



rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Regional övervakning av nedfall och effekter av luftföroreningar

*Sammanfattande slutrapport från ett samarbets-
projekt mellan IVL, länen och Naturvårdsverket*

Cecilia Akselsson, Martin Ferm, Eva Hallgren Larsson,
Johan Knulst, Gun Lövblad, Gunnar Malm och Olle Westling

B 1369

Aneboda maj 2000

Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Aneboda 360 30 Lammhult	Projektitel/Project title Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor
Telefonnr/Telephone 0472-26 20 75	IVLs samfinansierade forskning
Rapportförfattare/author Cecilia Akselsson, Martin Ferm, Eva Hallgren Larsson, Johan Knulst, Gun Lövblad, Gunnar Malm och Olle Westling	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Regional övervakning av nedfall och effekter av luftföroreningar - Sammanfattande slutrapport från ett samarbetsprojekt mellan IVL, länen och Naturvårdsverket.	
Sammanfattning/Summary IVL har tillsammans med länen (Luftvårdsförbund och Länsstyrelser) och Naturvårdsverket utfört ett projekt under tre år (1997 till 1999) där de framtida metoderna för att övervaka luftföroreningar med regional upplösning har utretts och utvecklats. Utredningen har resulterat i ett förslag till framtida regional miljöövervakning av luftföroreningar som omfattar en kombination av mätningar och resultat från andra program. Samordningen innebär att resultatredovisningen blir mer komplett och anpassad till nya krav på indikatorer och uppföljningsmått. Programmet omfattar följande moment; deposition, halter i luft och markvatten, modellberäkningar, lagring, bearbetning och utvärdering av data, redovisning samt samordning, kvalitetssäkring och programutveckling. Samarbetsprojektet har utvärderat de olika momenten och utvecklat rutiner för lagring, bearbetning och redovisning av resultat i form av länsrapporter och en hemsida. Förbättrade metoder att mäta och beräkna den totala depositionen av baskatjoner och kväve till skog har utvecklats inom projektet.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords Miljöövervakning, luftföroreningar, svavel, kväve, ozon, krondropp, markvatten, lufthalter, skog	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1369	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm fax: 08-598 563 90, e-mail: publicationservice@ivl.se	

Innehåll

Sammanfattning	4
1. Förord.....	6
2. Samarbetsprojektets syfte.....	7
3. Ett nytt program för övervakning av luftföroreningar	7
3.1 Depositionsmätningar.....	8
3.2 Halter i luft	8
3.3 Markvatten.....	9
3.4 Modellberäkningar	9
3.5 Lagring, bearbetning, utvärdering och redovisning av data.....	9
3.6 Samordning, kvalitetssäkring och programutveckling.....	10
4. Luftföroreningar som orsakar miljöproblem.....	10
4.1 Mål och mått för miljökvalitet i Sverige	10
4.2 Åtgärdsarbetet i Europa och Sverige.....	12
4.3 Behov av övervakning av luftföroreningar i Sverige	14
4.4 Tillbakablick på regional övervakning av luftföroreningar.....	16
5. Utveckling av olika moment i övervakningen	17
5.1 Mät- och beräkningsmetoder.....	17
5.1.1 Torrdeposition av baskatjoner och kväve i skog	17
5.1.2 Mätning och modellberäkning av våtdeposition.....	20
5.1.3 Mätning av halter i luft	20
5.1.4 Länsvis modellberäkning av deposition och halter i luft.....	22
5.1.5 Massbalansberäkningar för näringsämnen i skogsmark	22
5.2 Databearbetning.....	24
5.3 Statistik och tidsutveckling	25
5.3.1 Deposition.....	25
5.3.2 Markvatten	27
5.4 Utvärdering och resultatredovisning	30
5.4.1 Mätningar.....	30
5.4.2 Modellberäkningar.....	31
5.5 Kvalitetssäkring.....	31
6. Behov av ytterligare forskning och utredning.....	33
7. Referenser	34

Sammanfattning

IVL har tillsammans med länen (Luftvårdsförbund och Länsstyrelser) och Naturvårdsverket utfört ett projekt under tre år (1997 till 1999) där de framtida metoderna för att övervaka luftföroreningar med regional upplösning har utretts och utvecklats. Utredningen har resulterat i ett förslag till framtida regional miljöövervakning av luftföroreningar som omfattar en kombination av mätningar och resultat från andra program. Samordningen innebär att resultatredovisningen blir mer komplett och anpassad till nya krav på indikatorer och uppföljningsmått. Programmet omfattar följande moment; deposition, halter i luft och markvatten, modellberäkningar, lagring, bearbetning och utvärdering av data, redovisning samt samordning, kvalitets-säkring och programutveckling. Samarbetsprojektet har utvärderat de olika momenten och utvecklat rutiner för lagring, bearbetning och redovisning av resultat i form av länsrapporter och en hemsida. Förbättrade metoder att mäta och beräkna den totala depositionen av baskatjoner och kväve till skog har utvecklats inom projektet.

Den svenska riksdagen har fattat beslut om femton nya miljömål som skall utgöra basen för det framtida miljöarbetet. Ambitionen är att målen skall nås inom en generation (20 till 25 år). Många av de femton nationella miljömålen kräver åtgärder för att minska effekterna av luftföroreningar. Även om belastningen av luftföroreningar minskar till nivåer som med nuvarande koncept för kritiska belastningsgränser betraktas som acceptabla kan decennier av hög deposition resultera i ett miljötillstånd med mycket långsam eller ofullständig återhämtning. Att övervaka att miljö kvaliteten verkligen blir bättre i alla delar av landet när åtgärder vidtas i Sverige och övriga Europa kommer sannolikt att bli den regionala miljöövervakningens främsta uppgift i framtiden.

Summary

Regional programmes in Sweden focused on deposition and effects of air pollutants have been evaluated by IVL, Swedish Environmental Research Institute. Various air quality protection associations and regional environmental authorities initiated the monitoring programmes during the period 1985 to 1990. The result of the evaluation is a revised and co-ordinated programme with improved methods. The new regional programme combines collection of field data with national model calculations of deposition of air pollutants.

The new programme involves collection of deposition on open field (bulk) and in forest stands (throughfall), and soil solution, according to national and international standards. Improved methods for monitoring of base cation and nitrogen deposition have been developed. Ambient air concentrations are measured at some locations. The purpose is to describe environmental conditions, regional differences, and temporal changes. Data on forest stands, such as needle loss, growth, and soil chemistry, are available since most locations are permanent forest plots, established for scientific forest observations.

Regional dispersion and deposition of air pollutants will be calculated with a model (SMHI-MATCH), developed for simulating the dispersion and deposition of Swedish emissions in relation to the long-range transport on a relatively fine scale (grid square 11 km). The programme also includes developed methods for data handling, interpretation, evaluation, quality assurance and demonstration of results in written reports and via Internet.

1. Förord

IVL har tillsammans med länen och Naturvårdsverket utfört ett projekt under tre år (1997 till 1999) där de framtida metoderna för att övervaka luftföroreningar med regional upplösning har utretts och utvecklats. Utvecklingen omfattar förbättrade metoder för mätningar, bearbetning av data, statistisk utvärdering, resultatredovisning och kvalitetssäkring. Utredningen har resulterat i ett förslag till framtida regional miljöövervakning av luftföroreningar.

Arbetet har utförts som ett samfinansierat projekt inom ramen för IVLs programbundna forskning. En styrgrupp var knuten till projektet som bestod av representanter för Naturvårdsverket och län med Luftvårdsförbund. Deltagare i styrgruppen har varit:

Ola Broberg, Länsstyrelsen i Jönköpings län (ordförande)

Carl-Elis Boström, Naturvårdsverket

Lennart Mattsson, Länsstyrelsen i Västerbottens län

Michael Lindstedt och Josephine Gullö, Länsstyrelsen i Värmlands län

Sven-Erik Geite, Länsstyrelsen i Södermanlands län

Per Hedenbo, Länsstyrelsen i Västmanlands län

Gunnar Barrefors och Lennart Olsson, Länsstyrelsen i Västra Götalands län

Projektet har även haft en referensgrupp bestående av representanter för länsstyrelser och Luftvårdsförbund i samtliga län med regionala undersökningar av luftföroreningar. Projektet slutredovisades vid ett seminarium på Kronobergshed i januari 2000. Denna rapport sammanfattar projektets resultat och beskriver bakgrunden till det programförslag för regional övervakning av luftföroreningar som redovisas separat. En kort beskrivning av förslaget till program finns i avsnitt 3. Olika moment i projektet kommer att redovisa som tekniska rapporter samt som publikationer i vetenskapliga tidskrifter. Avkastningen av projektet består även av ett utvecklat system för lagring, bearbetning och presentation av undersökningsresultat, samt en hemsida med bakgrundsinformation, data, kommentarer, kartredovisningar och rapporter. Redovisningen nås via IVLs hemsida www.ivl.se.

2. Samarbetsprojektets syfte

Syftet med projektet var att utveckla de pågående regionala mätningarna av luftföroreningar så att nyttan för avnämarna ökar på regional och nationell nivå. Utgångspunkten för utvecklingsarbetet var de regionala mätprogrammen för övervakning av luftföroreningar som byggts ut under perioden 1985 till 1996 (se vidare avsnitt 4.4). Målsättningen för de programmen kan sammanfattas med att:

- Beskriva tillståndet i miljön med avseende på belastning och effekter av luftföroreningar.
- Beskriva miljötillståndets utveckling i tiden.
- Beskriva samband mellan miljöskador och miljötillstånd.
- Ge underlag för prognoser, modeller och kvantifiering av åtgärdsbehov.

Miljötillståndets förändring, nya miljökvalitetsmål samt det nationella och internationella åtgärdsarbetet medför ständigt nya behov av information. För att nå ovanstående målsättning med regional övervakning av luftföroreningar behövde en utveckling ske på främst fyra områden:

- Utveckling av mät- och beräkningsmetoder, framför allt för nedfall av luftföroreningar.
- Utveckling av utvärderingsmetoder och statistik för yttäckande generaliseringar, tidserieanalys och komplexa samband mellan uppmätta parametrar.
- Utveckling av presentation av data och utvärderingar så att resultaten av undersökningarna blir mer lättåtkomliga och lättare att tolka.
- Samordna regional, nationell och internationell miljöövervakning samt utveckla rutiner för kvalitetssäkring.

3. Ett nytt program för övervakning av luftföroreningar

Gränsöverskridande luftföroreningar som orsakar försurning, övergödning, höga halter av marknära ozon, spridning av miljögifter samt medför risk för hälsoeffekter har under lång tid varit ett av de dominerande miljöproblemen i Sverige och många andra länder. Miljöövervakning med både nationell och regional upplösning har byggts ut i landet främst under perioden 1985 till 1995. Under samma tid har kunskapen ökat om luftföroreningarnas effekter, samtidigt som utsläpps begränsande åtgärder genomförts i Europa. Trots detta kvarstår många av de effekter som under flera decennier uppmärksammats i Sverige. Ytterligare åtgärder kommer att kräva allt mer precisa underlag om nyttan av åtgärder i relation till kostnaderna. Åtgärdsarbetet kommer att styras av miljökvalitetsmål som inkluderar omfattande system för uppföljning¹. Detta ställer nya krav på miljöövervakningens utformning.

Förslaget till regionalt program för övervakning av luftföroreningar omfattar en kombination av mätningar och resultat från andra program². Samordningen innebär att resultatredovisningen blir mer komplett och anpassad till nya krav på indikatorer och uppföljningsmått. Motiv och underlag för det nya programmet redovisas i avsnitt 4 och 5.

Programmet omfattar följande moment:

- Mätningar inom programmet omfattande deposition, halter i luft och markvatten
- Modellberäkningar
- Lagring, bearbetning och utvärdering av data
- Redovisning
- Samordning, kvalitetssäkring och programutveckling

En viktig egenskap för programmet är att tillvarata de dataserier som byggts upp i tidigare program och föreslå metoder för att med kontinuitet följa miljötillståndets utveckling. De miljöproblem som studeras i detta program följer relativt långsiktiga förlopp, vilket ställer krav på tidsserier av data för uppföljning av förväntade förbättringar när utsläppsbegränsande åtgärder vidtas.

3.1 Depositionsmätningar

Syftet är att kvantifiera den totala depositionen per månad och år av svavel, kväve och baskatjoner i de skogsytor där effektmätningar utförs inom ramen för olika program, framför allt Skogsvårdsorganisationens skogsskadebevakning. Dessutom skall insamlade data utnyttjas för att utveckla modellberäkningar som på sikt kan minska mätinsatsen. Mätmetoden bygger på att nederbörd provtas med insamlare som har en känd area. Genom att mäta mängden nederbörd och koncentrationen av föroreningar kan depositionen per tidsperiod och ytenhet beräknas för varje analyserat ämne. Nedfallet på öppet fält består huvudsakligen av våtdeposition. Summan av våt- och torrdeposition mäts inne i skogen, i permanenta skogsytor.

På tio noggrant utvalda intensivytor i landet samlas nederbörd och kron dropp in med hjälp av ordinarie utrustning för depositionsmätningar. Dessutom används en så kallad strängprovtagare för att få ett bättre mått på torrdepositionens sammansättning och det totala nedfallet av baskatjoner. Deposition i en tratt under tak används för att uppskatta våtdepositionsandelen på öppet fält. Metoderna för undersökningar med strängprovtagare och tratt under tak har utvecklats inom samarbetsprojektet³.

På övriga ytor som ingår i regionala program föreslås ett basprogram med depositionsmätningar i skog under hela treårsperioden. Mätningarna på öppet fält ersätts av resultat från modellberäkningar med en modifierad Sverigemodell (MATCH). På detta sätt kan belastningen av svavel och kväve till marken uppskattas fortlöpande i den aktuella ytan och användas som grund för studier av dosen luftföroreningar i förhållande till responsen i markvattnet. Analysomfattningen berör främst försurningsrelaterade ämnen som svavel och kväve.

3.2 Halter i luft

Syftet med haltmätningarna av luftföroreningar är att ge underlag för torrdepositionsberäkningar, effektbedömningar samt beskrivning av eventuella skillnader mot luftföroreningssituationen i stort. Halter i luft inom programmet undersöks endast i de tio intensivytorna. Lufthalterna mäts med hjälp av diffusionsprovtagare, "passiva provtagare". Detta innebär att

gasen fångas upp på ett filter, impregnerat med en kemikalie som kvantitativt absorberar den gas som skall mätas. Resultaten redovisas som medelhalter per månad. Mätningarna omfattar svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon under tolv månader per år.

3.3 Markvatten

Markvatten är nederbörd som rör sig nedåt i markprofilen, i den omättade zonen, mot grundvattenytan. Markvattnets kvalitet påverkas av atmosfärisk deposition, biologisk aktivitet i marken samt markens kemiska egenskaper. Mätningarna utnyttjar olika parametrar i markvattnet som indikatorer på marktillstånd, vegetationens inverkan samt utlakning till grund- och ytvatten. Med dagens kunskap går det inte att ersätta mätningarna med modellberäkningar. Därför är det viktigt att fortlöpande undersöka markvattnets sammansättning som indikator på om utsläppsminskningar av luftföroreningar ger en förväntad förbättring av miljötillståndet. Markvattenmätningar bör utföras som basundersökning i alla de skogsytor som ingår i regionala program för att få tillräckligt många exempel som underlag för generella bedömningar av marktillståndets utveckling.

3.4 Modellberäkningar

Beräkningarna omfattar en regional och yttäckande kartläggning av depositionen av luftföroreningar i Sverige. Modellberäkningarna omfattar svavel, oorganiskt kväve, baskatjoner, samt klorid från havssalt. Den yttäckande karteringen är uppdelad på våt och torr deposition för olika markanvändningsklasser. Sveriges bidrag till den totala depositionen kan även utläsas i beräkningarna.

3.5 Lagring, bearbetning, utvärdering och redovisning av data

Alla data från undersökningarna inklusive uppgifter från Skogsvårdsorganisationens mätningar samt data från SMHI samlas i en relationsdatabas med applikationer för kvalitetskontroll, statistik, datauttag och kartframställning. Databasen kan vid behov byggas ut till att omfatta även andra relevanta data för uppföljning av miljötillstånd och miljökvalitetsmål. Databasen med applikationer har utvecklats inom ramen för samarbetsprojektet.

Samarbetsprojektet har utvecklat en form för att redovisa data i länsbaserade årsrapporter samt på en hemsida. Hemsidan innehåller information om depositionens omfattning, markvattnets sammansättning, lufthalter etc. över större områden. Dessutom finns utförliga beskrivningar med bakgrund till mätningarna, beskrivning av använd metodik, samt nyheter och notiser med övrig information från verksamheten.

Via denna hemsida nås även yttäckande beräkningar av deposition med Sverigemodellen, samt andra datavärddar med relevant information. Modellberäkningarna redovisas på så sätt att län som ingår i projektet får en årlig presentation av resultat för sitt område. Resultatpresentationen sker årligen uppdelad på län genom en enkel rapport samt i form av datafiler och grafiska filer via Internet.

Resultatredovisningen omfattar grundläggande information om data som ligger till grund för beräkningarna, yttäckande kartering av deposition med regional upplösning samt jämförelse mellan beräknade och uppmätta data.

3.6 Samordning, kvalitetssäkring och programutveckling

Hela kedjan från programskrivning till rapportering är viktig för att slutresultatet skall vara av god kvalitet. För att uppnå detta finns provtagningsmanualer som noga beskriver provtagningsförfarandet i fält. Alla provtagare utbildas enligt ett speciellt program. Med undantag för analys av olika aluminiumfraktioner i markvatten ingår endast standardiserade analysmetoder. Alla data från kemisk analys genomgår ett omfattande program för kontroll där felaktiga data eller kontaminerade prover kan upptäckas. Kontrollen är till stor del automatiserad, men rimligheten i alla rådata och beräknade värden bedöms även manuellt.

Samordning mellan regionala, nationella och internationella program är viktig för att kunna jämföra resultat av undersökningar som är inriktade på gränsöverskridande föroreningar. Det är även viktigt för att undvika dubbelarbete och för att kunna utveckla och rationalisera verksamheten. De mätmetoder som tillämpas i regionala program bör liksom nu i tillämpliga delar följa Naturvårdsverkets handbok för miljöövervakning samt ICP-forest⁴ och EUs manualer för övervakning av luftföroreningar i skog⁵. Utvärderingen av data bör samordnas med Naturvårdsverkets och Skogsstyrelsens nationella miljöövervakning av luft och skogsskador, samt med europeiska utvärderingar av luftföroreningsproblem.

Ett regionalt miljöövervakningsprogram som följer en pågående förändring av ett miljöproblem allt eftersom åtgärder vidtas måste ständigt utvecklas när kunskapen ökar och miljöproblemen ändrar karaktär. Samtidigt är det viktigt att kontinuiteten i undersökningarna inte bryts. Denna balansgång kräver en nära kontakt mellan pågående forskning och utformningen av miljöövervakningen. Kritiska frågor som är avgörande för olika åtgärdsstrategier måste successivt införas i programmen. Nya miljö kvalitetsmål och uppföljningsmått kan även ställa krav på förändrade övervakningssätt. En generell utveckling av övervakningen av gränsöverskridande luftföroreningar bör vara att mätinsatserna för att kartera regionala skillnader i deposition minskar till förmån för undersökningar av effekter och återhämtning inriktat på mark, vatten och skog. Nya frågor kan även bli aktuella för den regionala miljöövervakningen, som luftföroreningar i tätorter och längs trafikleder, effekter av småskalig vedeldning, samt nya miljögifter.

4. Luftföroreningar som orsakar miljöproblem

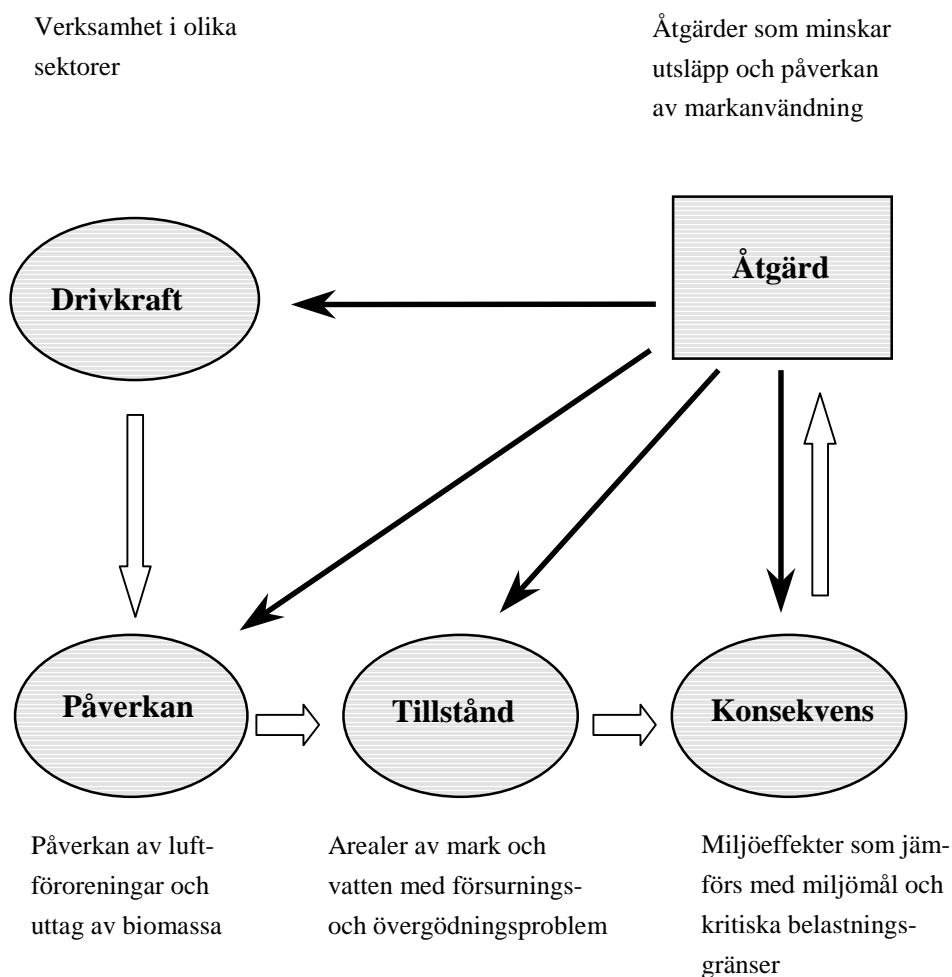
4.1 Mål och mått för miljö kvalitet i Sverige

Den svenska riksdagen har fattat beslut om femton nya miljömål som skall utgöra basen för det framtida miljöarbetet. Ambitionen är att målen skall nås inom en generation (20 till 25 år). Många av de femton miljömålen kräver åtgärder för att minska effekterna av luftföroreningar.

Några mål har helt den inriktningen (till exempel Frisk luft), men de flesta mål har förslag på indikatorer för uppföljning som avser utsläpp eller belastning av luftföroreningar.

De regionala skillnaderna i hotbild varierar, från tätorternas problem med höga halter av skadliga luftföroreningar till globala effekter av klimatförändringar. Möjligheterna att vidta åtgärder kan dock ha en annan skala än utbredning och variation av effekterna.

Tidigare miljöövervakningsprogram har i regel varit inriktade på att beskriva miljötillstånd. Faktorer som påverkar tillståndet (verksamheter, utsläpp mm) och uppföljning av åtgärder har i regel skett relativt frikopplat från miljöövervakningen. Uppföljningen av de nya nationella miljö kvalitetsmålen kan dock komma att kräva information från alla komponenterna i den så kallade DPSIR-kedjan (Drivkraft-Påverkan-Tillstånd-Konsekvenser-Åtgärd) som används för att analysera behov och nytta av åtgärder och systemförändringar⁶ (figur 1). Konsekvensen är att det kan finnas behov av att miljöövervakningsprogrammen breddas till att producera data utöver rena tillståndsbeskrivningar.



Figur 1. DPSIR-kedjan

Tabell 1 visar exempel på indikatorer, i form av ett urval ur miljökvalitetsmålet "Bara naturlig försurning". Exemplet ger en uppfattning av spännvidden i de indikatorer som föreslås för uppföljning.

Tabell 1. Uppföljningsmått i DPSIR-kedjan.

Drivkrafter

Energianvändning Energianvändning per person, TWh per år

Påverkan

Utsläpp av försurande ämnen Utsläpp av svaveldioxid fördelat på källor, ton per år

Nedfall av försurande ämnen Nedfall per yta av svavel och kväve fördelat på geografiska områden, kg per km².

Tillstånd

Areal skogsmark med risk för försurningseffekter enligt "bedömningsgrunder"

Konsekvenser

Luftföroreningar Nettoförsurning i skogsmark samt direktnedfall på sjöytor, kiloekvivalenter per ha och år

Åtgärder

Utsläpps begränsningar Årsomsättning av kväveoxidavgiften, kronor per år

Skadebegränsningar Behandlad (kalkad eller kompensationsgödslad) sjöareal respektive skogsmarksareal, km² samt rinnande vatten, km

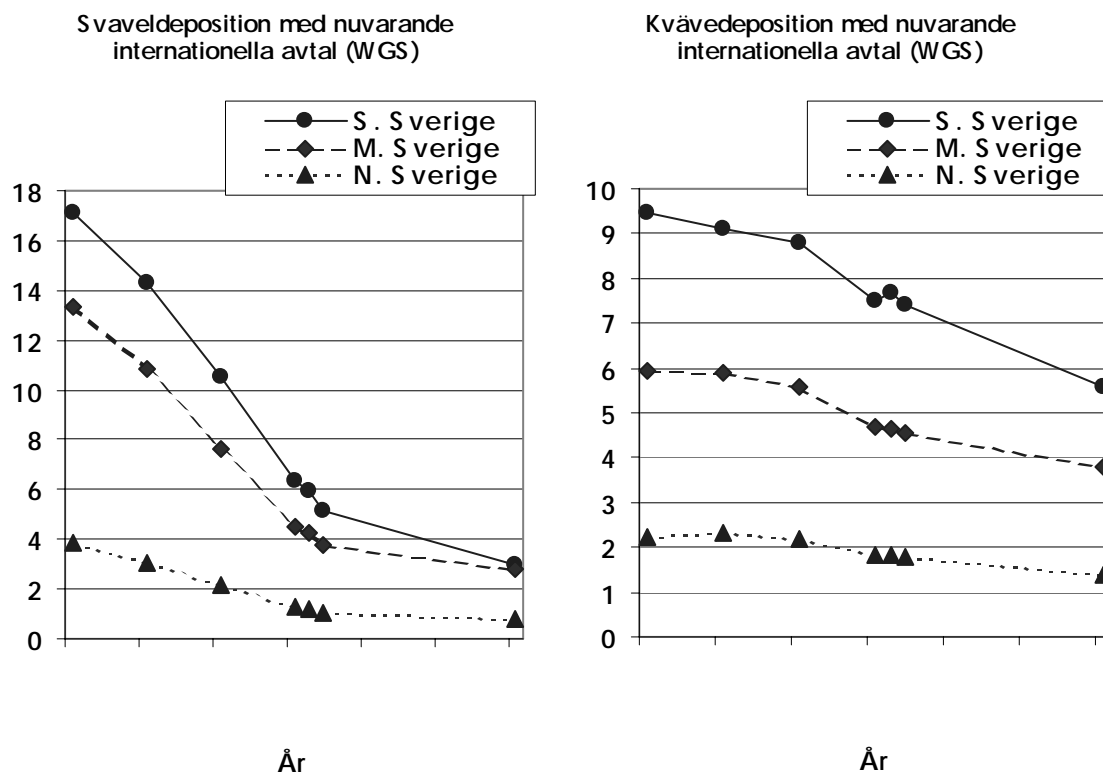
4.2 Åtgärdsarbetet i Europa och Sverige

Internationella överenskommelser har träffas i syfte att begränsa utsläppen av gränsöverskridande luftföroreningar i Europa (försurande och gödande ämnen, marknära ozon, tungmetaller och persistenta organiska ämnen) till år 2010 (tabell 2). Utvecklingen av depositionen av svavel och kväve sedan 1980, samt förväntad utveckling till 2010, i olika delar av landet framgår av figur 2.

Tabell 2. Internationella avtal och nationella krav på övervakning av luftkvalitet och deposition.

Inom UNECE ⁷ och CLRTAP	Nya Multiprotokollet undertecknat i Göteborg december 1999
Inom EU	Försurnings- och oxidantstrategi Ramdirektiv och dotterdirektiv för Luftkvalitet
Nationellt	Nya miljöbalken med Miljökvalitetsnormer EU direktivets genomförande med övervaknings- och rapporteringskrav

Åtgärderna kommer att avsevärt förbättra föroreningssituationen, men kommer inte att vara tillräckliga för att möta de krav som ställs för skydd av människans hälsa och omgivande miljö. Ytterligare åtgärder blir därför nödvändiga. Det är rimligt att förvänta sig att ett förnyat behov av underlag för tillkommande åtgärder kan bli aktuellt någon gång under perioden 2003-2005.



Figur 2. Deposition av svavel och kväve sedan 1980, samt förväntad utveckling till 2010, i olika delar av landet med det så kallade multiprotokollet (WGS). Observera att skalorna för svavel och kväve är olika.

För flera av föroreningsproblemen är åtgärdsstrategierna inriktade mot att uppnå specificerade, effektbaserade miljömål med hjälp av de mest kostnadseffektiva åtgärderna. Metoden har hittills varit mycket framgångsrik och det är sannolikt att även framtida åtgärder kommer baseras på liknande koncept. Det finns dock ett stort behov av att förstärka det vetenskapliga underlaget samt kunskapen om miljötillståndet inför en revidering av de koncept och miljö kvalitetsmål som i framtiden skall ligga till grund för åtgärdsarbetet.

Metoden att använda effektkriterier och kostnadseffektivitet som utgångspunkt för förhandlingar har ställt stora krav på underlaget i form av naturvetenskaplig forskning, mätningar samt utveckling och tillämpning av modeller. Forskning och miljöövervakning har därför blivit en naturlig del i kunskapsuppbyggnaden för de internationella överenskommelserna. För utarbetandet av åtgärdsstrategier erfordras en metodik (modell) som länkar samman olika åtgärder och deras kostnader med effekter och effektrisker i miljön. Sådana modeller har utvecklats och tillämpats inom Konventionen för långväga gränsöverskridande luftföroreningar (CLRTAP). De tillämpas även i samband med utarbetandet av EUs försurnings- och oxidantstrategier.

De gränsöverskridande luftföroreningarna är även av stor betydelse för nationella åtgärder och åtgärdsstrategier. Internationella åtaganden skall tillämpas nationellt, men dessutom krävs hänsyn till de gränsöverskridande luftföroreningarna vid formulering av miljömål, utformningen av nationella åtgärdskrav, vid miljökonsekvensanalyser av sektoriella åtgärder samt vid lokalisering av olika typer av miljöstörande verksamheter. Luftföroreningarna kan medföra ett behov av speciella åtgärder mot försurning och annan föroreningspåverkan inom skogsbruket. Det nationella åtgärdsarbetet omfattar även insatser för att direkt motverka skador i miljön av luftföroreningar som kalkning av sjöar och rinnande vatten. Särskilda insatser för att motverka försurning av skogsmark (kalkning, vitalisering och kompensationsgödning) kan bli nödvändiga i delar av landet.

4.3 Behov av övervakning av luftföroreningar i Sverige

Uppföljning av de nya miljö kvalitetsmålen samt optimering av det framtida nationella åtgärdsarbetet kräver förbättrade verktyg. Bland annat pågår ett forskningsprogram, förkortat ASTA⁸, inom ramen för MISTRA, den miljöstrategiska stiftelsen. Programmet syftar till att förbättra verktyg och underlag för internationella och nationella åtgärder mot gränsöverskridande luftföroreningar. En väl utbyggd och samordnad nationell och regional miljöövervakning kommer att vara en förutsättning för att nå framgång i arbetet med att finna kostnadseffektiva åtgärder i Sverige.

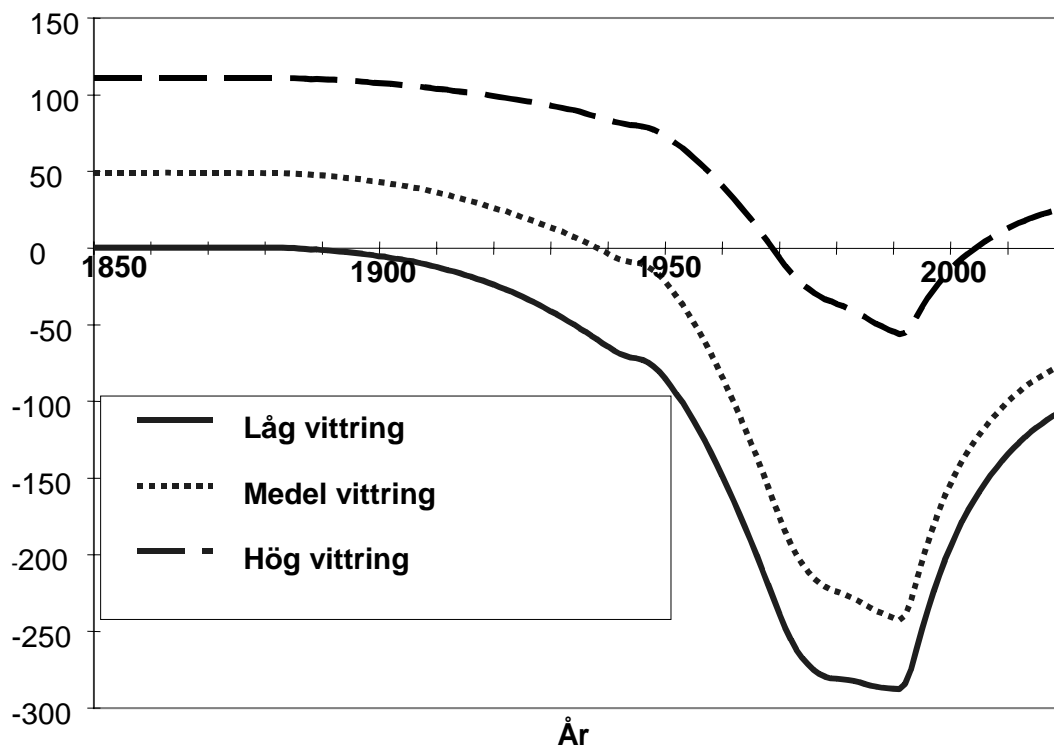
Ansvar för de nationella och regionala åtgärderna faller på olika sektorsorgan, bland annat som en följd av miljö kvalitetsnormer och miljöbalken. Framtida åtgärdsplanering kommer att vara beroende av ett gediget underlag som består av konkreta miljömål, miljö kvalitetsnormer samt data och prognoser om miljö tillståndet.

Två övergripande frågor är speciellt viktiga för det nationella åtgärdsarbetet:

1. Vilka regionala och nationella utsläppsbegränsande åtgärder är mest kostnadseffektiva för att uppnå olika miljömål och kan målen för markanvändning och utsläpp av luftföroreningar förenas?
2. Kommer planerade utsläppsminskningar i Europa till 2010 leda till en uthållig förbättring av miljötillståndet i hela Sverige?

Även om belastningen av luftföroreningar minskar till nivåer som med nuvarande koncept för kritiska belastningsgränser betraktas som acceptabla kan decennier av hög deposition ha resulterat i ett miljötillstånd med mycket långsam eller ofullständig återhämtning. Undersökningar i ett urval av de skogsytor som ingår i regional miljöövervakning i södra Sverige indikerar att mark- och vattenförsurningen visserligen kommer att minska med nuvarande prognos på depositionsminskningar, men återhämtningen blir i många fall ofullständig⁹ (figur 3). Att övervaka att miljö kvaliteten verkligen blir bättre i alla delar av landet när åtgärder vidtas i Sverige och övriga Europa kommer sannolikt att bli den regionala miljöövervakningens främsta uppgift i framtiden.

ANC uekv/l



Figur 3. Modellberäkningar av markvattnets syraneutraliserande förmåga (uttryckt som ANC) baserat på 18 skogsytor fördelade på tre vittringsklasser under perioden 1850 till 2020. Vittringshastighet har stor betydelse för skogsmarkens långsiktiga försurningsutveckling.

Miljöövervakning av luftföroreningar och effekter med regional upplösning bör inriktas mot speciellt prioriterade miljöproblem med stor regional variation eller olika regionala förutsättningar att vidta åtgärder. Viktiga miljöproblem som redan existerar är framför allt:

- Kraftigt försurade skogsområden
- Kväveupplagring i skogsmark
- Försurnings- och gödnings effekter i södra fjällområdet
- Surstötter i vårflod i norra Sverige, speciellt norrlandskusten
- Skador på grödor och skog av marknära ozon
- Halter av hälsovådliga luftföroreningar, speciellt i tätorter och längs trafikleder
- Tillförsel av miljögifter via luft

Den framtida skogsskadeövervakningen i Sverige som utförs i Skogsvårdsorganisationens permanenta skogsytor kommer fortsatt att vara beroende av uppgifter om belastningen av luftföroreningar.

Det är sannolikt att undersökningarna av skogen hälsa kommer att breddas till andra aspekter än luftföroreningar, men det kommer även i framtiden att vara effektivt att förlägga regionala undersökningar av luftföroreningar till skogsskadeövervakningens provplatser. Utöver samutnyttjande av data ökar även möjligheten till delad finansiering av undersökningarna.

Globala klimatförändringar förknippas normalt inte med regionala åtgärder för utsläppsminskningar, utan det är de samlade utsläppen som är avgörande för effekterna. Trots det kan det inte uteslutas att det i framtiden finns skäl till att övervaka både utsläpp och effekter på regional nivå, även om det inte finns någon direkt regional koppling mellan åtgärd och påverkan på miljön.

4.4 Tillbakablick på regional övervakning av luftföroreningar

Regional övervakning av luftföroreningar startade i Blekinge i mitten på 1980 talet. Utsläppen i Europa av svavel kulminerade i slutet av 1970-talet och kväveoxider drygt tio år senare. Utsläppen av ammoniak från djurhållning och jordbruk i Europa har sannolikt varit omfattande under större delen av 1900-talet. Oron för en utveckling mot utbredda skogsskador medförde ett behov av kunskap om nedfallets regionala variation. Under några år påbörjades samordnade mätningar i större delen av södra Sverige och något år senare även i mellersta och norra delen av landet. Under samma period bildades på frivillig basis Luftvårdsförbund eller liknande organisationer som fungerade som huvudmän för undersökningarna i de flesta län i Götaland och Svealand. Inriktningen var framför allt att kartlägga depositionen till skog av svavel och kväve, samt att allmänt beskriva luftkvalitet i bakgrundsområden. Redan från början användes markvattenkvalitet som indikator på marksystemets status och reaktion på det sura nedfallet. Från början fanns även en samordning mellan övervakningen av luftföroreningar och Skogsvårdsorganisationen skogsskadebevakning i permanenta skogsytor.

Miljöövervakning och forskning har visat att nedfall av luftföroreningar har orsakat en onaturlig försurning av skogsmark i stora delar av landet. Den tydligaste effekten av detta är försurat avrinningsvatten som skadar fisk och andra organismer i sjöar och rinnande vatten.

Effekten av försurande luftföroreningar på skogens hälsa är dock svårbedömd. Med dagens föroreningsbelastning är det svårt att se ett akut hot mot skogens tillväxt och vitalitet. Däremot minskar luftföroreningarna utrymmet för en uthållig skogsproduktion med ambitionen att bevara skogsmarkens naturliga egenskaper.

Flera län har utfört undersökningar av halter i luft inom ramen för de regionala programmen. Undersökningarna påbörjades när enkel teknik utan behov av strömförsörjning och täta provbyten blev tillgänglig. Så kallade passiva provtagare som gav månadsmedelvärden av halter i luft fyllde det behovet. Utöver svavel och kvävekomponenter har mätningarna omfattat marknära ozon, som är den förorening som med dagens kunskap medför störst risk för direkta effekter på grödor, skog och människors hälsa utanför tätorterna. Även andra luftföroreningar som tungmetaller, svårnedbrytbara organiska ämnen och polyaromatiska kolväten har undersökts i vissa län under kampanjer¹⁰.

Under 1990-talet minskade utsläppen av svavel kraftigt. De regionala undersökningarna har beskrivit utfallet av de utsläpps begränsningar som vidtagits i Sverige och övriga Europa. Den tydligaste förändringen är att torrdepositionen av svavel till skog har minskat snabbt, snabbare än våtdepositionen. Mätningarna har även visat att kvävebelastningen förändrats relativt lite sedan 1980-talet. Specialundersökningar har visat att nedfallet kan vara betydligt högre än genomsnittet i speciellt utsatta miljöer som skogsfronter och på hög höjd¹¹.

Effekterna av depositionen har undersökts genom de markvattenmätningar samt de markkemiska och skogliga studierna som utförts i skogsytor. Resultaten visar att kraftigt påverkad skogsmark har en långsam återhämtning, och i vissa fall fortsätter försurningsutvecklingen trots det minskade nedfallet.

Resultaten från mätningarna i skogsytor har legat till grund för integrerade utvärderingar av samband mellan luftföroreningar och skogsskador, samt beräkningar av massbalanser för aciditet och näringsämnen i brukad skogsmark¹².

5. Utveckling av olika moment i övervakningen

I detta avsnitt redovisas resultat av samarbetsprojekts olika studier som har lett fram till förslag till modifieringar samt nya metoder och inriktningar. Resultaten ligger till grund för det programförslag som redovisas i avsnitt 3.

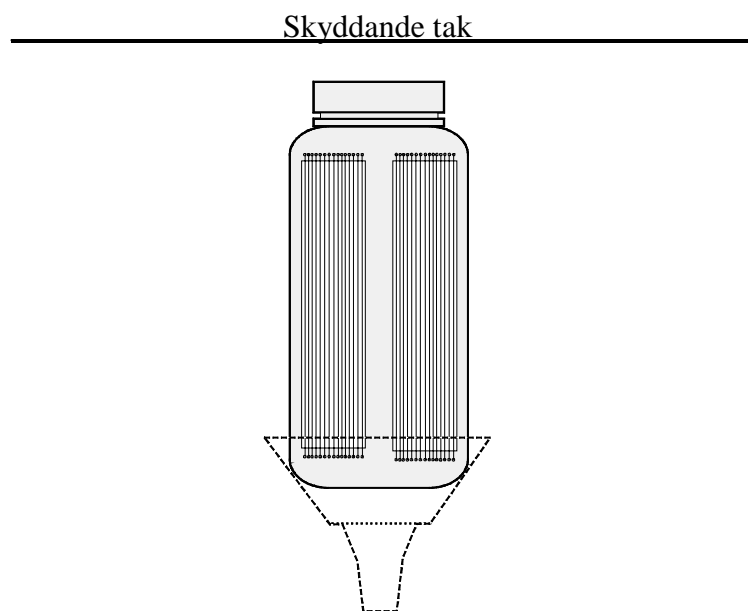
5.1 Mät- och beräkningsmetoder

5.1.1 Torrdeposition av baskatjoner och kväve i skog

Ett viktigt syfte med regionala undersökningar av deposition till skog är att kunna kvantifiera den totala belastningen (våt och torr deposition). Krondroppsmätningar är i dag den enda praktiskt möjliga metoden för att utföra mätningarna, men metoden har nackdelen att många ämnen interncirkuleras eller omvandlas i trädkronan. I regel sker ett upptag eller omvandling av kväve samt ett läckage av baskatjoner och mangan.

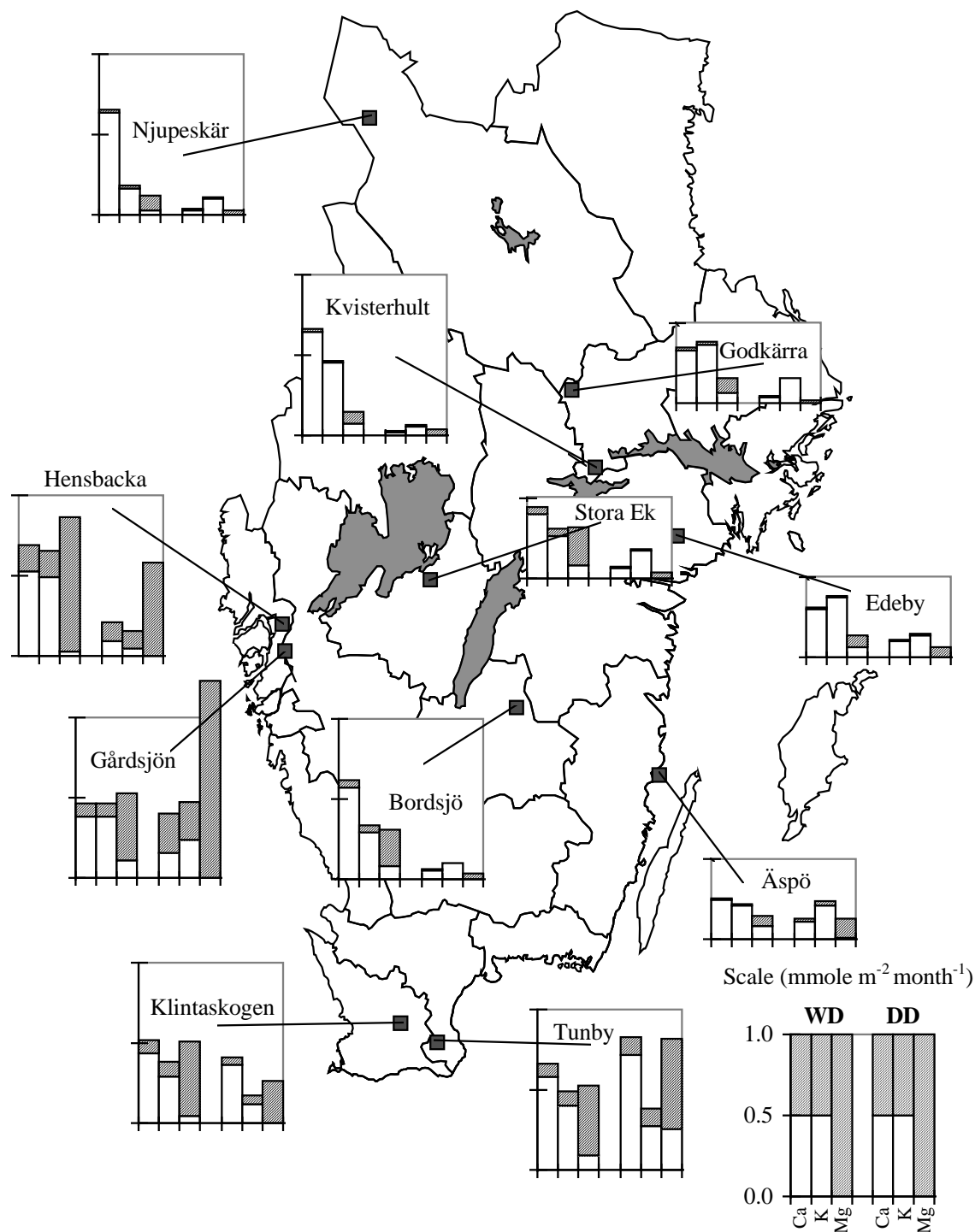
Olika beräkningsmetoder har föreslagits för att kompensera för interncirkulationen och inom den regionala övervakningen har en metod utvecklats som använts sedan 1996¹³. Metoden är relativt grov, i synnerhet för kväve, och det har funnits ett behov att förbättra möjligheterna till att mäta och beräkna totaldeposition till skog. Av det skälet påbörjades en studie inom samarbetsprojektet av möjligheten att använda surrogatytor för att efterlikna trädens filtrerande effekt.

Torrdepositionen av baskatjoner (kalium, magnesium och kalcium) och oorganiskt kväve uppskattades på elva skogsstationer i Sverige med hjälp av strängprovtagare (nederbörds-skyddade surrogatytor)¹⁴. Ytan bestod av ett knippe vertikalt monterade Teflontrådar (figur 4) monterade under ett tak.



Figur 4. Strängprovtagare med Teflontrådar

Efter en månads vindexponering tvättades trådarna med avjoniserat vatten. Vattnet analyserades sedan på samma sätt som nederbörd och krondropp. Relationen mellan olika ämnen och natrium på strängprovtagaren användes för att beräkna torrdepositionen med hjälp av krondropp och nederbörd på öppet fält. Natrium är ett ämne som inte interncirkuleras i träd-kronan och skillnaden i halt mellan nederbörd och krondropp utgörs av torrdeposition. Skillnaden utnyttjas sedan för att beräkna torrdepositionen av övriga ämnen.



Figur 5. Genomsnittlig våt- och torrdeposition av kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K) per månad (mmol per m^2) på 11 lokaler. Den skuggade delen av staplarna visar havssaltsandelen och den ofyllda deposition från icke marina källor. WD är våtdeposition och DD torrdeposition.

För kalium och kalcium utgjorde torrdepositionen i genomsnitt en tredjedel av den totala depositionen och för magnesium var andelen cirka 80 % (figur 5). Torrdepositionsandelen var störst vid de kustnära stationerna.

Trädens läckage av kalcium, vilket visar sig som förhöjda halter i krondroppet, följde den beräknade torrdepositionen av svaveldioxid på månadsbasis. Halterna av kalium i krondroppet samvarierade med den beräknade totaldepositionen av ammonium under olika månader.

Torrdeposition av kväveföreningar till skog är svår att uppskatta på grund av att den delvis är gasformig och att organismer på träden tar upp eller omvandlar deponerat kväve. Det gasformiga bidraget är även svårt att samla in på ett representativt sätt med hjälp av en artificiellt substrat som en strängprovtagare. Undersökningarna indikerar att andelen torrdeposition av den totala depositionen var ungefär en tredjedel för både ammonium och nitrat. Liksom för baskatjoner var torrdepositionsandelen mest betydande nära kusten.

Resultaten från försöken med strängprovtagare har resulterat i ett förslag att använda tekniken i de tio intensivytorna i programmet för år 2001.

5.1.2 Mätning och modellberäkning av våtdeposition

Den största felkällan vid beräkningar av torrdeposition som bygger på skillnaden mellan nederbörd på öppet fält (representerar våtdeposition) och krondropp (representerar totaldeposition för svavel och havssalter) är att partiklar innehållande baskatjoner, svavel- och kväveföreningar torrdeponeras även i trattarna som används för insamling av nederbörd på öppet fält. Under vissa väderförhållanden kan en insamlare på öppet fält sannolikt samla på sig torrdeposition på ett sätt som kraftigt överskattar depositionen. Detta yttrar sig i att mätningar i områden med måttlig eller låg belastning av luftföroreningar ibland kan visa upp en deposition som är högre på öppet fält än i den näraliggande skogsytan. Problemet kan lösas genom användning av locksamlare i stället för ständigt exponerade trattar. Apparaturen är dock dyrbar och känslig för driftstörningar (kräver ständig övervakning) och behöver dessutom elektricitet, vilket saknas vid de flesta skogsytor.

Av det skälet initierades en studie inom samarbetsprojektet med syfte att utveckla en metod för att korrigera för felkällorna i mätningar på öppet fält. Studien inleddes först 1999 och är ännu inte avslutad. Studien innebär att en ny typ av passiv nederbördsprovtagare utvecklas. Tanken med denna provtagare är att nederbördsprov samlas med en driftsäker utrustning utan rörliga delar, samt utan att använda elektricitet. En kombination av en "öppet fält insamlare" och en samlare som enbart mäter torrdepositionen till en ständigt öppen tratt har prövats. Skillnaden mellan dessa bägge provtagare ska således motsvara våtdepositionen. Två varianter av "torrsamlare" har prövats. Den ena är upp och nedvänd och den andra är rättvänd och monterad under ett tak (samma tak som används till strängprovtagaren). De bägge torrsamlarna har gett mycket konsistenta resultat. Preliminära resultat indikerar att insamlad mängd av olika ämnen i en tratt på öppet fält minus den upp och nedvända tratten stämmer bra överens med insamlad mängd i en locksamlare. Försöken kommer att fortsätta under år 2000 och leda fram till en metod för tillämpning i de tio intensivytorna med början år 2001.

5.1.3 Mätning av halter i luft

Ett delprojekt inom samarbetsprojektet var att beskriva det framtida behovet av metoder och mätningar av halter av luftföroreningar.

Svavel, kväve och marknära ozon

Halter av svavel och kväve i luft behöver övervakas under perioden 2000 - 2010 för uppföljning av takten i avtalade utsläppsminskningar. Sannolikt minskar övervakningsbehovet med avtagande föroreningsbelastning.

Redan nu utgör svaveldioxid, bly och kolmonoxid i luft endast undantagsvis problem, vilket medför litet mätbehov. Kvävedioxid i luft orsakar problem i trafikbelastade områden och särskilt på tätortsgator omgivna av byggnader. Det medför ett ökat mätbehov i svenska tätorter, i synnerhet i belastade områden.

Ozon är ett minskande men inte eliminerat problem. Mycket av mätbehovet utöver EMEPs¹⁵ kontinuerliga mätningar, kan lösas med passiva provtagare (månadsmedelvärden). Ozonmätningar kommer i framtiden att rekommenderas vid de permanenta skogsytor som används för övervakning av luftföroreningar av EU, UNECE och ICP-forest. Genom jämförelse med aktiva mätningar (timvärden) kan risken för överskridande av olika riktvärden bedömas.

Partiklar och kolväten

Nya EU direktiv och miljökvalitetsnormer kommer att kräva en mer intensiv övervakning av de föroreningar som ger upphov till överskridanden av gränsvärden som miljökvalitetsnormer. Framst är det två typer av föroreningar som kommer att behöva mätas i tätortsluft; partiklar och kolväten. Källorna är i första hand trafik och småskalig vedeldning. Behovet av mätningar finns inte bara i de stora tätorterna utan även i små och medelstora. Kolväten från biltrafik och vedeldning kan utgöra problem under relativt många år framöver och det kan finnas ett behov av att övervaka delvis nya komponenter, både lättflyktiga och tyngre komponenter. Mätbehovet är särskilt stort i nuläget när kunskapen om halter och effekter inte är fullständig. Enkla och billiga, men robusta, metoder på ett antal platser bör kombineras med mer avancerade metoder som ger hög tidsupplösning på ett fåtal platser.

Det finns metoder för automatisk bestämning av partikelmassa med hög tidsupplösning. De högupplösande instrumenten har en dålig noggrannhet men kan tillsammans med vinddata användas för att lokalisera källor. Dessa metoder är inte EU godkända och de kan inte användas för kemisk analys av partiklar. EU har istället godkänt en metod med sämre tidsupplösning som möjliggör kemisk analys. Till nackdelarna hör främst arbetskrävande hantering med filterbyten och vägning. Den mer avancerad utrustningen medför dessutom höga kostnader. Ett speciellt projekt pågår på IVL med syfte att utveckla enkla och billiga provtagare för PM10 och PM2.5.

Valet av metod måste avgöras av syftet med mätningen och jämförbarheten med andra nationella och europeiska referensmetoder är viktig. Kampanjvisa mätning för att studera luftkvaliteten i olika typmiljöer kräver möjligheter till samtidiga mätningar på flera stationer. Kombinationer mellan en metod med hög tidsupplösning på ett fåtal platser och en metod med enklare mätningar på många platser som bidrar med en geografiska täckning ger ofta den bästa informationen. Långsiktiga trender kan indikeras genom jämförelser med databanken för sotmätningar från 1960-talet.

5.1.4 Länsvis modellberäkning av deposition och halter i luft

Samarbetsprojektet har utrett möjligheterna att utnyttja och anpassa de nationella modellberäkningarna av deposition (Sverigemodellen, MATCH). Utveckling av modellen med uppdelning av depositionen på olika markanvändningsslag samt framtida möjligheter att beräkna depositionen av baskatjoner har inneburit att modellen blivit mer intressant för regionala behov av data. Det bör dock påpekas att modellberäkningarna är helt beroende av mätdata av god kvalitet för kalibrering och validering. Modellberäkningarna kan sannolikt på sikt, tillsammans med de regionala mätningarna, förbättra modellens beräkningar av torrdeposition till skog samt deposition i form av dimma.

Syftet med anpassningen av modellberäkningarna är att utföra en regional och yttäckande kartläggning av föroreningsdeposition. Arbetet sker genom ett samarbete mellan IVL och SMHI. Modellberäkningarna omfattar svavel, nitratkväve, ammoniumkväve, baskatjoner (Ca, Mg, Na, K) samt klorid från havssalt. Omfattningen av resultatredovisningen framgår av avsnitt 5.4.

5.1.5 Massbalansberäkningar för näringsämnen i skogsmark

Utlakningen från skogsmark är en viktig post i beräkningar av massbalanser för olika ämnen som ligger till grund för kritisk belastning och överskridande, samt bedömningar av näringsbalanser i skogsmark. Massbalanserna har utförts på både nationell och regional skala¹⁶ och legat till grund för en rad bedömningar av åtgärdsbehov och olika markanvändningsalternativ (till exempel gödsling av skog och skogsbränsleuttag). De regionala beräkningarna har i flertalet fall utnyttjat data från den länsvisa övervakningen av luftföroreningar i skogsytor. Massbalansberäkningar av aciditet eller baskatjoner i skogsmark, som består av tillförsel genom deposition och vittring samt bortförsel via upptag i träd och utlakning, omfattar fyra poster som oftast är av samma storleksordning. Olika studier har visat att de poster som ingår i beräkningen har olika stora osäkerheter^{17, 18}. Den största osäkerheten finns oftast i möjligheterna att beräkna utlakningen av olika ämnen från skogsmarken. Utlakningen kan vara den dominerande posten för förluster av baskatjoner i skogar som inte brukas eller där upptaget i träd är litet. Kraftig utlakning kan även ske från jordar som fortfarande har relativt hög basmättnadsgrad, samtidigt som syradepositionen är hög. Uppskattningar av utlakningen baseras ofta på uppmätt eller uppskattad kvalitet på markvatten från 40 till 60 cm djup i mineraljorden. Dessa mätningar ingår som regel i de regionala programmen för övervakning av luftföroreningar. Utlakningen påverkar tillståndet i markens översta skikt genom förluster av olika ämnen från systemet via avrinningen till grund- och ytvatten.

I många områden i Sverige är utlakningen av kväve normalt lägre än depositionen och upptag i träd av kväve. Utöver upptag i träd lagras tillfört kväve i marken. I några fall i sydvästra Sverige med mycket hög kvävedeposition har kraftig utlakning registrerats från mark med växande skog. Förhöjd utlakning kan även bli resultatet av skogsskador samt kalavverkning.

I norra Sverige med låg deposition av kväve, och begränsat upptag i träd, utgör den naturliga utlakningen av organiskt kväve en relativt stor post i massbalansen. De olika posterna i yttäckande beräkningar av nationella och regionala massbalanser för baskatjoner och kväve i skogsmark baseras på punktmätningar som generaliseras till en yta.

Alla poster har osäkerheter men de pågående undersökningarna av deposition, markkemi och skogstillstånd genom nationella och regionala miljöövervakningsprogram ger en relativt god bild av tillståndet ner till länsnivå. Det sämsta underlaget har dock utlakning som bidrar med en osäkerhet i yttäckande beräkningar som kraftigt överstiger de andra posterna. Regionala program mäter markvattenkvalitet på ca 130 lokaler och halterna i markvatten måste räknas om till utlakning (till exempel uttryckt som kg per ha).

Det är svårt att beräkna yttäckande data på utlakning med de få mätningar som finns och underlaget behöver förbättras så att det blir jämförbart med Ståndortskarteringens ca 2000 punkter. Dessa punktmätningar som ingår i den nationella övervakningen av skog används bland annat till bedömningar av markförsurning och skogens tillstånd. Svårigheterna är speciellt stora i mellersta och norra Sverige med få mätpunkter för markvatten eller avrinning från skog. Möjligheten att uppskatta markvattenkvalitet och utlakning med hjälp av markkemiska undersökningarna inom Ståndortskarteringen har utretts i en förstudie¹⁶. Studien har utvärderat samvariation mellan markkemi och markvattenkvalitet i skogliga provytor och om det är möjligt att utnyttja eventuella korrelationer för att uppskatta genomsnittliga halter i markvatten från markkemiska parametrar.

Slutsatsen av förstudien är att det inte finns några enkla samband mellan markvattenkvalitet och markkemi. Markvattnets kemi påverkas av fler faktorer än markkemi, som hydrologi, upptag i växter och aktuell deposition av syror och havssalter. Den starka samvariationen mellan kalcium i markvatten och utbytbar mängd i jord öppnar dock möjligheter att utveckla en beräkningsmodell. Summa baskatjoner i markvatten var även starkt korrelerat till markens basmättnad som i sin tur samvarierade med ANC i markvatten. Det krävs dock en metod att beräkna fördelningen mellan kalium, natrium, vätejoner och aluminium i markvattnet.

Förhållandet mellan baskatjoner i markvatten och jord påverkas sannolikt av depositionens storlek. Under de senaste åren har halterna av framför allt kalcium i markvatten sjunkit i samband med att depositionen av svavel har minskat. Samtidigt är troligen markkemin relativt oförändrad. Det gör att beräkningar av yttäckande data på markvattenkvalitet från markkemi måste kalibreras av aktuella mätningar av markvatten så att median- och percentilvärden stämmer överens med verkligheten. Här utgör de markvattenkemiska mätningarna i permanenta provytor inom de regionala miljöövervakningsprogrammen ett viktigt underlag. För närvarande utförs mätningar i ca 130 ytor och median- och percentilvärden under längre perioder kan jämföras med beräknade data på utlakning från markkemi i 1500-2000 punkter i landet. Beräknad utlakning kan även jämföras med uppmätta arealförluster från små avrinningsområden med skog som ingår i olika nationella och regionala övervakningsprogram. Det är dock viktigt att notera att utlakning från markens översta skikt inte är helt jämförbar med arealförluster från ett helt avrinningsområde.

Variationen i utlakningen av organiskt och oorganiskt kväve med utgångspunkt från existerande markkemiska data är med nuvarande kunskap omöjlig att beskriva. I huvuddelen av skogsmarksarealen i Sverige är dock variationen relativt liten, jämfört med andra ämnen. De begränsade arealerna som har en förhöjd utlakning av kväve kan sannolikt inte identifieras med nuvarande markkemiska undersökningar.

5.2 Databearbetning

Verktyg och rutiner för hantering av data från regionala undersökningar av luftföroreningar har utvecklats inom ramen för samarbetsprojektet.

Laboratoriets datarutiner

Rationell elektronisk hantering av provflödet sker genom att prover relateras till provplats och ID märkes med en unik streckkod och ett provdatum. PC-baserade databaser används i det dagliga arbetet. Oracle används som databas för arkivering av analysresultat och kontrollerade data. I Access finns ett antal uppbyggda verktyg för att hantera dataflödet. Olika provtyper lagras i olika tabeller, men provposter är kopplade till respektive provplats och har även tidpunkten för insamling som identifikation. En rad kontroller och skydd har byggts in i den löpande datahanteringen för att undvika felaktiga värden i databasen. Det finns speciella stansningsformulär med inbyggda kontroller för ändring eller tillägg av data.

Databearbetning

Sökverktyg har utvecklats för att kunna hantera stora mängder med olika datatyper. Verktöget bygger på relationer mellan ytor och prover, samt på när och hur prov samlades in. I verktöget kan även basdata (exempelvis länsbokstäver och kommunkoder) komma till användning för sortering och vidare bearbetning.

Dataposter kontrolleras automatiskt med avseende på beräknad och uppmätt jonbalans samt förhållanden mellan vissa analysparametrar. Data från närliggande provplatser används vid granskning och uppskattning av saknade värden. Manuell kontroll sker innan provet redovisas till beställaren och utnyttjas för beräkningar och utvärderingar.

Makrorutiner som omvandlar, kontrollerar och beräknar värden på grunddata har skapats för en rad fasta beräkningar. Detta påskyndar bearbetningen och gör att fel på grund av den mänskliga faktorn minimeras. Data som bearbetats på detta sätt är ofta ingångsdata till olika statistiska bearbetningar och modellberäkningar.

Redovisningssätt

För den löpande redovisningen av data till beställaren (års- och lägesrapporter) har samarbetsprojektet utvecklat fasta kartmallar där data från beräkningsmodulerna direkt matas in. Andra typer av kartor kan vid behov skapas direkt i GIS-miljö. Även fasta mallar för diagram och tabeller som normalt ingår i års- och lägesrapporter har utvecklats. Dataset skapas med hjälp av exportrutiner ifrån databaserna.

För att underlätta redovisning av resultat på hemsidan finns fasta exportformat av data. Det vanliga slutredovisningssättet har varit att skicka ut datafiler på diskett. Exportformat finns då för de flesta typer av datasystem. Det allt mera vanliga sättet att snabbt leverera grunddata till beställaren är genom Excel filer bifogade till e-post. Arkivering av data sker samtidigt som dessa slutredovisas till beställaren.

5.3 Statistik och tidsutveckling

Den viktigaste uppgiften för statistiska beräkningar inom den regionala miljöövervakningen är att bedöma om den förväntade förbättringen av miljötillståndet som följer av utsläpps begränsande åtgärder verkligen uppträder. Det innebär att miljöövervakningen resultat skall kunna jämföras med de prognoser och modellberäkningar som utförs på europeisk och nationell nivå. Detta kräver tidsserier av god kvalitet. Den regionala miljöövervakningen i skogsytor kan bidra med mått på depositionens utveckling samt förändringar i marktillstånd indikerat av undersökningar av markvattnets kvalitet.

5.3.1 Deposition

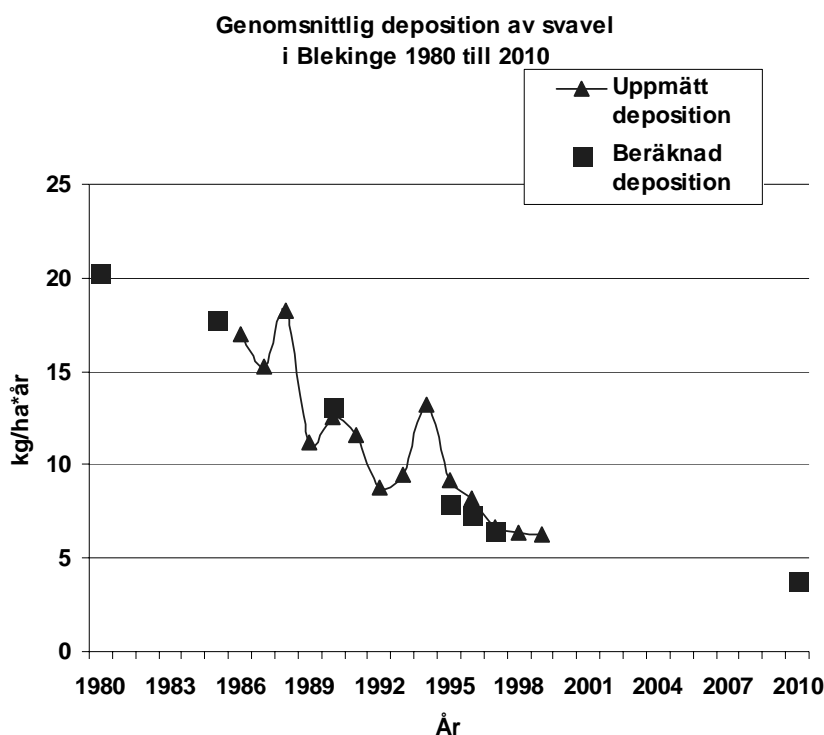
De internationella avtal som rör utsläpptsbegränsande åtgärder i Europa (se avsnitt 4.2) innebär minskad deposition av bland annat svavel och kväve i Europa. Basår är i regel 1990 och åtgärderna skall vara genomförda före 2010. Regionala mätningar av deposition startade före eller kring 1990 i södra Sverige. Tabell 3 visar förändring mellan 1990 och 1999 i tre regioner jämfört med prognosen från det internationella avtalet (multieffektprotokollet, WGS).

Tabell 3. Utveckling av svaveldepositionen enligt beräkningar (scenario WGS) mellan 1990 och 2010 i tre regioner samt uppmätta förändringar på öppet fält och i krondropp (deposition och halter) mellan 1990 och 1999. Deposition i kg per ha och år samt halt i mg per liter.

	Period	Blekinge	Kronoberg	Västkusten
Beräkning WGS	1990	13.1	10.0	8.3
kg/ha*år	2010	3.7	2.8	2.4
	minskning från 1990	72%	72%	72%
Öppet fält deposition	1990	6.4	6.5	7.6
kg/ha*år	1999	5.5	4.6	5.5
	minskning från 1990	14%	29%	28%
Öppet fält halt mg/l	minskning från 1990	41%	45%	42%
Krondropp deposition	1990	16.2	11.6	14.6
kg/ha*år	1999	6.6	5.2	5.7
	minskning från 1990	59%	55%	61%
Krondropp halt mg/l	minskning från 1990	71%	68%	65%

Den uppmätta depositionen 1990 och 1999 är normerad till den genomsnittliga trenden under hela perioden. Trenden kan bland annat påverkas av nederbördsskillnader mellan åren och därför kan volymvägda halter i nederbörd komplettera bilden. Tabell 3 visar att målet till 2010 är att den genomsnittliga svaveldepositionen skall minska med drygt 70 %. På öppet fält är minskningen av depositionen begränsad vilket delvis beror på att nederbörden ökat under senare delen av 1990-talet. Halterna i nederbörden visar en större minskning av sulfatsvavel. Svaveldepositionen i skog i de tre regionerna visar runt 60 % minskning mellan 1990 och 1999, jämfört med målet på drygt 70 %. Halterna i krondropp har minskat än mer, nära 70 %, men denna förändring kan inte direkt översättas till deposition.

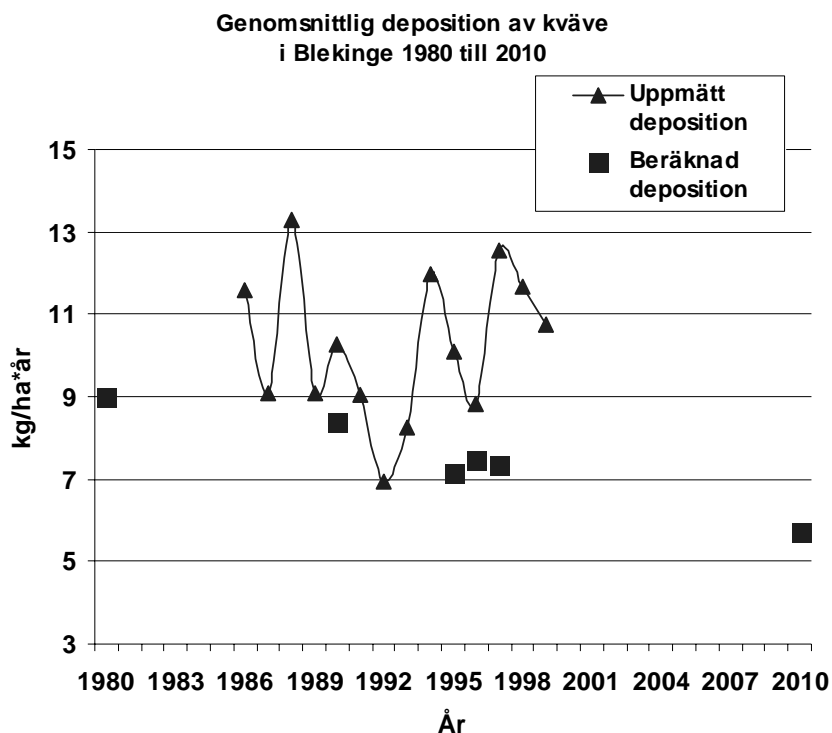
Figur 6 visar förloppet i minskningen av uppmätt svaveldeposition i Blekinge 1986 till 1999 jämfört med beräknade värden under några olika år mellan 1980 och 2010 från den prognos som ligger till grund för de internationella avtalet. Den genomsnittliga uppmätta depositionen är beräknad som ett medelvärde av deposition till skog och öppet fält. Överensstämmelsen är relativt god med undantag för enstaka år med avvikande väderlek. Under vintrarna 87/88 och 93/94 var intransporten av förorenade luftmassor från kontinenten mer omfattande än normalt.



Figur 6. Uppmätt svaveldeposition i Blekinge 1986 till 1999 (trianglar) jämfört med beräknade värden (fyrkanter) under några olika år mellan 1980 och 2010

De internationella avtalen (multieffektprotokollet) visar att det totala kvävenedfallet skall minska med mellan 35 och 45 % i olika delar av landet. Den största delen av minskningen ligger på nitratkväve. Ammoniumkväve bedöms minska med 10 till 15 % till år 2010 enligt nuvarande avtal. Figur 7 visar depositionsutvecklingen i Blekinge för kväve beräknad på samma sätt som för svavel i figur 6. Depositionen till skog är beräknad som 1,3 gånger kvävedepositionen på öppet fält.

Den uppmätta depositionen visar en stor mellanårsvariation och det är svårt att se någon likhet med beräknade värden. Den uppmätta depositionen efter 1994 påverkas av flera år med riklig nederbörd. Halterna i nederbörd i Blekinge har minskat ca 10 % mellan 1990 och 1999.



Figur 7. Uppmätt kvävedeposition (summa nitrat- och ammoniumkväve) i Blekinge 1986 till 1999 (trianglar) jämfört med beräknade värden (fyrkanter) under några olika år mellan 1980 och 2010

5.3.2 Markvatten

De regionala undersökningarna av markvatten i skogsytorna visar att halterna av baskatjonerna kalcium, magnesium och kalium, samt mangan har minskat signifikant på många lokaler i landet. En stor andel lokaler visar även minskande halter av sulfatsvavel. Detta är en logisk följd av minskad svaveldeposition. Ett sätt att uttrycka markvattnets syra-bas status är förmågan att buffra syror. Den syraneutraliserande förmågan kan uttryckas som ANC (på engelska Acid Neutralising Capacity). I sura vatten är ANC negativ eftersom all vätekarbonat som bildar alkalinitet är förbrukad och halten organiska ämnen är inte tillräcklig för att upprätthålla en syrabuffrande förmåga.

Modellberäkning av återhämtning från försurning efter det att depositionen minskat har utförts i ett urval av skogsytorna i södra och mellersta Sverige. Beräkningarna indikerar att ett trendbrott inträffade i början på 1990-talet och hastigheten i förbättring av ANC var ca 4 % per år, räknat från 1993.

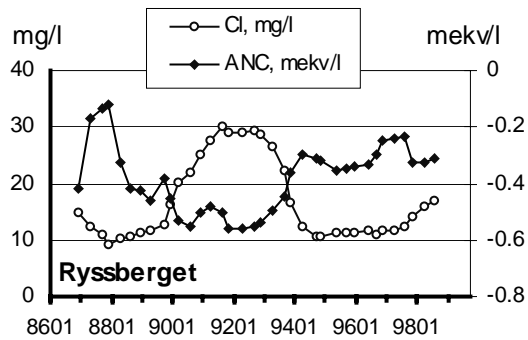
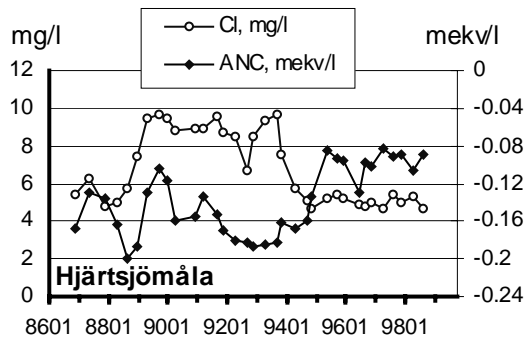
Beräkningarna kan jämföras med mätningar av markvatten i skogsytorna i Sverige. Mätningar i södra Sverige finns från 49 lokaler under perioden 1990 till 1995 då ANC skall ha ökat i alla skogsytor enligt modellberäkningarna. Under perioden 1993 till 1995 uppvisar 42 lokaler en ökning av ANC som i genomsnitt är över 20 % per år. Ökningen under perioden 1990 till 1995 är dock inte så stor och dessutom statistiskt osäker på de flesta lokalerna. Markvattnet i södra Sverige är i genomsnitt betydligt surare jämfört med den mellersta och norra delen av landet. Trots det kan en minskad surhet förväntas i hela Sverige på grund av att framför allt svavelnedfallet minskat i alla områden. Undersökningar av markvatten finns från 43 lokaler i mellersta och norra Sverige under perioden 1990 till 1995 då ANC skall ha ökat i alla skogsytor enligt modellberäkningarna. Under perioden 1993 till 1995 uppvisar 18 lokaler en ökning av ANC som i genomsnitt är relativt stor. Många lokaler visar dock ingen ökning eller minskning av ANC.

Anledning till att förändringen av ANC varierar mellan åren, och mellan olika skogsytor och regioner, beror främst på att varierande nedfall av neutralt havssalt tillfälligt påverkar kemin i markvattnet. Figur 8 visar exempel från södra och mellersta Sverige där utvecklingen av ANC i markvatten samvarierar med kloridhalten. Samtidigt med att ANC minskade ökade halterna av klorid kraftigt efter flera episoder med stort nedfall av havssalt under början på 1990-talet. Speciellt de mycket kraftiga episoderna med nedfall av havssalt under december 1992 och januari 1993 gav höga halter av klorid i markvattnet i större delen av landet. När halterna av klorid långsamt avtog började ANC öka igen. Naturliga episoder med havssaltsnedfall gör att framför allt natrium jonbyter med andra ämnen som sitter bundna till markpartiklarna. I skogsjordar som oftast är sura innebär det att vätejoner och aluminium under en viss tid tillförs markvattnet. Marken blir dock mindre sur efter jonbytet och på lång sikt har nedfallet ingen effekt på markvattnets pH eller ANC.

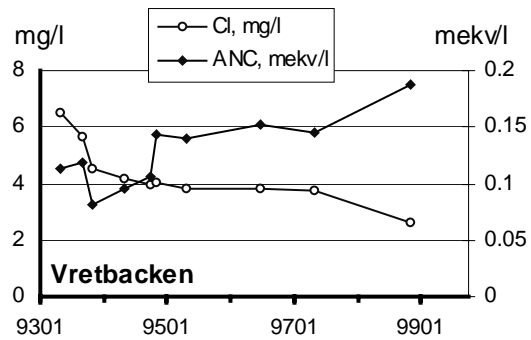
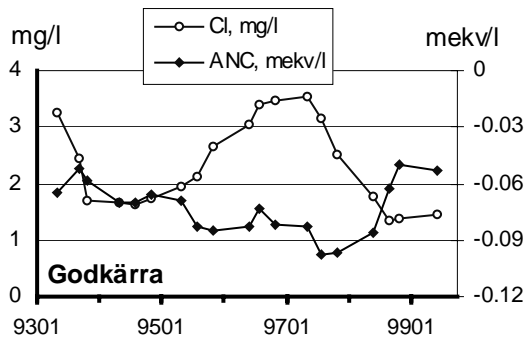
Det finns ett mindre antal lokaler i landet där sambandet mellan utvecklingen av ANC och klorid i markvatten inte är så tydligt eller obefintligt. Oftast är variationen av både ANC och klorid relativt liten, men i vissa fall är det uppenbart att andra faktorer spelar in till exempel att ytligt grundvatten tidvis påverkar markvattnets kvalitet. Perioder med sommartorka och lågt grundvattenstånd kan även påverka markvattnets surhetsgrad på olika sätt när markfuktigheten åter ökar efter nederbörd på hösten.

Den stora variationen i nedfall av havssalt mellan år och olika områden gör att det krävs relativt lång tid för att säkerställa trender i markvattnets surhetsgrad som beror på minskat nedfall. Undersökningarna av markvatten visar även att en eller flera episoder med stort nedfall av havssalt under några få dagar kan orsaka kraftig försurning av markvattnet under flera år.

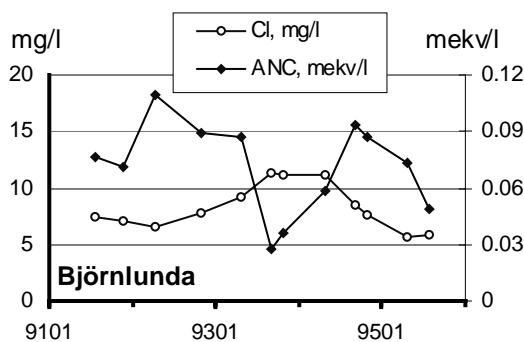
Blekinge



Västmanland



Södermanland



Figur 8. Halter av ANC (mekv/l) och klorid (mg/l) i markvatten i skogsytor i Blekinge, Södermanlands och Västmanlands län under perioden 1986 till 1999 (glidande medelvärden beräknat på tre mättillfällen).

5.4 Utvärdering och resultatredovisning

5.4.1 Mätningar

Utvärdering och redovisning av deposition och markvattenkvalitet inom regional miljöövervakning sker på följande sätt:

- Redovisning av grunddata
- Länsrapporter
- GIS baserad kartredovisning
- Redovisning på hemsida
- Integrerad utvärdering och ”specialrapporter”

Utformningen av länsrapporter och hemsida har skett i samråd med alla län. Bland annat har länen besvarat en enkät om behovet av data och redovisningsformer. Utvärdering och redovisning diskuterades även vid ett seminarium i januari 2000. Data från Krondroppsnätet presenteras huvudsakligen i årliga länsrapporter och på Internet (www.ivl.se). Under 1998-1999 gjordes en omarbetning av Krondroppsnätets hemsida. Från och med våren 1999 görs en del av årsrapporteringen via denna hemsida. Data används även till olika typer av specialstudier, exempelvis utvärdering av mätmetoder samt synteser där även data från andra källor ingår. Dessa specialstudier redovisas i vissa fall i rapporter, medan de i andra fall redovisas i form av datafiler eller korta PM.

Syftet med länsrapporterna är att presentera data för varje enskild lokal, samt att ge en helhetsbild för varje län. Data presenteras som grunddatatabeller, samt med beskrivande diagram och statistik. Resultaten sätts i relation till tidigare år, andra områden och miljömål.

På hemsidan finns information som väver samman resultaten från alla län, till skillnad från länsrapporterna där enbart länets data finns med. Några funktioner för hemsidan är att:

- Presentera nedladdningsbara kartor som en del av årsrapporteringen.
- Ge information om de regionala undersökningarna av luftföroreningar (bakgrund, mätmetoder, information om ytorna, mm).
- Presentera korta kommentarer till intressanta resultat baserat på data från de regionala undersökningarna.
- Förmedla nyheter (exempelvis att det finns ny information på hemsidan eller att nya rapporter är färdiga).
- Sprida information till skolor, forskare, organisationer och allmänheten.

För karthanteringen har nya GIS-verktyg börjat användas under 1998-1999, vilket innebär större möjligheter att anpassa kartorna efter specifika önskemål. Det finns även möjligheter att integrera med andra data i olika typer av GIS-baserade analyser. Den interaktiva databasen på hemsidan gör det möjligt att söka ut alla data från ett län och funktionerna kan vid behov utvecklas i framtiden.

5.4.2 Modellberäkningar

Varje län som deltar i det regionala övervakningsprogrammet får en årlig presentation av resultat för sitt område. Resultatpresentationen sker dels genom en enkel rapport, dels i form av datafiler som kan nås via hemsida. Samarbetsprojektet har utarbetat ett förslag till resultatredovisning:

Grundläggande information

- Nederbördsfördelningen för det aktuellt året (11*11 km).
- Utnyttjade markanvändningsdata (5*5 och 11*11 km).
- Utnyttjade emissionsdata (11*11 km).
- Kort översikt över det gångna hydrologiska årets väder.

Kartering av deposition

- Beräknad totaldeposition uppdelad på Sveriges bidrag och alla källor, våtdeposition, torrdeposition, samt summa våt- och torrdeposition. Torrdeposition är uppdelad på tio olika markanvändningsklasser, bland annat fyra olika typer av skog (upplösning 5*5 km).
- Jämförelser för hela Sverige mellan Sverigemodellens kartläggning av deposition på ”öppet fält” och oberoende mätdata från de regionala mätningarna.
- Jämförelser mellan Sverigemodellens kartläggning av torrdeposition till skog och oberoende mätdata i form av regionala krondroppsmätningar.

Presentationer

Resultaten av modellberäkningarna redovisas per hydrologiskt år, oktober till september (med datalagring månadsvis), vilket möjliggör en jämförelse med de regionala depositions-mätningarna. Lagrade månadsdata gör att även kalenderår kan beräknas för både modellberäkningar och mätningar. Dataleverans sker under våren efter mätårets slut i samband med att mätresultaten redovisas.

Begränsningar i ett basprogram

De grundläggande modellberäkningarna baseras på Sverigemodellens upplösning, (11*11 km) Förenklade metoder används för att förfina den geografiska presentationen till 5*5 km. Ingen sammanställning eller bearbetning görs av länens egna emissionsdatabaser och inga separata beräkningar görs av länens egna föroreningsbidrag.

5.5 Kvalitetssäkring

Samarbetsprojektet har utrett olika aspekter på kvalitetssäkring och samordning inom regionala undersökningar av luftföroreningar. Hela kedjan i undersökningarna har studerats och resultaten av utredningen framgår i form av beskrivningar och förslag inom olika moment i undersökningarna som redovisas i avsnitt 3, 4 och 5.

Moment som ingår är:

- Mätmetoder
- Provtagning
- Kemiska analyser
- Datakontroll
- Metoder för utvärdering
- Samordning inom landet
- Samordning med nationella och internationella metodmanualer

Barrfall i trattar

Speciella insatser har gjorts inom samarbetsprojektet för att studera möjliga provtagningsfel. Utöver svårigheter att mäta våtdeposition (se avsnitt 5.1.2) har effekten av granbarr i insamlingsstrattarna studerats. Vissa månader faller relativt rikligt med barr ned, och den främsta frågan var om barr i en krondropstratt förändrar halterna av oorganiskt kväve i insamlaren. Försöken utfördes så att granbarr placerades i trattar på öppet fält. Studien visade således hur barren påverkade nederbördens halter av olika ämnen (tabell 4).

Tabell 4. Deposition i Aneboda (öppet fält) med och utan granbarr i tratten (3 upprepningar, trattaradie=7,75 cm) i augusti 1996. Granbarr från Aneboda skakades ner i juli 1996 från de nedersta grenarna i 60-årigt bestånd. Barrmängden var 5 gram (TS) per tratt vilket motsvarar 2,7 ton (TS) per ha.

		H+	SO ₄ -S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	Mg	K	Mn
	mm	g/ha							
Medel med barr	35	0,39	302	135	161	106	69	1512	12
Standardavvikelse	0,2	0,17	20	13	40	3	7	280	4
Medel utan barr	36	0,96	244	159	230	124	37	223	4
Standardavvikelse	1,1	0,80	24	19	72	27	5	72	1
Absolut skillnad		0,56	58	25	69	18	32	1288	7
Skillnad %		-59 %	24 %	-15 %	-30 %	-15 %	88 %	576 %	172 %

Resultatet visade att halterna av nitrat och ammonium minskade något, men påverkan var måttlig trots att barrmängden i tratten motsvarade ett helt års barrfall och exponeringen skedde under en sommarmånad. En mindre del av det kväve som deponerats på trädet kan fastna i en tratt med rikligt med barr så att det inte når insamlaren, men andra faktorer som upptag och omvandling i trädkronan har sannolikt betydligt större inverkan. Magnesium, kalium och mangan utlakades från barren i tratten, vilket bidrog till att pH ökade i insamlad nederbörd som passerat barren. Samma sak inträffar vid krondroppsmätningar i skog vare sig barren finns i tratten eller på träden. Kalium och mangan är de ämnen som normalt uppvisar den största förhöjningen i krondropp jämfört med nederbörd.

Nitratomvandling i lysimetrar

Undersökningarna av oorganiskt kväve i markvatten visar i de flesta fall mycket låga halter, även i områden med hög deposition av kväve. Av det skälet undersöktes om nitratkväve i markvatten kunde omvandlas i lysimeterkammaren eller under transporten. Natriumnitrat tillsattes i olika (realistiska) mängder direkt till lysimeterkammaren i fält med insamlat surt markvatten (pH ca. 4,9) med låga nitrathalter. Provtagning skedde som normalt efter ett dygn och proverna skickades med post till laboratoriet. Analys skedde med normal fördröjning och ingen förlust av tillsatt nitratkväve kunde konstateras.

Kvalitetssäkring av miljöövervakning i andra länder

Flera länder i Europa har liksom Sverige omfattande program för att övervaka luftföroreningar i skogsytor. Hösten 1998 besökte IVL "Office National Forêts" i Frankrike för att studera de metoder och kvalitetssäkringsprogram som tillämpades inom skoglig miljöövervakning. En viktig erfarenhet var deras program för kommunikation med och utbildning av provtagare. Liknande rutiner bör införas i Sverige.

6. Behov av ytterligare forskning och utredning

Samarbetsprojektet har identifierat ett antal frågor som är i behov av ytterligare studier:

- Metoderna för mätning och beräkning av våtdeposition med hjälp av insamling av nederbörd på öppet fält bör granskas ytterligare genom kompletterande mätningar av torrdeposition i nederbördsskyddade men ständigt öppna trattar på utvalda platser i landet.
- Omvandling av kväve i trädkronan bör studeras för att bedöma möjligheterna att på ett bättre sätt utnyttja krondroppskemin för att beräkna totaldepositionen av kväve.
- Metoder för integrerad utvärdering av resultat (klimat, deposition, markegenskaper, markvatten, skogliga data) från skogsytor bör utvecklas i samarbete med Skogsstyrelsen och ICP-forest.
- Inriktning och metoder för partikelmätningar bör klargöras. Storlek och antal av partiklar kan korrelera på olika sätt med olika typer av hälsoeffekter.

7. Referenser

¹ Mål och delmål för miljön. Naturvårdsverket Rapport 5004, 1999.

² Nedfall och effekter av luftföroreningar - Program 2000 för regional övervakning. IVL Aneboda mars 2000.

³ De kompletterande mätningarna i intensivytorna kommer att ske inom ramen för Naturvårdsverkets nationella program.

⁴ International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests

⁵ Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. 4th edition 1998.

⁶ System med indikatorer för nationell uppföljning av miljökvalitetsmålen. Naturvårdsverket Rapport 5006, 1999.

⁷ United Nations Economic Commission for Europe

⁸ International and National Abatement Strategies for Transboundary Air Pollution, ett MISTRA program som utförs 1999 till 2002.

⁹ Moldan F., Westling O. & Munthe J. 1999. Geochemical modelling of acidification and recovery in forest soils. IVL Göteborg, B 1323.

¹⁰ Exempel är studier av tungmetalldeposition: Visingsö som redovisas i Vätternvårdsförbundets årsrapporter (Länsstyrelsen i Jönköping), samt studier av deposition av svårnedbrytbara organiska ämnen och polyaromatiska kolväten genom analys av landmossor: Knulst, J., Westling, O. & Brorström-Lundén, E. 1995. Airborne organic micropollutant concentrations in mosses and humus as indicators for local versus long-range sources. Environmental Monitoring and Assessment 36: 75-91.

¹¹ Westling O. & Ferm M. 1997. Deposition av luftföroreningar på hög höjd i svenska fjällen. Projektrapport 1997. Länsstyrelsen i Västerbotten.

¹² Hallgren Larsson E., Knulst, J., Lövblad, G., Malm, G., Sjöberg, K & Westling, O. 1997. Luftföroreningar i södra Sverige 19985-1995. IVL Aneboda, B1257.

¹³ Westling, O., Hultberg, H. & Malm, G., 1995. Total deposition and tree canopy internal circulation of nutrients in a strong acid gradient in Sweden, as reflected by throughfall fluxes. L.O. Nilsson, R.F. Huttel & U.T. Johansson (red.), Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 639-647.

¹⁴ Ferm M., Westling O. & Hultberg H. 2000. Atmospheric deposition of base cations, nitrogen and sulphur to coniferous forests in Sweden – a test of a surrogate surface. Boreal Environment Research 5: (i tryck).

¹⁵ Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air pollutants in Europe under the Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP).

¹⁶ Lövblad, G. (red.) 2000. Kritisk belastning av svavel och kväve och dess nationella tillämpning. Syntesrapport från Naturvårdsverket (i tryck).

¹⁷ Westling, O., Lång, L-O. och Lövblad, G., 1997. Massbalansberäkningar i skogsmark i Göteborgs och Bohus län samt Älvsborgs län. Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län. 1997:16.

¹⁸ Egnell G., Nohrstedt H.-Ö., Weslien J., Westling O., Örlander G. 1998, Miljökonsekvensbeskrivning av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbete för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forsknings- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie).

IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden.

IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt.

IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsserie registreras i IVLs A-serie.

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Hälsingegatan 43, Stockholm
Tel: +46 8 598 563 00
Fax: +46 8 598 563 90

www.ivl.se

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

Box 470 86, SE-402 58 Göteborg
Dagjämningsgatan 1, Göteborg
Tel: +46 31 725 62 00
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult
Aneboda, Lammhult
Tel: +46 472 26 20 75
Fax: +46 472 26 20 04