

# Sammenfatning

Ellermann, T., Hertel, O. & Skjøth, C.A. (2000): Atmosfærisk deposition 1999. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 120 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 332

Denne rapport præsenterer resultater fra dette års rapportering af atmosfæredelen af NOVA 2003 og opsummerer hovedresultaterne vedrørende måling og beregning af koncentrationer af atmosfæriske kvælstof-, fosfor- og svovlforbindelser og deposition af disse til danske hav- og landområder for 1999. Endvidere er koncentrationsniveauer og våddepositioner for 1999 sammenholdt med niveauerne for de sidste 10 år.

## *Målinger*

Måleprogrammet består i 1999 af otte stationer, hvor der måles våddeposition af ammonium, nitrat, fosfat (semikvantitativt) og sulfat vha. bulkoopsamlere. På seks af disse stationer er luftens indhold af forurenende kvælstof-, fosfor- og svovlforbindelser i gas- og partikel-fase blevet opsamlet med filterpackopsamlere og efterfølgende analyseret i laboratoriet. Endelig er kvælstofdioxid blevet bestemt vha. kvælstofdioxidopsamlere og monitorer.

## *Modelberegninger*

Målingerne i overvågningsprogrammet er suppleret med modelberegninger af koncentrationer og deposition af kvælstof- og svovlforbindelser til danske havområder, fjorde, vige, bugte og landområder udført med ACDEP-modellen (Atmospheric Chemistry and Deposition). Modellen er baseret på simulering af de fysiske og kemiske processer i atmosfæren og anvender meteorologiske data og emissionsopgørelser på europæisk skala som input. Modellen er en såkaldt trajektoriemodel.

Målet med at kombinere målinger og modelberegninger er, at fordelene ved de to metoder kan udnyttes. Konklusioner vedrørende

- aktuelle koncentrationsniveauer ved målestationerne,
- depositionen ved målestationerne,
- sæsonvariationer og
- udviklingstendenser for koncentrationer og depositioner

er således hovedsageligt baseret på målingerne, som også er anvendt til vurdering af resultaterne fra modelberegningerne. Beregninger og konklusioner vedrørende

- depositioner til de enkelte farvands- og landområder,
- kildefordeling og
- det danske bidrag

baseres på modelberegningerne, som netop anvendes for at kunne ekstrapolere resultaterne fra de enkelte målestationer ud til større geografiske områder og for at kunne vurdere bidraget fra forskellige kilder.

#### *Kvælstofdeposition til farvande*

For 1999 viser modelberegningerne, at den samlede kvælstofdeposition til de danske farvande, fjorde, vige og bugte varierer fra 0,9 til 1,9 ton N/km<sup>2</sup> med et gennemsnit på omkring 1,1 ton N/km<sup>2</sup> (se Figur 5.17). Dette giver en samlet kvælstofdeposition til de danske farvandsområder på 120 ktøns N. En mere detaljeret opgørelse af deposition opdelt på de forskellige danske farvandsområder, fjorde, vige og bugte er givet i Tabel 5.1 og i Bilag 2. Depositionen er størst til fjorde og kystnære områder. Tidligere var den beregnede deposition til den nordlige del af Nordsøen og den nordvestlige del af Skagerrak også meget høj, men ændringer i de nedbørsdata, som anvendes til modelberegningerne, har imidlertid reduceret depositionen i den nordlige del af Nordsøen og Skagerrak. Dette vurderes at give et bedre billede af den egentlige deposition. Endvidere ses en gradient i kvælstofdepositionen med højest deposition i syd og lavest i nord. Kvælstofdepositionen til de danske farvande fordeles med 80 % tilført som våddeposition og 20 % som tørdeposition. Andelen af våddeposition er lidt højere i forhold til tidligere år og dette er forårsaget af mere nedbør i 1999.

#### *Kvælstofdeposition til landområder*

Kvælstofdepositionen til landområderne ligger mellem 1,1 og 2,8 ton N/km<sup>2</sup>, med højest deposition i den sydvestlige del af landet og med lavest deposition i den nordlige del og på Bornholm, se Figur 5.18. For landet som helhed beregnes en kvælstofdeposition på 90 ktøns N. Variationen i depositionen skyldes fordelingen af nedbørsmængde, forskelle i afstand til områder med høje emissioner i den nordlige del af det europæiske kontinent og intensitet af husdyrbrug og dermed ammoniak emissionen på mere lokal skala. Depositionen er generelt højere til land end til vand, hvilket primært skyldes deposition af ammoniak fra lokale landbrug og større deposition af kvælstofdioxid til landoverflader end til vandoverflader.

#### *Landområder + farvande*

Den samlede deposition af kvælstof til danske landområder og farvande i 1999 bliver sammenlagt 210 ktøns N, hvilket betyder at depositionen er af samme størrelse som emissionen. For 1998 er den samlede emission af kvælstof estimeret til 160 ktøns N (Vestreng & Stören 2000).

#### *Fosfordeposition og udviklingstendenser*

Det estimeres at den uorganiske fosfordeposition til de Indre Danske Farvande (areal 31.500 km<sup>2</sup>) er på ca. 255 tons P i 1999. Dette estimat angiver en øvre grænse og er fremkommet ud fra en vurdering af, at der ikke er sket ændringer i fosfordepositionen fra atmosfæren i forhold til de sidste år. Denne vurdering støttes af målingerne af luftens indhold af partikulært bundet fosfor og af målinger udført af Fyns Amt.

#### *Svovldeposition*

For svovlforbindelserne er der for 1999 kun præsenteret beregninger af den samlede deposition til landområder. Disse beregninger viser at svovldepositionen varierer mellem 0,4 og 1,5 tons S/km<sup>2</sup> med de højeste depositioner omkring de større byer og i de områder, hvor det regner meget.

### *Udviklingstendenser for tørdeposition af kvælstof og svovl*

Den årlige tørdeposition af kvælstof- og svovlforbindelser følger i store træk koncentrationsniveauerne således at lavt koncentrationsniveau giver lav tørdeposition og vice versa. Derfor vurderes udviklingstendenserne i tørdepositionen på basis af udviklingen i de målte koncentrationsniveauer. Målingerne for 1999 viser at koncentrationsniveauerne for kvælstofforbindelserne er lidt højere end i 1998, mens der for svovlforbindelserne måles samme koncentrationsniveau i 1999 som i 1998. Målingerne for 1999 giver ingen ændringer i det generelle billede af udviklingstendenserne for perioden 1989-1999:

- Generelt set er der ikke sket nogen signifikant ændring i årsmiddelkoncentrationen af ammoniak på målestationerne. Om dette gælder for Danmark som helhed er vanskeligt at vurdere, fordi der er store forskelle mellem målestationerne. Ved Ulborg og Keldsnor måles en lille stigning i årsmiddelværdierne og ved Tange, Anholt og Frederiksborg måles fald i koncentrationen, men det er kun ved Tange, at faldet er signifikant.
- For årsmiddelkoncentrationen af partikulært bundet ammonium måles et signifikant fald. Faldet ligger for alle målestationer på 32-38 % for perioden 1989-1999.
- For årsmiddelkoncentrationen af sum-nitrat observeres et signifikant fald på fem ud af de seks målestationer. Faldet ligger på 13-26 % for perioden 1989-1999.
- For svovlforbindelserne måles et stort signifikant fald i årsmiddelværdierne på alle målestationerne. I perioden 1989-1999 måles fald på ca. 70-90 % for svovldioxid og 46-63 % for partikulært bundet sulfat.

Da ændringerne i koncentrationerne af partikulært bundet ammonium, sum-nitrat og svovlforbindelserne er meget ens på målestationerne gælder de målte reduktioner formentligt for landet som helhed.

En stor del af svovldioxid og den partikulært bundne kvælstof og svovl langtransporteres til Danmark fra den nordlige del af central europa. Faldet i koncentrationerne og dermed tørdepositionen af disse forbindelser følger stort set udviklingen i EMEP's opgørelser for emissionen af kvælstof og svovl i den nordlige del af det europæiske kontinent. Da lokale danske kilder også påvirker koncentrationsniveauerne har reduktionen i emissionen af svovl og kvælstof i Danmark også betydning. Udviklingen for kvælstofdioxid er endnu ikke vurderet statistisk grundet datamaterialets begrænsede omfang.

### *Udviklingstendens for våddeposition*

I 1999 er der på alle stationerne målt en våddeposition på niveau med eller lidt højere end i 1998 (varierer lidt fra målestation til målestation). Dette er også forventet, da nedbørsmængden viser tilsvarende forskel mellem de to år. For hele perioden 1989-1999 måles meget forskellig våddeposition fra år til år, hvilket skyldes de store forskelle i den årlige nedbør. For ammonium og nitrat observeres en tendens til et svagt fald i våddepositions-mængden, men faldet er ikke signifikant. For sulfat måles til gengæld et stort signifikant fald på 33-51 % i perioden fra 1989-1999. Årsagen til det store fald er, som for koncen-

trationsniveauerne af svovlforbindelser, det store fald i svovlemissionerne i Danmark og resten af Europa.

#### *Samlet deposition*

Da våddepositionen af kvælstofforbindelserne udgør størstedelen af den samlede deposition vurderes, at der i perioden 1989-1999 har været et lille fald i depositionerne til de danske land- og vandområder. Denne vurdering skal tages med forbehold for, at faldet formentligt ikke er statistisk signifikant, og at variationerne fra år til år kan være større end det samlede fald gennem hele perioden. For svovlforbindelserne måles store og signifikante fald i både våd- og tørdepositionen. Den samlede deposition af svovlforbindelserne er derfor i den forløbne periode reduceret til omkring halvdelen af niveauet i 1989.

#### *Sæsonvariation af koncentrationer*

For hovedparten af de målte forbindelser ses en sæsonvariation, som primært er bestemt af sæsonvariationer i emissioner, fysisk og kemisk omdannelse og transport i atmosfæren. Det generelle billede af sæsonvariationerne kan sammenfattes til følgende:

- Ammoniakkoncentrationen er lavest om vinteren, højest forår og efterår og med lidt lavere koncentrationer om sommeren i forhold til koncentrationen forår og efterår. Årsagen hertil er primært sæsonvariation i den lokale landbrugspraksis, idet ammoniak i atmosfæren primært stammer fra landbruget, hvor navnlig udbringning af husdyrgødning spiller en stor rolle. Sæsonvariation i de meteorologiske forhold er dog også en vigtig faktor.
- Koncentrationen af partikulært bundet ammonium har maksimum i det tidlige forår og et lokalt maksimum i oktober. Årsagen hertil er samspillet mellem sæsonvariation i udslip af ammoniak, dannelse af ammoniumholdige partikler samt transportprocesserne, som er ansvarlige for langtransport af ammonium fra den nordlige del af det europæiske kontinent til Danmark.
- For kvælstofdioxid måles de højeste koncentrationer i vinterhalvåret. Kvælstofoxider emitteres i forbindelse med forbrændingsprocesser og emissionerne er størst i vinterhalvåret pga. opvarmning. Spredningsforhold er dog også en vigtig faktor.
- For sum-nitrat (hovedsageligt partikulært bundet nitrat) ses fuldstændig samme billede som for partikulært bundet ammonium. Her er det blot sæsonvariation af emission af kvælstofoxider i kombination med oxidation til salpetersyre/nitrat, der har betydning. Transportprocesserne har ligeledes en vigtig rolle ved forklaring af den observerede sæsonvariation i Danmark.
- For svovldioxid observeres, som gennemsnit for perioden 1989-1999, en meget klar sæsonvariation med de højeste koncentrationer om vinteren. Svovldioxid stammer primært fra emissioner i forbindelse med forbrænding af svovlholdigt brændstof og lige som for kvælstofdioxid er emissionen derfor højest i vinterhalvåret. Sæsonvariationen ses tydeligt i gennemsnittet for perioden 1989-1999. For 1999 måles imidlertid ingen udpræget sæsonvariation, hvilket kan skyldes de meteorologiske forhold og/eller en ændring i sæsonvariationen af emissionerne.

- For partikulært sulfat observeres ingen udpræget sæsonvariation, hvilket ellers kunne have været forventet ud fra sammenligning til de partikulært bundne kvælstofforbindelser. Årsagen er formentligt, at sulfat udover de menneskeskabte udslip ligeledes har andre kilder (havsalt og algenedbrydning), som har fået relativt mere betydning efter de store reduktioner i emissionen af menneskeskabt svovldioxid. Endvidere er der også betydelige forskelle i de kemiske processer, som fører til dannelse af de partikulært bundne forbindelser.

#### *Sæsonvariation af våddeposition*

For nitrat og sulfat ses ingen tydelig sæsonvariation, men der er dog tendens til at våddepositionen følger sæsonvariationen af nedbøren, der for perioden 1989-1999 var størst efterår og vinter og lavest forår og sommer. Den gennemsnitlige sæsonvariation af både nedbørmængde og våddeposition af nitrat og sulfat er dog lille set i forhold til forskellene fra år til år, ligesom der er store geografiske forskelle. For ammonium ses en mere tydelig sæsonvariation med højst våddeposition i sommerhalvåret. Årsagen hertil er, at ammoniak let optages i vanddråber i atmosfæren, og at ammoniakkoncentrationen er høj i sommerhalvåret. Denne effekt spiller tydeligvis en lige så vigtig rolle, som variationerne i selve nedbørmængden. Sæsonvariation for våddeposition af ammonium kan være vigtig i forbindelse med algeopblomstringer, da det netop er i sommerhalvåret, at den atmosfæriske deposition relativt betyder mest i forhold til andre tilførsler til de danske farvande.

#### *Kilder til kvælstofdeposition*

Den atmosfæriske deposition af kvælstof til danske farvande stammer i 1999 stort set ligeligt fra landbrug (ca. 40 %) og forbrændingsprocesser (ca. 60 %). For områder tæt på landbrug ses dog et lidt højere bidrag fra landbruget. Således bidrager landbrugskilder med godt 60 % af depositionen til Limfjorden og godt 50 % af depositionen til Kattegat, mens diverse forbrændingsprocesser er kilde til resten. Af den samlede deposition til farvandene bidrager danske kilder med 28 % til Kattegat og 9 % til Nordsøen. Derimod udgør det danske bidrag mere end 40 % for nogle fjorde, vige og bugte. Det høje danske bidrag i disse områder skyldes helt overvejende deposition af lokalt emitteret ammoniak. I gennemsnit udgør det danske bidrag omkring 15 % af den atmosfæriske kvælstoftilførsel til de danske farvande. For depositionen til landområderne vil de lokale danske kilder slå endnu stærkere igennem.

#### *Kilder til svovldioxid- og sulfatdeposition*

Kilder til deposition af svovl i Danmark er primært diverse forbrændingsprocesser. Dog kommer en mindre del af sulfat fra havsalt og nedbrydning af alger. Den danske del af kilderne til depositionen af svovl er ikke blevet præsenteret i forbindelse med dette års rapportering.

#### *Usikkerhed på beregningerne*

Usikkerheden på beregning af deposition af kvælstof til de danske farvande er meget svær at bestemme. På nuværende tidspunkt skønnes usikkerheden, lige som i tidligere rapporter, at ligge på 30-40 % for de åbne farvande og 40-60 % for kystnære farvande. For deponeringerne til land er usikkerheden skønnet til at være op til en faktor 2 på den årlige depositionen. Det vurderes at revisionen af modellen og de nye meteorologiske data har givet en forbedring af resultaterne af modelberegningerne. Data fra et år er imidlertid ikke nok til at

vurdere om de bedre resultater var tilfældigheder for 1999. Effekten af ændringerne af modellen vil derfor blive kvantificeret når der foreligger en længere tidsserie med den reviderede model og nye meteorologiske data. Endvidere skal det nævnes at emissioner fra skibe endnu ikke er inkluderet i beregningerne. Dette forventes gjort snarligt og dette forventes at give anledning til en mindre forøgelse af depositionerne.

