 Slutlig programmering av metoden

Egenvektorgrid som levererats av SLB har bearbetats och lagrats. Övriga filer för egenvektorer, tidsmedelvärden och initierings värden har lagts upp. Ett program har konstruerats för att beräkna månadsmedelvärden av nederbörd i Stockholms Län, beskrivet i ett gridnät med 2*2 km upplösning. Programmet skriver ut filer som direkt kan importeras och presenteras i Airviro.

Vid en jämförelse av de beräknade nederbördsfälten och uppmätta data i 25 mätstationer konstaterades att metoden beskriver realistiska nederbördsfält med typiska avvikelser om 20% eller mindre. Jämfört med verifikationen i appendix B1 har en förbättring

erhållits över Södertörn samt i Norra uppland. Bland de 22 månader som använts för verifikation konstateras att ett fåtal (juni 1995) beskriver avvikelser större än 20% i delar av området.

Ovanstående program, samtliga data samt övriga program som använts i denna studie har bifogats på diskett. Instruktioner om handhavande och uppackning finns på filen README.DOC som kan läsas med WordPad eller MS Word. Den redovisas även i appendix C

Här finns också en beskrivning hur framtida mätvärden kan användas för att generera nederbördsfält.

3.6 Slutsats

Den analys av 10 års (+2 år) nederbördsdata som gjorts visar att nederbörden i länet uppvisar ett närmast slumpmässigt beteende, då vi betraktar dygnsmedelvärden. På månadsbasis är mönstret mera kontinuerligt - även om stora skillnader mellan områden kan uppträda mellan olika månader. Speciellt under sommarsäsongen, med konvektiv nederbörd, är nederbördsmönstret kaotiskt.

Detta stokastiska (slumpmässiga) beteende beror delvis på nederbördens typiska och förväntade uppträdande, såväl som mätmetodens begränsningar och felaktigheter. Nederbördsmätning bör ej mätas i punkter - utan helst som arealmedelvärden, där den valda storleken på arealen skall motsvara den skala på fenomenet som man vill studera.

Då vi inte har praktiska möjligheter att mäta på annat sätt än det redovisade, bör vi dock hålla i minnet att en onoggrannhet på 20% i månadsmedelvärden, sannolikt ligger helt inom den naturliga variation som förväntas mellan olika punkter inom en ruta på 2*2 km

Den ovan beskrivna metoden bedöms som en effektiv metod att skatta månadsmedelvärden av nederbörd givet ett stationsnät om 5 stationer

Om vi istället vill utnyttja 25 stationer så rekommenderas en alternativ metod - där de observerade data interpoleras med hjälp av ett månadsmedelmönster som skattas på de tio årens data.

Appendix A

A1. Stationsförteckning 25 mätstationer

Nr	Namn	SMHI-nr	Koordinat
1	SINGÖ RikX: 1694140		0810 Lat=601595 Lon=187436 RikY: 6691951
2	RISINGE RikX: 1647880		0811 Lat=601750 Lon=182272 RikY: 6694359
3	LANDSORT	8745	Lat=587431 Lon=178709 RikY: 6572369 RikX: 1651435
4	NYNÄSHAMN	8757	Lat=589190 Lon=179318 RikY: 6607017 RikX: 1656970
5	SJÖGÄRDE RikX: 1648765		8759 Lat=589752 Lon=178411 RikY: 6617357
6	GNESTA RikX: 1601950		9703 Lat=590950 Lon=173210 RikY: 6563346
7	GRINDSJÖN	9705	Lat=590809 Lon=178617 RikY: 6560103 RikX: 1650655
8	WIAD RikX: 1638085		9707 Lat=591116 Lon=177219 RikY: 6566107
9	SÖDERTÄLJE	9712	Lat=591902 Lon=176285 RikY: 6581071 RikX: 1630075
10	MARIEFRED	9717	Lat=592661 Lon=172342 RikY: 6596453 RikX: 1594330
11	STOCKHOLM-BR	9720	Lat=593537 Lon=179513 RikY: 6613022 RikX: 1658695
12	ARLANDA RikX: 1658530		9739 Lat=596557 Lon=179462 RikY: 6671464
13	HÅRSFJÄRDEN	9804	Lat=590714 Lon=181217 RikY: 6558337 RikX: 1638055
14	VÄSTERHANING	9808	Lat=591195 Lon=181103 RikY: 6568644 RikX: 1636945
15	STORMYRA	9814	Lat=592032 Lon=183308 RikY: 6583961 RikX: 1656820
16	SANDHAMN	9817	Lat=592901 Lon=189179 RikY: 6600306 RikX: 1710085
17	GUSTAVSBERG	9818	Lat=593226 Lon=183725 RikY: 6606888 RikX: 1660675
18	STOCKHOLM	9821	Lat=593420 Lon=180575 RikY: 6610549 RikX: 1632625
19	HUSARÖ RikX: 1702855		9829 Lat=595052 Lon=188417 RikY: 6642403

Bilaga 4. Nederbördens fördelning - Faktoranalys

20 VALLENTUNA	9831	Lat=595184 Lon=180821 RikY: 6645358 RikX: 1634515
21 RIMBO RikX: 1659025		9844 Lat=597487 Lon=183535 RikY: 6689767
22 NORRVEDA	9850	Lat=598298 Lon=189524 RikY: 6705534 RikX: 1712860
23 VÄLLNORA	9857	Lat=599562 Lon=183461 RikY: 6729424 RikX: 1658515
24 SVENSKA HÖGA	9927	Lat=594445 Lon=195059 RikY: 6630619 RikX: 1726885
25 NORRBY S RikX: 1694080		0804 Lat=600635 Lon=187432 RikY: 6672684

A2 Typiska nederbördsvariationer

A2.1 Mycket nederbörd men ibland en enstaka torr eller nästan torr station

19850810 9.0 23.6 .1 1.1 1.6 3.0 2.9 .7 1.9 15.5 10.9 11.7 3.3 5.5 9.9
11.6 7.0 10.7 10.5 9.4 6.9 15.4 **17.6** 2.4 11.5

19860712 11.4 26.2 5.2 8.0 9.0 7.5 .0 .0 14.0 9.0 7.7 9.0 9.4 .0 11.0
6.2 12.0 8.9 6.4 12.6 3.8 26.0 20.3 12.8 **30.1**

19891103 3.4 7.7 9.2 17.4 14.5 12.4 12.8 11.0 13.0 10.0 8.6 9.5 4.6 13.0
12.2 5.1 13.0 7.8 9.8 9.4 9.2 5.0 6.0 3.1 **.6**

19900208 1.1 .0 8.9 16.5 **20.2** 13.5 17.0 14.6 11.0 11.0 10.8 9.6 **22.5** 17.5
12.0 12.4 4.5 9.7 7.2 7.8 7.1 6.5 2.1 11.5 **.0**

19900701 9.8 16.2 10.2 9.8 7.7 7.7 7.0 8.0 6.8 8.0 11.7 12.2 10.5 13.9
11.9 7.6 9.0 12.8 11.4 11.7 14.5 9.0 13.5 5.0 8.2

19900731 4.8 13.9 **.6** 1.4 3.8 6.0 11.2 16.5 7.5 6.5 6.9 14.7 7.6 1.4 3.3
25.4 17.4 4.7 13.4 18.7 24.1 6.5 9.3 8.2 3.7

A2.2 Lite nederbörd - typisk variation

19891102 .0 .0 .0 .0 .1 .1 .0 .0 .0 .5 .0 .0 .0 .0 .1 .0 .0
.0 .2 .2 .0 .0 .0 .0 .0

19900114 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .3 .0 .0
.0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0

A2.3 Typisk variation vid måttliga nederbördsmängder

19900406 8.3 6.5 1.0 1.1 .8 3.5 1.3 2.4 4.3 3.5 1.3 4.1 1.4 1.0 .1
1.2 1.5 1.4 2.3 4.7 2.8 3.5 9.0 **.0** 8.5

19900419 .0 .4 .7 .0 .0 .9 1.8 .9 1.5 1.5 3.1 .2 .2 .0 3.8 .0 2.6
5.2 .0 .4 .0 .0 .0 .0 .0

A2.4 Torrt väder utom i enstaka stationer

19850722 .0 .0 **19.7** .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .1 .0 .0
1.0 .4 .0 .0 .0 .3 .0 .0

19900630 .0 .0 .0 .0 .0 .0 7.0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0
.0 .0 .0 .0 .0 .0 .0

19900714 .0 .0 .1 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .1 .0
.0 .6 .0 .0 .0 .0 .0

19901231 .8 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0
.0 .0 .0 .0 .1 .0 .0 .0

A2.5 Torrt eller vått?

19900730 .3 .4 .0 .0 .2 1.5 .0 .0 .5 2.2 .2 .0 .0 .3 .2 .0 .0
.9 .0 .0 .0 1.5 2.5 .0 .6

19910101 .0 .0 .5 .0 .1 .0 .2 .0 .2 .0 .5 .0 .0 .2 .2 .0 .1
.0 .0 .0 .0 .0 .0 .8 .0

19910103 1.4 3.4 .0 .0 .0 .0 .0 .3 .0 .0 .0 .3 .0 .0 .0 .0 .0
.0 .0 .0 .0 .0 .0

19901228 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .0 .3 .0 .6
.0 .0 .0 .0 .0 .0 .1 .0

A2.6 Stora nederbördsmängder i enstaka stationer

19900702 .1 1.4 .0 .0 .0 **13.6** .0 .0 **11.0** 4.5 3.2 .9 .0 .0 .0 .0
.0 1.8 .0 .5 2.1 .0 .0 .0 .6

19900713 .0 .8 .2 .0 .0 .4 .1 .2 .5 .0 .7 .4 .0 .6 .6 **6.1** 1.2
.3 2.0 .5 2.4 .2 .3 .0 .0

19900715 **24.7** 13.0 1.0 1.4 1.3 1.7 1.6 1.7 1.1 1.5 .8 1.1 1.5 1.3 1.7
2.2 1.5 .5 2.4 1.0 3.2 13.9 7.1 7.5 **19.3**

A2.7 Genomgående mycket nederbörd

19840623 16.8 22.7 13.3 20.3 24.1 19.7 19.4 21.5 23.0 15.0 15.2 12.7 15.3
17.2 14.1 8.8 17.0 13.6 10.2 17.5 18.5 19.5 17.0 6.7 26.0

19850723 9.0 10.0 20.3 23.6 22.3 40.9 14.7 20.3 24.5 34.5 15.9 20.0 17.9 23.7
28.5 15.8 23.0 18.2 8.6 21.9 29.8 16.1 11.2 **3.5** 12.7

19900716 12.6 12.1 10.1 8.2 13.6 10.8 9.6 11.9 10.5 11.0 8.5 10.4 6.4 17.0
12.6 6.1 9.5 10.2 8.8 8.0 10.1 10.2 9.3 11.5 18.8

A2.8 Nederbörd i alla stationer

19901229 6.4 7.2 2.5 4.0 7.7 8.7 8.0 6.2 9.4 10.6 6.1 8.6 5.6 7.7 7.9
5.1 6.2 5.9 8.4 7.6 4.1 5.7 7.9 2.5 6.5

19910102 6.9 6.7 2.9 4.7 8.7 10.7 11.7 9.5 12.5 9.5 9.0 9.3 7.0 8.7 11.2
6.4 8.0 10.9 7.6 11.4 4.9 7.0 8.3 6.8 7.7

A3. Medelvärde Nederbörd 1985-93

Stationer: 25 enligt stationsförteckning i A1 ovan

Period: 1984.1993 Totalt antal poster med dygnsmedelnederbörd:2437

Medelvärde för perioden:

2.34 2.30 1.56 1.93 2.25 2.10 2.21 2.08 2.04 1.94

1.90 1.97 1.97 2.27 2.30 1.77 1.86 1.94 1.82 2.10

1.99 2.40 2.19 1.62 2.41

Standardavvikelse per station för perioden

5.17 4.25 3.36 3.79 4.29 4.09 4.62 4.16 3.87 3.87

3.63 3.64 3.79 4.45 4.49 3.65 3.62 3.77 3.78 3.92

3.92 4.68 4.22 3.47 5.10

A4. PCA: Varianstäckning per komponent

Komponent nr	Förklarad varians	Ackumulerad förklarad varians
1	64.54 %	64.54 %
2	9.88 %	74.42 %
3	3.14 %	77.57 %
4	2.74 %	80.31 %
5	2.27 %	82.59 %
6	1.86 %	84.44 %
7	1.70 %	86.15 %
8	1.28 %	87.43 %
9	1.22 %	88.65 %
10.		1.13 % 89.78 %
11.		1.07 % 90.86 %
12.		0.03 % 91.88 %
13	0.95 %	92.83 %
14	0.87 %	93.70 %
15	0.83 %	94.53 %
16	0.72 %	95.25 %
17	0.66 %	95.91 %
18	0.63 %	96.53 %
19	0.62 %	97.15 %
20	0.57 %	97.72 %
21	0.53 %	98.26 %
22	0.50 %	98.75 %

23	0.47 %	99.22 %
24	0.42 %	99.64 %
25	0.36 %	100.00 %

A5. Eigenvektorer PCA-analys

Presentation av de första 5 egenvektorerna $h_n(i)$. Värdena i varje egenvektor representerar vektorns värde i station nr 1, 2, 3 ...25 d.v.s. för egenvektor 1 är ordningen:

$h_1(1), h_1(2), h_1(3) \dots h_1(25)$.

Eigenvektor nr 1

-1.17 -0.98 -0.72 -0.95 -1.07 -0.96 -1.05 -1.03 -1.00 -0.91
 -0.93 -0.95 -0.98 -1.10 -1.14 -0.91 -0.95 -0.99 -0.91 -1.03
 -1.00 -1.18 -0.96 -0.73 -1.23

Eigenvektor nr 2

-2.21 -1.43 .82 .94 1.22 .95 1.12 .98 .76 .63
 .42 -.34 .71 .99 .83 .00 .21 .34 -.33 .00
 -.82 -1.38 -1.31 -.22 -1.96

Eigenvektor nr 3

-.13 .68 -.28 -.35 .13 2.00 -1.38 .61 1.23 2.05
 .36 .99 -.78 -1.42 -.74 -1.46 -.52 .15 -1.10 1.09
 .52 -.65 .75 -1.37 -.28

Eigenvektor nr 4

-1.34 -.76 .41 -.51 -.86 -.26 -2.87 -.53 .39 .41
 .30 .37 .05 -1.19 1.22 1.02 1.18 .98 1.43 .50
 .41 .56 -.27 1.56 -.86

Egenvektor nr 5

-0.89 0.30 -1.68 -1.53 -1.18 -1.30 1.16 -0.46 0.01 -0.62
 1.14 0.98 -0.40 1.39 0.72 -0.19 0.35 1.09 0.18 1.44
 0.73 -0.94 1.41 -1.01 -1.10

A6. Principalkomponenterna

Principalkomponenterna eller amplitudsfunktionerna $\alpha_i(t)$ för de första 5 komponenterna samt de första 10 tidpunkterna i basdatamaterialet är:

t	$\alpha_1(t)$	$\alpha_2(t)$	$\alpha_3(t)$	$\alpha_4(t)$	$\alpha_5(t)$
1	1.9	-0.1	0.0	0.0	-0.2
2	0.6	1.1	0.4	-0.6	-0.7
3	-3.0	-1.9	0.0	-0.3	0.4
4	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	-1.3	0.6	0.0	0.4	-0.4
6	1.9	0.0	-0.1	0.3	0.1
7	-4.5	2.4	-0.2	0.0	-0.8
8	-5.2	0.5	-1.2	-1.1	0.3
9	-0.2	-0.1	0.8	-0.7	0.1
10	-2.9	2.3	-2.2	1.5	-0.7

För att beräkna ett värde i station nr 1, baserat på de fem första komponenterna skall vi utföra följande operation:

$$x_1(1) = x_1(1) + \alpha_1(t) * h_1(1) + \alpha_2(t) * h_2(1) + \alpha_3(t) * h_3(1) + \alpha_4(t) * h_4(1) + \alpha_5(t) * h_5(1)$$

Samma skattning av nederbörd i station 5 blir:

$$x_5(1) = x_5(1) + \alpha_1(t) * h_1(5) + \alpha_2(t) * h_2(5) + \alpha_3(t) * h_3(5) + \alpha_4(t) * h_4(5) + \alpha_5(t) * h_5(5)$$

Om vi sätter in värdena på amplitudfunktionerna, egenvektorerna samt medelvärde så finner vi:

$$x_1(1) = 2.34 - 1.9 * 1.17 + 0.1 * 2.21 - 0. * 0.13 - 0. * 1.34 + .2 * 0.89 = 0.516$$

$$x_5(1) = 2.25 - 1.9 * 1.07 - 0.1 * 1.22 + 0. * 0.13 - 0. * 0.86 + .2 * 1.18 = 0.331$$

Jämför nu detta med de uppmätta nederbördsmängderna:

$$x_1(1) = 1.5 \qquad x_5(1) = 0$$

A7. Egenvektorgrid

Se bilagda kartor i Appendix B2

Appendix B

B1. Validering av PCA-metoden under perioden 1994-1995-10.

I nedanstående tabell redovisas uppmätt dygnsnederbörd från 25 stationer för alla dygn då minst en (1) station rapporterar nederbörd.

För varje månad redovisas därefter månadsmedelvärdet per station samt det beräknade månadsmedelvärdet för samtliga stationer.

De fem stationer som använts för beräkningen redovisas som understrukna samt är angivna med en kolumnram.

Längst till höger redovisas medelvärde för samtliga stationer samt även medelvärde för de fem stationerna som använts i beräkningarna.

På sista sidan redovisas även årsmedelvärden inklusive absolutmedelfel.

B2. Egenvektorkartor

Medelvärden samt de första 5 egenvektorerna har plottats på en karta över länet. Därefter har en manuell analys gjorts, d.v.s. isolinjer har ritats. Nedan redovisas dessa. De har sedan legat till grund för översättning till ett gridnät som genomförts av SLB, som också lagts upp denna en Excel-fil. Den senare finns redovisas på en bilagd diskett.

Egenvektorerna har modifierats något enligt beskrivning i kapitel 3.4 samt redovisats i en ASCII fil på bilagd diskett.

Appendix C

C1. Innehåll på bifogad diskett

På disketten finns två filer:

Detta dokument som kan läsas med MS Word eller WordPad.

MS-Backupfilen NbdSLB

Observera att backupfilen, samt all information, program m.m. är upplagd under Windows95.

Överför och installera alla program m.m. genom att starta Backup samt begära Återställ av hela Directory-trädet som finns på disketten.

I och med återställning kommer bl.a. alla strukurer och inställningar att behållas så att programmen kan modifieras och exekveras med hjälp av MS Fortran PowerStation 4.0

Följande directory-träd kommer att installeras:

C:\usr\develop\project\deposit

Därunder kommer följande mappar att installeras

Data: Innehåller samtliga originaldata samt bearbetade data i originalform (t ex. egenvektorer för grid som levererats av SLB i Excel)

Document: Innehåller samtliga dokument som levererats (denna rapport, validering för 1994-1995, detta appendix)

Nbddata: Projektbibliotek för alla programinställningar och referenser för att köra PCA-analysen baserad på originaldata/nedebörd

Nbdgrid: Projektbibliotek för alla programinställningar och referenser för att köra fram månadsmedelnederbörd för godtycklig period. Var god följ instruktionerna nedan under C2.

Nbdvalid Projektbibliotek för alla programinställningar och referenser för att köra validering av nederbördsmonster 1994-1995

#src: Bibliotek som innehåller samtliga program som använts ovan (källkod) samt include-filer.

Under projektbiblioteken finns dessutom mapparna **Debug** och **Release** som innehåller inställningar och exekverbar kod för de olika programmen i respektive mode. För regelbunden körning skall Release-versionen användas, då denna är tidsoptimerad.

Om programvaran önskas överförd till annan miljö/dator - kopieras den lämpligen från **#src** mappen och kompileras/länkas i den nya miljön

C2. Exekvering av nederbördsberäkning över länet baserad på fem stationer.

C2.1 Initiering

Samtliga initieringsfiler och indatafiler finns på biblioteket:

C:\usr\develop\project\deposit\nbdgrid

Dessa är:

a) Filer som ej behöver modifieras och som baserats på basdataperioden 1984-1992:

Stnlista.sth: Innehåller en stationslista med ID, namn m.m.

Egenval.sth: Innehåller egenvärden baserade på 25 nbd-stationer

Egenvec.sth: Innehåller 5 egenvektorer för 25 ndb-stationer.

Medelv.sth: Innehåller tidsmedelvärden för 25 nbd-stationer

Gridmed.sth: Innehåller tidsmedelvärden av nbd för gridnät 62*81 gridrutor över Stockholms län

Gridvec.sth: Innehåller 5 egenvektorer av nbd för gridnät 62*81 gridrutor över Stockholms län

b) Fil som skall modifieras av användaren

Nbddata.sth: Innehåller:

adresser till indatafilerna beskrivna i a) ovan

önskad period över vilken månadsmedelvärden skall beräknas

indata från 5 nbd-stationer

C2.2 Exekvering

Program för exekvering: **Nbdgrid.exe**, ligger under mappen:

C:\usr\develop\project\deposit\nbdgrid\release

Du kan starta detta program på godtyckligt bibliotek. Sökväg till initieringsfilen Nbddata.sth finns hårdkodad i programmet. Därefter finns i Nbddata.sth samtliga adresser till övriga initieringsfiler.

C2.3 Utdata

Utdata kommer att genereras i månadsfiler med namnen: **yyyymm.nbd** där **yyyy** står för årtal och **mm** för aktuell månad.

Utdata är skriven i en form som direkt kan importeras till **Airviro** via **Import**-funktionen i huvudmenyn i **Dispersion**.

Bilaga 5

Beskrivning av gridmodellen

Modellen för beräkning av halter och deposition är en tredimensionell gridmodell, dvs beräkningsområdet delas in i ett stort antal gridrutor (eller egentligen gridvolymen) och halten av olika ämnen beräknas i varje ruta utifrån en massbalans där inkommande flöde i en volym balanseras av utgående flöde och den mängd som ackumuleras i volymen. Ekvationen för modellen kan skrivas som:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + P + S$$

I uttrycket ovan är

K_z = eddy diffusionskoefficienten

c = concentrationen av ämnet

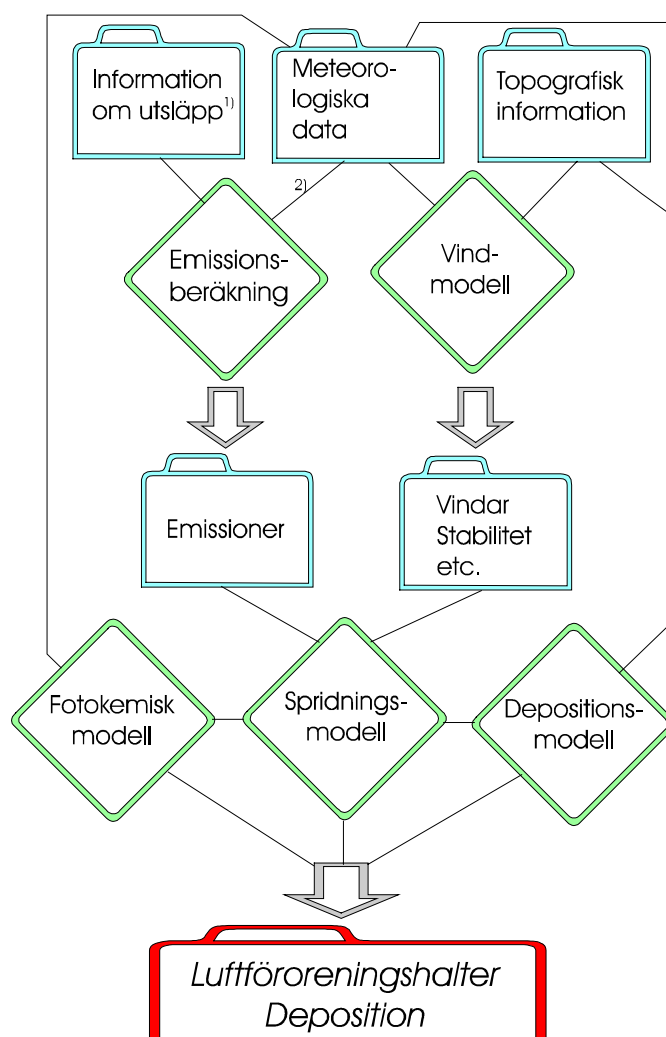
ρ = luftens densitet

P = kemiska källor

S = kemiska sänkor

u, v, w = vindkomponenter i horisontell och vertikal led

I figur 1 ges en schematisk illustration hur beräkningarna genomförs i modellen och vilka data som krävs i varje beräkningssteg. Ingångsdata till modellen utgörs av länstäckande information om emissionerna från alla punkter, linje och areakällor. En diagnostisk vindmodell beräknar vind, stabilitet och blandningshöjd utifrån meteorologiska mätningar på flera platser i länet samt information om markanvändningen. Resultaten från vindmodellen och emissionsberäkningarna utgör indata för beräkningar av spridningen av föroreningarna via advektionen och den vertikala turbulenta diffusionen i varje gridpunkt. Beräkningarna av torrdepositionshastigheter grundas på temperatur, relativ fuktighet, markanvändningen, topografisk information och globalstrålning. För de fotokemiska beräkningarna behövs information om halterna av de olika ämnena samt meteorologiska data (solinstrålning och temperatur). Dessutom behövs information om och halter av vissa radikaler (hydroxylradikalen och metylperoxyradikalen) som inte beräknas i den fotokemiska modellen (se vidare bilaga 3, *Fotokemiska reaktioner*).



Figur 1. Illustration av beräkningsgången

¹⁾ Statisk information (t ex skorstenshöjd, fordonstyp) och tidsberoende information (t ex dygnsvariationen i energiproduktionen eller trafikflödet)

²⁾ I den emissionsdatabas som används för beräkningarna i denna rapport har meteorologins inflytande "bakats in" i den tidsberoende informationen om utsläppen

I Stockholms läns luftvårdsförbunds system finns nödvändiga ingångsdata till modellen så att den kan användas med 2 eller 4 kilometers upplösning. I vissa tätortsområden finns dessutom möjlighet att göra beräkningar med upplösningen 500 x 500 meter. Antalet vertikala skikt kan varieras från 5 till 25 skikt. Horisontell upplösning och antal vertikala skikt som kan användas begränsas av datorkapaciteten och beror på hur omfattande beräkningar som skall genomföras.

Beräkningarna i denna rapport avser 4x4 km och 10 vertikala skikt. En månads beräkning över hela länet (modellen stegar fram med några minuters tidssteg) tar ca 48 timmar (beräkningstid på HP J200).

Beräkningar av kemiska transformationer och torr- och våtdeposition beskrivs i bilaga 2 och 3. För ytterligare information om modellen (vindfältberäkningar, numeriska metoder, beräkning av den turbulenta utbyteskoefficienter gränsskiktsp parametrar etc) hänvisas till Airviro manualen (Ariviro Users Reference, v 2.10.08).

I rapporten beskrivs det beräknade nedfallet av svavel och kväve i Stockholms län. Resultaten baseras på de modeller som byggts upp för Stockholms län av luftvårdsförbundet. I rapporten framgår bl a följande:

- det totala nedfallet av svavel, uppdelat på vått och torrt nedfall
- det totala nedfallet av kväve, uppdelat på vått och torrt nedfall
- den andel av nedfallet som härstammar från utsläpp i länet
- den genomsnittliga fördelningen av nederbörden för perioden 1984/93
- fördelningen av nederbörden under det hydrologiska året 1995/96
- jämförelser mellan beräknade och uppmätta nedfallsvärden