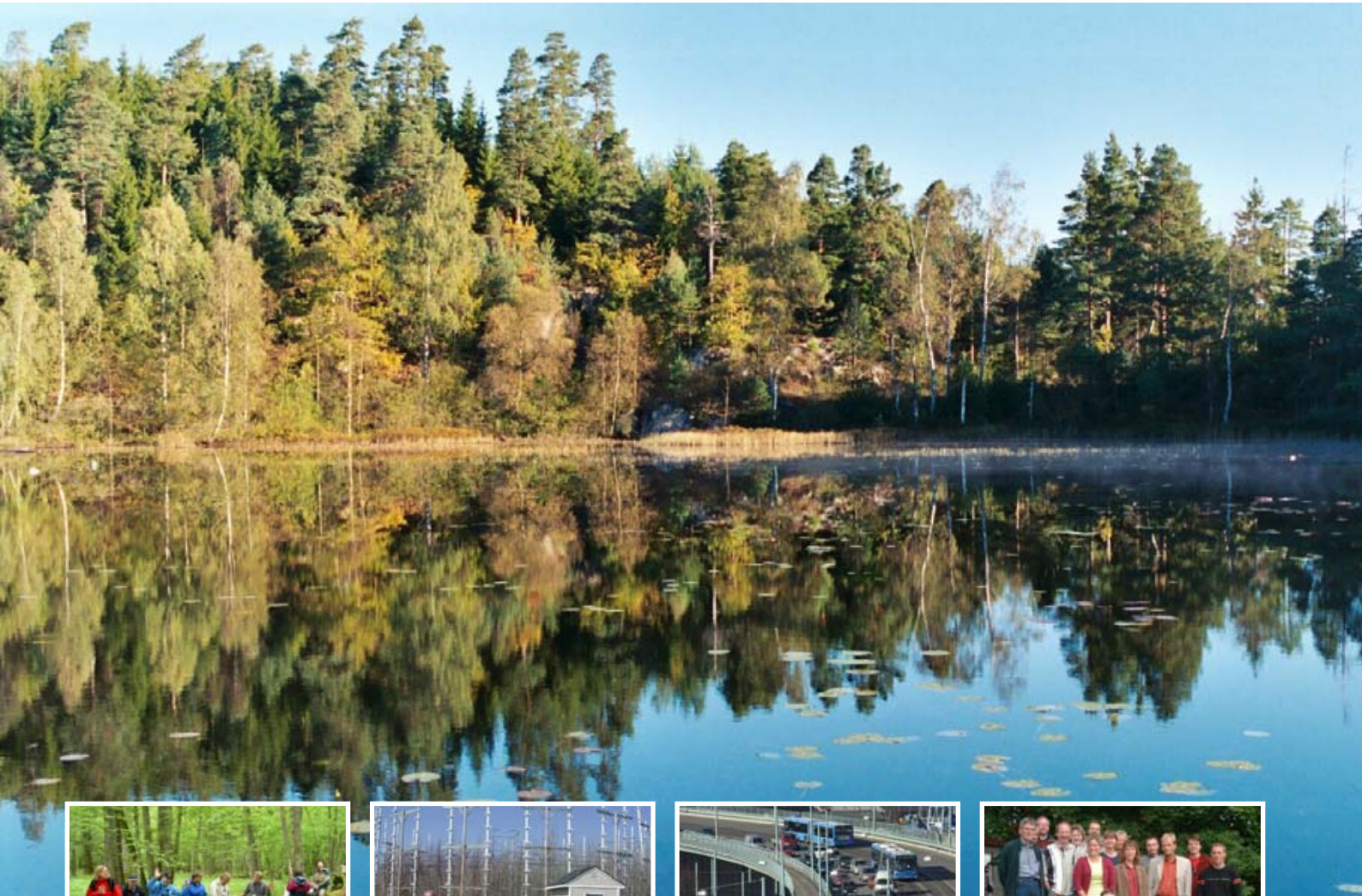


ÅRSRAPPORT 2005

Luftvårdsstrategi på agendan



ASTA

INTERNATIONAL AND NATIONAL
ABATEMENT STRATEGIES FOR
TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION

ETT FORSKNINGSPROGRAM FINANSIERAT
AV MISTRA SAMT SKOGSSTYRELSEN,
ENERGIMYNDIGHETEN OCH
NATURVÅRDSVERKET

Stiftelsen för miljöstrategisk forskning, Mistra, stöder forskning av strategisk betydelse för en god livsmiljö och hållbar utveckling. Stiftelsen ska främja utvecklingen av starka forskningsmiljöer av högsta internationella klass med betydelse för Sveriges framtida konkurrenskraft. Forskningen ska medverka till att viktiga miljöproblem löses och till en miljöanpassad samhällsutveckling. Möjligheterna att uppnå industriella tillämpningar ska tas till vara.

Mistra investerar i forskargrupper som i samverkan med användare bidrar till att lösa viktiga miljöproblem. Stödet uppgår till ca 200 miljoner kronor per år och Mistra finansierar ett tjugotal stora forskningsprogram, som vart och ett kan löpa mellan sex och åtta år.

Målet är att resultatet av forskning på högsta vetenskapliga nivå ska komma till praktisk användning inom företag, förvaltningar och frivilligorganisationer. På det sättet kan Mistras forskningssatsningar bidra till en lösning på miljöproblemen.

Strategin är att kapitalet ska göra nytta tre gånger – genom starka forskarmiljöer som skapar användarvärde, genom egen kapitalförvaltning för hållbar utveckling och genom aktiv kommunikation för att göra resultaten kända.

För mer information, besök Mistras hemsida: www.mistra.org



ASTA ÅRSRAPPORT 2005

LUFTVÅRDSSTRATEGI PÅ AGENDAN

INLEDNING	SID 4
John Munthe och Peringe Grennfelt	
EN EUROPEISK LUFTVÅRDSSTRATEGI MED FÖRBÄTTRAD MILJÖ I SVERIGE	SID 5
Peringe Grennfelt	
FÖRSURNINGSPROBLEMET I FRAMTIDEN	SID 8
Olle Westling, Filip Moldan och Veronika Kronnäs	
PARTIKLAR OCH HÄLSA	SID 12
Hans-Christen Hansson och Karin Persson	
DYNAMISK MODELLERING AV MARK- OCH VEGETATIONSPROCESSER VID FÖRÄNDRINGAR I MILJÖ OCH SKOGSSKÖTSEL	SID 14
Salim Belyazid	
OZON NÄRA MARKEN – NYA KONCEPT FÖR ATT SKYDDA VÄXTLIGHETEN I EUROPA	SID 17
Per-Erik Karlsson	
MILJÖEKONOMI - KONSTEN ATT UPPSKATTA KOSTNADER OCH NYTTOR AV UTSLÄPPSMINSKANDE ÅTGÄRDER	SID 20
Catarina Sternhufvud och Stefan Åström	
KORT OM ASTA	SID 23

INLEDNING

ASTA programmet har under 2005 fortsatt att producera resultat som stöd till nationellt och internationellt luftvårdsarbete. På det internationella planet är hälsoeffekterna den drivande frågan för kommande åtgärdsstrategier och ASTA har här bidragit med ny kunskap om partiklars källor och förekomst samt hur partiklar ska behandlas i atmosfärsmodeller. På det nationella planet är försurningsfrågan fortfarande mycket aktuell. I vissa områden har minskat nedfall lett till en begynnande återhämtning medan andra områden är så svårt drabbade att en fortsatt kalkningsverksamhet behövs för att upprätthålla en acceptabel vattenkvalitet. Arbetet med utveckling av modeller för vegetationsförändringar kopplade till nedfall av kväve, försurning och klimat har också fortsatt. Området är komplext och fortsatt forskning behövs. ASTA har under de senaste åren starkt bidragit till utvecklingen och till att frågan får uppmärksamhet internationellt. Ozonproblemet har under våren 2006 åter uppmärksamats med kraftigt förhöjda halter. Under 2005 var ASTAs forskare internationellt drivande i utvecklingen av fluxbaserade koncept för beskrivning av ozoneffekter på skog och grödor. Slutligen har ASTA fortsatt med utveckling av miljöekonomiska beräkningar av skador av luftföroreningar. Under 2005 har arbetet fokuserats på ozon och försurning och resultaten kommer att rapporteras under början av 2006.

ASTA har under 2005 också arrangerat ett antal workshops inom området. Bland annat en internationell workshop om samhällsvetenskapens roll i det internationella luftvårdsarbetet i Göteborg, oktober 2005, samt en workshop fokuserad på hur icke-tekniska åtgärder ska inkluderas i åtgärdsscenarier, december 2005. Mer information och rapportering från dessa aktiviteter finns på vår hemsida asta.ivl.se.

Slutligen kan konstateras att 2006 är det sista året för ASTA. Således kommer aktiviteterna under detta år än mer fokuseras på syntes och bokslut. ASTA planerar att anordna en workshop inriktad på framtida strategier inom luftföroreningsområdet under våren 2007 som kommer att bli en naturlig slutpunkt för programmet. Vår förhoppning är också att stora delar av ASTAs aktiviteter kommer att fortsätta i en annan form men med samma grundläggande målsättning: att ge stöd till nationellt och internationellt åtgärdsarbete inom området luftföroreningar.

John Munthe
Biträdande Programchef

Peringe Grennfelt
Programchef

EN EUROPEISK LUFTVÅRDSSTRATEGI MED FÖRBÄTTRAD MILJÖ I SVERIGE

Peringe Grennfelt

Den 23 september 2005 lade kommissionen fram sin tematiska strategi för luftföroreningar. I den föreslår man att EU fram till 2020 gemensamt skall genomföra långtgående åtgärder för att begränsa effekterna av luftföroreningar på människors hälsa och ekosystem. Hälsoeffekterna lyfts fram speciellt men även försurning, kvävedefallets effekter på mark ekosystem och effekter av ozon på vegetation är inkluderade i strategin.

Att hälsoeffekterna lyfts fram beror i hög utsträckning på att senare års forskning och inventeringar visar på att luftföroreningar svarar för en större dödlighet än vad som kommit fram i tidigare uppskattningar. Den främsta orsaken är de fina partiklarna (PM_{2.5}) men även marknära ozon ger omfattande effekter. När det gäller ekosystem är det kvävedefallets effekter på biodiversiteten som tilldragit sig den största uppmärksamheten.

De åtgärder som redan beslutats, t ex genom EUs takdirektiv och genom olika bestämmelser på bilavgasområdet kommer fortsatt att successivt förbättra luftkvaliteten i Europa under det kommande decenniet men åtgärderna kommer inte att leda fram till att Europas långsiktiga miljömål nås. Detta gäller speciellt för partiklar och kvävedefall. Även för övriga effekter kommer det att finnas kvarstående problem men dessa har fått en betydligt mindre uppmärksamhet.

I strategin föreslår man därför fortsatta åtgärder för att ytterligare begränsa luftföroreningsproblemen i Europa. Strategin bygger på vetenskapliga underlag och beräkningar med en så kallad integrerad beslutsmodell (integrated assessment model) som utvecklats vid IIASA i Österrike. I modellen utgår man från basåret 2000 och beräknar sedan ett basscenario för 2020, där effekten av alla beslutade åtgärder läggs in. Detta basscenario har sedan utnyttjats för att med olika antaganden beräkna fram kostnadseffektiva lösningar för att ytterligare begränsa luftföroreningsproblemen inom EU. I Kommissionens slutliga förslag har man valt en ambitionsnivå som till en årlig kostnad på cirka 7 miljarder Euro ger väsentliga förbättringar i relation till basscenarioet (Tabell 1). Trots ambitionen kommer avsevärda effekter på hälsa och ekosystem att kvarstå efter 2020. De positiva hälsoeffekterna för kommissionens förslag har uppskattats till mellan 42 och 135 miljarder Euro.

Tabell 1. Tematiska strategin för luftföroreningar. Konsekvenser av kommissionens förslag med avseende på kostnader och miljöförbättringar.

Scenario	Åtgärdskostn (Miljarder euro)	Hälsa			Naturmiljön				
		Förlorade levnadsår till följd av PM _{2.5} (miljoner)	Förtida dödsfall till följd av PM _{2.5} och ozon (tusen)	Monetarerat värde av hälsoeffekter (miljarder Euro)	Areal där CL ¹ för försurning överskrids (1000 km ²)			Areal där CL ¹ för övergödning överskrids (1000 km ²)	Skogsareal där CL ¹ för ozon överskrids (1000 km ²)
					Skog (1000 km ²)	Övriga terrestra ekosystem ² (1000 km ²)	Sjöar och vattendrag (1000 km ²)		
2000		3,62	370		243	24	31	733	827
Baseline 2020		2,47	293		119	8	22	590	764
MTFR ³	39,7	1,72	208	56-181	36	1	11	193	381
Strategin	7,1	1,91	230	42-135	63	3	19	416	699

1 CL = kritisk belastning

2 "Seminatural ecosystems", omfattar hedar, öppna våtmarker mm.

3 MTFR = Maximum technically feasible reduction

I tabell 2 redovisas kommissionens förslag vad avser emissionsreduktioner i Europa och Sverige. För svaveldioxid räknar man med att utsläppen, om kommissionens förslag genomförs kommer att vara 80% lägre än de var 2000. För kväveoxider är minskningen cirka 60%. De direkta partikelutsläppen kommer också minska med cirka 60%. För ammoniak, där jordbruket är den största källan, så är minskningen mer blygsamma 28%.

I Sverige kommer utsläppen också fortsatt att minska och för flera ämnen är minskningarna i procent ungefär av samma storleksordning som i Europa som helhet.

Tabell 2: Utsläpp av svaveldioxid, kväveoxider, ammoniak, VOC och PM_{2,5} i kton per år

	2000	Nat. Miljö- mål 2010	2010 Takdir	2020 Baseline	MTFR	Kommissionens förslag
<i>Europa</i>						
Svaveldioxid	8735	-	6543	2805	1290	1602
Kväveoxider	11581	-	8319	5888	3965	4657
Ammoniak	3824	-	3976	3686	2266	2774
VOC	10661	-	8150	5916	4303	5252
PM _{2,5}	1749			964	589	714
<i>Sverige</i>						
Svaveldioxid	58	60 (50*)	67	50	39	50
Kväveoxider	251	148	148	150	100	121
Ammoniak	53	54,1	57	49	31	44
VOC	305	241	241	174	121	153
PM _{2,5}	67			39	18	38

* Prognos

För Sveriges del kommer strategin också att innebära förbättrad luftkvalitet och minskad belastning på ekosystemen. Men strategin kommer inte att innebära att de nationella miljömålen bara naturlig försurning, ingen övergödning och frisk luft kommer att nås. För detta krävs ytterligare åtgärder.

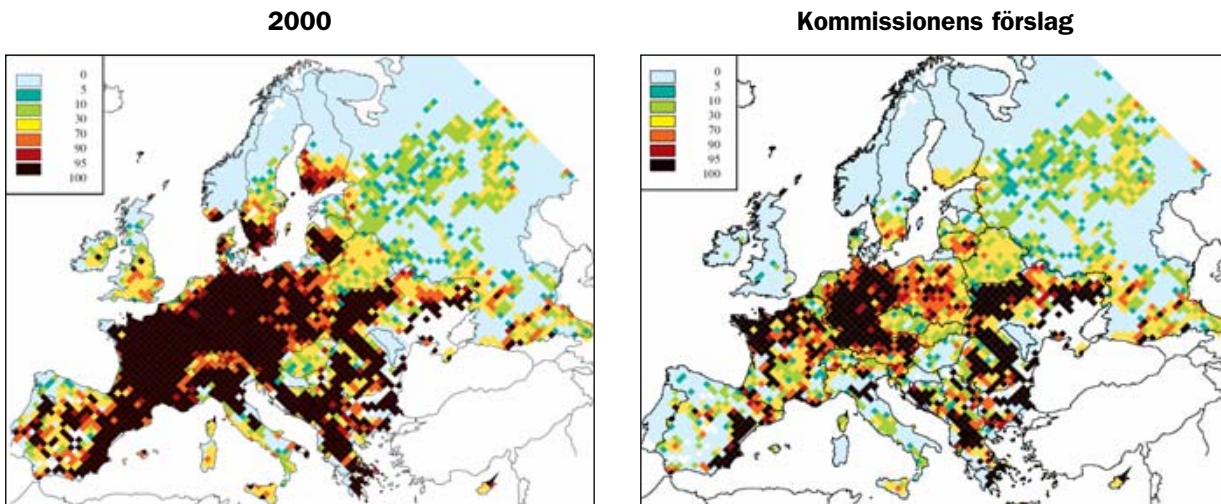
ASTAs forskning har under hela programperioden varit nära kopplad till utvecklingen av luftvårdsarbetet i Europa. Forskningen har varit central för flera viktiga frågor; utvecklingen av koncept och modeller för att inkludera återhämtning, avancerade beräkningsmetoder för att uppskatta ozoneffekter på skog och grödor, förståelsen för partiklars roll i samband med storskalig spridning av luftföroreningar och inte minst kvävenedfallets påverkan på markekosystemen. Inom samtliga områden har inte bara omfattande forskning kommit fram utan ASTA har också varit med att sätta agendan. Detta har man gjort inte minst genom att medverka i olika expertgrupper, att ordna workshops och genom att arbeta nära de organisationer som direkt har som ansvar att leverera underlag till de internationella organen.

Eftersom luftvårdsarbetet hela tiden utgått från kostnadseffektivitet i relation till de uppsatta miljömålen så innebär fortsatta åtgärder att dessa blir dyrare och dyrare men också att effekterna per insatt krona också kommer att minska. Detta har bl a varit utgångspunkten för projekt och den workshop som ASTA ordnade hösten 2005. Denna visade på att en stor potential för fortsatta åtgärder ligger i så kallade icke tekniska åtgärder. I begreppet ingår en rad olika åtgärder som energieffektivisering och ändrat beteende (t ex övergång från persontransporter med bil till kollektivtrafik och järnväg). Framförallt finns för framtiden en stor potential till miljöförbättringar i form av kombinerade åtgärder för luftföroreningar och klimat. De integrerade modellberäkningarna, som användes för kommissionens strategi, är redan idag utvecklade till att inkludera klimataspekter och vi kan i framtiden förvänta oss kombinerade strategier.

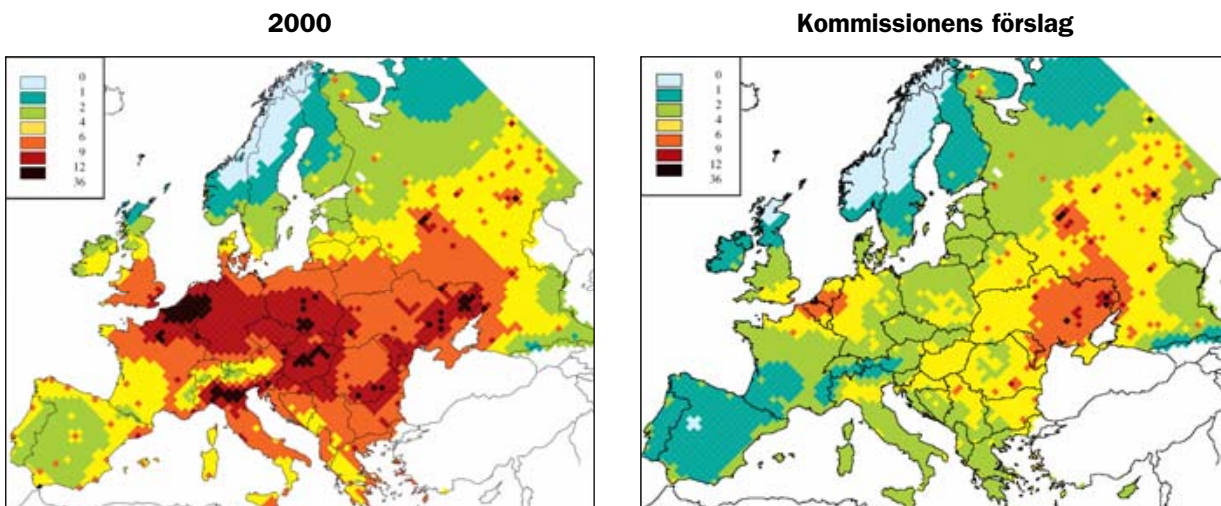
ASTAs forskning har i flera projekt utöver det ovan nämnda initiativet kring icke tekniska åtgärder tagit upp kombinationen mellan klimat och luftföroreningar. Ett sådant område är försurning, där ASTAs forskning idag inkluderar frågan kring vad kombinationen av surt nedfall och ökat biomassa-uttag kan medföra för skogens långsiktiga produktionsförmåga. Ett annat område är marknära ozons effekter på

skog. De ökade bakgrundshalterna kan medföra att skogens förmåga att ta upp och binda kol minskar. Att minska utsläppen av ozonbildande föroreningar ger därmed en positiv effekt på klimatet. Ett tredje rör partiklar.

Så när ASTA nu håller på att avslutas finns flera viktiga forsknings- och policyfrågor, där ASTAs forskning successivt breddats från ett strikt luftföroreningstänkande till att inkludera frågorna i ett större sammanhang som då rör klimat och långsiktigt utnyttjande av naturresurser som skog och jordbruksmark.



Förlust i förväntad statistisk livslängd (månader) som kan hänföras till fina partiklar (PM_{2.5}) från antropogena källor för 2000 samt enligt Kommissionens förslag (Källa IIASA).



Procentuell andel av ekosystemen som erhåller ett kvävedeposition som överskrider kritisk belastning för eutrofiering för 2000 och beräknad situation 2020 enligt kommissionens förslag (Källa IIASA).

FÖRSURNINGSPROBLEMET I FRAMTIDEN

Olle Westling, Filip Moldan och Veronika Kronnäs

ÅTERHÄMTNINGSFÖRLOPP OCH MINSKAD KALKNING

Hur kan dynamiska modellberäkningar användas för att följa upp miljömål och ge underlag för bedömningar av åtgärdsbehov?

Olika forskningsprojekt i Sverige och andra länder har under många år arbetat med experiment och modellberäkningar med syfte att visa hur skogsmark och ytvatten försuras av nedfallet av luftföroreningar. Under perioden med ökande och konstant högt nedfall av luftföroreningar var det främsta syftet att visa vilka utsläpps begränsningar som var nödvändiga i Europa för att förhindra ytterligare försurning och så småningom skapa förutsättningar för en återhämtning. Det senaste decenniet har nedfallet minskat, i synnerhet av svavel. Nu är frågor kring naturens naturliga återhämtning från försurning aktuella, som när utsläpps begränsningar ger resultat i naturen. Beräkningsmodeller som beskriver hela försurningsförloppet från förindustriell tid, så kallade dynamiska modeller, används nu i det internationella åtgärdsarbetet inom EU och konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar (CLRTAP).

En bedömning av försurningspåverkan kräver att det förindustriella kemiska tillståndet i sjöar och vattendrag uppskattas. Dynamiska modeller har nu utvecklats och tillämpats så mycket att de kan användas för detta ändamål i Sverige. Modellen som används för modellering av ytvatten heter MAGIC (Model of acidification of groundwaters in catchments). MAGIC-modellen kan bland annat beskriva tillstånd och påverkan i form av en avvikelse från ett beräknat förindustriellt referensvärde. Modellen används dessutom för en prognos om framtida utveckling och återhämtning från försurning, baserad på antaganden om det framtida nedfallet av luftföroreningar. Utöver viktiga försurningsmått i bedömningsgrunderna, som pH, alkalinitet och ANC, erbjuder de dynamiska modellberäkningarna även omfattande information om tillrinningsområdets försurningsstatus, samt den troliga utvecklingen av en rad olika vattenkemiska parametrar som baskatjoner och aluminium. Beräkningar med MAGIC-modellen genomförda på svenska och norska sjöar ligger till grund för ett on-line bedömningsverktyg för försurning, det så kallade MAGIC-biblioteket som finns tillgängligt på www.ivl.se/magicbibliotek.

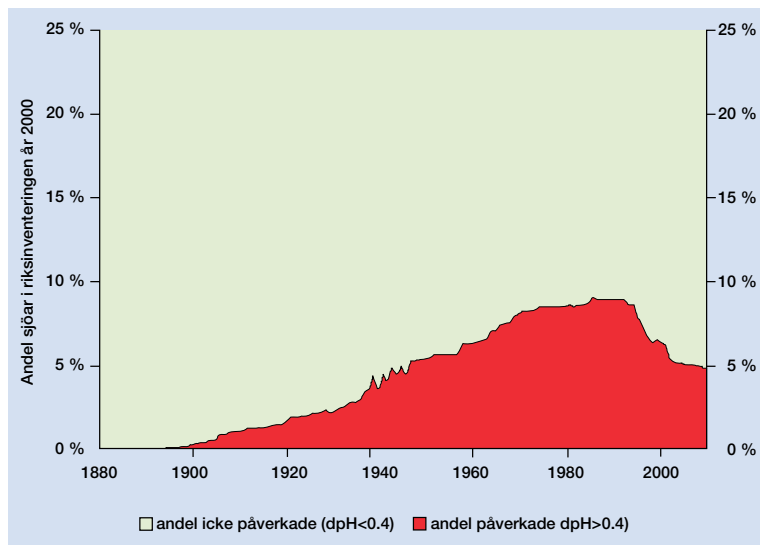
Referenstillstånd, nuvarande tillstånd, antropogen påverkan och prognos i framtiden.

De ca 3000 sjöarna i riksinventeringen 2000 har bedömts i klasserna försurningspåverkad, icke försurningspåverkad eller kalkad med hjälp av MAGIC-biblioteket, som ett moment inom uppföljningen av miljökvalitetsmålet Bara naturlig försurning. Kriterium för försurningspåverkan är att pH ska ha sjunkit med minst 0,4 pH-enheter mellan år 1860 och år 2000. Figur 1 visar försurningsutvecklingen i de sjöar som ingick i riksinventeringen 2000. MAGIC-modellen har hittills inte använts till att bedöma kalkade sjöar. Arbetet pågår med att anpassa beräkningar med MAGIC-modellen till bedömning av kalkade sjöar för att göra uppskattningar av framtidens kalkningsbehov. Det pågår även arbete med att utveckla liknande verktyg för att bedöma vattendrag.

Joint Expert Group on Dynamic Modelling (JEG DM)

ASTA har för sjätte året i rad tillsammans med Centre for Ecology and Hydrology (CEH), UK, organiserat ett expertmöte, Joint Expert Group on Dynamic Modelling (JEG DM). Mötet inriktade sig på utvärdering av dynamisk modellering genomförd i elva europeiska länder under 2005 och möjligheterna att använda modellresultat vid kommande utvärdering av Göteborgsprotokollet. Rapporten från mötet är tillgänglig via UN ECE CLRTAPs hemsida. Ett återkommande tema i dynamisk modellering av luftföroreningarnas påverkan på ekosystemen är kvävet roll. För att belysa kväveproblematikens bredd organiserades i oktober 2005 en workshop om kvävet roll i samband med JEG DM-mötet i Brighton, Storbritannien. Både problemen och potentialen är stora vid modellering av

Figur 1. Försurningsutvecklingen över tid för de sjöar i riksinventeringen år 2000 som inte kalkats. Observera att skalan bara går till 25 %. Drygt 90 % av sjöarna i riksinventeringen har antingen aldrig varit försurningspåverkade (66 % av sjöarna) eller så har de kalkats någon gång före år 2000 (24 % av sjöarna) och bedömdes därför inte med MAGIC-biblioteket. De flesta av de kalkade sjöarna har troligen varit försurade innan de kalkades, så totalandelen försurade sjöar när försurningsläget var som värst under 1970- och 1980-talen var mellan 9 % och 33 % (9 % + 24 %). År 2010 beräknas ca 5 % av de okalkade sjöarna vara försurningspåverkade.



kvävenedfalllets påverkan på försurning, övergödning och biodiversitet. Utvecklingen går mot användning av modellkedjor där underlaget till biodiversitetsmodeller tas fram med geokemiska modeller. ASTA har också deltagit i framtagning av bakgrundsdokumentation för workshopen. Rapporten "Model chains for assessing impacts of nitrogen on soils, water and biodiversity: a review" finns att ladda ner på http://critloads.ceh.ac.uk/contract_reports.htm.

SKOGSBRUKETS FÖRSURNINGSEFFEKT

Går det att formulera mål för skogsbrukets försurning?

Riksdagen fastställde ett miljö kvalitetsmål 1999 som heter Bara naturlig försurning. Under beskrivningen av generationsmålet finns bland annat formuleringen "Markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet". Målet kan framstå som rimligt och välmotiverat, men det finns frågetecken hur skogsbrukets försurnings effekt ska beskrivas och kvantifieras. Tillståndet i marken är aldrig konstant sett över långa tidsperioder. Mänsklig påverkan genom försurande luftföroreningar kan dock ge en onormalt snabb försurningsutveckling. Andra mänskliga faktorer som påverkar tillståndet i skogsmark är främst skogsbruk. Träden, liksom alla andra växter, tar upp näringsämnen i form av baskatjoner i utbyte med försurande vätejoner. Om växterna skördas blir markförsurningen mer permanent. Det finns en naturlig förmåga att motverka försurning av skogsmark. Markens vittring frigör ständigt nya ämnen med neutraliserande förmåga. Områden som har högt nedfall av försurande luftföroreningar med långsam vittringshastighet och hög skogstillväxt uppvisar den kraftigaste markförsurningen i Sverige.

Skogens nuvarande tillväxt och skörd medför en betydande bortförsel av syrabuffrande ämnen. I Götaland, som har ett relativt omfattande uttag av grenar och toppar (GROT), ger detta en ökad försurningspåverkan. Samtidigt bidrar skogens upptag av kväve till att den försurande inverkan av kvävenedfallet är relativt liten. Det förutsätter att det kväve som lagras i marken med tiden inte omvandlas till nitrat, eftersom en sådan omvandling är en starkt försurande process. Kvävet potentiella försurnings effekt är stor, men i praktiken liten i skogliga ekosystem som är begränsade av kväve. På lång sikt kan skördens omfattning påverka kvävebalansen och motverka upplagring i marken. Kvävenedfallet kan genom sin gödande effekt öka upptaget av baskatjoner och på det sättet orsaka en indirekt försurnings effekt, men den påverkan är i dagsläget svår att kvantifiera på grund av svårigheten att särskilja kvävenedfalllets produktionshöjande effekt.

Den samlade kunskapen om försurningsprocesser visar att det i första hand är syra-bas status och näringsstillgången i rotzonen (baskatjoner och kväve) samt kvalitén på avrinnande vatten som kan påverkas på ett tydligt sätt av skogsbruk. Försurningen som miljöproblem varierar stort i olika delar av landet, och på olika ståndorter beroende på regionala och lokala gradienter i både nedfall av

luftföroreningar och skogsbrukets försurningseffekt, kombinerat med grundläggande markkemiska egenskaper i skogsjordarna. ASTA-programmets nationella del har studerat möjligheterna att kvantifiera skogsbrukets försurningseffekt med hjälp av data från regional och nationell miljöövervakning som använts i olika typer av beräkningar. Dessutom har data från långliggande försök med olika intensitet i skörd utnyttjats.

Massbalanser för aciditet, baskatjoner och kväve är en grund för att bedöma påverkan

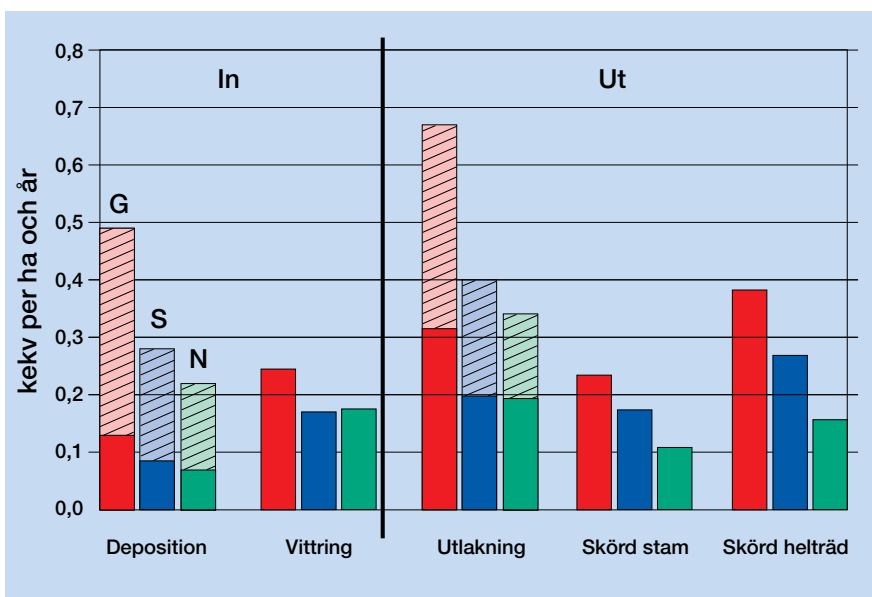
Det finns nu i princip tre tillgängliga underlag för att beskriva skogsbrukets påverkan:

- Statiska massbalansberäkningar för baskatjoner och kväve i skogsmark (15 000 punkter i Riksskogstaxeringen).
- Dynamiska modellberäkningar av historisk och framtida försurning i skogsmark med olika scenarier för skogsbruk (16 permanenta skogsytor).
- Skogliga försök med helträdsuttag (ca 5 försök).

Både statiska och dynamiska beräkningar bygger på massbalanser av olika ämnen. Beräkningen för baskatjoner (BC) som är en indikator på försurningspåverkan sker enligt:

$$\text{BC balans} = \text{Vittring BC} + \text{deposition BC} - \text{skörd BC} - \text{utlakning BC}.$$

Posterna som ingår i en statisk massbalansberäkning för Sverige med nuvarande miljötillstånd (figur 2.) visar att deposition, vittring och skörd (inklusive GROT) är i samma storleksordning räknat som kilokvivalenter per hektar och år.



Figur 2. Olika poster i nuvarande genomsnittlig baskatjonbalans inklusive natrium i produktiv barrskog i tre delar av landet (Götaland, G, Svealand, S och Norrland, N), median för 15 000 punkter i Riksskogstaxeringen. Streckad del av deposition och utlakning är beräknat ursprung i havssalter. Skörd av stam beräknas som 100 % av möjligt uttag. Uttag av GROT innebär 75 % av grenar och toppar samt 56 % av barren i gallring och förnyingsavverkning.

Utlakningen är post som påverkas i hög grad av försurande deposition. Eftersom den nuvarande utlakningen är så stor blir utrymmet för skogsbrukets skörd litet om nettoförluster ska undvikas. En stor del av depositionen av baskatjoner sker i form av neutralt havssalt som i alla tider bidragit med tillförsel av olika ämnen till avrinnande vatten (se streckad del av staplarna i figur 2). Den viktigaste naturliga process som kontinuerligt ger ett betydande bidrag av nya syraneutraliserande ämnen till marken är vittringen. Den skapar ett utrymme för en viss försurningspåverkan utan att markens syra-bas status ändras.

Vem har rätt till skogsmarkens naturliga förmåga att neutralisera syror?

Frågan är vem som har rätt till vittringen, skogsbruket eller utsläppare av försurande luftföroreningar i Europa? Det är svårt att renodla skogsbrukets försurningseffekt i beräkningar där både luftföroreningar samt tillväxt och skörd av biomassa ingår. Orsaken är den svårbedömda nettoeffekten av att skördens

försurning i viss mån motverkas av att även potentiellt försurande kväve från deposition tas ut ur skogen. Det är sannolikt bättre att renodla mål för skogsbrukets effekt genom att bedöma hur stor del av vittringen i rotzonen (ned till 40 - 50 cm beroende på trädslag) som tillväxt och skörd kan förbruka utan att betydande försurningseffekter uppstår i mark eller avrinnande vatten, utan hänsyn till luftföroreningar. Den första frågan är hur viktigt skogsbrukens översta skikt är för ytvattenkvaliteten? Den vittring som beräknas i rotzonen räcker inte till för att förklara de halter av baskatjoner som mäts upp i svenska skogssjöar, även om hela vittringen utlakas. Tabell 1 visar uppskattad vittring beräknad med den dynamiska försurningsmodellen MAGIC i tillrinningsområdet till 133 mindre skogssjöar. Framför allt vittringen av kalcium, och i viss mån magnesium, indikerar att betydligt djupare marklager än 50 cm i genomsnitt bidrar med en mängd baskatjoner i avrinningen till sjöarna om beräkningarna jämförs med genomsnittlig vittring i markens översta skikt (rotzonen) i landet. Några av sjöarna kan även vara påverkade av en mindre areal jordbruksmark med högre utlakning av baskatjoner. Alltså är sjöarna beroende av djupare markskikt och eventuellt annan markanvändning än skogsbruk för att vara skyddade mot försurning. Undantag kan vara sjöar och rinnande vatten i områden med tunna jordtäcken.

Tabell 1. Beräknad (median) vittring med MAGIC i tillrinningsområdet till 133 tidseriesjöar i hela Sverige samt beräknad vittring med markmodellen (PROFILE) till 50 cm på 15 000 punkter i Riksskogstaxeringen.

	Ca mekv/m ² /år	Mg mekv/m ² /år	Na mekv/m ² /år	K mekv/m ² /år	Summa BC mekv/m ² /år
133 tidseriesjöar	43,6	14,0	12,8	3,6	74,0
Vittring till 50 cm	6,0	2,7	7,5	3,0	19,2

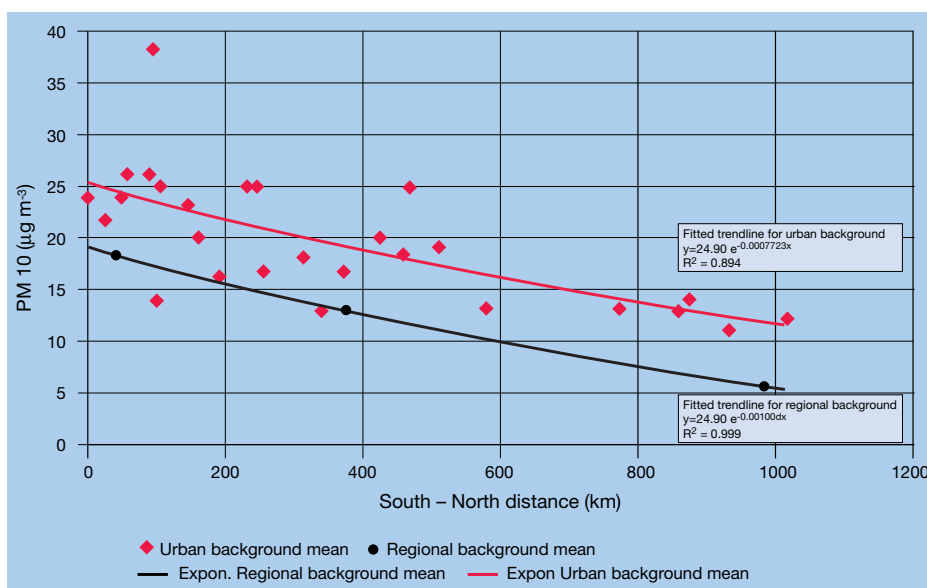
En möjlig ambition för skogsbruket kan vara att inte ytterligare försura markens översta skikt. Konkret kan det innebära att uttaget av baskatjoner via skörd inom skogsbruket inte överstiger den årliga vittringen i rotzonen. Det gör att stamvedsuttag med nuvarande skogsproduktion kan ske på flertalet ståndorter, men ett uttag i form av GROT utöver stamved kommer i de flesta fall att innebära en förlust av baskatjoner som överskrider vittringen. Om skogsbruket förbrukar hela vittringen finns naturligtvis inget utrymme för att långsiktigt neutralisera försurande luftföroreningar. Eftersom möjliga åtgärder inom skogsbruket respektive för aktiviteter som ger utsläpp av luftföroreningar är vitt skilda så bör de olika effekterna separeras och bedömas var för sig. Även om det är teoretiskt möjligt att kompensera för luftföroreningarnas försurningseffekt genom att anpassa (avstå) från skogsbruk så är sannolikt den dominerande uppfattningen att olika aktiviteter som ger en påverkan måste vidta åtgärder oberoende av varandra, om det inte finns uppenbara miljöekonomiska skäl att optimera på annat sätt.

PARTIKLAR OCH HÄLSA

Hans-Christen Hansson och Karin Persson

En lång rad undersökningar av hur folkhälsan beror av exponering för luftföroreningar visar tydligt att luftföroreningar ger avsevärda hälsoeffekter. Främst förknippas effekterna med partiklar, men även ozon bedöms ge betydande hälsoeffekter. Utgående från de samband som man funnit i 100-talet undersökningar finner vi att antalet förtida dödsfall beroende på förhöjda partikelhalter kan uppskattats till ca 5100 per år medan förhöjda ozonhalter ger ca 1800 per år i Sverige (Forsberg et al, 2005).

Grundläggande för dessa uppskattningar är epidemiologiska undersökningar som bygger på flera års observationer av olika typer av sjuk- och dödsfallsregistrering som jämförs med vilka halter av luftföroreningar individer eller befolkningen har blivit exponerade för. Det krävs således omfattande



Figur 1. Vinterhalvårmedelvärde (2002) från lokala mätningarna inom Urbanmättnätet och regionala bakgrundsmätningar av PM10 varierar med avståndet i nordlig riktning från Trelleborg i söder (Forsberg et al., 2005). Det framgår att det regionala bidraget dominerar i hela södra Sverige.

mätningar av luftföroreningar, och specifikt de komponenter som orsakar observerade hälsoeffekter, för att man skall kunna särskilja dessa hälsoeffekter från andra faktors inverkan på hälsan. Det finns många och långtida mätningar av partikelmassa för partiklar mindre än 10 mikrometer (PM10), vilka utnyttjats för dessa studier. Tyvärr finns det otillräckligt med data för andra partikelfraktioner för att kunna göra liknande kvantitativa uppskattningar av deras inverkan på hälsan. Det gör att vi för tillfället inte kan bedöma olika partikelkällors enskilda inverkan på hälsan.

Beroende på källan och vilka kemiska och fysikaliska processer som partiklarna genomgår under transporten i luften varierar partiklar i atmosfären kraftigt i såväl storlek (från nanometer till någon 10dels mm) som kemisk sammansättning. Partikelhalterna i Sverige domineras av partiklar som kommer från kontinenten och transporteras hit med vinden. Lokala källor är trafiken och olika former av förbränning. Trafiken ger partiklar från avgaser, förslitning av bromsar, däck och vägbana. Den dominerande källan för förbränningspartiklar är vedeldning. Det finns även ett naturligt bidrag från hav och skog, som bland annat dominerar halterna i bakgrundsområden i norra Sverige vid nordliga vindar. Massmässigt dominerar långdistanstransporterade luftföroreningar från kontinenten i större delen av Sverige. Det dominerande lokala tillskottet är partiklar från förslitning av vägbanan vid kraftigt trafikerade vägar, beroende på det omfattande bruket av dubbdäck. Vid markinversion, dvs när emissionerna "fastnar" i luften närmast marken till följd av dålig luftomblandning, kan vedeldning leda till mycket höga partikelhalter. I sådana områden kan detta leda till hög exponering av de boende.

För att kunna finna de avgörande faktorerna och hur olika källor bidrar till observerade hälsoeffekter behövs således mätningar av olika partikelfraktioner och olika källors bidrag till partikelhalter både i regional och lokal miljö under flera år. Källornas bidrag kan fås genom kemiska analys och efterföljande

modellanalys, t.ex. med EMEP-modellen eller genom käll-receptor analys. Man kan även på detta sätt få det underlag som behövs för en åtgärdsanalys. Dock krävs differentierade riskuppskattningar för olika typer av partiklar för att man utifrån källupplösta exponeringsdata skall kunna få en uppfattning om olika källors inverkan på hälsan.

Det börjar komma rapporter från olika studier som pekar på att avgaspartiklar har en väsentligt högre negativ inverkan på hälsan (Nafstad et al.). Dessa har ofta använt NO_x eller NO₂ som indikator på exponering för avgaser, varvid framkomna riskuppskattningar är relaterade till halten av dessa gaser. Om dessa riskuppskattningar appliceras på Stockholm finner man att hälsoeffekterna p g a lokala avgasemissioner utgående från NO_x beräknas bli ca 50 ggr större än när man utgår från massan av avgaspartiklar. Även om man antar att vägdamm har samma hälsoeffekt som avgaspartiklarna, så ger ändå beräkningarna utgående från NO_x ca 4 ggr större effekt (Forsberg et al, 2006). Detta visar på att det troligen finns avgörande skillnader i faktiska hälsoeffekter av partiklar från olika källor.

Sammanfattning

Luftföroreningarna ger avsevärda hälsoeffekter. Gällande riskbedömningar ger att 5100 personer avlider i förtid p g a förhöjda partikelhalter. Övervakning av luftkvaliteten i både den regionala bakgrunden och i urbana områden samt dess beroende av olika källor är helt avgörande för att dels kunna utröna vilka källor som är väsentliga för observerade hälsoeffekter och dels för att finna de mest effektiva åtgärderna. Det är nödvändigt att Sverige bedriver ett aktivt forskningsarbete på detta området eftersom flera av de komponenter som idag framstår som betydande, t.ex. resuspenderat vägdamm, är specifikt för svenska förhållanden.

Referenser:

Forsberg B, Hansson HC, Johansson C, Areskoug H, Persson K, Järvholm B. 2005. Comparative health impact assessment of local and regional particulate air pollutants in Scandinavia. *Ambio* 34:11-19.

Forsberg, B., Johansson, C., Hansson, H-C, Assessing mortality effects of PM from local traffic emissions, 2006, submitted to *Env. Health Pub.*

Nafstad P, Håheim LL, Wisloff T, Gram F, Oftedal B, Holme I, et al. 2004. Urban air pollution and mortality in a cohort of Norwegian men. *Environ Health Perspect* 112(5):610-5.

DYNAMISK MODELLERING AV MARK- OCH VEGETATIONSPROCESSER VID FÖRÄNDRINGAR I MILJÖ OCH SKOGSSKÖTSEL

Salim Belyazid

Inledning

En mekanistisk modell för skogsekosystem, ForSAFE-VEG, har utvecklats för att rekonstruera och förutsäga förändringar i markkemi (ForSAFE) och markvegetation (VEG) på beståndsnivå (Wallman et al., 2005, Belyazid, 2006). Informationen som erhålls från ForSAFE ger en omfattande uppskattning av tidsutvecklingen av de biogeokemiska förhållandena på en lokal (Belyazid, 2006; Belyazid et al., in press). Denna information kan i sin tur användas för att beskriva de miljöfaktorer som styr etableringen av markvegetation. Modellen ger uppskattningar av trädkronornas skuggning på marknivå, markhydrologi och fuktinnehåll på olika djup, samt markkemi inklusive aciditet, näringsinnehåll och markkemiska processer som involverar aluminium och baskatjoner.

En kort beskrivning av ForSAFE

ForSAFE-modellen integrerar delar av fyra befintliga modeller som sammanfogas i en enhetlig struktur med slutna biogeokemiska kretslopp för vatten, kol och utvalda näringsämnen i skogsekosystemet. För modellering av skogstillväxt inkluderas processer som fotosyntes, respiration, evapotranspiration och förnaperproduktion enligt modellen PnET (Aber och Federer, 1992). Tillväxten av skogen bestäms av tillgängligheten på ljus, temperatur samt markens fuktighet och näringsinnehåll.

För att ge nödvändig information om näringstillståndet modelleras markkemiska processer som vittring, utbyte av baskatjoner, nederbörd, mineralisering samt materialbalanser enligt beskrivningar i SAFE modellen (Sverdrup et al., 1995, Alveteg, 1998).

Frigörandet av kol och näringsämnen från förna samt fastläggning av svårnedbrytbart organiskt material modelleras enligt principer utvecklade för DECOMP modellen (Walse et al., 1998; Wallman et al., 2006). Förna som produceras av skogstillväxten sorteras i fyra förråd med olika grad av motstånd mot nedbrytning. Nedbrytningshastigheten i varje förråd beskrivs som funktioner av markfuktighet, temperatur, markvattnets aciditet och markens kväveinnehåll.

Slutligen inkorporerades PULSE modellen för hydrologi (Lindström och Gardelin, 1992) i ForSAFE för att simulera det vertikala vattenflödet som driver perkolations och lakning av kemiska ämnen.

Den resulterande modellen, ForSAFE, kräver indata om trädslag, markens fysiska egenskaper, mineralogi och textur, tidsserier för klimat och atmosfäriskt nedfall samt information om skogsskötsel. Modellen producerar då tidsserier för markvattenkemi, markförsurning, tillgänglighet av baskatjoner, aluminium, markfuktighet, trädstorlek och tillväxt samt krontakets skuggning av marken. Informationen som genereras i ForSAFE används sedan i VEG-modulen, som beskriver hur de abiotiska förhållandena reglerar etablering av olika arter av markvegetation.

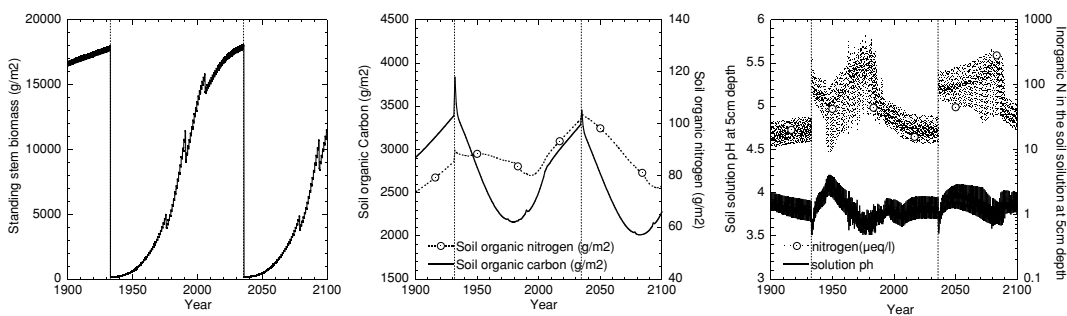
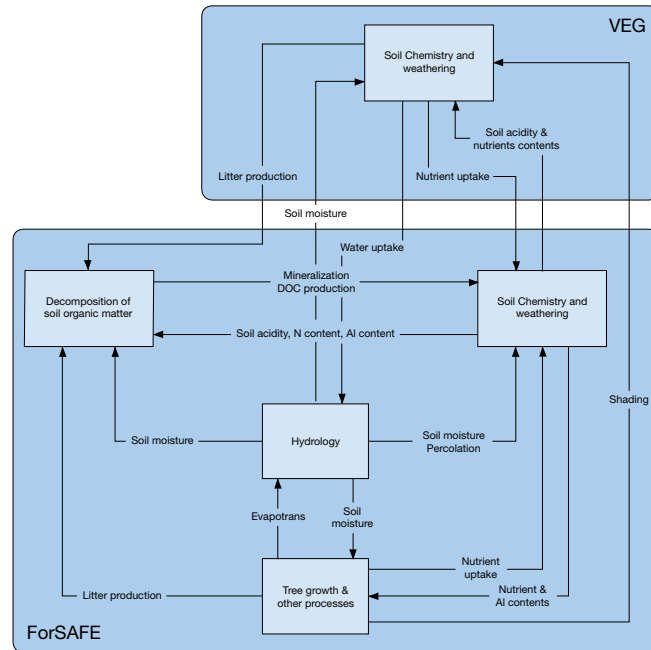
Tidsdynamik från ForSAFE-VEG

Ett exempel på resultat från en simulering med ForSAFE-VEG finns för ett skogsområde i Höka i Östergötland. Höka har årsmedelvärden av temperatur på 6.8°C och nederbörd på 721 mm. Skogsområdet är påverkat av regelbundna gallringar och kalavverkningar. Vid avverkning år 2035 simuleras helträdsuttag. Nedan beskrivs hur ekosystemet reagerar på förändringar i atmosfäriskt nedfall och skogsskötsel.

Den stående biomassan vid det andra skördetillfället (år 2035) är högre än vid det första (år 1932) främst

Figur 1. ForSAFE-VEG består av ett antal interna moduler som tillsammans kan simulera ett antal processer i ett skogsekosystem.

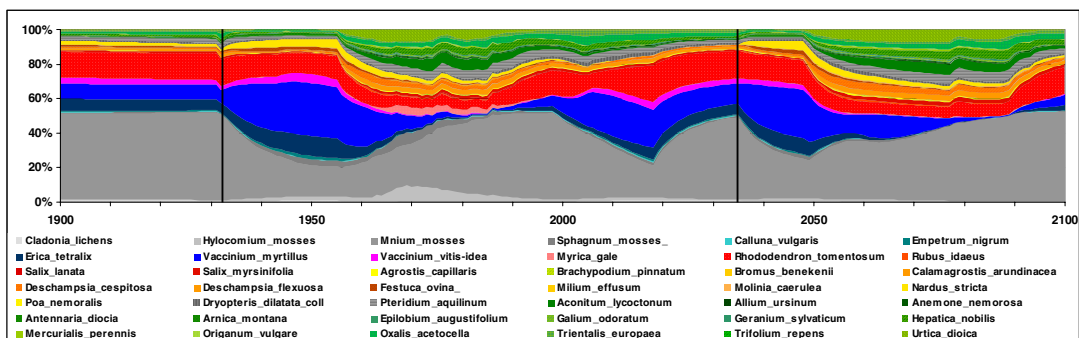
beroende på en ökad tillgänglighet av kväve från atmosfäriskt nedfall (Figur 2). Markens förråd av organiskt kol och kväve i humuslagret (Figur 2) minskar efter skörd eftersom kalhuggningen eliminerar tillförsel via förnafall. Minskningen följs av en återhämtning då den växande skogen åter tillför förna. Förlusten av markens kol i hyggesfasen sker snabbare än organiskt kväve varför C/N kvoten i humuslagret sjunker. Samtidigt ökar tillgängligheten av oorganiskt kväve i marken från mineralisering och atmosfäriskt nedfall efter kalhuggningen vilket kan ge en ökad risk för utlakning. Variationen i markens pH värde reflekterar en trend för atmosfäriskt nedfall av kväve och svavel med en pH minskning under tidigt 1900-



Figur 2. Förändring i stambiomassa, humuslagrets innehåll av kol och kväve, pH i markvatten och oorganiskt kväve. Tidpunkter för kalhuggning visas med vertikala linjer.

tal och en långsam återhämtning under 2000-talet, som en följd av minskande nedfall efter införande av Göteborgsprotokollet.

Förändringar i trädskikt och mark innebär förändringar i markvegetationens sammansättning (Figur 3). Efter kalhuggning minskar förekomst av mossor och lavar (gråfärgat i figuren) som dominerar i en sluten skog. Även förekomsten av bärris (blåfärgat) minskar medan mängden gräs (grönfärgat) och örter (orange-gulfärgat) ökar. Ormbunkar (svart och vitt) täcker en större del av marken när ljusstillgängligheten ökar efter kalhuggning. När träden växer och skogen sluter sig ökar täckningsgraden av bärris och mossor igen, medan mängden gräs och ormbunkar minskar.



Figur 3. Förändring i sammansättning av markvegetation.

Slutsatser

Modellen kan för närvarande relativt väl återskapa fenomen som har observerats i fältstudier (Nordin et al., 1998). Eftersom modellstrukturen är transparent och genom att identifiera samband mellan modellförutsägelser och antaganden i modellen, är det möjligt att förbättra och validera modellen för framtida användningsområden. Med ytterligare modellvalidering kan den komma att bli ett värdefullt verktyg för att kvantifiera hur atmosfäriskt nedfall påverkar mångfald och sammansättning av markvegetation i svenska skogar, och kan även användas för att definiera kritisk belastning av luftföroreningar.

Referenser

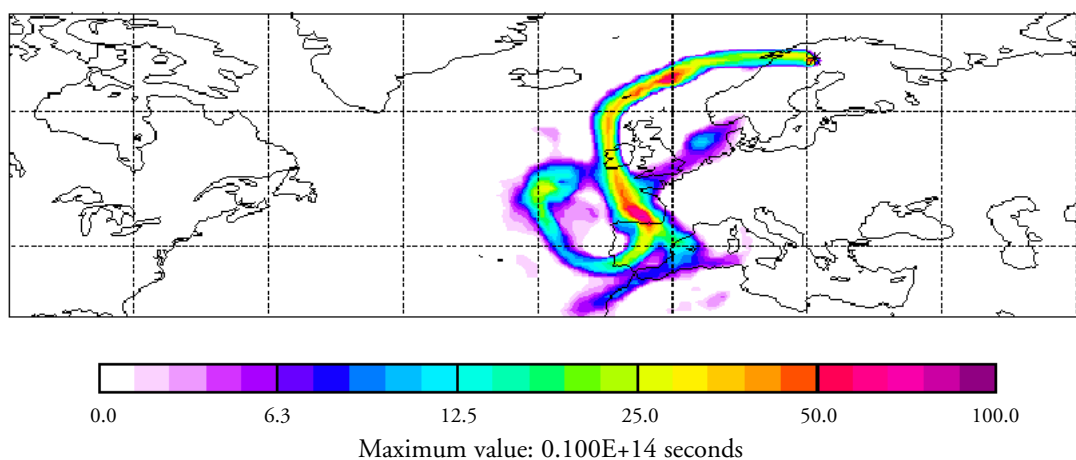
- Aber JD, Federer CA, 1992. *A generalized, lumped-parameter model of photosynthesis, evapotranspiration and net primary production in temperate and boreal forest ecosystems. Oecologia* 92, 463-474.
- Alveteg M, 1998. *Dynamics of Forest Soil Chemistry. PhD-thesis, Department of Chemical Engineering II, Lund University, Lund, Sweden.*
- Belyazid, S, Westling, O, Sverdrup, H, In Press. *Modelling changes in forest soil chemistry at 16 Swedish coniferous forest sites following deposition reduction. Environmental Pollution.*
- Belyazid S, 2006. *Dynamic modeling of biogeochemical processes in forest ecosystems. PhD-thesis, Department of Chemical Engineering II, Lund University, Lund, Sweden.*
- Lindström G, Gardelin M, 1992. In: Sandén P, Warfvinge P (Eds.). *Modelling Groundwater Response to Acidification. Report from the Swedish integrated groundwater acidification project. Reports Hydrology, SMHI, Norrköping, Sweden, pp. 33-36.*
- Nordin, A., Näsholm, T. & Ericson, L. (1998) *Effects of simulated nitrogen deposition on understory vegetation of boreal coniferous forest. Functional Ecology* 12, 691 – 699.
- Sverdrup H, Alveteg M, Langan S, Paces T, 1995. *Biogeochemical catchments of small catchments using PROFILE and SAFE. In: ST Trudgill (Ed.). Solute Modelling in Catchment Systems. John Wiley & Sons Ltd, pp. 75-99.*
- Wallman P, Svensson M, Sverdrup H, Belyazid S, 2005. *ForSAFE - an integrated process-oriented forest model for long-term sustainability assessments. Forest Ecology and Management* 207, 19-36.
- Wallman P, Belyazid S, Svensson M, Sverdrup H, 2006. *DECOMP - a semi-mechanistic model of litter decomposition. Environmental Modelling and Software* 21, 33-44.
- Walse C, Berg B, Sverdrup H, 1998. *Review and synthesis of experimental data on organic matter decomposition with respect to the effects of temperature, moisture and acidity. Environmental Review* 6, 25-40.

OZON NÄRA MARKEN – NYA KONCEPT FÖR ATT SKYDDA VÄXTLIGHETEN I EUROPA

Per-Erik Karlsson

Ozon är ett starkt oxiderande ämne som i luften är skadligt både för människans hälsa och för växtligheten. Ozon orsakar en för tidig dödlighet för ett betydande antal människor i Sverige såväl som övriga Europa årligen. Ozonbelastningen i Sverige beräknas förorsaka ett skördebortfall för svenskt jordbruk på i storleksordningen 5-15% årligen och en nedsättning av skogens tillväxthastighet med ca 2%.

Ozon bildas i luften nära marken genom en serie komplicerade kemiska reaktioner som drivs av energin från solljuset. Utgångsämnen för ozonbildning är framförallt kväveoxider och flyktiga organiska kolväten, vilka till största delen är långväga transporterade från kontinentala Europa och Storbritannien. Ett exempel på hur långväga transport kan orsaka bildning av ozon i glest befolkade områden på nordliga breddgrader visas i figur 1. Under några dagar i april 2003 steg halterna av ozon i luften vid Esrange, strax utanför Kiruna, till över 80 ppb (160 ug m⁻³). Dessa halter måste anses mycket höga och var i närheten av den nivå där EU's direktiv om ozon i luften anger att allmänheten bör informeras via lokalradion. En analys visade att den luftmassa som gav upphov till dessa höga ozonhalter hade sitt ursprung i Medelhavsområdet. Detta exempel illustrerar vikten av internationella överenskommelser som begränsar utsläppen av utgångsämnen för ozonbildning, för att komma till rätta med ozonproblematiken i Sverige.

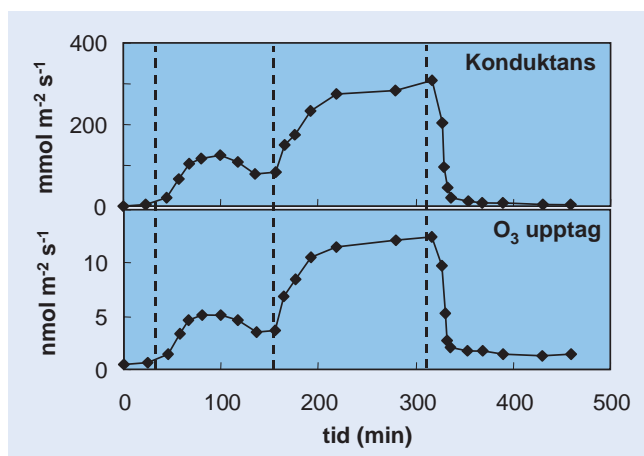


Figur 1. Uppehållstiden under de senaste 20 dagarna hos den luftmassa som anlände till norra Fennoskandia 20 April 2003. A. Lindskog, S. Solberg m. fl., opublicerat arbete.

För att utöva sin negativa verkan på växtligheten måste ozonet tas upp till bladens inre. Detta beror på att bladens yta är täckt med ett vaxskikt, som i huvudsak är motståndskraftigt mot ozon. Upptaget av ozon till bladen sker genom de s.k. klyvöppningarna, vilket är mikroskopiska öppningar som finns i stor mängd på bladytorna. När klyvöppningarna är öppna har bladen en hög genomsläpplighet för diffusion av gaser, s.k. hög konduktans. När klyvöppningarna är stängda är konduktansen låg. Bladens klyvöppningar fungerar så att de skall medge ett upptag av den koldioxid som behövs i bladen för fotosyntesen, samtidigt som de skall förhindra en alltför stor vattenförlust pga den vattenånga som samtidigt avgår ut ur bladen när klyvöppningarna står öppna. Mycket ljus gynnar öppna klyvöppningar, medan torr luft och torrt i marken gör att klyvöppningarna tenderar till att stänga för att förhindra en alltför stor vattenavgång.

Det starka sambandet mellan konduktans och ozonupptag till bladen illustreras i figur 2 för ett experiment med ett blad av vete inneslutet i en liten behållare, en s.k. kyvett. I början av experimentet

står bladet i mörker och klyvöppningarna är stängda och ozonupptaget är litet. Därefter startar belysning av bladet i två steg, klyvöppningarna öppnar och ozonupptaget till bladen ökar parallellt med konduktansen. Vid den tredje vertikala linjen kapas bladet utanför kyvetten, tillförseln av vatten till bladet stoppas varvid klyvöppningarna stänger. Ozonupptaget till bladet minskar då parallellt med konduktansen. Ett litet ozonupptag består dock, till följd av en reaktion mellan ozon och partiklar på bladets yta.



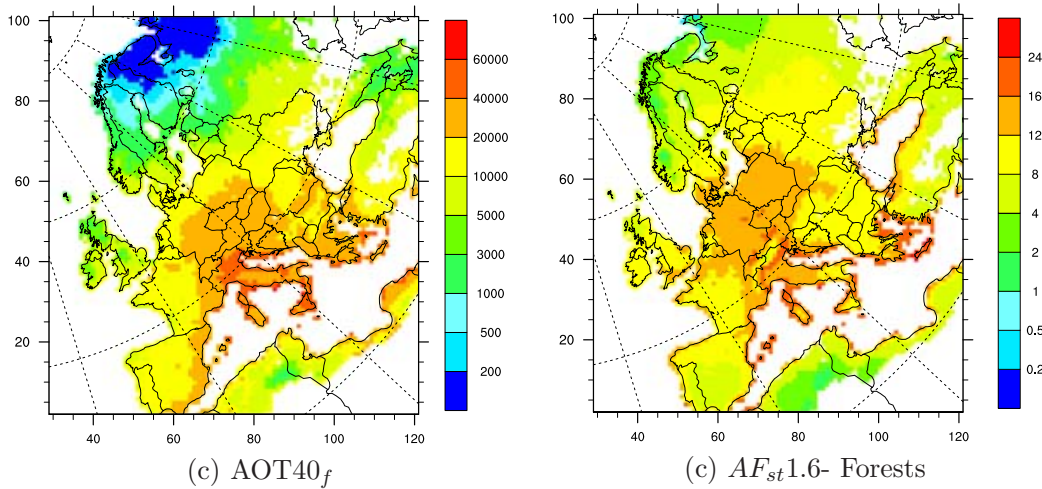
Figur 2. Mätningar som visar på sambandet mellan stomatakonduktans och upptaget av ozon till en del av ett 10 dagar gammalt vetebblad, inneslutet i en liten behållare (kyvett). Övre figuren visar bladkonduktans som beräknats utifrån mätningar av mängden vattenånga som avges från bladet. Nedre figuren visar det beräknade upptaget av ozon till bladet som har beräknats utifrån skillnaden i ozonkoncentration mellan luften som går in och ut ur kyvetten, kompenserat för den mängd som tas upp av själva kyvetten. Bladet står från början i mörker. Vid första vertikala streckade linjen tänds ett svagt ljus och klövöppningarna öppnar. Vid andra vertikala linjen ökas ljusstyrkan och klyvöppningarna öppnar ytterligare. Vid tredje vertikala linjen kapas den del av bladet som sträcker sig utanför kyvetten, varvid vattentillförseln stryps och klyvöppningarna stänger, fortfarande i ljus. Konduktansen anges som mmol vattenånga per bladyta och sekund medan ozonupptag anges som nmol ozon per bladyta och sekund.

Betydelsen av upptaget av ozon till bladen utgör en förklaring till att vi i de nordiska länderna har funnit att vi har negativa effekter av ozon på växtligheten vid lägre koncentrationer i luften, jämfört med södra och centrala Europa. Långa sommardagar, fuktig luft och relativt mycket nederbörd är alla faktorer som gör att klyvöppningarna står öppna i större utsträckning.

I slutet av 1990-talet växte det inom det Europeiska luftvårdsarbetet fram ett koncept för ozonriskbedömning som baserade sig på den ackumulerade mängden av ozon som tas upp till bladen. En förutsättning för att man skall kunna beräkna mängden ozon som tas upp till bladen är att man kan förutsäga, modellera, bladkonduktansen. Fysiologin bakom klyvöppningarnas reglering är relativt komplicerad. Att modellera bladkonduktansen kräver därför meteorologisk information, information om markfuktighet, information om växternas utveckling under växtsäsongen (s.k. fenologi) mm.

I en serie av workshops inom LRTAP konventionen (www.unece.org/env/lrtap/) i Gersensee i Schweiz 1999, Göteborg 2002 samt Obergurgl i Österrike 2005, har en kontinuerlig utveckling skett av konceptet för riskbedömning av negativ inverkan av ozon på växtligheten i Europa. Det finns nu principbeslut på att ett ozonindex baserat på det ackumulerade upptaget av ozon till bladen skall användas vid s.k. Integrated Assessment Modelling (IAM) inom LRTAP konventionen, även om den detaljerade metodiken fortfarande är under utveckling. Det är inom IAM processen som man sträver efter optimera relationerna mellan minskade utsläpp av luftföreningar från olika länder och minskade negativa effekter på människors hälsa och ekosystemen över Europa. Vikten av vilket ozonindex som man väljer för att beskriva inverkan på växtligheten illustreras i figur 3. Den vänstra figuren illustrerar ozonbelastningen för skogen i Europa baserat på AOT40 medan den högra baseras på det ackumulerade

ozonupptaget till bladen. Räknat som AOT40 varierar ozonbelastningen mellan södra Sverige och de högst belastade områdena i norra Italien med en faktor 8, medan motsvarande variation räknat som ackumulerat ozonupptag utgör en faktor 4. Val av koncept för således en stor betydelse för hur begränsningarna av ozonbildande ämnen skall inriktas i Europa.



Figur 3. Modellerade värden för ozonexponering av skog i Europa, baserade på AOT40 april-september (AOT40_f, vänstra figuren) och det ackumulerade upptaget av ozon till bladen (AF_{st}1.6-Forests, högra figuren). Värden är modellerade för år 2000 med EMEP modellen (www.EMEP.int). Kartorna har erhållits från David Simpson, EMEP MSW, och ingår i en artikel, Simpson m fl. som för närvarande är under behandling för publicering i den vetenskapliga tidskriften *Environmental Pollution*.

Ytterligare information om metodikerna av beräkna ozonbelastningen för växtligheten i Europa ges i LRTAP konventionens Mapping Manual, kapitel 3, vilken man kan finna under www.icpmapping.org.

MILJÖEKONOMI - KONSTEN ATT UPPSKATTA KOSTNADER OCH NYTTOR AV UTSLÄPPSMINSKANDE ÅTGÄRDER

Catarina Sternhufvud och Stefan Åström

Miljöekonomi är den del av nationalekonomin som hanterar samhällsnytta och samhällsförluster kopplade till miljöfrågor. En viktig skillnad mellan miljöekonomi och traditionell nationalekonomi är att man inom miljöekonomin tar hänsyn till de externa effekterna av konsumtion samt att man med olika metoder monetariserar de varor och tjänster som inte har någon marknad, till exempel ren luft.

I det miljöekonomiska arbetet ingår bland annat att beräkna vilka effekter skatter och subventioner har på utsläpp av olika miljöföroreningar samt att beräkna de optimala eller de mest kostnadseffektiva åtgärderna för att minska miljöpåverkan. Miljöekonomi handlar också om ekonomisk värdering av miljöpåverkande aktiviteter. Resultaten används ofta som politiskt beslutsunderlag, både inom det nationella och det internationella miljöarbetet för att bestämma vilka åtgärder som kan användas för att minska externaliteterna.

Kostnadsberäkningar

Att beräkna kostnaderna för utsläppsminskande åtgärder kan förefalla enkelt, men innefattar ett antal viktiga gränssättningar och antaganden som är avgörande för resultaten.

Införandet av en åtgärd innebär ofta kostnader för många delar av samhället och det är viktigt att besluta:

- om endast de privata kostnaderna för företag och privatpersoner skall inkluderas; eller
- om det är den totala samhällskostnaden man bör titta på.

För att många åtgärder skall komma att genomföras är det nödvändigt att staten använder olika sorters styrmedel, vilka kan vara förknippade med höga administrativa kostnader. Detta är framförallt fallet för många icke-tekniska åtgärder, så som beteende- och strukturförändrande åtgärder. Att bara uppskatta de faktiska kostnaderna för företag och privatpersoner kan ge en skev kostnadsbild då det kan krävas massiva insatser från samhället i form av informationskampanjer och regleringskostnader.

Ett närliggande problem är om och hur man skall inkludera kostnader för en åtgärd som innebär en välfärdsförlust för konsumenten, t.ex. kostnaden för den ökning i tid och minskning i frihet som byte från bil till kommunal transport kan innebära. Ytterligare en gränssättning är om negativa kostnader skall inkluderas i beräkningarna. En energibesparande åtgärd kan förutom kostnader också medföra ekonomiska besparingar. Dessa besparingar kan i vissa fall överskrida kostnaderna, vilket innebär att nettokostnaden blir negativ (vinst).

Utsläppsminskande åtgärder har ofta en livslängd på många år, vilket innebär att kostnaderna för dessa måste fördelas över tiden. Vid annualisering av kostnader används en diskonteringsränta, vars storlek har en avgörande betydelse för den årliga kostnaden av åtgärden. Olika aktörer använder ofta olika räntesatser, företag använder generellt sett en högre ränta medan kostnader beräknade ur ett samhällsperspektiv ofta innebär en lägre ränta eftersom samhället förväntas ta hänsyn till framtida generationer.

Slutligen kan en genomsnittskostnad eller en marginalkostnad beräknas för åtgärden. Genomsnittskostnaden illustrerar kostnaden av att minska utsläppen med en viss mängd och är oberoende av införandet av andra åtgärder, medan marginalkostnaden är beroende av vilka åtgärder som vidtagits tidigare. Vid diskussion om vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva är det marginalkostnaden som är den mest intressanta.

Inom ASTA-programmet har under 2005 ett projekt om icke-tekniska åtgärder (Non-Technical Measures, NTM) genomförts. Inom detta projekt har problematiken med att beräkna kostnaderna för

olika åtgärder på ett korrekt och rättvist sätt analyserats. Fokus har främst varit på de åtgärder som idag inte inkluderas i de integrerade beslutsstöds modellerna (RAINS och GAINS) som används inom LRTAP konventionen och inom det europeiska luftvårdsarbetet CAFE. Bland annat diskuteras svårigheterna att definiera dessa åtgärder, identifiera och monetarisera dem samt att analysera de administrativa kostnader som ofta utgör en betydande del av kostnaderna för icke-tekniska åtgärder.

I studien har åtgärders kostnadseffektivitet undersökts och jämförelser har gjorts mellan de så kallade tekniska och icke tekniska åtgärder. Resultaten visade att det finns starka skäl till att betrakta en större variation av utsläppsminskande åtgärder än de som idag betraktas i det internationella luftvårdsarbete.

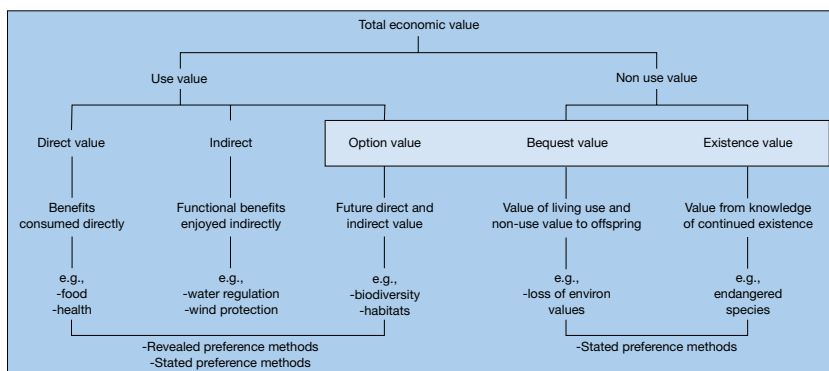
Nyttoberäkning

Nationalekonomiskt tänkande grundar sig på en utilitaristisk moralfilosofi riktad endast mot mänskliga värden, vilket innebär att nyttan av att minska utsläppen endast har samhällsekonomisk nytta om de påverkar mänskligt välbefinnande, direkt eller indirekt. Inom miljöekonomin värderar man miljöföreteelser som till exempel utrotningshotade arter, frisk luft, och bevarande av vissa naturvärden såsom nationalparker. Denna värdering sker i syfte att kunna visa vilken nytta som dessa företeelser har för samhället och dess invånare, samt för att kunna relatera en förändrad miljösituation till andra samhällsvärden.

Grundsynen är att en vara eller tjänsts värde illustreras av det pris som konsumenter betalar för denna. Svårigheten ligger i att priserna för miljövaror och tjänster ofta är okänt. Identifieringen av en miljövaras pris genomförs i värderingsstudier. Detta kan ske genom faktiskt observationer av konsumtionsbeteende alternativt genom att konsumenterna tillfrågas om sin betalningsvilja för en vara om det hade funnits en marknad för den. Ett exempel på en metod som används för att härleda pris genom observationer är 'Hedonic Pricing', som härleder efterfrågan på luftkvalitet genom att jämföra huspriser mellan områden med olika luftkvalitet. Med hjälp av en annan metod 'Contingent Valuation Method', skapas en hypotetisk marknad för en miljövara som deltagarna i studien får prissätta.

Vid ekonomisk värdering är det viktigt att försöka inkludera det totala ekonomiska värdet av en miljövara. Figur 1 är ett exempel på de olika ekonomiska värden som går att tillskriva en miljövara. En första uppdelning är vanligtvis mellan användarvärden (use values) och icke-användarvärden (non-use values). Många av dessa värden är mycket svåra att visa i praktiken, men det är av stor vikt att hänsyn tas till dessa. Som exempel kan nämnas en miljövaras optionsvärde (möjlighet att använda varan i en eventuell framtid), existensvärde (värdet av att en miljövara existerar, oavsett om den används eller inte) samt dess arvsvärde (värdet av att en miljövara finns kvar för framtida generationer). När det gäller användarvärdena delas de oftast upp i direkta och indirekta användarvärden.

Figur 1 Totalt ekonomiskt värde



Genom värderingsstudier kan man få fram ett monetariserat värde för till exempel ren luft. Eftersom detta värde uttrycks i monetära enheter kan man därefter jämföra resultatet med de kostnader som läggs på miljöarbetet i så kallade kostnadsnyttoanalyser (CBA). I ASTA-programmet har under 2005 en CBA genomförts på marknäraozonskador samt en på minskade utsläpp av försurande föroreningar. CBA på

ozonskador värderar de marknadsvärden som förloras på grund av ozonskador på grödor och skog i Sverige och hur dessa värden kommer att utvecklas i framtiden. Den är ett bra exempel på hur marknadsvärden kan användas för att värdera skador på miljön, i detta fallt kopplat till höga ozonhalter. Den CBA som genomförts på försurande utsläpp undersöker några av de samhällsekonomiska effekterna (hälsa, biodiversitet, baskatjoner och korrosion) av förväntade utsläppsnivåer fram till 2020 i Sverige. I denna tas även hänsyn till vissa icke-användarvärden kopplade till försurande nedfall, som exempel kan nämnas värdering av biodiversitet som illustreras genom förändrad förekomst av insjöfisk i Sverige samt värdering av förbättrad hälsa. Dessa består båda till viss del av icke-användarvärden.

Vill du läsa mer? Arbetet som utförts inom ASTA-programmet finns redovisat i:

Sternhufvud C., Belhaj M., Åström S., 2005, The features of Non technical measures and their importance in cost effective air pollutants reduction - applied to two meta-analysis, IVL B-rapport 1656

Karlsson P.E., Pleijel H., Belhaj M., Danielsson H., Dahlin B., Andersson M., Hansson M., Munthe J., Grennfelt P., 2005, Economic Assessment of the Negative Impacts of Ozone on Crop Yields and Forest Production. A Case study of the Estate Östads Säteri in Southwestern Sweden, *Ambio*, 2005, Vol. 34, No. 1, pp. 32-40

Belhaj M., Åström S., Sternhufvud C., A Swedish CBA on acidification abatement -the CAFE Baseline scenario, - ännu inte publicerad

Ett exempel på hur ren luft värderas i monetära termer finns i:

Carlsson F., Johansson-Stenman O., 2000, Willingness to pay for improved air quality in Sweden, *Applied Economics*, 2000, Vol. 32, pp. 661-669

Grundläggande miljöekonomi:

Brännlund R., Kriström B., 1998, *Miljöekonomi*, © Studentlitteratur 1998, ISBN: 9144004745

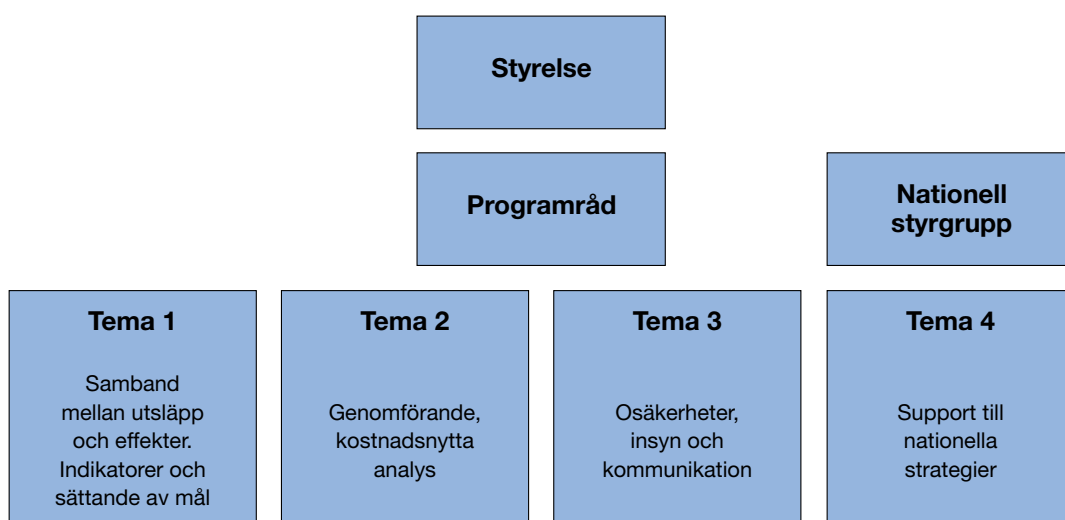
Referenser:

Ruijgrok E.C.M., 2004, Reducing Acidification: The Benefits of Increased Nature Quality. Investigating the Possibilities of the Contingent Valuation Method, NOTA DI LAVORO 65.2004, The Fondazione Eni Enrico Mattei Note di Lavoro Series Index: <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm>

KORT OM ASTA

ASTA-programmets arbete leds av en styrelse. Programledningen består av programchef, biträdande programchef och programsekreterare. För den övergripande planeringen och ledningen av programmet står styrgruppen bestående av programledningen, koordinatörerna för de 4 temaområdena och ytterligare 4 forskare. Nationella finansiärer och avnämare bildar en nationell styrgrupp knutet till det nationella temaområdet.

ASTA är organiserat i 4 interdisciplinära teman. Syftet är att resultaten från ASTA:s mer grundläggande forskning skall nyttiggöras i såväl i arbetet med åtgärdsstrategier som för andra ändamål, t.ex. nyttoutvärderingar, osäkerhetsanalyser och nationella strategier.



ASTA:s styrelse

Lars Lindau	Ordförande, Naturvårdsverket
Gunnar Hovsenius	ELFORSK
Anton Eliassen	Norska meteorologiska institutet
Anna Lundborg (adj)	Energimyndigheten
Marie Uhrwing (adj)	MISTRA

ASTA:s deltagare

NAMN	FUNKTION	NAMN	FUNKTION
Peringe Grennfelt	Programchef	Filip Moldan	Forskare
John Munthe	Biträdande programchef	Helena Danielsson	Forskare
Jenny Arnell	Programsekreterare	Lars Ericsson	Forskare
Håkan Pleijel	Koordinator Temaområde 1	Mattias Alveteg	Forskare
John Munthe	Koordinator Temaområde 2	Mohammed Belhaj	Forskare
Peringe Grennfelt	Koordinator Temaområde 3	Per-Erik Karlsson	Forskare
Olle Westling	Koordinator Temaområde 4	Rolf Lidskog	Forskare
Annika Nordin	Styrgrupp	Veronika Kronnäs	Forskare
Göran Sundqvist	Styrgrupp	Stefan Åström	Forskare
Hans Christen Hansson	Styrgrupp	Cecilia Akselsson	Forskare
Harald Sverdrup	Styrgrupp	Martin Letell	Doktorand
Catarina Sternhufvud	Forskare	Salim Belyazid	Doktorand
Erik Swietlicki	Forskare		



*International and national abatement
strategies for transboundary air pollution*

ASTA
c/o IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Box 5302
400 14 Göteborg
Tel. 031 725 62 00
Fax 031 725 62 90
Hemsida: <http://asta.ivl.se>

Institutionen för Ekologi, Miljö och geovetenskap
Umeå Universitet
901 87 Umeå
Tel. 090 786 50 00

Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi
SLU Sveriges Lantbruksuniversitet
901 83 Umeå
Tel. 090 786 82 10

Institutionen för Kemiteknik
Kemicentrum
Lunds Tekniska Högskola
Box 124
221 00 Lund
Tel. 046 222 82 85

Avdelningen för kärnfysik
Fysiska institutionen
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
Tel. 046 222 76 31

Avdelningen för Teknik- och vetenskapsstudier
Göteborgs Universitet
Box 510
405 30 Göteborg
Tel. 031 773 49 25

Institutionen för växt- och miljövetenskaper
Göteborgs Universitet
Box 464
405 30 Göteborg
Tel. 031 773 37 77

Institutet för Tillämpad Miljövetenskap - ITM
Stockholms Universitet
106 91 Stockholm
Tel. 08 674 70 00

IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Box 5302
400 14 Göteborg
Tel. 031 725 62 00