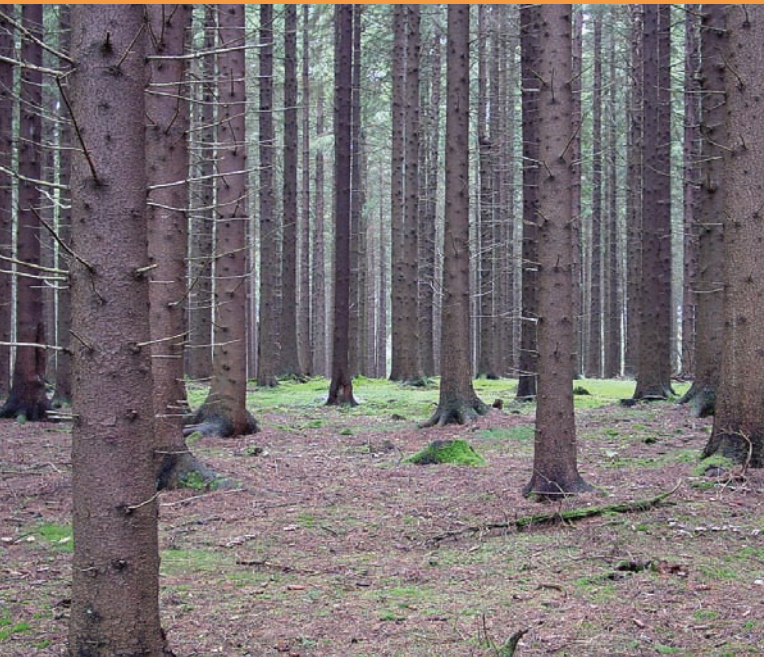




Länsstyrelsen i Jönköpings län

Skogliga observationsytor och miljömålsindikatorer

Möjlighet att utnyttja befintliga data





■ Skogliga observationsytor och miljömålsindikatorer

Möjlighet att utnyttja befintliga data

Meddelande	nr 2007:09
Referens	Eva Hallgren Larsson, Länsstyrelsen, Anders Hildingsson, Skogsstyrelsen.
Kontaktperson	Eva Hallgren Larsson, Länsstyrelsen i Jönköpings län, Direkttelefon 036-39 50 63, e-post eva.hallgren@f.lst.se
Webbplats	www.f.lst.se
Fotografier	Per-Erik Larsson/Bildpix
ISSN	1101-9425
ISRN	LSTY-F-M—0709--SE
Upplaga	175 ex.
Tryckt på	Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2007
Miljö och återvinning	Rapporten är tryckt på miljömärkt papper och omslaget består av PET-plast, kartong, bomullsväv och miljömärkt lim. Vid återvinning tas omslaget bort och sorteras som brännbart avfall, rapportsidorna sorteras som papper.

© Länsstyrelsen i Jönköpings län 2007

Förord

Projektet ”Skogliga observationsytor och miljömålsindikatorer” har finansierats av Miljömålsrådet, rampost 8 avseende regional miljömålsuppföljning och rampost 9 avseende samordning/utveckling. Syftet har varit att dra nytta av hittills gjorda undersökningar och utifrån dem föreslå lämpliga indikatorer som kan användas för att följa upp gällande miljö kvalitetsmål.

Länsstyrelsen i Jönköpings län har varit utförare och har haft gott samarbete med Skogsstyrelsen, Anders Hildingsson. Anders har också plockat fram alla data från Skogsstyrelsens skogliga undersökningar. Samtliga data från Krondropps nätet har välvilligt ställts till förfogande från samtliga Luftvårdsförbund och Länsstyrelser och levererats av IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Gunnar Malm.

En projektgrupp, bestående av representanter från Länsstyrelsen och Skogsstyrelsen har knutits till arbetet. Från Länsstyrelsen har Ola Broberg, Tobias Haag och Anna Westerlund deltagit och från Skogsstyrelsen Sture Wijk och Nina Dolk Fröjd.

En utökad referensgrupp, där folk med olika bakgrund och specifika kunskaper, samlades för ytterligare kunskapsutbyte till ett arbetsmöte i januari. Följande personer deltog: Lenart Ljungqvist Länsstyrelsen i Stockholms län, Bruno Bjärnberg Länsstyrelsen i Kronobergs län, Cecilia Akselsson IVL, Lars Lundin SLU Uppsala, Stefan Andersson SKS Halland, Nina Dolk Fröjd, Anders Hildingsson och Sture Wijk, samtliga Skogsstyrelsen i Jönköping och från Länsstyrelsen i Jönköpings län deltog Tobias Haag, Anna Westerlund och undertecknad. Även Gunnar Thelin från Lunds Universitet har bidragit med värdefulla synpunkter.

Henrik Jansson vid Länsstyrelsen i Jönköping har utfört ett digert arbete för att åskådliggöra data i kartform.

Till alla dessa som på olika sätt har engagerat sig, och utan vars hjälp projektet ej hade kunnat genomföras, riktas ett stort tack!

Jönköping i mars 2007

Eva Hallgren Larsson

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning	5
Syfte	6
Nuvarande mätprogram	7
Bakgrund och historia	7
Finansiering.....	8
Undersökningar.....	8
Hur har data använts hittills?.....	11
Koppling av obsytedata till andra mätprogram.....	11
Aktuella miljömål	13
Begränsad klimatpåverkan.....	13
Frisk luft.....	14
Bara naturlig försurning.....	17
Giffri miljö	23
Ingen övergödning	25
Grundvatten av god kvalitet	34
Levande skogar.....	35
Ett rikt växt och djurliv	42
Referenser.....	43
Bilaga 1	45
Exempel på rapporter med data från skogliga obsytor	45
Bilaga 2	47
Riksinventeringen av skog (RIS).....	47
Integrated monitoring (IM).....	48
Bilaga 3.....	50
Kartor	50

Sammanfattning

Med syfte att studera luftföroreningarnas effekter på skogens hälsa har Skogsstyrelsen undersökt permanenta skogliga observationsytor sedan 1984. Det första nätet av ytor reviderades 1995-1997 då 223 nya lokaler etablerades med hjälp av en objektiv urvalsmetodik. Syftet är att visa förhållanden i normalt brukad skog i bakgrundsmiljö. Mätningarna omfattar trädvitalitet, barr- och bladkemi, markkemi, tillväxt, vegetation, meteorologi, deposition, markvatten och lufthalter och ingår i ett europeiskt samarbete med mer än 30 deltagande länder. Data har använts i många olika sammanhang, både som underlag för miljöarbete på olika nivåer och olika forskarrapporter. För att öka möjligheten till generaliseringar vore det värdefullt att kunna ”skala upp” data från obsytoprogrammet till mer heltäckande inventeringar som till exempel Riksinventeringen av skog (RIS).

Förhållandena i miljön är komplexa och det är vanskligt att välja ut enstaka indikatorer för att illustrera detta. Även där obsytorna inte direkt kan användas för uppföljning så bidrar de till bättre förståelse av processer i skogliga ekosystem. Åtta av landets 16 miljömål har valts ut för närmare diskussion. För *Begränsad klimatpåverkan* och *Ett rikt växt- och djurliv* har inga indikatorer föreslagits, utan materialet får mer betraktas som komplement till andra studier. För de sex övriga miljömålen föreslås indikatorer som kan vara användbara både på regional och nationell nivå.

Frisk luft:

- Halten marknära ozon under sommaren (generationsmål).
- För det sydsvenska skogslandskapet kan 8 timmars medelvärde beräknas (delmål 3).

Bara naturlig försurning:

- Uppmätt svavelnedfall via krondropp (tidsutveckling) i kombination med modellberäknat nedfall (yttäckande information).
- Kommande beräkningar avseende överskridande av kritisk belastning är intressanta.
- Försurningsgrad i markvattnet med beräknade trender och trendbrott (delmål 2).

Giftfri miljö.

- Oorganiskt aluminium i markvatten.

Ingen övergödning:

- För bedömning av kvävetillgång föreslås en indikator baserad på kvoten mellan kol och kväve i humus, uppmätt kvävenedfall via krondropp, kvävehalter i barr samt markvattnets innehåll av kväve.

Grundvatten av god kvalitet:

- Markvattnets försurningstillstånd och innehåll av kväve.

Levande skogar:

- Kronutglesning som mått på skogens värde för biologisk produktion.
- Basmättnadsgrad i mineraljord, kvot mellan kol och kväve i humus samt markvattnets sammansättning som indikator för att naturliga funktioner och processer upprätthålls.
- Förhållande mellan fosfor och kväve samt kalium och kväve i årsbarr kan användas för att indikera att naturliga funktioner och processer upprätthålls.

Både med tanke på *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning* föreslås omdrev av den markkemiska provtagningen.

Syfte

De permanenta skogliga observationsytorna omfattar ett mätprogram som delvis sträcker sig från mitten av 1980-talet. Resultaten kan användas för en serie miljömålsindikatorer kopplat till flera olika mål och delmål. En del av detta datamaterial används redan idag inom Rus och på portalens indikatorer, men materialet skulle kunna nyttjas i ännu högre grad. Projektets syfte har varit att tillvarata befintliga mätdata, specificera möjligheter att använda dessa för att följa upp miljömålen samt att validera dessa så att en presentation på Miljömålsportalen blir möjlig.

Nuvarande mätprogram

Bakgrund och historia

I början av 1980-talet uppmärksammades omfattande skogsskador och skogsdöd i Central-europa. Samtidigt noterades liknande skador på skogsekosystemen i Sverige och man var orolig för att skadefrekvensen skulle öka och att Sverige skulle drabbas av omfattande skogsdöd. Skogsstyrelsen fick i uppdrag av regeringen att starta ett program för att följa skadeutvecklingen i skog. Detta första nät av Skogsstyrelsens miljöövervakning på skogliga observationsytor etablerades 1984 och omfattade cirka 300 skogliga observationsytor spridda över landet. Eftersom ett viktigt syfte med dessa lokaler var att följa skadeutvecklingen var flera av dessa ytor utlagda i bestånd där skador redan konstaterats.

Skador på skog förknippades med luftföroreningar och atmosfäriskt nedfall av svavel och kväve. På uppdrag av Blekinge Luftvårdsförbund startade IVL mätningar av deposition och markvatten i 10 skogliga observationsytor i Blekinge 1985. Detta var början till Kron-droppsnätet, som sedan dess genomförts på uppdrag av luftvårdsförbund, länsstyrelser, skogsvårdsstyrelser, kommuner och Naturvårdsverket, i hela landet. Krondroppsnätet omfattar i dagsläget cirka 100 provytor fördelade över landet. Merparten av dessa är samlokaliserade med Skogsstyrelsens nät av skogliga observationsytor. Resultat avseende nedfall, markvatten och lufthalter på dessa lokaler utvärderas regelbundet i årsrapporter till respektive uppdragsgivare.

Det första nätet av skogliga observationsytor reviderades 1995-1997 då 223 nya ytor etablerades i normalt brukad skog, utan synliga skador, i bakgrundsmiljö och med hjälp av objektiv urvalsmetodik. Merparten lokaler utgörs av gran- eller tallskog men i Götaland finns även ytor med bok- och ekskog. Programmet omfattar fler lokaler i södra Sverige än i landets norra delar, vilket är en anpassning till depositionsgradienten över landet. 100 av dessa så kallade obsytor ingår i ett europeiskt nät av ytor med liknande mätningar och årlig redovisning på europainivå (ICP-Forests). I samband med att programmet med Skogsstyrelsens observationsytor reviderades anpassades lokalerna inom Krondroppsnätet. Syftet med detta var att bibehålla möjligheten att se samband mellan olika variabler.

Föreliggande utvärdering omfattar i princip bara resultat från 1995 och det nu existerande, mer objektivt utlagda, stationsnätet. Även om ett fåtal av de ursprungliga lokalerna finns kvar i nuvarande nät har provtagningsmetodik avseende skogliga variabler förändrats i den utsträckning att resultaten inte kan användas för att studera tidsutveckling från 1984. Mätning av deposition, markvatten och lufthalter utgör ett undantag och den längsta mätserien är intakt sedan 1985. Dessa mätningar har bland annat visat att nedfallet av försurande svavel minskade mycket kraftigare under perioden 1985-1995 jämfört med perioden 1995-2005. En trolig följd av detta är att påverkan på det skogliga ekosystemet var större under 1985-1995 än 1995-2005 och att samvariation och samband mellan orsak och verkan var tydligare under de första tio åren. Ett flertal tydliga kopplingar har noterats:

- Högre halter av oorganiskt aluminium i markvatten till följd av stort nedfall av försurande svavel. Gäller södra och mellersta Sverige 1985-1991 (1).

- Högre halter av nitratkväve i markvatten till följd av stort nedfall av kväve via kron dropp. Kväve är ett eftertraktat näringsämne och det normala är att det utnyttjas väl av vegetationen, vilket leder till mycket låga halter av kväve i markvatten under den egentliga rotzonen (0,5 m ner i mineraljorden). Resultat från södra och mellersta Sverige (perioden 1985 – 1991) visade ett tröskelvärde vid cirka 15 kg kväve per hektar och år. På lokaler där kvävenedfallet var mindre än detta tröskelvärde noterades inget nitratkväve i markvattnet, men där nedfallet var större var halterna oftast tydligt förhöjda. Detta indikerar att kvävet är på väg mot omgivande yt- och grundvatten samt arealförluster av kväve från det skogliga ekosystemet (1).
- För gran och tall har ett tydligt samband mellan ökande kronutglesning och försämrad tillväxt noterats (34).

Även om verkliga samband finns mellan olika variabler så kan det vara svårt att tydliggöra dem med tillgängligt material. Till stor del förklaras det sannolikt av att de skogliga ekosystemen är synnerligen komplexa med många samverkande faktorer som tillsammans bidrar till aktuella förhållanden.

Finansiering

Programmets finansiering är mångfasetterad. Trädvitalitet, barr- och bladkemi, markkemi, tillväxt, vegetation och meteorologi finansieras till största delen genom statliga anslag till Skogsstyrelsen medan deposition, markvatten och lufthalter till största delen finansieras av regionala intressenter i form av luftvårdsförbund och länsstyrelser. Depositionsmätningar på tio lokaler finansieras av Naturvårdsverket och ingår i nationell miljöövervakning – programområde luft. 100 av de totalt 223 obsytorna ingår i ett europeiskt nät av ytor med liknande mätningar. Miljöövervakningen på dessa internationella obsytor har, fram till och med 2006, delvis finansierats genom bidrag från EU (förordning nr 2152/2003, ”Forest Focus”).

Undersökningar

Flera olika faktorer studeras på obsytorna med syfte att koppla samman olika variabler för att på så sätt finna samband mellan orsak och verkan i landets skogliga ekosystem. Nedan ges en översikt avseende de mätningar som görs på Skogsstyrelsens observationsytor. Utförligare beskrivningar av metodik etcetera finns på Skogsstyrelsens hemsida (www.skogsstyrelsen.se, sök på obsytor) och Kron droppsnätets hemsida (www.ivl.se, välj Kron droppsnätet i vänstra fältet).

Trädvitalitet

Mätprogram: Varje enskilt träds hälsotillstånd beskrivs genom en okulär bedömning av bl.a. kronutglesning, missfärgning och kådflöde. Synliga orsaker till skador, t.ex. svamp- eller insektsangrepp registreras också. För att bedömningarna skall bli jämförbara över landet och över tiden genomförs regelbundet kalibreringsövningar och övningar med bedömning av fotograferade träd.

Syfte: Syftet är att beskriva de enskilda trädens samt trädbeståndens hälsostatus samt orsaker till skadorna.

Antal lokaler: 223.

Frekvens: Årlig provtagning. Sedan 2002 provtas dock ungefär hälften av ytorna bara med tre års intervall.

Aktuella miljömål: Frisk luft, Levande skogar, Ett rikt djur och växtliv

Barr- och bladkemi

Mätprogram: På ett antal träd i ytans buffertzona tas barr/blad –prover som sedan genomgår en kemisk analys. Bland annat mäts halter av kväve, fosfor, kalium, kalcium, magnesium och svavel.

Syfte: Att undersöka hur trädens näringstillstånd varierar geografiskt och med tiden samt att testa barrkemiska indikatorer på fysiologisk stress och miljöpåverkan.

Antal lokaler: Cirka 100.

Frekvens: Provtagning och analys har genomförts vartannat år sedan 1996 med undantag för 2004 då mätprogrammet lades på is av besparingsskäl.

Aktuella miljömål: Bara naturlig försurning, Ingen övergödning, Levande skogar

Markkemi

Mätprogram: Vid provtagningen beskrivs markprofilens utseende i en 80 cm djup grop. Varje markskikt provtas i grop eller med borrh och analyseras senare med avseende på bl.a. pH, basmättnadsgrad, total-aciditet, Al, Na, K, Mg, Ca, Mg och Fe.

Syfte: Att klarlägga om det finns några samband mellan marktillstånd och trädvitalitet uttryckt t.ex. som kronutglesning, tillväxt eller bladverkets näringstillstånd samt att ge underlag för beräkningar av växtnäringsämnenas dynamik (tillsammans med data för deposition och markvattenanalyser).

Antal lokaler: 223.

Frekvens: Provtagningen har bara genomförts en gång. Möjlighet till upprepning finns dock.

Aktuella miljömål: Levande skogar, Ingen övergödning, Ett rikt djur och växtliv

Tillväxt

Mätprogram: Samtliga träd diamettermäts genom korsklavning i brösthöjd och på tio träd på varje yta mäts också trädhöjd och höjd för krongräns. Träd som har vuxit in i beståndet samt träd som dött noteras med koder som beskriver orsaker till bortfall/tillkomst.

Syfte: Trädens tillväxt är ett mått på hur det enskilda trädet och beståndet mår. Det är av stort intresse att studera hur trädens tillväxt varierar t.ex. med klimatförändringar och skadeepisoder.

Antal lokaler: 223.

Frekvens: Mätningar genomförs vart femte år

Aktuella miljömål: Ingen övergödning, Levande skogar, Begränsad miljöpåverkan

Vegetation

Mätprogram: Vid undersökning av markvegetationen på ytan mäts täckningsgraden av specifika arter i olika skikt. Täckningsgraden bedöms dels i nio stycken 1x1 meters stickprovsvytor och dels i stora 20x20 eller 30x30 meters ytor.

Syfte: Att karakterisera ytorna avseende vegetationstyper och artsammansättning i markvegetationen samt att kvantifiera långsiktiga förändringar i vegetationen och hur dessa kan re-

lateras till andra påverkansfaktorer t.ex. klimatfaktorer, atmosfärisk deposition och markförändringar.

Antal lokaler: 223, inventeringen är dock bara upprepad en gång på 20 ytor.

Frekvens: Mätningar genomförs vart femte år

Aktuella miljömål: Ingen övergödning, Levande skogar, Ett rikt djur och växtliv

Meteorologi

Mätprogram: Data inhämtas huvudsakligen från nationella mätstationer, som drivs av SMHI. För fyra obsytor görs direkta mätningar på plats vid s.k. ministationer. Syftet med dessa är i första hand att utvärdera hur officiellt nationella data kan extrapoleras till ytorna. Vid ministationerna mäts temperatur, nederbörd och relativ fuktighet.

Syfte: Inhämta underlag för utvärdering av förändringar i skogstillstånd och annan miljöövervakning som bedrivs på ytorna.

Antal lokaler: 11 ytor

Frekvens: Dagliga medelvärden

Aktuella miljömål:

Deposition

Mätprogram: Nederbörd och krondropp (nederbörd som passerat trädkronorna) samlas upp i insamlare med väl definierad insamlingsarea. Vid provtagning mäts volymen. Provets kemiska sammansättning analyseras och därefter kan deposition per tidsenhet och ytenhet beräknas för varje analyserat ämne. Nederbörd på öppet fält ger ett mått på nederbördens bidrag till depositionen, huvudsakligen våtdeposition. Krondropp ger ett bättre mått på den totala belastningen av ämnen som inte påverkas av interncirkulation eller upptag, såsom svavel och klorid. Resultat anges normalt i kg per hektar och år. Mätningarna har koncentrerats till svavel och kväve, men på vissa lokaler ingår även baskatjoner och totalt organiskt kol. Som komplement till mätningarna modellberäknas nedfallet av svavel och kväve sedan 2000 med rutnätet 5*5 km². Det nya programförslaget för Krondroppsnätet 2007-2010 omfattar dessutom bedömning av i vilken mån nedfallet av svavel och kväve överskrider kritisk belastning.

Syfte: Syftet är att beskriva nedfallets (depositionens) omfattning, regionala skillnader, utveckling i tiden samt effekter av surt nedfall.

Antal lokaler: Cirka 100 lokaler 2006. Reducerat antal från 2007.

Frekvens: Månatlig provtagning.

Aktuella miljömål: Ingen övergödning, Bara naturlig försurning, Levande skogar

Markvatten

Mätprogram: Markvatten provtas med hjälp av undertryckslysimetrar som suger vatten via ett fint, keramiskt filter (typ P80). Keramikroppen är placerad på 0,5 m djup, under den egentliga rotzonen. I varje skogsyta finns fem lysimetrar som sedan slås samman till ett samlingsprov från ytan. Vid provtagning suger de markvatten under två dygn. Jämförelser mellan olika lokaler sker oftast bäst genom beräknade långtidsmedianvärden eftersom dessa, till skillnad från medelvärden, bortser från enstaka extremvärden.

Syfte: Syftet är att få ett mått på skogsmarkens reaktion på nedfallet av luftföroreningar. Resultaten kan även användas för bedömning av risk för ekologiska skador och som underlag för beräkning av arealförluster av olika ämnen, exempelvis kväve, från skogsekosystemet.

Antal lokaler: Cirka 100 lokaler 2006. Reducerat antal från 2007.

Frekvens: Provtagning görs tre gånger per år. Proverna ska representera förhållanden före, under och efter vegetationsperioden.

Aktuella miljömål: Ingen övergödning, Bara naturlig försurning, Levande skogar, Grundvatten av god kvalitet

Lufthalter

Mätprogram: Lufthalter av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon mäts som månadsmedelvärde med hjälp av diffusionsprovtagare, ”passiva provtagare”, i ett öppet område i närheten av respektive skogsyta. Diffusionsprovtagare innebär att gasen fångas upp på ett filter, impregnerat med en kemikalie som kvantitativt absorberar den gas man vill analysera.

Syfte: Visa regionala skillnader och tidsutveckling avseende bakgrundsmiljöer.

Antal lokaler: 30-40 lokaler 2006. Cirka 15 från 2007.

Frekvens: Månatlig provtagning.

Aktuella miljömål: Frisk luft

Hur har data använts hittills?

Det huvudsakliga syftet med undersökningarna är att bidra med underlag för det miljöarbete som utförs på lokal, nationell och internationell nivå. Resultaten har använts i mycket varierande sammanhang, allt ifrån forskarrapporter med mycket specifika frågeställningar till internationell beskrivning över miljötillståndet i Europas skogar. Många redovisningar har syftat till att beskriva nedfallet av försurande luftföroreningar, dess variation i tid och rum samt markvattnets sammansättning på de olika lokalerna. Ett flertal rapporter har sökt samband mellan de olika variabler som undersöks. Materialet har även använts i forskningssammanhang, för att beskriva försurnings- och näringstillstånd i skogsmark, beräkning av kritiska belastningsgränser, i samband med budgetberäkning av näringsämnen i skogliga ekosystem etcetera. Data avseende nedfall av svavel och kväve har använts i många miljökonsekvensbeskrivningar, årliga kommunala miljöredovisningar och ingår i vissa fall som villkor för tillståndsprovad verksamhet.

Inom Sverige har data avseende deposition, markvatten och lufthalter utvärderats och rapporterats årligen till respektive län medan skogliga data har utvärderats vid specifika tillfällen. På europeisk nivå har ICP-Forests gett ut årliga rapporter sedan mitten av 1980-talet. Ett urval rapporter där data från de skogliga obsytorna har använts framgår av bilaga 1.

Koppling av obsytedata till andra mätprogram

223 obsytor är utlagda med objektiva metoder och enligt bestämda riktlinjer. Syftet är att de ska representera normalt brukad skog i bakgrundsmiljö i respektive region. För att öka möjligheten till generaliseringar, och att man ska kunna uttala sig allmänt om situationen i landet, vore det värdefullt att koppla data från obsyteprogrammet till andra mer heltäckande inventeringar som till exempel RIS (se sidan 47).

Markprovtagningen på obsytorna har genomförts delvis med samma metodik som i markinventeringen inom RIS. Det finns därför möjlighet att jämföra resultat mellan inventeringarna. Mer detaljerad markkemisk information från obsytorna och eventuella samband med

andra variabler bör då kunna generaliseras till arealer med motsvarande marktyper inom RIS. Eventuellt skulle man också kunna tänka sig att koppla obsytornas tillväxt och vitalitetsbedömning till de bedömningar som görs inom riksskogstaxeringen. Detta skulle öka möjligheten att analysera orsaker till skogsskador i större skala.

Vi har i detta projekt inte testat att göra en uppskalning eller analyserat inom vilka områden det är genomförbart och meningsfullt. Vi ser dock att det finns en potential som med rätt angreppssätt borde kunna ge mycket ny och intressant information.

En parallell till uppskalning är nedskalning. Vid en jämförelse mellan obsytorna och IM-programmets (se sidan 48) fyra ytor skulle man kanske på ett ekosystemmässigt sätt kunna förklara och bekräfta flöden och skeenden i obsytorna med hjälp av den intensiva övervakningen som görs på IM-ytorna. En svårighet med detta är att IM-ytorna utförs i områden utan normalt skogsbruk.

Aktuella miljömål

På Miljömålsportalen, www.miljomal.nu, står att läsa att indikatorn skall vara ”ett hjälpmedel som förmedlar information om miljöutvecklingen och ger hjälp i uppföljning och utvärdering”. Det är ofta vanskligt att välja ut enstaka indikatorer med tanke på att förhållandena i miljön är komplexa. En balansgång mellan vetenskaplig exakthet och hur lättillgängligt materialet är för en intresserad allmänhet och beslutsfattare är nödvändig. Detta gör att det i många fall kan vara lämpligt att välja ut en indikator för en generell presentation på miljömålsportalen men att en djupare utvärdering av bakomliggande parametrar är nödvändig för den slutliga bedömningen. Av Sveriges 16 miljömål har 8 valts ut för närmare diskussioner om möjlighet till uppföljning med hjälp av data från obsytorna. Även om några av de undersökta variablerna har bäring gentemot miljömålet *Levande sjöar och vattendrag* är det inte medtaget i nedanstående genomgång, vilket beror på hur miljömålet har formulerats och de delmål som finns angivna. I följande stycke diskuteras de 8 utvalda miljömålen och möjligheten för mätningarna från obsytorna att tillföra relevant information och utgöra indikatorer.

Begränsad klimatpåverkan

Definition

Målet innebär att ”halten av växthusgaser i atmosfären skall i enlighet med FN:s ramkonvention för klimatförändringar stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig”.

Inledning

Skogens tillväxt kan användas som mått på dess nettoupptag av kol och kortsiktig inbindning av kol i biomassa. Syftet är dock att målet skall nås utan kompensation för upptag i kolsänkor av denna kategori, vilket diskvalificerar skogens tillväxt som indikator för detta miljömål.

Utvärdering

Om kolsänkor i form av skogstillväxt och inbindning av kol i biomassa ändå skulle användas för att kompensera utsläppta ekvivalenter av koldioxid så utgör sannolikt data från Riksskogstaxeringen ett mer rikstäckande underlag på tillväxten och därigenom den totala inbindningen av kol i biomassan än vad mätningarna på obsytorna gör. En viktig process i sammanhanget är markandning. I sammanhanget är balansen mellan hur mycket koldioxid och andra klimatpåverkande gaser som binds in i vegetationen och hur mycket som avges via markandning viktig. Forskningsprogrammet LUSTRA är inriktat på skogsmark och dess flöde (upptag och avgivning) av växthusgaserna koldioxid, dikväveoxid (lustgas) och metan, samt söker svara på hur man genom lämplig skogsskötsel kan styra flödena bättre.

Slutsats

Data från obsytorna kan ge mer ingående kunskap om hur skogstillväxten i normalt brukad skog påverkas av väderlek, markförhållanden, näringstillstånd, nedfall av luftföroreningar skogskador etcetera, vilket kan nyttjas när man vill beräkna tillväxten för olika scenarier. På så sätt kan data från obsytorna indirekt bidra till att följa upp klimatmålet. Inom detta projekt specificeras dock ingen direkt indikator.

Frisk luft

Definition

Det nationella miljö kvalitetsmålet innebär att ”luften skall vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas”.

Ur ett generationsperspektiv innebär det att halterna av luftföroreningar inte ska överskrida lågrisknivåer för cancer eller riktvärden för skydd mot sjukdomar eller påverkan på växter, djur, material och kulturföremål. Riktvärden redovisas i separat tabell på portalen och är satta med hänsyn till personer med överkänslighet och astma.

För halterna av svaveldioxid, kvävedioxid, marknära ozon, partiklar (PM10) och benso(a)pyren finns uttalade nationella delmål.

Inledning

Att belysa luftföroreningarnas effekter på skogsekosystemen var huvudsyftet för miljöövervakningen på obsytorna när verksamheten etablerades. Detta styrde urvalet av ytor till att representera den dominerande luftföroreningsgradienten samtidigt som effekter från lokala utsläppskällor undveks. Mätprogrammen på obsytorna är inriktade på att mäta belastningen av luftföroreningar (deposition och lufthalter) och deras direkta och indirekta effekter på framför allt skogsträden (bl.a. vitalitet, synliga skador, tillväxt och näringsstatus i barr) samt mark (markkemi och markvatten). Obsyteprogrammet kan alltså ses som ett integrerat uppföljningssystem för en del av generationsmålet *Frisk luft*.

Lufthalter av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och marknära ozon i anslutning till de skogliga observationsytorna började mätas i mitten av 1990-talet. Sedan dess har mätningar gjorts på cirka 40 lokaler. Från 2007 har antalet lokaler reducerats till cirka 15 (9). Mätningarna, som utförs av IVL på uppdrag av Länsstyrelser, Luftvårdsförbund och kommuner, är direkt användbara för att följa upp miljösituationen i olika län.

Utvärdering

Lufthalter inom detta program mäts generellt med hjälp av diffusionsprovtagare (”passiva provtagare”) som genererar ett medelvärde för enskilda månader.

Krondroppsnetets mätningar av svavel- och kvävedioxid i bakgrundsmiljö illustrerar på ett tydligt sätt att halterna är långt under gällande nationella delmål 1 och 2 och att dessa miljömål redan är uppfyllda. De känns därför mindre relevanta att föreslå som nya indikatorer även om mätningarna är väl lämpade för uppföljning av dessa mål.

Svaveldioxid i bakgrundsmiljö i Sverige härrör till största delen från utländska källor och mätningarna har visat att halterna generellt varierar med en faktor tre från söder till norr. I södra Sverige har halterna visat värden runt $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och i norra Sverige har motsvarande

varit 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Halterna av kvävedioxid är mer påverkade av inhemska källor och halterna varierar i stora drag med en faktor tio; från 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i söder till 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i norra Sverige. På samma sätt som gäller flera övriga variabler inom de skogliga observationsytorna är halterna av svavel- och kvävedioxid intressanta som stöd vid tolkning av övriga parametrar samt för att följa tidsutveckling i bakgrundsmiljö (se Bilaga 3).

Marknära ozon, delmål 3

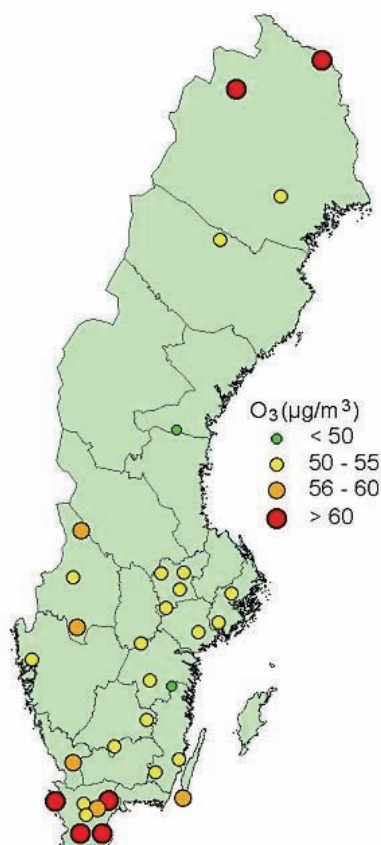
När det gäller marknära ozon (nationellt delmål 3) ska halten inte överskrida 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som medelvärde under åtta timmar. Förutsättningarna för regional uppföljning är begränsade eftersom det förutsätter kontinuerligt registrerande instrument. Genom samfinansiering mellan SLU och luftvårdsförbunden i Kronobergs och Jönköpings län finns ett kontinuerligt registrerande ozoninstrument i anslutning till en skoglig observationsyta i Asa i centrala Götaland. Dessa resultat bör användas som bakgrundsvärden för Jönköpings och Kronobergs län och utgör sannolikt ett bra referensmaterial för stora delar av de skogsdominerade delarna av Götaland. På portalen bör detta kunna redovisas på liknande sätt som idag, det vill säga ett diagram där antal dagar som gränsvärdet överskrids varje år. Kartan på portalen bör kompletteras med information från senaste årets mätningar för samtliga lokaler där data finns tillgängligt, till exempel en prick där storleken är proportionell mot antalet tillfällen då gränsvärdet överskrids. Dessa data finns dock generellt inte inom Krondroppsnätet utan hämtas från den nationella övervakningen. Sen bör man kunna klicka på de enskilda lokalerna och komma till ett enkelt diagram som visar hur halterna har varierat sedan mätningarna startade och en tabell som visar antal tillfällen då gränsvärdet överskridits under de år mätningar genomförts på just denna lokal. Av denna sida bör det också framgå var mätningarna utförs och vilken typ av miljö de representerar. Halterna av marknära ozon kan ofta visa stor variation till följd av bland annat topografiska förhållanden. För att åskådliggöra detta kan det i vissa fall vara lämpligt att redovisa data från upp till fem lokaler i ett diagram. Fliken fördjupning bör redovisa något om bildning/nedbrytning av ozon och eventuellt redovisa uppmätta halter i relation till antal soltimmar eller globalstrålning.

Marknära ozon, generationsperspektiv

I ett generationsperspektiv innebär miljö kvalitetsmålet *Friske luft* att medelvärdet för halten marknära ozon under sommarhalvåret (1 april-30 september) inte bör överskrida 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Figur 1 visar att denna nivå generellt sett överskrids i hela Sverige. Resultat från drygt 30 lokaler, redovisas på Krondroppsnätets hemsida och utgör ett gott underlag för att följa upp detta generationsmål i olika delar av Sverige (2).

Kartan visar att halten marknära ozon O_3 , uträknat som medelvärde under sommarhalvåret 1 april – 30 september, varit över generationsmålet om 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på i princip alla lokaler både i norra och södra Sverige. Kartan illustrerar situationen på olika lokaler/olika regioner och är väl avpassad för att följa upp detta miljömål.

För att marknära ozon skall bildas krävs bland annat solljus och halterna visar stor samvariation med antalet soltimmar (se bland annat 4, 5 och 6). Detta bidrar till att det krävs mycket långa tidsserier för att säkerställa utveckling i tiden. På portalen kan dock tidsutvecklingen på respektive lokal speglas genom att man klickar på respektive lokal och kommer till stapeldiagram som visar medelvärdet från tidigare sommarhalvår. Eventuellt kan antalet soltimmar/globalstrålning från näraliggande lokal redovisas i samma figur.



Figur 1. Lufthalter av marknära ozon under 1 april – 30 september 2005 var oftast över 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i bakgrundsmiljö. Mätt med diffusionsprovtagare och beräknat som medelvärde för månadsmedelvärden. Karta från Krondroppsnetzets hemsida (2).

Generationsmålen avseende medelvärde för enskild timme ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) eller åtta timmar ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kan följas upp på motsvarande sätt som redovisats för delmål 3 ovan.

På flertalet lokaler i Figur 1 analyseras halterna av marknära ozon året runt. Detta innebär att mätningarna från de skogliga observationsytorna även kan användas för att följa upp EUs ozondirektiv till skydd av material, enligt vilket medelvärdet av marknära ozon under ett kalenderår inte får överstiga $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Partiklar, PM10

När det gäller det nationella delmålet avseende halten partiklar i luft så finns inte dessa mätningar på de skogliga observationsytorna i dagsläget. Dock finns möjligheten att komplettera nuvarande mätningar med passiva provtagare för partiklar med syfte att följa upp årsmedelvärden i bakgrundsmiljö. Detta bör i så fall göras på nuvarande intensivytor (där Naturvårdsverket redan i dagsläget finansierar vissa mätningar). Data från den nationella övervakningen visar en regional variation i Sverige med ungefär dubbelt så höga halter i södra Sverige jämfört med norra Sverige. Som årsmedelvärden från 2005 redovisas $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Vavihill (Skåne), $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Aspvreten (Södermanlands län) och $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Vindeln (Västerbottens län). Resultaten från Aspvreten visar också successivt minskande värden från 1990 till 2005 (3).

Slutsats

Data från Krondroppsnetet kan användas i befintligt skick för att följa upp generationsmålet avseende sommarhalvårets halter av marknära ozon.

Resultaten kan också användas för att följa upp EUs ozondirektiv till skydd av material. För situationen inom det sydsvenska skogslandskapet finns ett mätinstrument som kontinuerligt registrerar halterna av marknära ozon. Dessa data kan direkt användas för att följa upp delmål 3.

Vidare har data visat att halterna av svavel- och kvävedioxid i bakgrundsmiljö ligger långt under gällande nationella delmål 1 och 2. Med tanke på de låga halterna föreslås de inte som nya indikatorer, även om möjligheten finns. Om ytterligare lokaler för mätning av PM10 i bakgrundsmiljö önskas rekommenderas att intensivytorna inom Krondroppsnetet kompletteras.

Vidare kan nämnas att obsytorna förmodligen skulle ge ett ganska omedelbart svar om luftföroreningarna påverkade skogens hälsa i någon akut och väsentlig grad.

Bara naturlig försurning

Definition

Det nationella miljö kvalitetsmålet innebär att försurande effekter av nedfall och markanvändning skall underskrida gränsen för vad mark och vatten tål. Nedfallet av försurande ämnen skall heller inte öka korrosionshastigheten i tekniskt material eller kulturföremål och byggnader. I ett generationsperspektiv gäller då att:

- Depositionen av försurande ämnen inte överskrider den kritiska belastningen för mark och vatten.
- Onaturlig försurning av markens motverkas så att den naturgivna produktionsförmågan, arkeologiska föremål och den biologiska mångfalden bevaras.
- Markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet.

Delmål 2 lyder enligt följande: Före år 2010 skall trenden mot ökad försurning av skogsmarken vara bruten i områden som försurats av människan och en återhämtning skall ha påbörjats.

Inledning

Specifika värden för vad mark och vatten tål har inte angetts. Generellt kan sägas att för svavel bestäms kritisk belastning i huvudsak av markens innehåll av utbytbara baskatjoner (vittringskapacitet) och för kväve bestäms kritisk belastning i huvudsak av vegetationens förmåga att tillgodogöra sig tillgängligt kväve och i vilken mån detta sedan förs bort från ekosystemet (skördas).

På cirka 100 lokaler i landet (Krondroppsnetet, där merparten lokaler är skogliga observationsytor) har nedfall av försurande svavel och kväve mätts till och med 2006. Från januari 2007 har detta antal reducerats. Flertalet lokaler har mätningar sedan 1996, men kortare och längre mätserier finns också, som längst från 1985. Mätningarna har hela tiden gjorts på samma sätt, vilket gör att resultaten är väl lämpade för att studera nedfallets utveckling i tiden. Som komplement till mätningarna utförs sedan 2000/2001 modellberäkningar av ned-

fallet med rutnät 5*5 km². Mätningarna kan användas för att visa nedfallets omfattning och tidsutveckling för respektive bestånd. Samtidigt utgör de oberoende mätdata och kan därigenom användas för att verifiera utförda modellberäkningar. Denna jämförelse är ytterst viktig för att nyttan av modellberäkningarna ska kunna bedömas. Om uppmätt och modellberäknat nedfall visar god överensstämmelse kan sedan modellberäknat nedfall på goda grunder summeras för exempelvis ett avrinningsområde, kommun eller län. På lokal/regional nivå kan nedfallet sedan relateras till kommunens/länets egna utsläpp av svavel och kväve. Generellt gäller att:

- Mätningar är bäst lämpade för att visa aktuella förhållanden i respektive bestånd samt utveckling i tiden. Dessutom är de viktiga för att verifiera modellberäkningar.
- Modellberäkningar är generellt sett mindre lämpade för att spegla utveckling i tiden, men viktiga för att ”skala upp mätningarna” till yttäckande information.

Beräkning av i vilken mån kritisk belastning av svavel och kväve överskrider ingår i det nya programförslaget för Krondroppsnätet 2007-2010. Om detta faller väl ut, och beräknat nedfall stämmer överens med uppmätt, bör detta utgöra ett gott underlag för att bedöma i vilken mån depositionen av både försurande och gödande ämnen överskrider kritisk belastning.

Askåterföring på arealer med grot-uttag är en viktig komponent när det gäller generationsmålet att ”markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet”. Någon direkt användning av nuvarande mätprogram för att följa upp detta delmål är svår att se. Däremot reviderar nu både Skogsstyrelsen och Luftvårdsförbund/Länsstyrelser sina mätprogram på de skogliga obsytorna och mätningarna kommer sannolikt att avslutas på ett flertal lokaler. Dessa utgör ett gott underlag för att studera effekter av spridning av aska, eller blandning av aska och kalk, i växande bestånd där man redan har tio års mätserie avseende bland annat barrkemi, markkemi och markvatten. Detta skulle vara ett kostnadseffektivt bidrag till ökad kunskap avseende omsättningen av viktiga mineralnäringsämnen i specifika skogsekosystem. Till skillnad mot de obsytor som lades ut 1984 är nuvarande obsytor utvalda för att representera bakgrundsförhållanden i normalt brukad skog och de är utlagda med objektiv urvalsmetodik. Vidare skulle man få ytterligare exempel på i vilken utsträckning tillförsel av aska och kalk motverkar nedfallets och ”markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten”. Kalk i första hand för att motverka effekterna av antropogen försurningsbelastning (öka basmättnadsgraden) och aska i första hand för att motverka antropogen och tillväxtbetingad näringsbortförsel (bevara markens naturgivna produktionsförmåga). Vid snabba besked om eventuell fortsättning bör nuvarande mätutrustning lämnas kvar, vilket gör en fortsättning billigare och enklare samtidigt som insamlingsmetodik etcetera förändras så lite som möjligt. Då finns också möjligheten att utnyttja nuvarande inoljade rutiner för provtagning med mera.

Markvatten från nivån 0,5 m ner i mineraljorden är generellt sett starkt påverkat av nedfallsbilden (både aktuell och historisk), markanvändning samt markens grundförutsättningar. Därigenom kan det användas som indikator på skogsmarkens status avseende näringsinnehåll och försurningsstatus och är väl lämpat för att följa upp delmålet ”att trenden mot ökad försurning av skogsmarken skall vara bruten i områden som försurats av människan och en återhämtning skall ha påbörjats”. Som alltid när det gäller utveckling i tiden är långa serier med obruten mätserie med samma (jämförbar) metodik viktigt. När tidsserierna blir långa kan det vara otillfredsställande att enbart titta på en övergripande trend för hela peri-

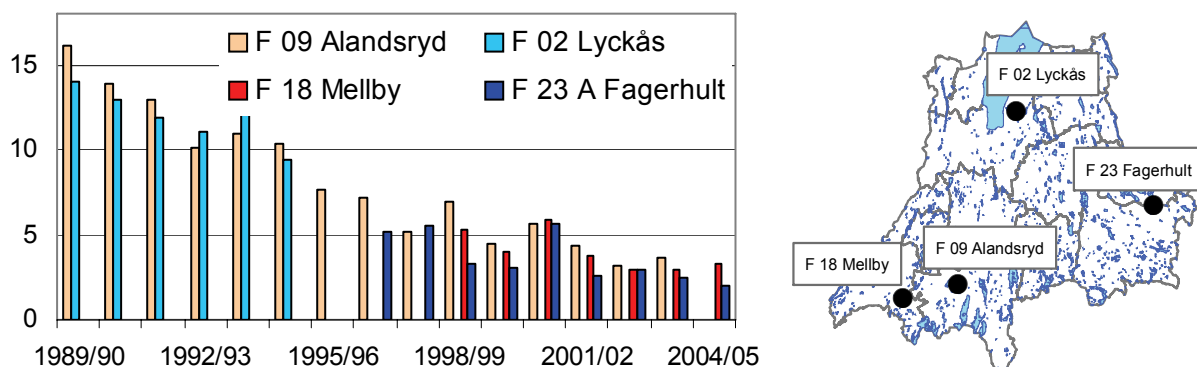
oden. Förhållanden kan ändras under tiden, vilket kan resultera i såväl uppåtgående som nedåtgående trender.

I samband med att lokalerna etablerades i mitten av 1990-talet gjordes en markkemisk undersökning. En upprepning med samma metodik vore värdefull för att se hur försurnings-situationen har förändrats (basmättnadsgrad, pH-värde etc.) på dessa lokaler där så mycket annan information finns tillgänglig.

Utvärdering

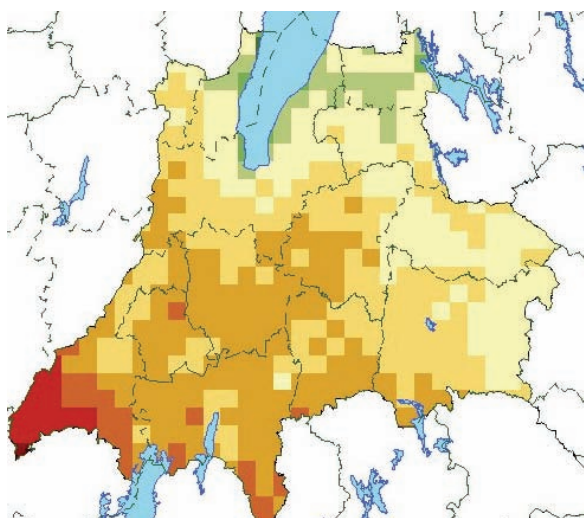
Deposition av försurande ämnen och kritisk belastning

Mätningarna inom Krondroppsnetet har visat att depositionen (nedfallet) av försurande svavel har minskat kraftigt sedan mätningarna startade i mitten av 1980-talet. Långa tidsserier är avgörande för att visa hur nedfallet förändras. I de fall olika lokaler avlöser varandra är det viktigt med minst ett års överlappande mätningar, för att bedöma hur nedfallet på de olika lokalerna förhåller sig till varandra, samt att veta om lokalerna är likvärdiga. Jämförelser av detta slag kan göras när det gäller nedfall men är betydligt vanskeligare när det gäller markvatten (se 7). Figur 2 exemplifierar hur nedfallets tidsutveckling kan presenteras för ett område, i detta fall Jönköpings län. Figuren illustrerar att nedfallet av försurande svavel har minskat kraftigt från början av 1990-talet till början av 2000-talet, från 13-14 till 3-4 kg/ha och år.



Figur 2. Nedfallet av försurande svavel har minskat kraftigt sedan 1989. Figuren anger kg/ha av försurande svavel (mätt som $\text{SO}_4\text{-Sex}$ via krondropp i granskog). Data från Jönköpings läns Luftvårdsförbund.

Resultaten presenteras på liknande sätt inom Krondroppsnetets årliga länsrapportering (t.ex. 8). Om antalet lokaler i ett län är få kan naturligtvis geografisk indelning ändras. De modellberäkningar som SMHI utför inom programmet för att ”skala upp” nedfallet på enskilda lokaler till större områden (regionaliserad MATCH-modell) ger en bättre uppfattning om nedfallets regionala variation. Den regionaliserade MATCH-modellen bygger på ordinarie MATCH-modell, men har upplösningen $5 \times 5 \text{ km}^2$ istället för $11 \times 11 \text{ km}^2$ och resultaten beräknas per hydrologiskt år istället för kalenderår. Syftet med hydrologiskt år är att man ska kunna verifiera modellberäknade resultat och jämföra dessa med uppmätt nedfall via krondropp. Ett hydrologiskt år omfattar perioden 1 oktober till och med 30 september och är en lämplig indelning för att en jämförelse mellan krondropp under olika år ska bli relevant. Figur 3 visar genomsnittligt nedfall inom en $5 \times 5 \text{ km}^2$ ruta med den blandning av skog och öppna områden som faktiskt finns i varje enskild ruta.



Figur 3. Modellberäknat nedfall av försurande svavel i Jönköpings län under hydrologiska året 2003/04. Beräkningar utförda av SMHI på uppdrag av IVL och Jönköpings läns Luftvårdsförbund.

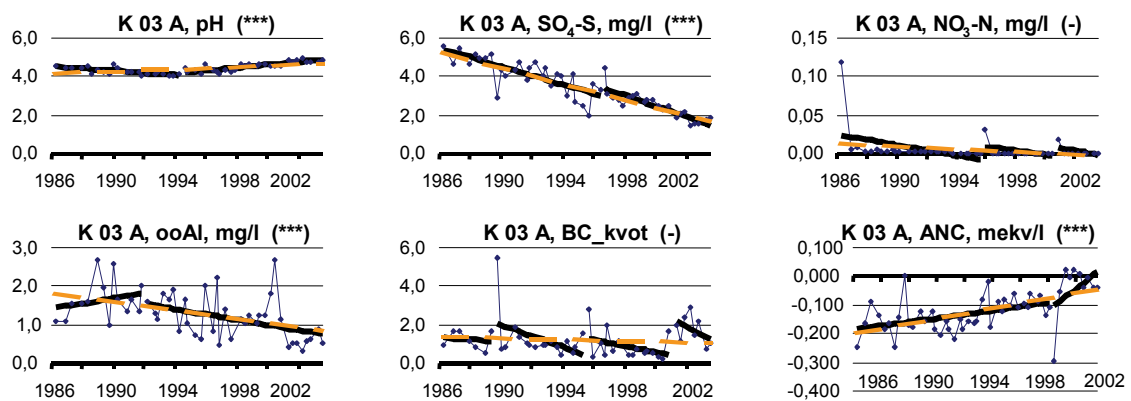
För varje enskild ruta i kartan finns beräknat nedfall i olika typer av miljöer; öppen mark, barrskog och lövskog. Dessa summeras i relation till aktuell markanvändning och slutresultaten anges i kartan ovan som genomsnittligt nedfall per hektar i varje ruta. För att verifiera modellberäknade värden krävs tillgång till data från ett tidigare skede av beräkningarna jämfört med vad kartan ovan visar. Modellberäkningens kategori "barrskog" bör jämföras med uppmätt svavelnedfall i den barrskogsyta som finns i samma ruta. På samma sätt bör man göra med nedfallet på öppet fält och i lövskog. En första jämförelse mellan uppmätta och modellberäknade värden gjordes 2003 (10). Den visade överlag god överensstämmelse för nederbördens bidrag till nedfallet av svavel och kväve. Däremot visade beräkningarna högre totaldeposition av sulfatsvavel till barrskog jämfört med vad mätningarna visade. Detta illustrerar att det är svårare att beräkna torrdepositionens omfattning. Intressant är, och viktigt i sammanhanget, att tidigare jämförelser mellan mätningar och resultat från ordinarie MATCH-modell har visat betydligt högre uppmätt svavelnedfall än vad modellberäkningarna visat. Ugglas jämförelse (10) belyste vissa tveksamheter, både avseende mätningar och beräkningar, och sedan dess har vissa förändringar genomförts. En ny jämförelse är viktig för att bedöma i vilken mån uppmätta och modellberäknade värden fram till och med hydrologiska året 2005/06 stämmer överens. Från och med 2007 kommer modellberäkningarna inom Krondroppsnätet göras på ett annat sätt och inkludera i vilken mån kritisk belastning av svavel och kväve överskrids. Även här är det viktigt att uppmätt och modellberäknat nedfall visar god överensstämmelse. Detta vore en styrka för helheten och ökar möjligheten att använda resultaten för att följa upp miljö kvalitetsmålet avseende kritisk belastning.

Bruten trend mot ökad försurning av skogsmark, delmål 2

Nedfallet av försurande svavel har minskat mycket kraftigt sedan mätningarna startade i mitten av 1980-talet. I det avseendet hände mycket mer under perioden 1985-1995 än under perioden 1995-2005. Det är därför rimligt att anta att responsen i markvattnet var tydligare under den första perioden. I takt med att tidserierna blir längre ökar sannolikheten att de innehåller olika perioder när halterna av enskilda ämnen ökar eller minskar. IVL har där-

för utvecklat en metod för att studera tidsutveckling inklusive eventuella trendbrott på enskilda lokaler. Metoden bygger på linjär regressionsanalys, där man särskiljer kortare perioder med signifikanta uppåtgående eller nedåtgående trender för att påvisa eventuella trendbrott (11). Materialet ger exempel på kategorier både med och utan trendbrott.

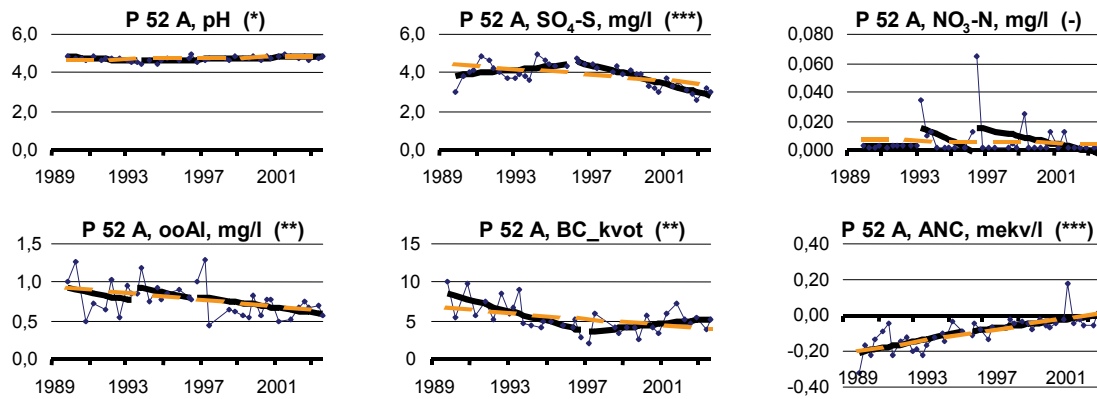
Hjärtsjömåla är en tallyta i Blekinge där mätningarna startade 1985. Markvattenmätningarna har generellt visat sura förhållanden med låga värden för pH och baskatjoner samt höga halter av oorganiskt aluminium. Figur 4 indikerar ett trendbrott omkring 1992-1995 med avseende på pH-värde och oorganiskt aluminium i markvattnet. Fram till 1994 sjönk pH-värdet successivt för att sedan vända och börja stiga. De statistiska beräkningarna visar snarast ökande halter av oorganiskt aluminium fram till 1992 och därefter har halterna sjunkit. Att halten oorganiskt aluminium ökade något fram till 1992 för att därefter sjunka, kan tolkas som ett tecken på att trenden mot ökad försurning har vänt eller att buffertbehovet har minskat i takt med minskat nedfall av försurande ämnen. Kvoten mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium används ofta som indikation på försurningsgrad och kvoter under 1 anses indikera risk för ekologiska skador i ekosystemet. I denna tallskog har kvoten hela tiden varit låg och tydlig tidsutveckling saknas. Markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) har dock ökat signifikant under mätperioden, vilket är positivt. Som regel noteras fortfarande negativa värden, det vill säga markvattnet saknar förmåga att neutralisera syror. Sjunkande halter av sulfatsvavel beror på minskat svavelnedfall.



Figur 4. Tidsutveckling för markvattnets pH-värde och halt av sulfatsvavel, nitratkväve, oorganiskt aluminium, kvot mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium samt syraneutraliserande förmåga (ANC) i tallskog i Hjärtsjömåla i Blekinge (K 03 A). Signifikanta trender för hela mätperioden indikeras med stjärnor. (Beräkningar och figurer från 11)

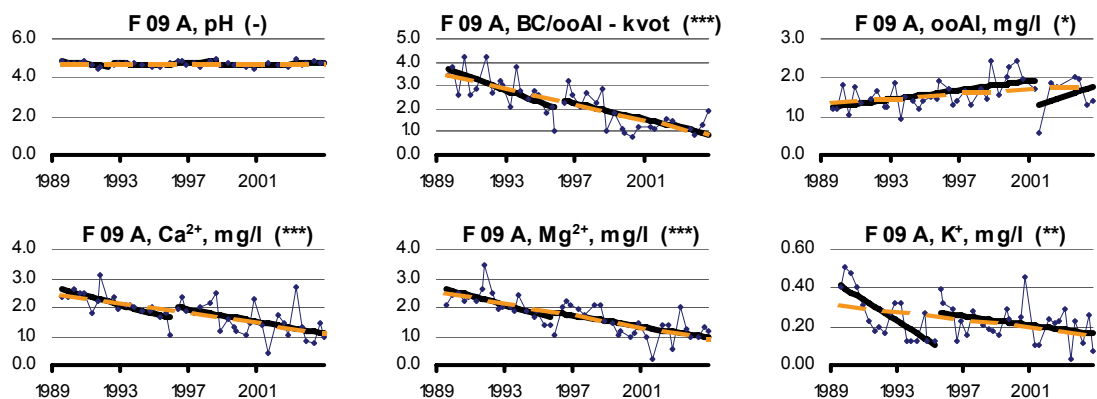
Resultat från en granyta i Västra Götalands län visar likartad utveckling. Trots hög belastning av försurande ämnen över lång tid är denna lokal mindre försurad än flertalet övriga i länet, vilket förklaras av bördig och välbuffrad mark på denna lokal. Sedan mätningarna startade i slutet av 1980-talet har markvattnets pH-värde ökat signifikant, vilket sannolikt förklaras av minskad svavelbelastning (11). Figur 5 och de statistiska beräkningarna visar ett trendbrott omkring 1993, med successivt surare markvatten mellan 1989 och 1993, och därefter minskad surhetsgrad. Detta indikerar att trenden mot ökad försurning på denna bördiga lokal har brutits, mätt som pH-värde i markvattnet. På samma sätt som för tallytan i Blekinge har markvattnets syraneutraliserande förmåga ökat signifikant över hela mätperioden. Beräkningarna visar inga enskilda perioder med annorlunda tidsutveckling. Halterna av sulfatsvavel visar ett trendbrott omkring mitten av 1990-talet; ökande halter fram till dess och därefter sjunkande. Till skillnad mot situationen på tallytan i Blekinge (Figur 4) vi-

sar kvoten mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium ett trendbrott (cirka 1997). Sett över hela mätperioden på denna granta har kvoten dock minskat signifikant, vilket indikerar ökad försurningsgrad. Detta är alltså något motsägande mot resultaten avseende pH-värde och syraneutraliserande förmåga, som indikerar minskad försurningsgrad. Detta illustrerar vikten av att använda flera olika variabler eller mätmetoder för att åskådlig göra försurningsutvecklingen.



Figur 5. Tidsutveckling för markvattnets pH-värde och halt av sulfatsvavel, nitratkväve, oorganiskt aluminium, kvot mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium samt syraneutraliserande förmåga (ANC) i en granta i Västra Götalands län (P 52 A Ösjö). Signifikanta trender över hela mätperioden indikeras med stjärnor. (Beräkningar och figurer från 11.)

Figur 6 visar resultat från en lokal som skiljer sig från de två tidigare och visar ett exempel med mycket surt markvatten i ett högt belastat område i södra Sverige. På denna lokal indikerar resultaten fortlöpande försurning trots minskat nedfall av försurande ämnen. Markvattnet 0,5 m ner i mineraljorden har hela tiden varit mycket surt och inga trendbrott har noterats, varken avseende pH-värde, halten oorganiskt aluminium eller BC/ooAl-kvot. Beräknad syraneutraliserande förmåga (ANC) saknas.



Figur 6. Trender och trendbrottsberäkning, markvatten från granskog i sydvästra Jönköpings län. (Opublicerade beräkningar och figurer från IVL)

Mark och markvatten är komplexa system och det är svårt att välja en enskild variabel för att följa upp om trenden mot ökad markförsurning är bruten. Kvoten mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium används ofta som indikation på försurningsläge. Kvoter under 1 anses medföra risk för ekologiska skador i ekosystemet. Figur 6 illustrerar att kvoten i detta

fall förklaras av en kombination av signifikant sjunkande halter av baskatjonerna kalcium, magnesium och kalium samt stigande halter av oorganiskt aluminium.

Även om uppmätt pH-värde kan tyckas vara ett något grovt mått så är det den mest publika variabeln att följa, och därför kanske mest lämpad för en presentation på portalen. För en säkrare beskrivning av förhållandena är det viktigt att följa fler variabler, exempelvis försurningsindikerande kvot mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium samt markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC). Möjligen bör även halterna av oorganiskt aluminium ingå som enskild variabel.

Slutsats

Uppmätt nedfall av svavel via kronddropp kan användas avseende försurningsbelastning och dess utveckling i tiden. Redovisning per län eller större område, jfr Figur 2.

Under förutsättning att uppmätta och modellberäknade värden stämmer väl överens kan beräkningarna användas för att illustrera den regionala variationen. Beräknade resultat från de enskilda rutorna kan sedan summeras för exempelvis en kommun, ett län eller ett avrinningsområde. Summerat nedfall per kommun eller län kan sedan jämföras med egna utsläpp för att beräkna om man är nettoexportör eller nettoimportör.

Kommande information om i vilken mån kritisk belastning av svavel överskrids är av stort intresse som indikator.

Angående delmål 2 och bruten trend mot ökad markförsurning är markvattnets försurningsgrad, inklusive beräkningar avseende trender och trendbrott, en lämplig indikator till Miljömålsportalens. För allmänheten bör situationen avseende pH-värden visas. För slutgiltig bedömning, och den mer insatte läsaren, bör även syraneutraliserande förmåga och försurningsindikerande kvot mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium finnas tillgängliga.

Gifrfri miljö

Definition

Det nationella miljö kvalitetsmålet innebär att miljön skall vara fri från ämnen och metaller som skapats i eller utvunnits av samhället och som kan hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Ur ett generationsperspektiv innebär det att halterna av ämnen som förekommer naturligt i miljön ska vara nära bakgrundsnivåer.

Inledning

Det finns ingen given koppling mellan det nationella målet och de mätningar som genomförs på Skogsstyrelsens permanenta observationsytor. Ska de användas behöver mätningarna kompletteras, till exempel genom analys av metallhalter i hus- eller väggmossa från området. Denna typ av komplettering genomfördes på obsytor i några län runt 1990-talet.

Mossan har sitt huvudsakliga näringsupptag från luften, och genom att analysera metallinnehållet i de två senaste årens tillväxt får man ett integrerat mått på nedfallet av respektive ämne under denna period. Aktuella nivåer och den generella utvecklingen av metallhalter i mossor finns väl beskrivet genom de återkommande undersökningar som sedan 1975 genomförts i mossprover från hela Sverige och som visas mycket illustrativt på IVLs hemsida

(12) . Dessa mätningar åskådliggör på ett tydligt sätt att luftburen spridning av kadmium och bly har minskat kraftigt i Sverige sedan 1975 (delmål 3).

Aluminium är ett mycket vanligt ämne i jordskorpan. Normalt förekommer det bundet i olika föreningar och inte som fria joner (13). Som en konsekvens av många års antropogen försurningsbelastning har dock halterna av fria joner ökat, mätt som oorganiskt aluminium i markvatten från obsytorna.

Utvärdering

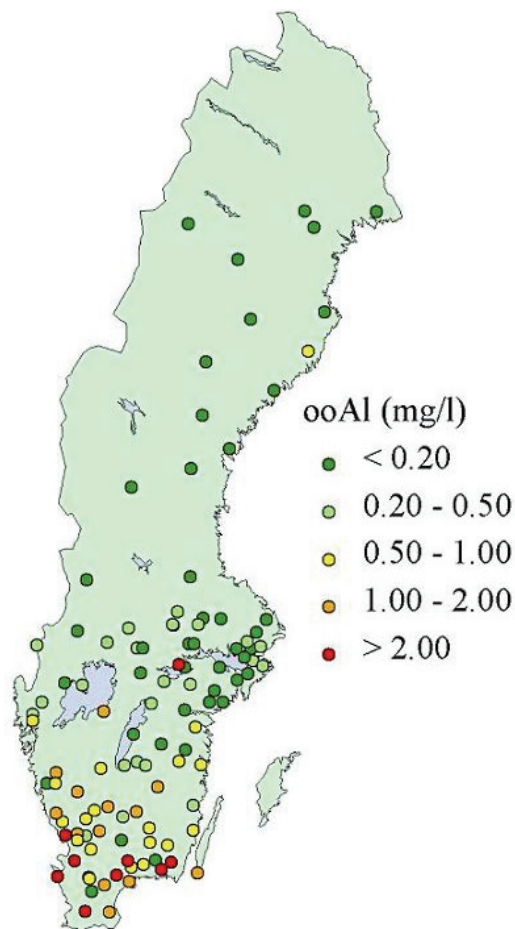
Nedfallet av tungmetaller i olika delar av Sverige speglas väl genom den nationella miljöövervakningen av halter i mossor (12). Cirka 700 lokaler ingår i programmet. Komplettering med ytterligare lokaler torde bara vara motiverat i områden med specifika problem.

Nedfallet av försurande ämnen har resulterat i att markernas förråd av basiska och buffrande ämnen har utarmats och markvattnet blivit surare. I takt med att detta förråd av utbytbara baskatjoner på markpartiklarna minskat aktiveras ett aluminiumbaserat buffertsystem.

Även detta motverkar försurning av markvattnet i samband med försurande nedfall, men resulterar även i förhöjda halter av oorganiskt aluminium i markvattnet. Figur 7 visar att halterna generellt är betydligt högre i markvatten från obsytorna i södra Sverige än i norra Sverige. Oorganiskt aluminium är toxiskt för många organismer och eftersom markvattnet är på väg mot omgivande yt- och grundvatten är dess halter och tidsutveckling intressanta ur ett ekotoxikologiskt perspektiv. Bland annat indikerar de hur ekosystemen i mindre bäckar i området kan påverkas. Resultat från Krondroppsnätet visar generellt fler lokaler med signifikant minskande halter än signifikant ökande halter av oorganiskt aluminium (14). Halternas utveckling i tiden presenteras förslagsvis enligt Figur 4 - Figur 6. På samma sätt kan kvoten mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium (BC/ooAl) användas för att bedöma risken för ekologiska skador i ekosystemet. Kvoten baseras på antalet mol av respektive ämne och kvoter under 1 anses medföra en ekologisk risk.

Slutsats

Ur ett ekotoxikologiskt perspektiv kan markvattnets innehåll av oorganiskt aluminium och kvot mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium användas som indikation på hot mot den biologiska mångfalden i ekosystemet och kringliggande vattendrag. Figur 7 illustrerar den regionala variationen över landet. Tidsutvecklingen i enskilda län/regioner kan belysas med hjälp av trendbrottsberäkningar från aktuella lokaler (se Figur 4 - Figur 6).



Figur 7. Halter av oorganiskt aluminium i markvatten från 0,5 m djup i mineraljorden. Medianvärden från provtagningar oktober 2002 till septembet 2005. (Figur från 2)

Ingen övergödning

Definition

Det nationella miljö kvalitetsmålet innebär att halterna av gödande ämnen i mark och vatten inte skall ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheter till allsidig användning av mark och vatten.

När det gäller generationsperspektivet nämns bland annat att:

- Belastningen av näringsämnen får inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa eller försämra förutsättningarna för biologisk mångfald.
- Nedfallet av luftburna kväveföreningar överskrider inte den kritiska belastningen för övergödning av mark och vatten.
- Skogsmark har ett näringstillstånd som bidrar till att bevara den naturliga artsammansättningen.

Inledning

Inom detta miljömål finns många kopplingar till nuvarande undersökningar. Det gäller främst relationen mellan kväve och kol i marken, kvävehalter i barr och markvatten samt nedfallet av kväve, där både uppmätta och modellberäknade värden finns tillgängliga och kan jämföras.

Relationen mellan kol och kväve (C/N) i humusskiktet används ofta som mått på markens kvävebalans. Kvoter under 25 anses indikera kväveöverskott och risk för arealförluster av kväve från ekosystemet.

På samma sätt kan kvävehalter i markvatten användas som mått på ekosystemets kvävebalans. Inom Krondroppsnetet (delmängd av SKS obsytor) tas markvatten från djupet 0,5 m ner i mineraljorden. Syftet med att ta proverna så långt ner är att trädens huvudsakliga näringsupptag sker i de övre marklagren (ner till cirka 0,3 m djup). Eftersom kväve är ett eftertraktat näringsämne innebär detta att markvatten från 0,5 m djup i princip inte ska innehålla något kväve alls. Vid detta djup har utbytet med vegetationen redan skett och vattnet är på väg till omgivande yt- och grundvatten. Nitratkväve har visat sig vara bättre indikator än ammoniumkväve och förhöjda halter av nitratkväve i markvatten från 0,5 m djup i obsytor ($>0,005$ mg/l) indikerar att tillgängligt kväve inte utnyttjas till fullo i ekosystemet (kväveöverskott/näringsobalans) samt förhöjda arealförluster av kväve från skogsmarken. Under senare halvan av 1980-talet noterades förhöjda halter av nitratkväve i markvatten från obsytor främst längs kusterna i södra Sverige. På senare år finns snarast tendenser till ökande arealförluster av kväve från obsytor med växande skog. Detta gör att markvattnets kvävehalter även kan bidra som underlag till att följa upp det nationella delmålet att ”senast år 2010 skall de svenska vattenburna utsläppen av kväveföreningar från mänsklig verksamhet till haven söder om Ålands hav ha minskat med minst 30 % från 1995 års nivå”.

Mätning av kvävenedfall på obsytor och näraliggande öppna fält är en bra grund för att följa upp atmosfäriskt kvävenedfall. Relationen mellan dessa båda miljöer ger en god indikation på kvävebalansen i området. Krondroppsmätningarna är påverkade av upptag och omvandlingsprocesser i trädkronorna, men ger ett relevant mått på nedfallet av kväve till skogsmarken. Nedfallet av oorganiskt kväve (ammoniumkväve och nitratkväve) visar en betydande gradient över landet, med betydligt högre värden i södra än i norra Sverige. Organiskt bundet kväve visar däremot inte lika tydlig gradient. Mätningar har i princip visat likartade värden i hela landet. Organiskt bundet kväve är därigenom procentuellt sett viktigare i norra Sverige, där den totala kvävebelastningen är betydligt mindre, än i söder. Till skillnad mot svavelnedfallet har uppmätt nedfall av oorganiskt kväve (summa ammoniumkväve och nitratkväve) varit på nästan samma nivå sedan mätningarna startade 1985 (11). Mätningarna representerar respektive lokal/bestand och bör därför kompletteras med modellberäkningar. Om utförda modellberäkningar kan verifieras med oberoende mätdata på ett antal lokaler är detta en god indikation på att de yttäckande resultat som modellberäkningarna ger också är relevanta. Generellt sett utgör mätningar med så likartad metodik som möjligt ett bättre sätt att studera utveckling i tiden än modellberäkningar. Förhållanden i atmosfären (både fysikaliska och kemiska) förändras i takt med att utsläpp av luftföroreningar förändras och ofta utvecklas och förbättras modellberäkningar och ger därigenom olika resultat. Detta leder till att jämförelsen mellan modellberäkningar och oberoende mätningar måste göras kontinuerligt, jämför avsnitt *Bara naturlig försurning*. Det är dock betydligt svårare att göra en relevant jämförelse mellan modellberäknat och uppmätt kvävenedfall än svavelnedfall.

Utvärdering

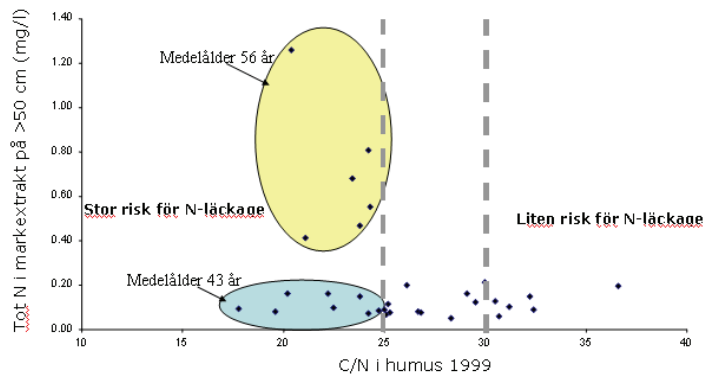
Halter av gödande ämnen i mark och vatten och skogsmarkens näringstillstånd

Data från de skogliga observationsytorna kan med fördel användas för att koppla samman data från olika program och på så vis ge en mer samlad bild av kvävetillgång och effekter i olika bestånd och olika delar av Sverige. Fyra olika variabler har valts ut.

- Kvoten mellan kol och kväve i humuslagret (C/N humus) speglar den relativa kvävetillgången och indikerar poolen av kväve i systemet.
- Kvävenedfall via kron dropp illustrerar belastning av kväve till marken i beståndet.
- Kvävehalter i årsbarr är en indikation på trädens näringsstatus.
- Kvävehalter i markvatten från 0,5 m djup i mineraljorden indikerar överskott av kväve och arealförluster av kväve från beståndet.

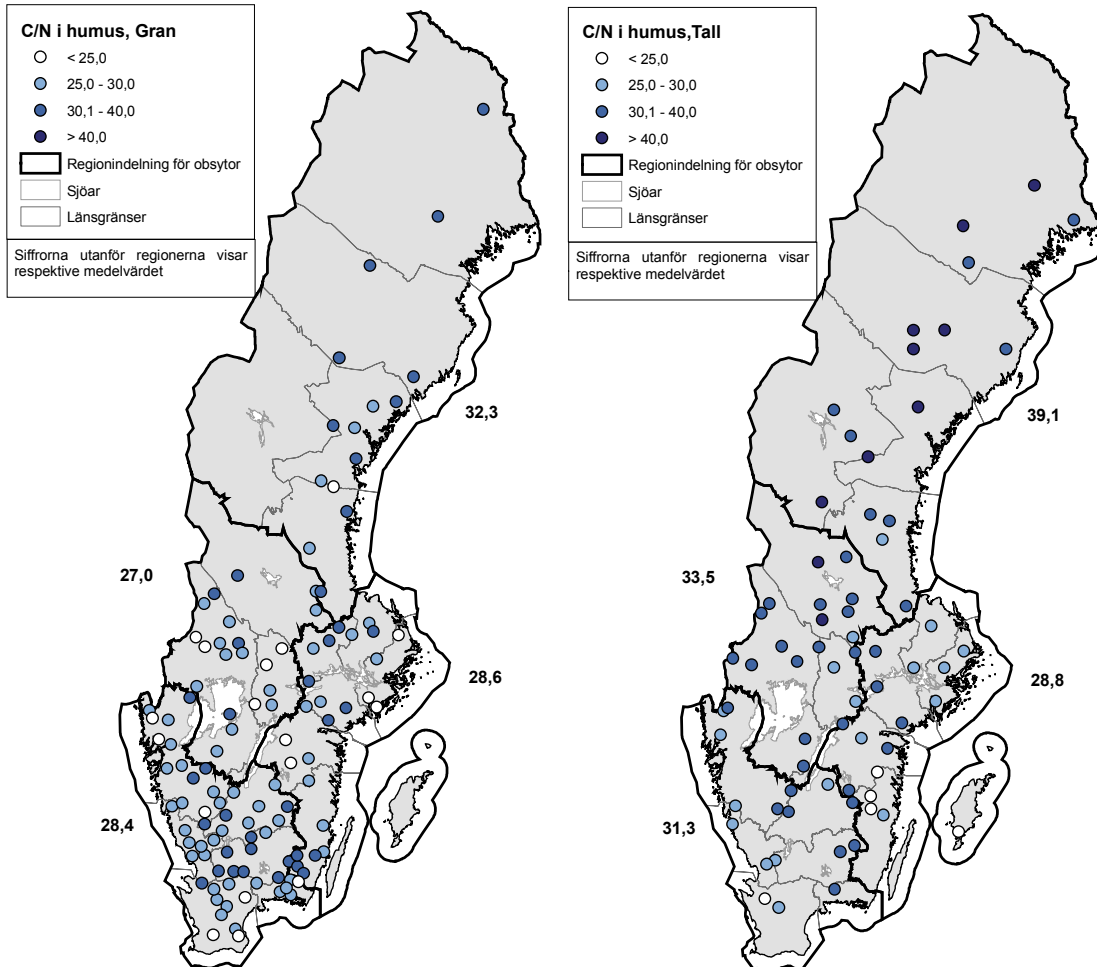
Kvot mellan kol och kväve i humuslagret, C/N humus

Kväve är ett eftertraktat växtnäringsämne. En snabb återvinning av kväve från nedbrutet organiskt material (förnedfall etcetera) är kännetecknande för skogsekosystem där kvävet är en av de viktigaste faktorerna som kontrollerar dynamik, biologisk mångfald och funktion. Idag har människans kvävefixering på global nivå – produktion av gödningsmedel, kvävefixerande grödor och förbränning av fossila bränslen – nått samma omfattning som den naturliga kvävefixeringen (15). Ett samband mellan ökad kvävetillförsel och minskad mykorrhizasvampinfektion och tillväxt av trädrotter har noterats (16), vilket även kan påverka upptag av vatten och andra näringsämnen. Ett kvävenedfall som är större än vad ekosystemet kan tillgodogöra sig bidrar till att kväve ackumuleras i växter och mark. Kväve stannar främst kvar i det organiska skiktet. Förhållandet mellan kol och kväve i humusskiktet (C/N) är en bra mätare på kvävetillståndet, åtminstone för barrskogar, och ett motsatsförhållande mellan denna kvot och nitratläckage kan konstateras. Kvoten kan därmed användas för att bedöma risken för arealförluster av kväve. Risken bedöms som liten om kvoten är över 30 och stor när kvoten är under 25 (bland annat i 17). Stora variationer förekommer dock beroende på skogens ålder och status i övrigt. Ett friskt och kraftigt växande bestånd minskar risken för arealförluster medan risken är betydligt större i ett äldre bestånd där tillväxten kanske har avtagit, eller om andra faktorer än kvävetillgång begränsar tillväxten. Figur 8 visar att vid likartad C/N i humus var risken för arealförluster av kväve större i barrskog med medelåldern 56 år än vid medelåldern 43 år (18).



Figur 8. Kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$, mg/l) i markextrakt från 50 cm djup i skånsk barrskog och dess relation till C/N i humus.(18)

Figur 9 visar att ett flertal av de skogliga obsytorna i södra och mellersta Sverige har en C/N i humus som är under 25, vilket i linje med ovanstående innebär förhöjd risk för arealförluster av kväve. Vidare visar figuren generellt lägre kvoter i granytorna, jämfört med i tallytorna. Sannolikt förklaras det till stor del av att granskog utgör ett effektivare filter för luftföroreningar än tallskog, vilket leder till större torrdeposition av kväve till marken i granskog än i tallskog. Resultaten bygger på den provtagning som gjordes i samband med att lokalerna etablerades 1995-97. Med samma motivering som under *Bara naturlig försurning* vore en uppföljande provtagning, med samma metodik, mycket intressant på dessa lokaler där man har tillgång till så mycket annan information, exempel kvävenedfallets omfattning och utveckling.

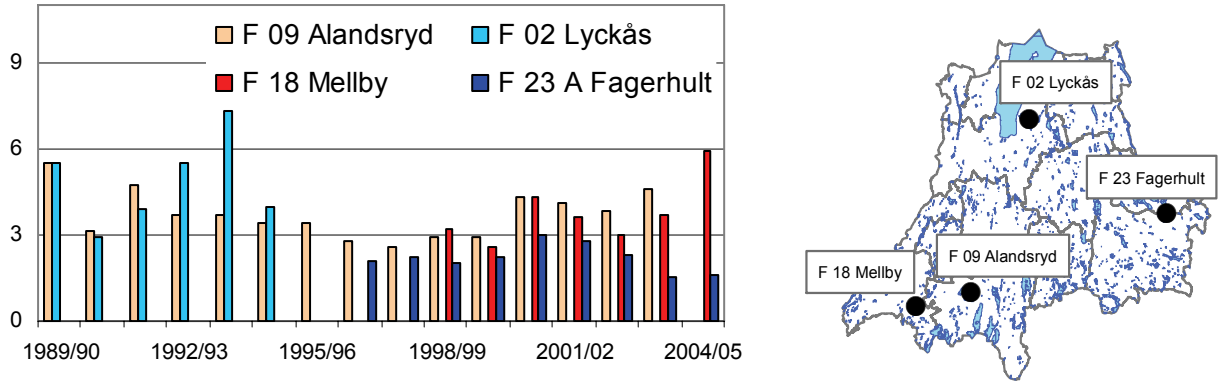


Figur 9. Kvot mellan kol och kväve i humusskiktet. Provtagning när ytorna etablerades 1995-97.

Kvävenedfall via kron dropp

Eftersom kväve så snabbt tas upp av vegetationen är det svårare att kvantifiera det totala nedfallet av kväve, jämfört med svavel som i betydligt mindre utsträckning påverkas av upptag eller omsättning i träd kronorna. I högt belastade områden noteras betydligt större nedfall till marken i skogen (kron dropp) än på ett näraliggande öppet fält. I lågt eller måttligt belastade områden är det tvärtom; högre värden på öppet fält än till marken i skogen (1, 19).

På senare år har de nederbördskemiska mätningarna på öppet fält avslutats på många lokaler inom Krondroppsnetet, till förmån för modellberäkningar. Krondroppsmätningarna ger dock en bra bild av det kväve som tillförs marken i skogen. Figur 10 visar att tidsutvecklingen inte alls är lika positiv som när det gäller nedfallet av svavel (Figur 2).

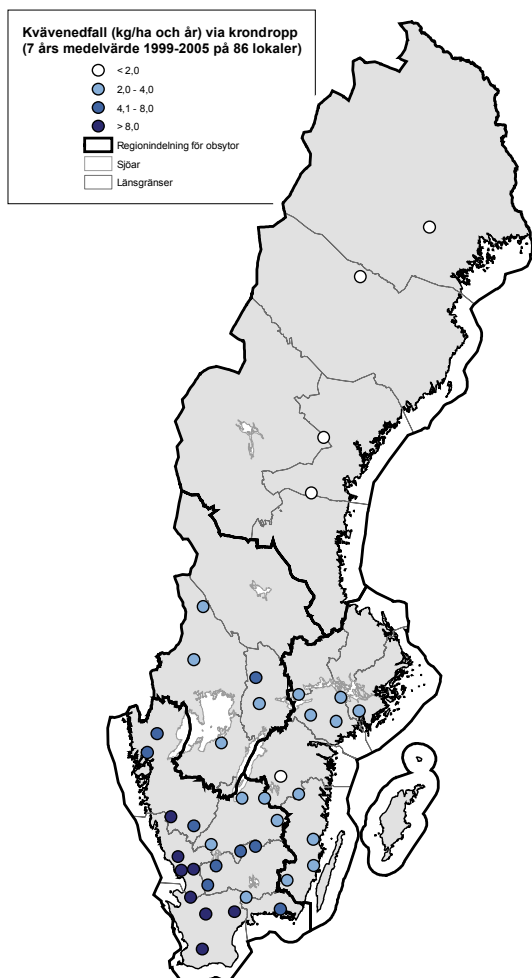


Figur 10. Nedfallet av oorganiskt kväve (kg/ha av $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NH}_4\text{-N}$ via krondropp i granskog) i Jönköpings län visar ingen tydligt tidsutveckling sedan mätningarna startade 1989. (Data från Jönköpings läns Luftvårdsförbund)

Figur 10 visar också att det kan vara ganska stora skillnader i kvävenedfallets omfattning mellan olika år, vilket främst gäller hydrologiska året 2004/05. Under sommaren 2005 noterades mycket ammoniumkväve på många lokaler i norra Götaland och mellansverige, vilket möjligen kan förklaras av riklig pollenförekomst (20). Generellt viktiga faktorer som kan förklara stora skillnader är omfattningen av episoder med intransport av förorenade luftmassor samt i vilken mån vegetationen har kunnat tillgodogöra sig tillgängligt kväve. Detta gör att ett medelvärde över flera år är bättre för att illustrera normalt kvävenedfall till marken i ett visst bestånd. Figur 11 visar en tydlig gradient med över 8 kg per hektar och år i sydvästra Sverige, 2-8 kg per hektar och år på merparten lokaler i Svealand och övriga delar av Götaland samt mindre än 2 kg per hektar och år på samtliga lokaler i Norrland. För figuren valdes tidsperioden 7 år med tanke på att få kombinationen av så många lokaler och så många år som möjligt.

På samma sätt som för svavel modellberäknar SMHI det totala nedfallet av oorganiskt kväve med hjälp av en regionaliserad MATCH-modell över enskilda län (jämför Figur 3). Även här är det viktigt att på något sätt kunna verifiera att modellberäknade och uppmätta resultat stämmer överens.

Tittar man separat på tidsutvecklingen av kvävenedfall till marken i skogen ser man en liten, men dock tydlig, minskning. Tabell 1 visar att för alla fyra miljöer (öppet fält, grann- och lövskog) har nedfallet av oorganiskt kväve minskat samtidigt som den totala mängden av nederbörd eller krondropp har ökat. Genomsnittlig förändring anger medelvärdet av regressionslinjens lutning på alla enskilda lokaler. De flesta lokalerna i tabellens två översta rader har en tioårig mätserie och lokalerna är utspridda i hela Sverige. Lokalerna i de tre nedersta raderna är inte lika många, men har en längre mätserie och är företrädesvis belägna i södra Sverige.



Figur 11. Årligt kvävenedfall via krondropp, kg per hektar och år. Mätt som summa nitratkväve och ammoniumkväve under sju hydrologiska år. (Data från Krondroppsnätet.)

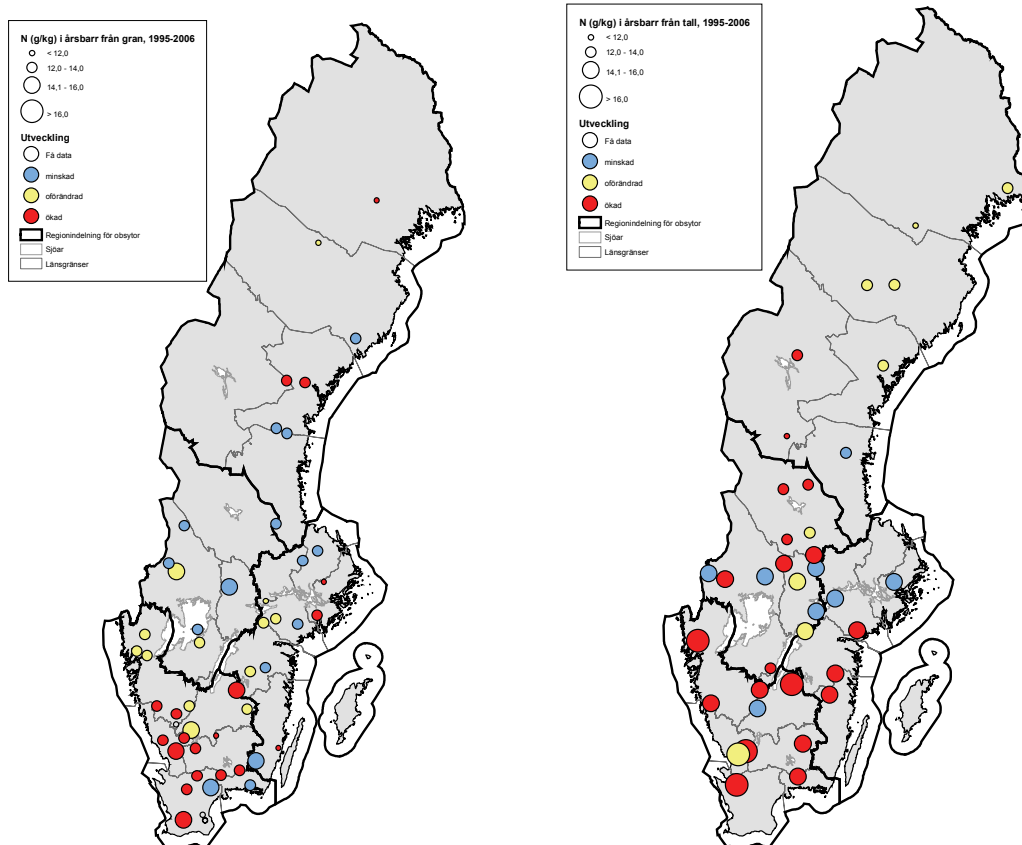
Tabell 1. Tidsutveckling och medelvärde för mängd nederbörd eller krondropp samt nedfall av oorganiskt kväve, mätt som summa nitratkväve och ammoniumkväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) på öppet fält samt i gran-, tall- och lövskog.

Miljö	Antal lokaler	Antal år	Nederbörd/ krondropp, mm/år	Genomsnitt- lig ändring mm/år	Oorganiskt kväve kg/ha * år	Genomsnitt- lig ändring kg/ha * år
Öppet	23	10-17	779	+14	7,8	-0,02
Gran	20	10-18	462	+3	4,6	-0,05
Gran	6	15-18	561	+7	7,1	-0,14
Tall	3	10-20	594	+5	6,5	-0,13
Löv	3	15-20	452	+1	7,1	-0,12

Kvävehalter i årsbarr

Den kemiska sammansättningen i trädens barr och blad är en viktig mätare på hur träden fungerar, särskilt vad gäller deras näringsförsörjning. Koncentrationen av näringsämnen i blad och barr ger information om brist eller överskott, antingen i absoluta värden eller i relation till andra ämnen. Koncentrationen av kväve och svavel är i hög grad påverkad av

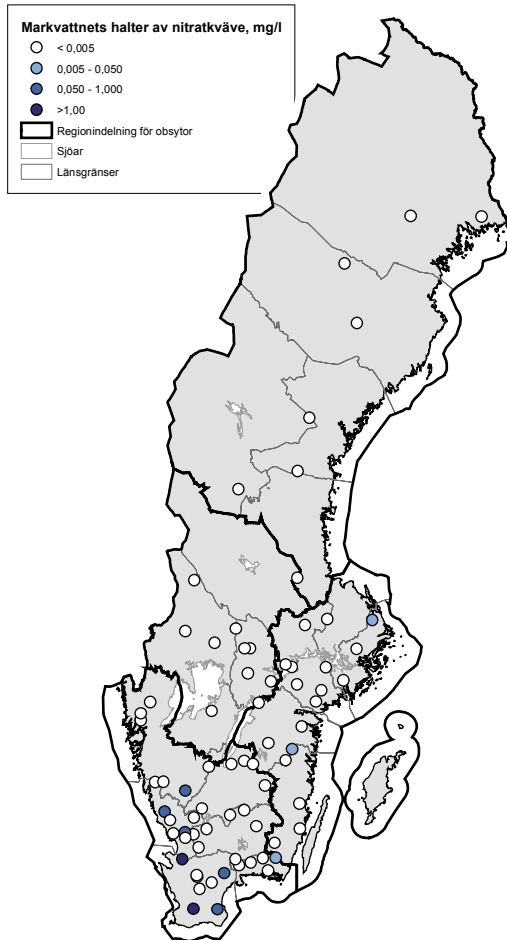
nedfallet av dessa ämnen. Innehållet av katjoner påverkas mer av hur stor mängden i marken är, än nedfallet av dessa ämnen (22). Ett flertal övriga undersökningar indikerar att kvävehalter i barr är starkt korrelerade till hur mycket kväve som finns tillgängligt i ekosystemet. Sannolikt är detta dock en sanning med modifikation som gäller under förutsättning att inga andra störningar finns i ekosystemet samt att andra näringsämnen finns i tillräcklig utsträckning. Kvävehalter över 15 mg/g anses indikera överskott på kväve och att överskottet lagras i form av aminosyran arginin och förhöjd risk för arealförluster av kväve. Arginindata från de skogliga obsytorna har inte tagits med i denna rapport på grund av osäkerhet i de första årens analysresultat. Figur 12 visar generellt högre och dessutom ökande kvävehalter i barr från södra Sverige jämfört med längre norrut. Detta är speciellt tydligt i de undersökta tallytorna.



Figur 12. Medelvärde av kvävehalter i årsbarr från gran (vänster) och tall (höger). Varje cirkel representerar medelvärdet från 4-5 provtagningar på respektive lokal. De två högsta klasserna (största cirklarna) indikerar förhöjd risk för arealförluster av kväve. Minskande, oförändrade eller ökande värden har baserats på linjär regressionsanalys.

Kvävehalter i markvatten

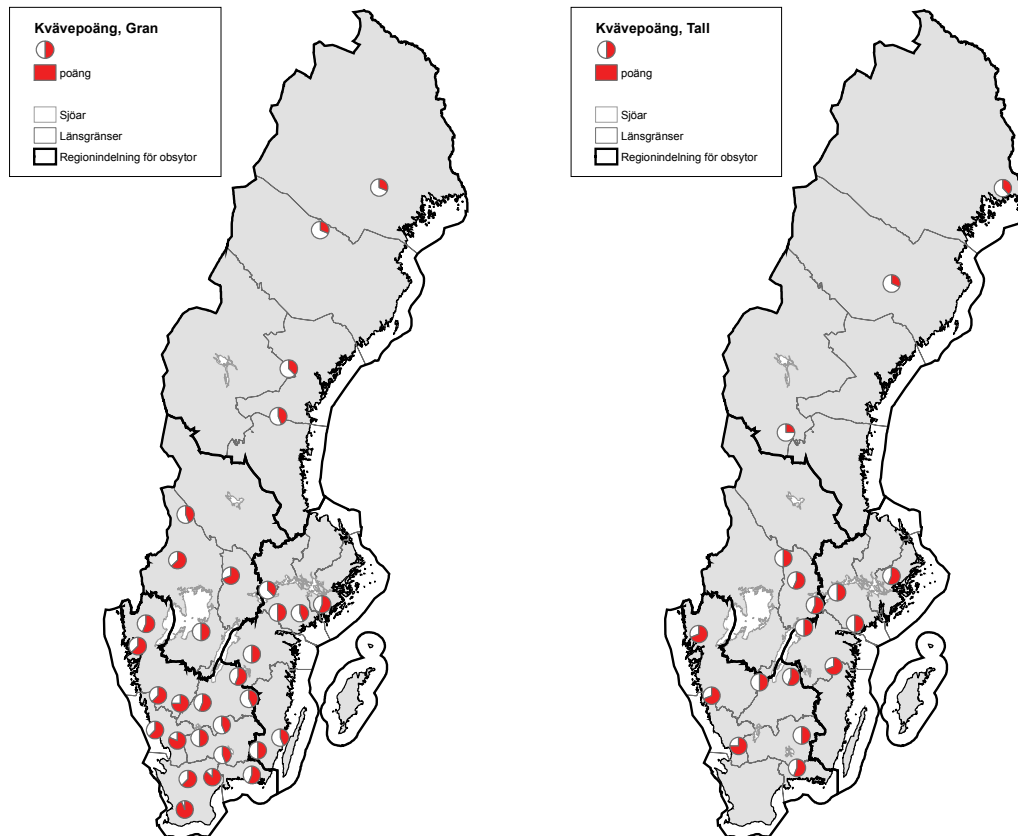
När förhöjda halter av kväve förekommer i markvatten från 0,5 m djup i mineraljorden indikerar detta att kvävet inte har utnyttjats effektivt av ekosystemet. Vidare indikerar det arealförluster av kväve från skogsekosystemet till omkringliggande yt- och grundvatten. Figur 13 visar att detta är vanligare i södra Sverige än längre norrut. På samma sätt som för oorganiskt aluminium (Figur 15) visar resultaten att riktigt höga halter av nitratkväve (>2 mg/l) i princip bara förekommer vid pH-värden under 5.



Figur 13. Halter av nitratkväve i markvattnen. Medianvärden från samtliga provtagningar på respektive lokal. (Data från Krondroppsnetet)

Sammanvägd bedömning – gödande ämnen

För en sammanfattande bedömning av kvävetillgången i de olika observationsytorna har var och en av ovanstående fyra variabler klassats i en 4-gradig skala, där 1 indikerar ringa kvävetillgång och 4 hög tillgång. För en sammanvägd bedömning har dessa summerats rakt av, utan bedömning om vilken som är mest betydelsefull, Figur 14 illustrerar att den totala kvävetillgången mätt på detta sätt är betydligt större i södra Sverige än i norra. Som alternativ till figurens pajdiagram skulle ett medelvärde för klassningen för de olika variablerna kunna anges. Figuren illustrerar dock tydligt att risken för negativa effekter, i form av förhöjda arealförluster av kväve, är betydligt större i södra än i norra Sverige. Även utan förhöjda arealförluster av kväve indikerar höga värden en ökad risk för onormala förändringar avseende den biologiska mångfalden på lokalen, vilket gäller såväl växter som djur. Betydande förändringar av detta slag har redan ägt rum i stora delar av södra Sverige. Med oförändrat kvävenedfall ökar risken för onormal påverkan på växt- och djursamhällen även längre norrut i landet.



Figur 14. Kvävetillgång i olika bestånd baserat på data avseende C/N i humus, kvävenedfall, kvävehalter i årsbarr samt kvävehalter i markvatten från 0,5 m djup i mineraljorden. (Data från Skogsstyrelsens mätningar och Krondroppsnetet)

Figur 14 bör vara lämplig för att på ett enkelt sätt visa den intresserade allmänheten hur den totala kvävetillgången varierar i skogsmark för olika delar av Sverige. För den som vill veta mer bör man kunna klicka sig vidare och komma till kartor som visar hur de enskilda parametrarna varierar över landet (Figur 9, Figur 11 - Figur 13), alternativt gå in på en enskild lokal och se klassningen för de olika parametrarna för just det beståndet. Här bör även finnas ytterligare information om de olika variablerna.

Vissa bestånd i södra Sverige är sannolikt begränsade av fosfor istället för av kväve. Detta gör att relationen mellan kväve och fosfor i humusskiktet är en tänkbar variabel som skulle kunna ingå i helhetsbedömningen (figur i Bilaga 3). Detta torde stärka gradienten som visas i Figur 14 och kan vara en möjlighet inför framtiden.

Nedfallet av luftburet kväve ska ej vara över kritisk belastning

På samma sätt som för svavel omfattar det nya programmet för Krondroppsnetet under perioden 2007-2010 (23) beräkning av risk och prognoser för att den kritiska belastningsgränsen för kväve överskrids på regional nivå. Jämförelser mellan uppmätt och modellberäknat nedfall av kväve bör göras med jämna mellanrum. Om resultaten stämmer väl överens bör beräkningarna bli ett användbart verktyg som direkt svarar mot miljö kvalitetsmålet ur ett generationsperspektiv, dvs att ”Nedfallet av luftburna kväveföreningar inte överskrider den kritiska belastningen för övergödning av mark och vatten någonstans i länet”. Modellberäknad risk för överbelastning bör också jämföras med uppmätta data avseende C/N i humus samt kvävehalter i barr och markvatten.

Slutsats

För att illustrera kvävetillgången i skogsmiljö för en intresserad allmänhet rekommenderas en figur med sammanvägd bedömning för presentation på miljömålsportalens hemsida (exempelvis enligt Figur 14). Möjligheter att klicka sig vidare för ytterligare information om ingående variabler, deras variation över landet och hur de har utvecklats sedan mätningarna startade bör finnas för den mer insatte läsaren.

Kommande beräkningar inom Krondroppsnätet bör vara väl lämpade som indikator på att nedfallet av luftburna kväveföreningar inte överskrider den kritiska belastningen för övergödning. Resultaten bör presenteras både för landet som helhet och länsvis på portalens hemsida. Nyttan av beräkningarna förutsätter att uppmätta och modellberäknade värden avseende nedfallets omfattning stämmer väl överens.

Grundvatten av god kvalitet

Definition

Det nationella miljö kvalitetsmålet innebär att ”grundvattnet skall ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag”. Ur generationsperspektivet innebär det att ”grundvattnets kvalitet påverkas inte negativt av mänskliga aktiviteter som markanvändning, uttag av naturgrus, tillförsel av föroreningar m.m”. Vidare gäller att ”Det utläckande grundvattnets kvalitet är sådant att det bidrar till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag”.

Inledning

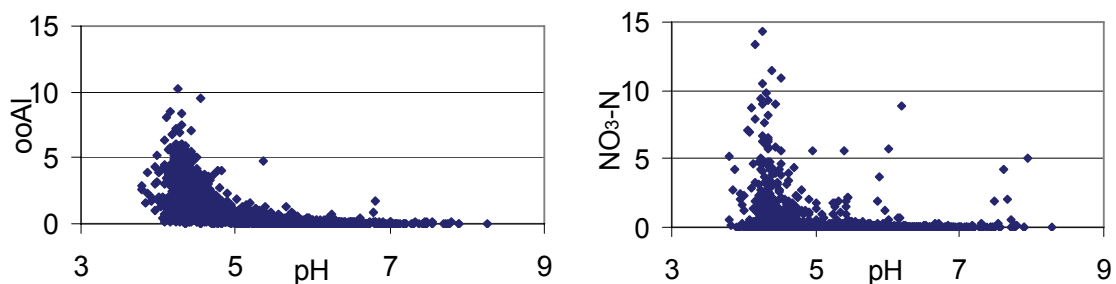
Markvatten från 0,5 m djup i mineraljorden har lämnat den mest aktiva zonen inom ekosystemet och är på väg till omgivande yt- och grundvatten. Detta innebär att tillståndet i, och utvecklingen av, markvattnet kan användas som indikation på hur grundvattnet kommer att förändras. Grundvattnets kvalitet är dock stabilare och förändringar där går mycket långsammare. Ett tydligt exempel är att markvatten från skogsytorna som avverkats visar förhöjda kvävehalter närmast efterföljande år, vilket stämmer väl överens med de ökade arealförluster som generellt noterats i bäckar från hyggen. Det är rimligt att grundvattnet påverkas i samma riktning som bäckarna även om den typen av undersökningar inte har genomförts inom programmet för de skogliga obsytorna. När det gäller försurningsstatus har samband med ytavrinningen inte visats lika tydligt, men surt markvatten (låga pH-värden och höga halter av aluminium) bör rimligtvis indikera att grundvattnet påverkas i den riktningen. Markvattnets sammansättning är mer relevant för att studera generationsmålet hur ”mänskliga aktiviteter som markanvändning” påverkar grundvattnets kvalitet än målet avseende utläckage av grundvatten.

Utvärdering

Bidrag till god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag

När det gäller grundvattnets kvalitet har mycket kretsat kring surhetsgrad och kvävehalter. För dricksvattenförsörjning, och bland de variabler som undersöks i markvatten från obsytorna, kan även järn och mangan ställa till problem. För att bedöma grundvattnets på-

verkan på livsmiljön för växter och djur i sjöar och vattendrag är sannolikt nitratkväve och försurningsparametrar (inklusive aluminium) mest aktuella. De markvattenprovtagningar som görs visar aktuella halter vid respektive provtagningstillfälle. Det är betydligt svårare att beskriva aktuella flöden, till exempel hur stora mängder av nitratkväve som transporteras bort från ett skogsbestånd, ner till grundvattnet eller till omkringliggande ytvatten. Flertalet obsytor ligger på moränmark, som utgör en stor del av landets yta och därigenom har stor betydelse för ytvattendragens kemiska sammansättning. Omsättningstiden för grundvatten är dessutom betydligt kortare i morän än i stora sand- och grusavlagringar, vilket gör att SGU pekar ut dem som lämpliga för att identifiera trendbrott avseende grundvattnets kemiska sammansättning (21). Figur 15, med data från Krondroppsnätet (cirka 4 000 provtagningar) visar att de riktigt höga halterna av oorganiskt aluminium och nitratkväve (> 2 mg/l) endast förekommer vid låga pH-värden i markvattnet.



Figur 15. Samband mellan oorganiskt aluminium och pH-värde, respektive nitratkväve och pH-värde i markvatten från de skogligena obsytor. Data från cirka 4000 provtagningar inom Krondroppsnätet.

Halter av olika ämnen och deras tidsutveckling kan presenteras på samma sätt som redovisats tidigare; Sverigekartor för aktuella halter (exempel i Figur 7) och beräknade trender och trendbrott för olika lokaler i utvalda områden/regioner (Figur 4 - Figur 6). För en tydligare koppling mellan markvatten och grundvatten skulle ett urval obsytor (förslagsvis de tio intensivytorna) kunna kompletteras med mätningar av grundvattnets sammansättning.

Slutsats

Uppmätta pH-värden samt halter av kväve och oorganiskt aluminium kan användas som indikation på hur, och i vilken riktning, grundvattnet påverkas. För en tydligare koppling kan vissa lokaler kompletteras med grundvattenrör.

Levande skogar

Definition

Det nationella miljö kvalitetsmålet innebär att ”Skogens och skogsmarkens värde för biologisk produktion skall skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras samt kulturmiljövärden och sociala värden värnas”. Ur ett generationsperspektiv innebär det att ”Skogsmarkens naturgivna produktionsförmåga bevaras och att skogsekosystemets naturliga funktioner och processer upprätthålls”.

Inledning

Många av de variabler som undersöks inom Skogsstyrelsens observationsytor är väl lämpade för att bedöma skogarnas status.

- Markkemiska förhållanden kan användas för att bedöma det nationella målet avseende skogsmarkens värde för biologisk produktion. Förutom basmättnadsgrad, pH-värde och innehåll av mineraler kan förhållanden mellan olika ämnen indikera eventuell obalans mellan olika ämnen i marken (och därigenom förändrade förutsättningar för biologisk produktion).
- Barrkemiska data kan användas för att visa näringsstatus i träden och indikera eventuella obalanser som påverkar trädens vitalitet.
- Graden av kronutglesning utgör ett samlat mått på skogens vitalitet även om inte orsaken framgår. Ringa grad av kronutglesning kan alltså användas som mått på att skogsekosystemets naturliga funktion och biologiska produktion upprätthålls.
- På samma sätt kan markvattnets sammansättning indikera eventuella störningar i skogsekosystemet. Till exempel visar höga halter av nitratkväve i markvattnet onormala arealförluster av kväve och att kvävet inte utnyttjas effektivt av vegetationen. Detta förekommer ofta i områden med hög kvävebelastning, men om det förekommer i områden med låg till måttlig kvävebelastning indikerar det någon typ av störning i ekosystemet.

I dessa sammanhang vore det värdefullt med en tydlig koppling mellan resultat från Rikskogstaxeringen, med sitt mycket omfattande stationsnät, och de skogliga observationsytorna, med fler variabler på samma lokal, återkommande besök, möjligheter att studera samband/samvariation mellan olika variabler och i vissa fall möjlighet att göra budgetberäkningar över ämnestransporter.

Tidigare studier har gjorts för att hitta samband mellan kronutglesning och miljötillstånd och tydliga kopplingar noterades även om det har varit betydligt svårare att säkerställa verkliga samband och inte bara samvariation mellan olika variabler (19). Inga tydliga samband noterades heller mellan markvattnets sammansättning på 0,5 m djup och träd tillväxt eller kådflöden i försurad granskog. Detta förklaras sannolikt av att näringsupptaget sker i humustäcket och den övre delen av mineraljorden, där förhållandena är annorlunda än 0,5 m ner i mineraljorden. Trots att tillståndet för mark och markvatten måste betraktas som alarmerande i södra Sverige (låga pH-värden och höga halter av oorganiskt aluminium) verkar granskog vara tålig mot dessa förändringar (24, 25, 26).

Utvärdering

Skogens och skogsmarkens värde för biologisk produktion

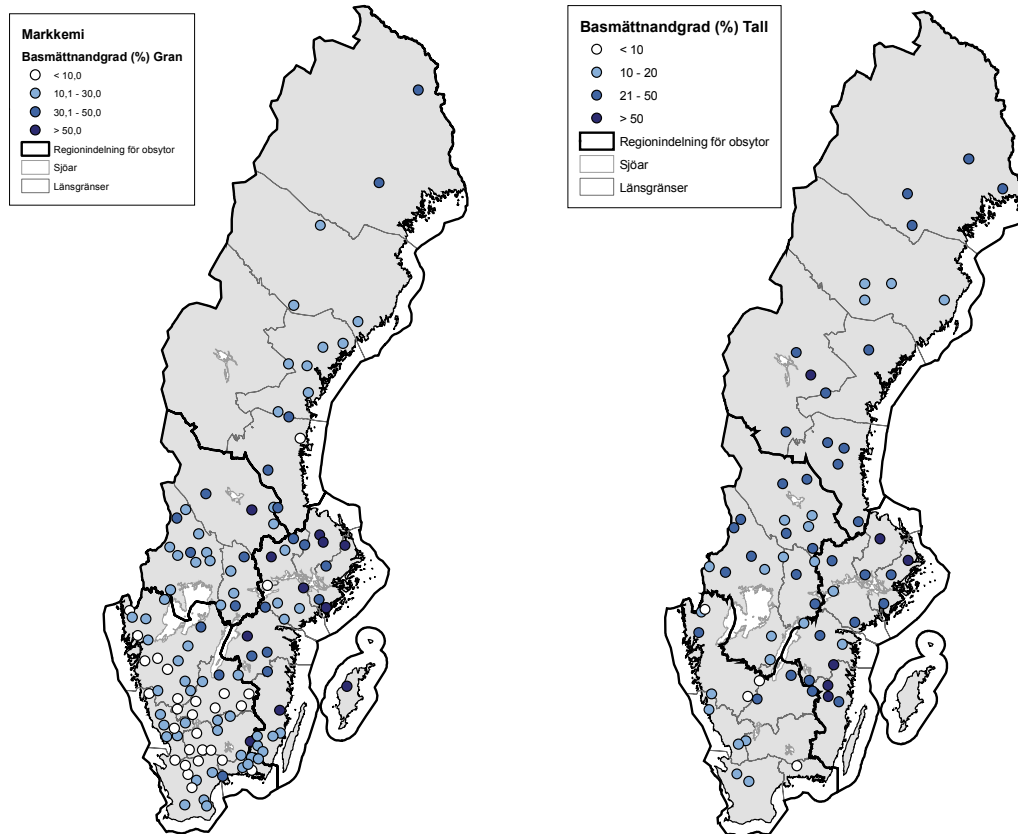
Markkemiska förhållanden

Markens basmättnadsgrad beskriver andelen utbytbara baskatjoner i relation till samtliga utbytbara positivt laddade joner som är bundna till markpartiklarna. Nedfallet av försurande ämnen har gjort att markernas förråd av utbytbara baskatjoner, och basmättnadsgrad, har minskat (29). Undersökningar har visat att basmättnadsgraden i mineraljord i princip halverats från 1982 till 2000 (30), det vill säga försurningsgraden har ökat. Dessa resultat baseras på mineraljordsprov från 0,3-0,5 m djup på cirka tio referensytor i södra och mel-

lersta Sverige. Lokalerna har använts som referensytor i samband med tidigt utförda försök med skogsmarkskalkning där återbesök gjordes 1982 och 2000.

Basmättnadsgraden på de skogliga observationsytorna undersöktes i samband med att ytorna etablerades 1995-1997. Figur 16 visar generellt lägre basmättnadsgrad i mineraljord från 0-10 cm djup i granskog från sydvästra Sverige än från landets norra och östra delar. Nivån 0-10 cm djup har valts med tanke på att det är där de största förändringarna kan förväntas, samtidigt som provtagningsmetodiken ger ett säkrare resultat från denna nivå (15-20 delprov per lokal) än från nivån 20-40 cm djup (1 grävd provgrop per lokal). Motsvarande karta för pH-värde i mineraljorden visar samma bild (sidan 2 i bilaga 3). Omdrev vore mycket intressant för att studera förändringen som sannolikt är större i mineraljord från nivån 0-10 cm än vid djupet 20-40 cm. Extra intressant med tanke på att tillväxtnätningar (mått på biologisk försurning) finns att tillgå på samtliga lokaler och antropogen försurningsbelastning finns uppmätt på en delmängd av ytorna.

Humuslagrets kvot mellan kol och kväve, som föreslagits under miljömålet *Ingen övergödning*, bör också vara användbar för att illustrera normal balans mellan dessa ämnen (se Figur 9).

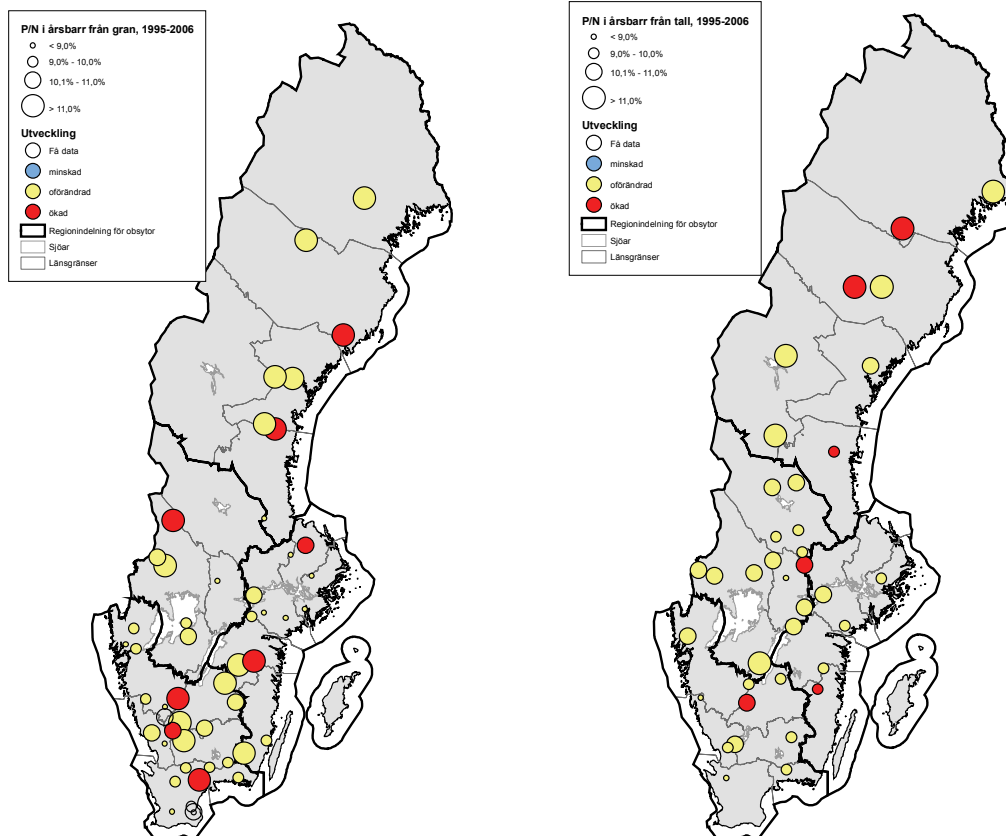


Figur 16. Basmättnadsgrad (%) vid provtagning 1995-1997. Mineraljord från 0-10 cm djup i obsytor med granskog (vänster) och tallskog (höger).

Barrkemi och näringsbalans

Många års belastning av försurande ämnen, fortsatt hög kvävetillgång och perioder med mildare vintrar och längre vegetationsperioder kan påverka näringsbalansen i det skogliga ekosystemet. Belastningen av försurande ämnen har medfört att markernas förråd av buffrande baskatjoner har minskat. Riklig kvävetillgång har medfört ökad tillväxt, och därigenom ökat upptag av baskatjoner och mikronäringsämnen i biomassan, vilket i sin tur på-

verkar balansen mellan olika ämnen. Innehållet av olika näringsämnen i barr, och förhållandet mellan dem, kan användas som indikation på förutsättning för att naturliga funktioner och processer upprätthålls. I Skåne noterades drastisk minskning av kvoterna mellan kalium och kväve respektive fosfor och kväve mellan 1985-1990 (32). Figur 17 och Figur 18 visar kvoterna och deras tidsutveckling under perioden 1995-2006 på de skogliga observationsytorna. Mest påtagligt är ökad kvot mellan kalium och kväve i tallytor från hela landet och minskad kvot i granytor från östra delarna av Sverige (Figur 18 på nästa sida).



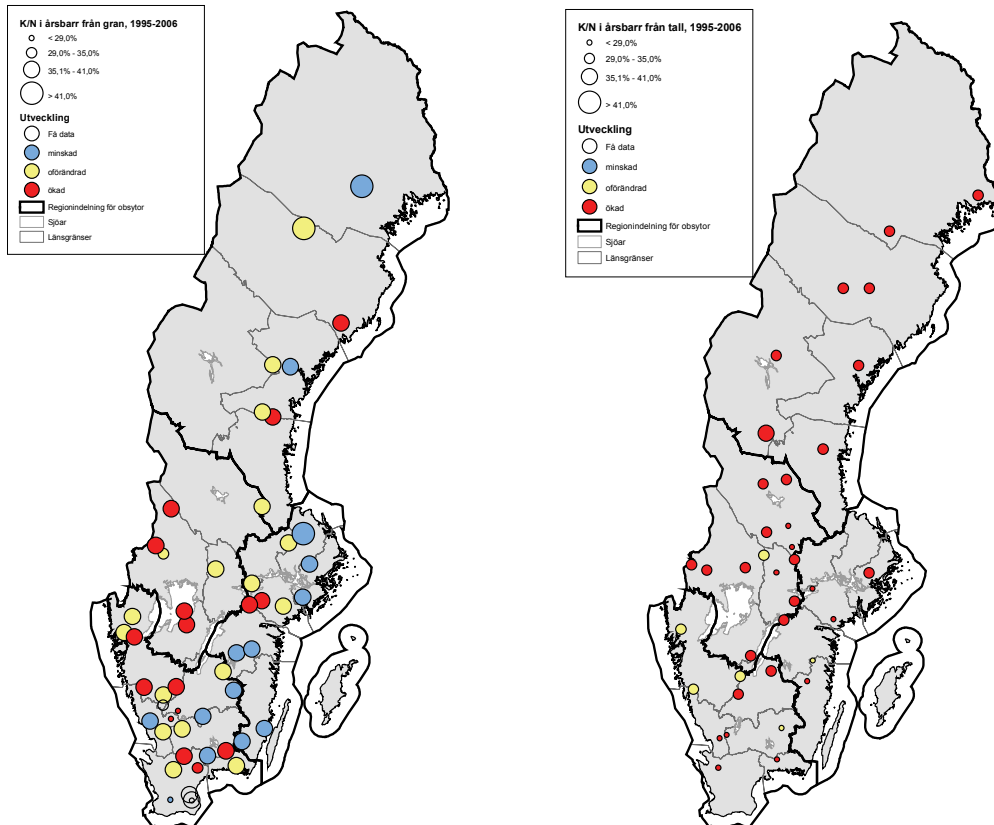
Figur 17. Kvot mellan fosfor och kväve i årsbarr hos gran (vänster) och tall (höger), optimum anges till 10 (31). Storleken på symbolen anger genomsnittlig kvot undre 1995-2006 och färgen anger om kvoten har förändrats under tiden.

Ålderskorrigerad kronutglesning

Kronutglesningen beskriver hur stor andel av trädets barrskrud som förlorats eller saknas jämfört med om trädet skulle ha haft en fullt utvecklad krona. Att ett träd har en viss kronutglesning kan bero på många olika faktorer som t.ex. ålder, exponering och klimat. Man kan alltså inte bara med hjälp av en utglesningssiffra uttala sig om orsaken till skadeläget. Däremot ger kronutglesningen information om trädens allmänna hälsostatus och bör därigenom vara en god och samlande indikator under miljömålet *Levande skogar*.

Om man skall jämföra skadeläget mellan ytor har vi i denna studie gjort ett försök att utjämna skillnader orsakade av ålder. Det är ett känt faktum att kronutglesning ökar med stigande trädålder. Detta syns t.ex. tydligt i riksskogstaxeringens skogsskadebedömning där man gör utglesningsundersökningar i olika beståndsåldrar. Obsytornas medelålder varierar mellan 50 och 110 år. Vi har därför valt att utgå från 50 års ålder och ålderskorrigera ut-

glesningar på ytor med en högre medelålder. Korrigeringen är relativt jämt stigande, en 80-årig grans utglesning minskas t.ex. med 8 %. Motsvarande siffra för en 100-årig gran är ca 13 %. Det är tydligt att granens utglesning påverkas betydligt mer av hög ålder än vad tallen gör. Storleken på ålderskorrigeringen har räknats ut med hjälp av underlag från riksskogs-taxeringens data som publiceras av Skogsstyrelsen i Skogsstatistisk årsbok (tabell 4.3 & 4.4 i 33). På riksnivå kan man med obsytedata under perioden 1995 – 2006 inte påvisa någon trend i kronutglesningen. På tallen kan man dock se relativt tydliga effekter av angrepp av Gremeniella som började 2001.

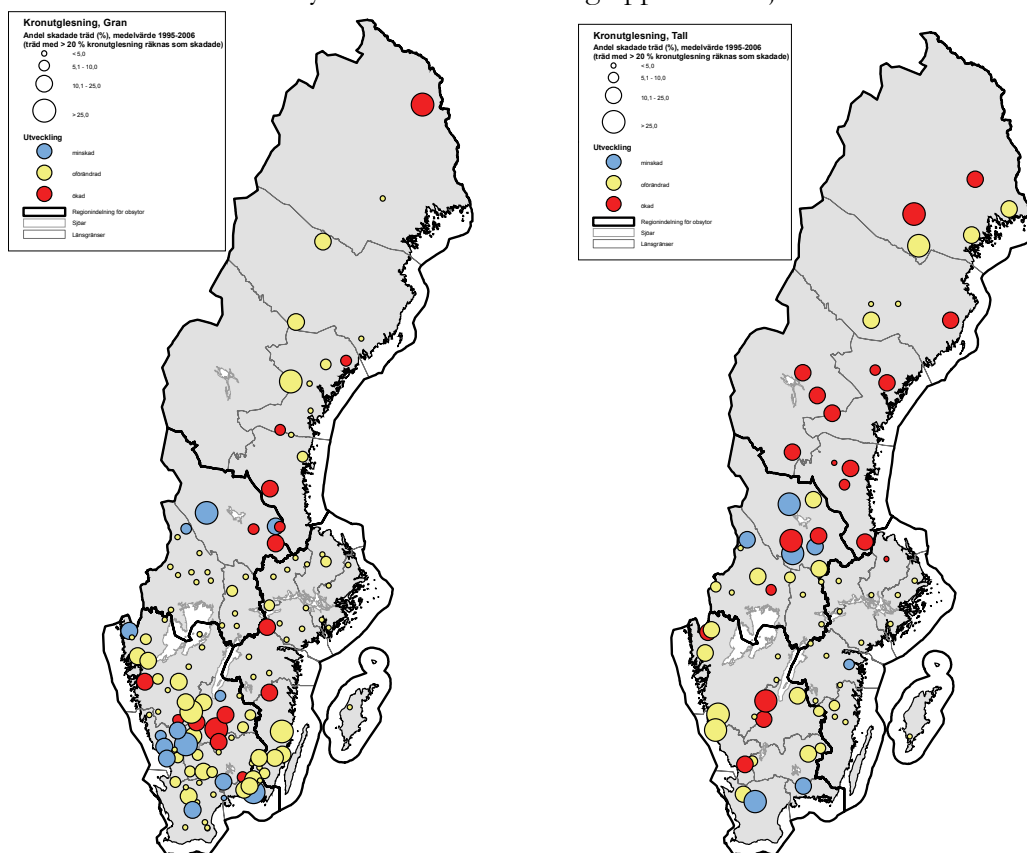


Figur 18. Kvot mellan kalium och kväve i årsbarr hos gran (vänster) och tall (höger), optimum anges till 35 (31). Storleken på symbolen anger genomsnittlig kvot under 1995-2006 och färgen anger om kvoten har förändrats under tiden.

Figur 19 visar andel skadade granar och tallar på obsytor. Storleken på varje cirkel visar andel skadade träd (dvs kronutglesning efter ålderskorrigering är större än 20 %) uträknat som medelvärde från årlig bedömning under åren 1996-2006. Linjär regressionsanalys har utförts för alla mätningar på respektive lokal för att visa väsentliga förändringar avseende andel skadade träd.

Figur 19 visar att andelen skadade granar är större inom den sydvästra och norra regionen och betydligt mindre inom den nordvästra och östra regionen. Figuren visar ett band tvärs över Sverige med väldigt liten andel (<5 %) skadade granar på lokalerna i norra Götaland och Svealand. Orsaken till högre skadefrekvens i söder och norr är oklar. Möjligen kan den huvudsakliga förklaringen relateras till försurning och övergödning i sydväst och ett allmänt hårt klimat i norra Sverige. Inga väsentliga förändringar har noterats; antalet lokaler med ökad andel skadade träd är ungefär detsamma som där antalet skadade träd har minskat. För tallskog (i figurens högra del) visas liknande bild med större andel skadade tallar i norra

och södra Sverige jämfört med norra Götaland och Svealand. Alla utom två lokaler i de sex län som ingår i den östra regionen visar mindre än 5 % skadade tallar. Dock noteras ökad andel skadade träd på betydligt fler lokaler än där skadefrekvensen har minskat, vilket sannolikt förklaras av de betydande Gremeniellaangrepp som började 2001.



Figur 19. Andel skadade granar (vänster) och tallar (höger), mätt som minst 20 % kronutglesning i obsytor med gran. Uppmätt kronutglesning har ålderskorrigerats.

Oavsett orsak till kronutglesningen så påverkar den trädens tillväxt. På obsytor har en signifikant sämre tillväxt för träd i kronutglesningsklassen 11-20 % jämfört med klassen 0-10 % noterats (34).

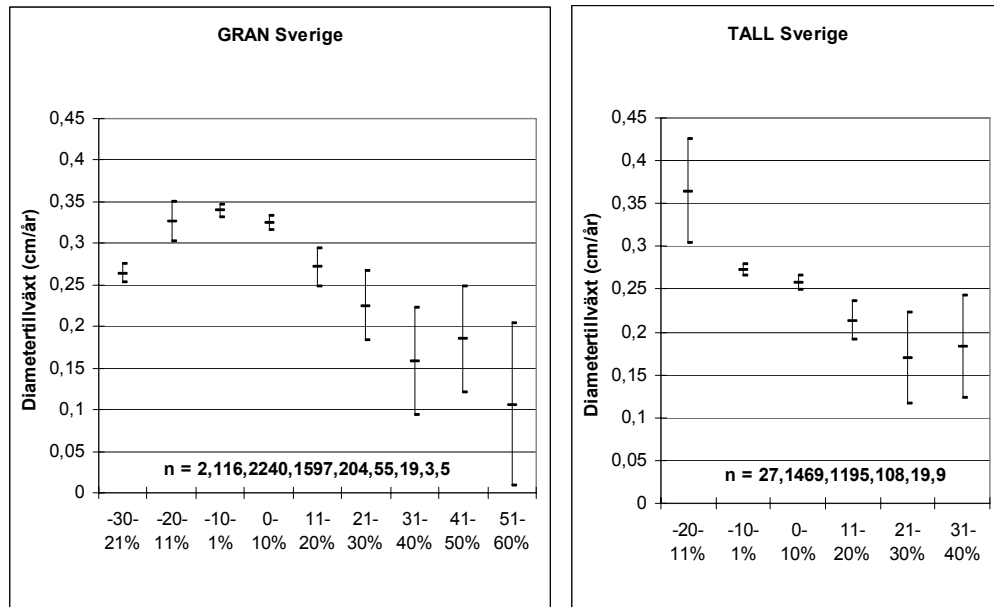
Vid analys av hur kronutglesningen påverkar tillväxten har nivåskillnader i kronutglesning mellan ytor utjämnats genom en form av normering, där varje enskilt trädets kronutglesning har jämförts med den genomsnittliga utglesningen för respektive yta. Detta har i första hand gjorts för att ytornas olika ålder inte skall snedvrider resultatet.

Figur 20 visar hur träd i olika (relativa) kronutglesningsklasser växer. Negativa värden på x-axeln visar att det enskilda trädet har mindre kronutglesning än medelträdet på ytan. Både på gran och tall syns tydligt att tillväxten sjunker redan vid relativt låga kronutglesningssiffror. Detta beror på försämrad möjlighet till fotosyntes (35). Notera i figuren att det låga antalet träd i båda ändarna av x-axeln gör dessa värden mycket osäkra.

Markvatten

Markvattnets sammansättning har föreslagits som indikator under miljömålen *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Grundvatten av god kvalitet*. På olika sätt kan förhållandena i markvattnet indikera en störning i ekosystemet som även kan användas när det gäller mil-

mömålet *Levande skogar*. Detta gäller kanske främst markvattnets surhetsgrad (pH-värde, oorganiskt aluminium och kvot mellan baskatjoner och oorganiskt aluminium) samt innehåll av nitratkväve, där höga halter indikerar att tillgången på kväve är större än efterfrågan (Figur 13). Även relativt små förhöjningar av nitratkväve i markvatten från måttligt belastade områden kan vara ett tecken på att vegetationen inte kan tillgodogöra sig tillgängligt kväve, och på så vis indikera någon form av störning i ekosystemet (36).



Figur 20. Samband mellan diametertillväxt och trädens relativa kronutglesning i gran- och tall-tytor. Antal träd i varje utglesningsklass anges ovanför x-axeln (34).

Slutsats

På samma sätt som för många andra miljömål är det vanskligt att välja ut enskilda variabler för att spegla komplexa förhållanden i skog och skogsmark. Som helhet kan undersökningarna visa normala förhållanden i skog och skogsmark och beskriva möjligheterna för biologisk produktion. Men för att på ett enkelt sätt belysa aktuella förhållanden har nyckelparametrar valts ut som indikatorer för det nationella miljö kvalitetsmålet.

Markens försurningsgrad och näringstillstånd påverkar dess värde för biologisk produktion. Detta gör basmättnadsgrad och pH-värde i mineraljorden lämpliga som indikatorer och en upprepning av provtagningen 1995-1997 mycket intressant.

Humuslagrets kvot mellan kol och kväve (föreslagen indikator under *Ingen övergödning*) är också användbar för att illustrera att balansen mellan dessa ämnen är normal.

Relationen mellan olika ämnen i årsbarr kan användas som indikation på förutsättning för att naturliga processer upprätthålls. Mest lämpade är sannolikt kvoten mellan fosfor och kväve samt kvoten mellan kalium och kväve.

Andelen skadade träd, mätt som kronutglesning, kan användas som indikator på att skogens värde för biologisk produktion upprätthålls.

Markvattnets sammansättning kan indikera störningar i skogsekosystemet. Surhetsgrad och innehåll av nitratkväve bedöms som lämpliga indikatorer (gäller även *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Grundvatten av god kvalitet*). Även små mängder nitratkväve i måttligt belastade områden kan indikera någon form av störning i ekosystemet.

Ett rikt växt och djurliv

Definition

Miljömålet innebär att den biologiska mångfalden skall bevaras och nyttjas på ett hållbart sätt, för nuvarande och framtida generationer. Arternas livsmiljöer och ekosystemen samt deras funktioner och processer skall värnas. Ur ett generationsperspektiv skall samhällets insatser bevara den biologiska mångfalden och bedrivs med ett landskapsperspektiv på förvaltningen av ekosystemen. Ekosystemens buffertförmåga bibehålls, dvs. förmågan att klara av förändringar och vidareutvecklas, så att de kan vara fortsatt produktiva och leverera varor och tjänster”.

Inledning

Det är svårt att se någon tydlig koppling till data från de skogliga obsytorna och detta miljösmål. Dock kan data från obsytorna ge kringinformation som exempelvis att naturliga livsmiljöer och funktioner i denna typ av ekosystem bevaras, vilket är en förutsättning för ett rikt växt- och djurliv.

Utvärdering

Lokalerna utgör objektivet utvalda provytor i normalt brukad skog. Påverkan av exempelvis extrema höjdlägen och lokala utsläppskällor har i möjligaste mål undvikits för att lokalerna ska representera normala bakgrundsförhållanden i olika delar av Sverige. Det innebär att vissa grupper av växt- och djursamhällen som finns inom obsytorna sannolikt är representativa för större områden än sig själva. En möjlig utveckling av programmet för obsytorna skulle i detta sammanhang vara att studera vissa grupper av växter/djur.

Data från de skogliga observationsytorna kan användas som stöd till andra undersökningar och för att belysa att livsmiljöer samt naturliga funktioner och processer i normalt brukad skogsmark upprätthålls. Detta kan sedan vara ett komplement till andra studier som belyser den biologiska mångfalden över större arealer med olika typer av livsmiljöer. Även i detta sammanhang vore det en styrka om data från de skogliga observationsytorna i första hand kan kopplas samman med data från Riksskogstaxeringens provtagningar på jämförbara lokaler men även kunna jämföras med data från IM-ytor. Förhållandena kan skilja sig lite mellan Riksskogstaxeringen, som är en stickprovsinventering av Sveriges skogar, och obsytorna som är utvalda för att representera bakgrundsförhållanden i normalt brukad skogsmark.

Slutsats

Inga specifika indikatorer föreslås. Data från de skogliga observationsytorna kan användas som stöd till andra undersökningar, främst genom att belysa att livsmiljöer och förutsättningar för naturliga funktioner och processer i normalt brukad skogsmark upprätthålls.

Referenser

1. Westling, O., Hallgren Larsson, E. Sjögren, K. och Lövblad, G. 1992. Deposition och effekter av luftföroreningar i södra och mellersta Sverige. IVL Aneboda, rapport B 1079.
2. Krondroppsnetets hemsida, <http://www.ivl.se/miljo/projekt/kron/luf0405.asp>
3. www.ivl.se. Datavärdskap luft.
4. Akselsson, C. red. 2002. Övervakning av luftföroreningar i Västra Götalands län – Resultat till och med september 2001. IVL Aneboda. Rapport B 1469.
5. Hallgren Larsson, E. red. 2002. Övervakning av luftföroreningar i Värmland – Resultat till och med september 2001. IVL Aneboda. Rapport B 1460.
6. Hallgren Larsson, E. red. 2002. Övervakning av luftföroreningar i Skåne – Resultat till och med september 2001. IVL Aneboda. Rapport B 1444.
7. Hallgren Larsson, E. 1999. Skogliga observationsytor . skillnader mellan gammalt och nytt stationsnät. Rapport från verksamheten inom EU-projekt n°96.60.SW.003.0 "Parallell monitoring and evaluation of the old and the new net of observation plots in Sweden (Level-II)"
8. Liljergren, A. red. 2005. Övervakning av luftföroreningar i Jönköpings län – Resultat till och med september 2004. IVL rapport B 1622.
9. Nettelblatt, A. IVL. 2007. Pers komm.
10. Uggla, E., Hallgren Larsson, E, Knulst, J. och Westling, O. 2003. Jämförelse mellan uppmätt och modellberäknad deposition av svavel och kväve i Sverige. IVL Aneboda, Rapport B 1530.
11. Uggla, E., Hallgren Larsson, E., och Malm, G. 2004. Krondroppsnetet – tidsutveckling, trendbrott och nationella miljömål, IVL Aneboda, rapport B 1599.
12. www.ivl.se, välj Miljödata, Mossa.
13. <http://www-markinfo.slu.se/>
14. Hallgren Larsson, E., Svensson, A., Westling, O. 2003. Luftföroreningar i skogliga provytor – resultat till och med september 2002. IVL Aneboda, rapport B 1521.
15. Galloway, J. N. 1998. the global nitrogen cycle: changes and consequences. Environmental Pollution. 102: pp.15-24.
16. Brandrud, T. E: 1995. The effects of experimental nitrogen addition on the ectomycorrhizal fungus flora in an oligotrophic spruce forest at Gårdsjön, Sweden. For. Ecol. Manage. 71: pp.111-122. Matzner, E & Murach, D. 1995. Soil changes induced by air pollutant deposition and their implication for forests in Central Europe. Water, Air and Soil Pollution, 85: pp. 63-76.
17. Gundersen, P., Callesen, I. och Vries, W. 1998. Nitrate leaching in forest ecosystems is controlled by forest floor C/N ration. Environmental Pollution 102: pp 403-407.
18. Thelin, G., Rosengren, U., och Nihlgård, B. Inorganic N leaching from stands with low humus C/N depends on stand age. Manuscript.
19. Hallgren Larsson, E., Knulst, J., Lövblad, G., Malm, G., Sjöberg, K. och Westling, O. 1997. Luftföroreningar i södra Sverige 1985-1995. IVL Aneboda, rapport B 1257.
20. Westling, O., 2006. pers komm.
21. SGU, 2006. Förslag till förbättring av kunskapsförsörjningen avseende grundvattenkvalitet. Utredning på uppdrag av regeringen, Dnr 04-1888/2004.
22. Skogens tillstånd i Europa 2000. Utarbetad av: Federala forskningscentralen för skog och skogsprodukter. ICP-Forests.
23. Westling, O., Liljergren, A. och Sjöberg, K. 2006. Nedfall och effekter av luftföroreningar – Program 2007 för regional övervakning. Förslag 2006-04-26. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

24. Petersson, P. och Örlander, G., 1995. Kådfloresstudier i kraftigt försurad granskog – skadeutveckling mellan hösten 1993 och hösten 1994. enheten för sydsvensk skogsforskning, stencil 1-6.
25. Westling, O., Röttorp, J. och Malm, G., 1997. Samband mellan barrförlust och andra variabler i skogsytor med gran i södra Sverige. Naturvårdsverket.
26. Örlander, G., Westling, O. och Petersson, P. 1995. Markvattnets innehåll av baskatjoner och aluminium och dess påverkan på tillväxt och kådflores i kraftigt försurad granskog. IVL Aneboda. Rapport B 1155.
27. Westling, O., Örlander, G. och Petersson, P. 1995. Tillväxt i kraftigt försurad granskog i södra Sverige. K. Skogs- och Lantbruksakademiens tidskrift 134:11. 101-109.
28. Westling, O., Liljergren, A. och Sjöberg, K. 2006. Nedfall och effekter av luftföroreningar – Program 2007 för regional övervakning. IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Förslag 2006-04-26.
29. Falkengren-Grerup, U., Linnermark, N. and Tyler, G. 1987. Changes in acidity and cation pools of South Swedish soils between 1949 and 1985. Chemosphere, 16, 2239-2248.
30. Larsson, P-E., Ugglå, E. och Westling, O. 2003. Långsiktiga effekter av skogsmarkskalkning på mark- och markvattenkemi. IVL Aneboda, rapport B 1524.
31. Thelin, G. Rosengren, U. och Nihlgård, B. 2003. Barrkemi på Skånska gran- och tallprovytor – förändringar mellan 1985 och 2000. Skånes samrådsgrupp mot skogsskador. Rapport 20/2002.
32. Nihlgård, B. 1993. Skogens näringstillstånd, tillväxt och försurning. I Luftföroreningar - Markförsurning – Skogsskador – Motåtgärder. Skånes samrådsgrupp mot skogsskador, rapport 14/1993.
33. Skogsstatistisk årsbok 2005. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen.
34. Hildingsson, A. 2006. Tillväxtstudie på Skogsstyrelsens obsytor. SKS rapport 2006:25.
35. Timmer, V. R. och Stone, E. L. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and lime. Soil Science society of America Journal, 42, 125-130.
36. Westling, O., Näsholm, T., Petersson, P. 1995. Kväveomsättning och skogstillstånd i observationsytan Östra Mörtnäs, Värmland. IVL Aneboda, rapport B 1221