



# LUFT & MILJÖ

ARKTIS 2015



# INNEHÅLL

Arktis – klimatförändringarnas kanariefågel	5
Förorenad luft förändrar Arktis klimat	11
Tillgängligheten och trycket ökar i Arktis	16
Marknära ozon ett växande problem i Arktis?	21
Metan i Arktis	27
Ozonskiktet över Arktis – då, nu och i framtiden	31
Kvicksilver färdas till Arktis	36
Transport och nedfall av kvicksilver i Sverige	42
Miljögifter transporteras till Arktis med luften	46
Så påverkar havsförsurningen Arktis	49
Den arktiska klimatförändringens effekt på vädret i Sverige	52
Arktiska rådet	54
Sveriges 16 miljö kvalitetsmål	58
Programområde Luft	60

## UTGIVEN AV NATURVÅRDSVERKET

Arbetsgrupp vid Naturvårdsverket: Helena Sabelström (projektledare), Pelle Boberg, Lars Klintwall, Titus Kyrklund och Linda Linderholm.

Redaktör: Maria Lewander, Grön idé AB

Grafisk produktion: BNG Communication

Omslagsfoto: Mark Marissink. Kongsfjorden vid Ny-Ålesund, Svalbard.

Författarna är ansvariga för sakinnehållet.

Skriften har tagits fram genom anslag från den nationella miljöövervakningen, Naturvårdsverket

## BESTÄLLNING:

Ordertel: 08-505 933 40. Orderfax: 08-505 933 99. E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 BROMMA

[www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

ISBN 978-91-620-1297-7

© Naturvårdsverket 2015

Tryck: Arkitektkopia AB, september 2015. 500 ex



# LUFT & MILJÖ

VI PÅVERKAR ARKTIS. ARKTIS PÅVERKAR OSS.

LUFTFÖRORENINGAR HAR ALLTID FUNNITS PÅ JORDEN, men innan industrialismens framväxt främst som naturligt orsakade. Till exempel har stora vulkanutbrott och skogsbränder historiskt sett medfört stor påverkan på miljön och människans livsbetingelser. Men med industrialismen har vi fått en helt annan situation, där luftföroreningar<sup>1</sup> i många fall påverkar miljön och människors hälsa mycket negativt och i en helt annan omfattning än tidigare.

Föroreningarna stannar inte där de bildas, utan transporteras med vindar både regionalt och globalt. Arktis har hittills i många avseenden legat långt ifrån utsläppskällorna, ändå har påverkan från luftföroreningarna inte gått att undvika. På grund av dess känsliga miljö och extrema klimat är Arktis särskilt utsatt för luftföroreningar. De kan ansamlas i miljön och i polarområdenas lufthav samt, när det gäller miljögifter, ackumuleras i näringsvävar. Både klimatet och livsmiljön kan därför påverkas.

Arktis är särskilt utsatt för klimatförändringarna. Den arktiska regionen värms upp ungefär dubbelt så snabbt som övriga jordklotet. Omvänt gäller även att förändringarna i det arktiska klimatet påverkar Sverige och världen i övrigt.

Miljöövervakningen följer utvecklingen i miljön. Sveriges nordliga läge gör att övervakningen även fångar upp viktiga kunskaper om tänkbara konsekvenser för Arktis. Naturvårdsverket bedriver sedan snart 40 år tillbaka övervakning av luftkvaliteten i Sverige. I tätorterna ansvarar kommunerna för kontrollen, och i den regionala bakgrunden, dvs. på landsbygden, ligger ansvaret på Naturvårdsverket. Ansvaret har ökat med tiden, inte minst sedan Sverige blev medlem i EU år 1995, och omfattar idag övervakning i hela landet av ett stort antal luftföroreningar. Sedan år 1989 är Naturvårdsverket även med och finansierar övervakning på Svalbard, de senaste tjugo åren med ett växande fokus på klimatfrågan. Naturvårdsverkets luftövervakning hanteras inom ramen för Programområde Luft. Mer om detta går att läsa i slutet av rapporten.

Den här rapporten vill lyfta fram och synliggöra miljöövervakningens betydelse, både nationellt och i ett större sammanhang. Utan miljöövervakning kan vi inte följa de processer som pågår i Arktis och inte heller åtgärda det som går åt fel håll. Internationellt samarbete är av mycket stor betydelse, inte minst när det gäller åtgärder, men även när det gäller miljöövervakning.

*Trevlig läsning!*

Önskar redaktionen

<sup>1</sup> Luftföroreningar är fasta eller gasformiga ämnen i luften som har en negativ påverkan på människa och miljö. Flera viktiga växthusgaser, såsom koldioxid, har inte (i de halter de förekommer i atmosfären) någon direkt toxisk effekt på människor, växter eller andra organismer, och brukar därmed inte räknas som luftföroreningar. Indirekt är de däremot luftföroreningar, eftersom de genom sin effekt på klimatet påverkar ekosystem och människors hälsa och välfärd.

**FAKTA:** Klimatförändringarnas kanariefågel

Uttrycket syftar på att kanariefåglar tidigare användes av gruvarbetare som indikatorer på hur farlig luften i gruvgångarna var. Om kanariefågeln reagerade på luften eller till och med avled, var det dags att snabbt ta sig ut ur gruvgångarna. På motsvarande sätt kan Arktis fungera som en indikator för de klimatförändringar som pågår.



*Kalvande glaciär, Liefdefjorden, Svalbard.*

# Arktis

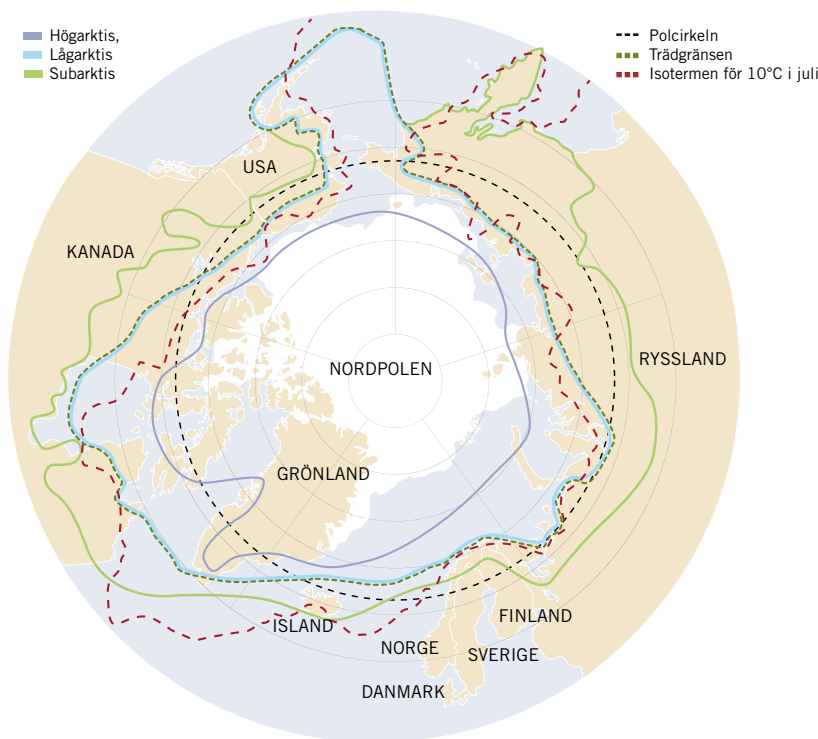
## – klimatförändringarnas kanariefågel

Arktis ligger långt i från de stora befolkningsområdena, men är trots det mycket utsatt för effekter av luftföroreningar och klimatpåverkande gaser. De senaste 100 åren har medeltemperaturen i Arktis ökat ungefär dubbelt så mycket som den globala medeltemperaturen. Man kan tala om Arktis som klimatförändringarnas kanariefågel. De stora förändringar som redan nu sker här kommer att ha en allt större effekt på klimatet och miljön i övriga delar av världen. Vi påverkar Arktis och Arktis påverkar oss.

ARKTIS HAR VARIT BEBOTT AV ursprungsbefolkningar under tusentals år. På 1500-talet växte européernas intresse för Arktis, i första hand som en förenklad färdväg mellan Europa och Asien. A E Nordenskiöld's Vegaexpedition 1878 – 1880 var först med att färdas utmed nordostpassagen, men

slutsatsen blev att denna väg inte lämpade sig som handelsväg. Ett decennium senare började transsibiriska järnvägen byggas. Den fick under en lång tid framöver ersätta tankarna på nordostpassagen som en reguljär handelsväg. En del kommersiell trafik har visserligen förekommit där under 1900-talet,

men det är först nu när isens utbredning minskat mer kontinuerligt, som tankarna på nordostpassagen som handelsled på nytt tagit fart. Att även använda nordvästpassagen som handelsled ligger ytterligare något längre fram i tiden.



Källa: The Encyclopedia of Earth, AMAP, CAFF.

### FAKTA: Arktis

Till skillnad från Antarktis, som är en tydligt avgränsad landmassa, består Arktis av ett havsområde med ett istäckte av skiftande omfattning samt flera angränsande landområden. Detta medför att det inte finns någon entydig definition av Arktis. En vanlig definition är att Arktis omfattar allt hav och land norr om polcirkeln (66:e breddgraden). En annan vanlig definition är att det omfattar alla områden ovanför trädgränsen. Ytterligare ett sätt att definiera är att det omfattar alla områden med högst 10 graders medeltemperatur i juli. Arktis delas ibland även in i Högarktis, Lågarktis och Subarktis.

Enligt några av dessa definitioner ingår inte Sverige i Arktis, men däremot Svalbard där delar av Naturvårdsverkets miljöövervakning bedrivs. I politiska sammanhang talar man ofta om "Arktis och de arktiska staterna", dvs. området norr om polcirkeln samt de åtta stater som tillhör detta område: Danmark inklusive Grönland, Finland, Island, Kanada, Norge, Ryssland, USA och Sverige. I den här rapportens artiklar kan olika definitioner ha använts.



## NYTT LÄGE

Arktis har ett hårt klimat och en stor del av området befinner sig under flera månader om året i mörker. Trots det lockar området dels med mineralfyndigheter, energi- och oljeutvinning, men även med tidsvinster för transporter mellan Europa, Asien och Nordamerika. I takt med att isens utbredning minskar blir området mer och mer tillgängligt för dessa verksamheter. Närheten till den industrialiserade världen samt tillgången på energi gör området därför både attraktivt och utsatt och många länder har intresserat sig för Arktis (Läs mer på sidan 16).

Av världens hittills oupptäckta oljetillgångar bedöms endast en mindre andel finnas i Arktis, medan däremot gastillgångarna kan vara så mycket som en tredjedel. Intresset för utvinning av Arktis resurser och jakten på nya transportvägar påverkar miljön och riskerar att

hotar naturen och traditionella livsstilar. Verksamheterna påverkar även de länder som omger Arktis och kan därtill ha en global påverkan. För att så långt som möjligt skydda Arktis och bevaka utvecklingen där finns flera internationella samarbeten, exempelvis Arktiska rådet (Läs mer på sidan 54).

## PROBLEM IDAG

Förutom koldioxidutsläpp bidrar även luftföroreningar såsom exempelvis partiklar och marknära ozon till klimatförändringarna, och försämrar miljön i Arktis och de subarktiska områdena. Höga halter av luftföroreningar och ett förändrat klimat i Arktis leder exempelvis till att ekosystemtjänster påverkas och att traditionella livsstilar hotas. Bland annat kan möjligheterna till renkötsel, fiske och jakt förändras.

Arktis kalla klimat bidrar även till att miljögifter som kvicksilver och organiska miljögifter depone-

ras och lagras upp i näringsväven. (Läs mer på sidorna 36 och 46). Detta drabbar särskilt djur och människor som lever av fisk och säl. Även exploateringen av olja och gas samt en ökad sjöfart och turism påverkar på olika sätt människornas livsvillkor i Arktis. Klimatförändringarna går särskilt snabbt i just Arktis, och naturen här är speciellt känslig, bland annat eftersom arter anpassade till det kalla klimatet inte kan dra sig längre norrut när temperaturen ökar. Området är dessutom särskilt utsatt för den försurning av havet, som våra utsläpp av koldioxid till atmosfären också orsakar, utöver förändringarna i klimatet (Läs mer på sidan 49).

Uppvärmningen i Arktis påverkar resten av världen. Avsmältning av den grönländska inlandsisen, tillsammans med den antarktiska, kan komma att höja världshavens nivå mycket kraftigt. Vidare

finns en betydande del av världens kolförråd i den arktiska permafrosten. I takt med att Arktis tinar upp frigörs delar av kolförrådet som koldioxid och metan, en process som ytterligare kan påskynda den globala uppvärmningen (Läs mer på sidan 27).

För att bromsa klimatförändringarna i Arktis och på jorden i stort är det viktigast med kraftfulla minskningar av utsläppen av växthusgaser, i synnerhet av koldioxid, metan, lustgas och de ämnen (inklusive metan) som bildar marknära ozon. När det gäller minskning av marknära ozon finns också en samverkansseffekt som innebär bättre luftkvalitet, eftersom ozon är skadligt för hälsa och vegetation, samtidigt som det innebär mindre klimatpåverkan. Likaså finns det en sådan samverkansseffekt när det gäller att minska utsläppen av sotpartiklar, men däremot inte för sulfatpartiklar vars förekomst i atmosfären dämpar uppvärmningen (Läs mer på sidan 10).

Den grupp av ämnen som både påverkar luftkvaliteten och bidrar till klimatuppvärmningen benämns ofta SLCP – Short-Lived Climate Pollutants, ”short-lived”, kortlivade, på grund av deras korta livslängd i atmosfären jämfört med till exempel koldioxid.

Även när det gäller ozonskiktet högt uppe i stratosfären finns komplexa kopplingar och samverkan med andra miljöproblem. Till exempel bryter en del växthusgaser ner ozon, som i sig själv är en växthusgas. Det finns även en tydlig samverkan mellan ozonskiktets tjocklek, atmosfärens temperatur och globala luftströmmar. För Arktis del är det emellertid själva växthuseffekten i sig som har störst påverkan, eftersom nedbrytningen av ozonet ökar i den kalla stratosfären, som paradoxalt nog blir allt

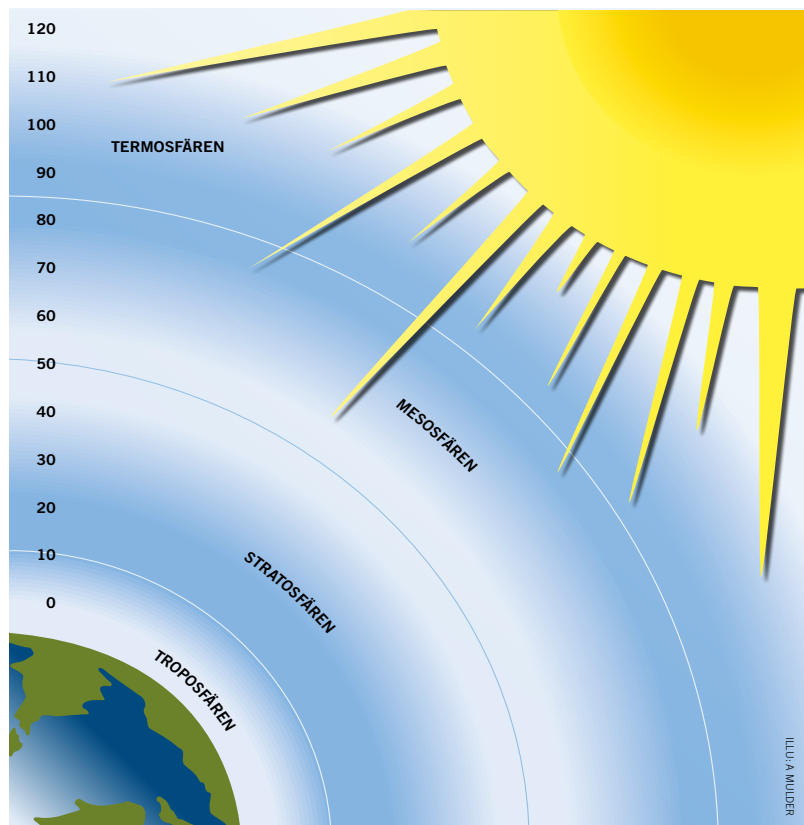
kallare. (Läs mer sidan 31.)

Stratosfärens ozon påverkar även det marknära ozonet, genom att en del av ozonet här kan transporteras ner till troposfären över Arktis, och på så vis kan bidra till att öka halten marknära ozon.

## MILJÖÖVERVAKNINGENS BETYDELSE

Inom Naturvårdsverkets Programområde Luft övervakas ett stort

antal luftparametrar på landsbygden i Sverige, till exempel kväve- och svavelföreningar, partiklar, marknära ozon, metaller, organiska miljögifter, bekämpningsmedel, UV-strålning och ozonskiktets tjocklek. Övervakningen sker både genom mätning, provtagning och modellering. Programområdet bedriver även övervakning utanför Sverige, i Pallas vid svenskfinnska gränsen och på Svalbard. Dessa är våra nordli-



### ATMOSFÄRENS OLIKA SKIKT (principindelning)

**Troposfären** – 6 – 18 km högt skikt, beroende på var på jorden man befinner sig. Temperaturen avtar med avståndet från jordytan och uppgår till cirka  $-50^{\circ}\text{C}$  i den övre delen av skiktet. Troposfären innehåller nästan allt vatten som finns i atmosfären och det är här det vi kallar väder sker. Det är huvudsakligen i detta skikt som luftföroreningarna transporteras.

**Stratosfären** – upp till cirka 50 km höjd. I den lägre delen är temperaturen ganska konstant (cirka  $-50^{\circ}\text{C}$ ), i den övre ökar temperaturen till nära  $0^{\circ}\text{C}$  när ozon absorberar solens strålning och värmer upp atmosfären.

**Mesosfären** – på 50 – 85 km höjd, det kallaste skiktet med temperaturer ned till cirka  $-90^{\circ}\text{C}$ , allra kallast är det på sommaren.

**Termosfären** – från 85 km höjd till flera hundra kilometer ut från jorden. Några tiotals kilometer upp ökar temperaturen snabbt, hur mycket beror på solens aktivitet. Luften här är mycket tunn och värms lätt upp till långt över  $1500^{\circ}\text{C}$  i termosfärens övre delar. Källa: SMHI.

gaste övervakningsstationer och ligger närmast Arktis. (Läs mer på sidan 60.)

Förutom den luftövervakning som Naturvårdsverket bedriver, sker även svensk miljöövervakning och forskning i andra aktörers regi i Arktis. Ett aktuellt exempel är SWERUS-C3, en internationell forskningsexpedition med isbrytaren Oden i Arktiska oceanen. Totalt cirka 80 forskare har i ett svenskrysk-amerikanskt samarbete under 2014 studerat bland annat klimatförändringar, däribland betydelsen av det metan som finns i Arktis samt hur Arktis bildades.

Ett grundläggande motiv för miljöövervakningen är att visa sambanden mellan påverkan och effekter för att kunna föreslå rätt åtgärder. Det är också viktigt att kunna följa upp att åtgärder och beslut har önskad effekt samt att kunna identifiera nya störningar. Sveriges strategi för den arktiska

regionen är bland annat att fortsätta verka för bättre samordning av miljöövervakningen i Arktis.

#### FRAMTIDA UTVECKLING

Arktis är ett unikt område som precis som Antarktis har ett hårt klimat, men det ligger inte lika avskilt från resten av världen. Till skillnad från Antarktis har heller inte Arktis något gemensamt skyddssystem, såsom Antarktisfördraget. Enligt Antarktisfördraget får Antarktis enbart användas för fredliga och vetenskapliga ändamål. Femtio stater världen över har anslutit sig till fördraget. Ett motsvarande Arktisfördrag har diskuterats, bland annat i Europaparlamentet, men avvisats av exempelvis USA med hänsyn till områdenas olikheter. Sverige och övriga arktiska länder har tagit fram nationella strategier för hur de ska förhålla sig till Arktis. Gemensamt för den politik som kommer till uttryck i dessa natio-

nella strategier är att området ska vara säkerhetspolitiskt stabilt och präglas av miljöhänsyn, men utöver det skiljer sig strategierna något åt, främst genom nationella särintressen, såsom energiutvinning och farleder. Sverige vill stärka Arktiska rådet både institutionellt och politiskt genom att utöka dess mandat till även andra frågor än miljö och klimat, till exempel gemensam säkerhet, infrastruktur, samhälls- och ekonomisk utveckling.

#### Helena Sabelström

helena.sabelstrom@naturvardsverket.se

#### Pelle Boberg

pelle.boberg@naturvardsverket.se

#### Lars Klintwall

lars.klintwall@naturvardsverket.se

#### Titus Kyrklund

titus.kyrklund@naturvardsverket.se

Naturvårdsverket

FOTO: KELL PETERSON



Nationell luftövervakning i Bredkälen, Jämtlands län.

#### LÄSTIPS:

Polarforskningssekretariatet  
[www.polar.se](http://www.polar.se)

Polaris – möte med världens poler  
[www.polarisen.se](http://www.polarisen.se)

The Antarctic Treaty. Secretariat of the Antarctic Treaty, [www.ats.aq](http://www.ats.aq)

*Olja och gas i ett nytt och förändrat Arktis.* Totalförsvarets forskningsinstitut FOI (2010). [www.foi.se](http://www.foi.se) under Våra tjänster/FOI:s rapporter & publikationer

*Sveriges strategi för den arktiska regionen.* Utrikesdepartementet. [www.regeringen.se](http://www.regeringen.se) under Publikationer





*Tretåig mås (Rissa tridactyla), Svalbard.*

*Isbjörn i Fjortende julbukta på Svalbard.*

FOTO: MARK MARSSINK



# Förorenad luft förändrar Arktis klimat

Arktis extrema klimat gör miljön där mycket känslig för förändringar. Under de senaste decennierna har uppvärmningen i Arktis varit två till tre gånger större än den globala och vintermedeltemperaturen på Svalbard har ökat med 6 grader under de senaste 20 åren. Nya klimatmodeller med data från miljöövervakningen har nu börjat ge oss insikt om hur och varför det arktiska klimatet förändras så snabbt. De visar också på vilket sätt luftföroreningar har påverkat och kommer att påverka klimatet här.

ORSAKEN TILL ATT klimatförändringarna i Arktis går så snabbt jämfört med i resten av världen är fortfarande till stora delar okänd. En hypotes är att en liten ökning av temperaturen ger en avsmältning av havsisen som drastiskt minskar albedo (se faktaruta), något som kraftigt förstärker uppvärmningen. Andra observationer visar stora förändringar i molntäcket som under vintern ökar reflektionen av

utstrålade värmestrålning. Detta gör att molnen fungerar som en extra värmeisolering i Arktis under vintern och ger högre medeltemperatur vintertid.

Koldioxidhalterna i atmosfären ökar fortfarande med drygt 2 ppm per år och ligger nu på över 400 ppm under hela vintern. Klimatpåverkande luftföroreningar, till exempel sot, kan vara en bidragande orsak till den snabba klimatföränd-

ringen, men sothalterna har snarare minskat för att sedan stabiliseras de senaste tio åren.

Halterna av luftföroreningar i Arktis är i regel låga och det mesta av föroreningarna kommer från källor tusentals kilometer bort. Främst består de av luftburna partiklar, ofta sulfater, organiska föreningar och sot, många gånger blandade i en och samma partikel.

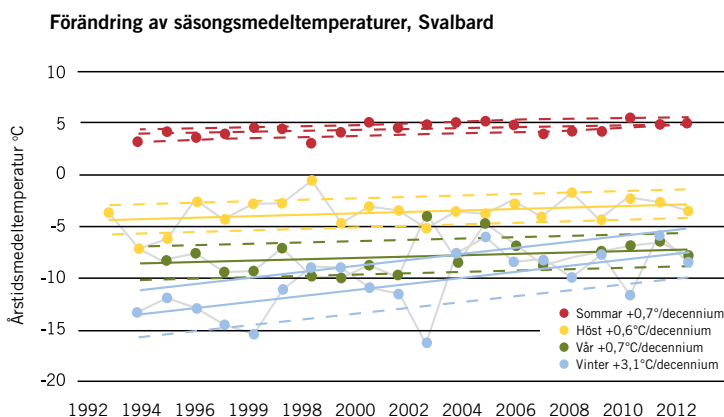
Förutom att partiklarna transporterar föroreningar som deponeras i och påverkar Arktis miljö påverkas även klimatet i Arktis, men då på ett annat sätt än på lägre breddgrader.

## TRENDER I ARKTIS KLIMAT

Mätningar sedan 1992 i Ny-Ålesund på Svalbard visar att årsmedeltemperaturen här ökat med i genomsnitt 1,3 grader per decennium. Vintermedeltemperaturen har

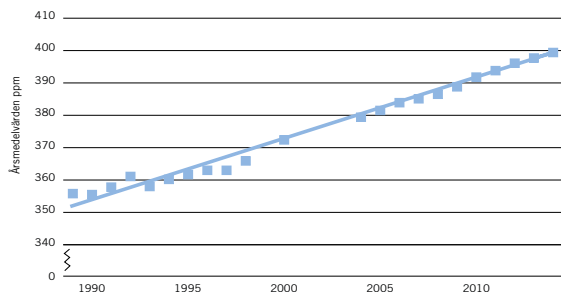
### FAKTA: Albedo

Albedo är ett mått på reflektionsförmåga eller andel av strålning som reflekteras av en belyst kropp. Ju mer is som smälter desto mer minskar reflektionen, eftersom ljusa ytor ersätts av mörkare, och då ökar uppvärmningen ännu mer.



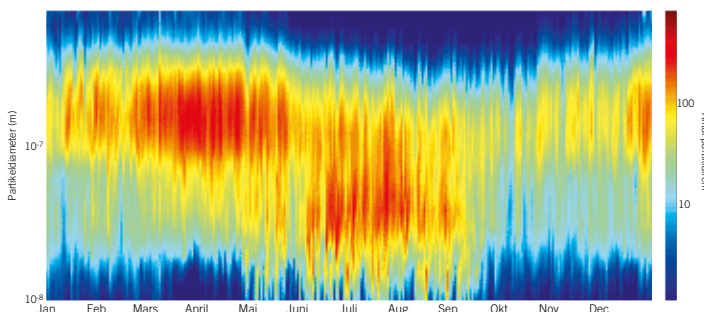
FIGUR 1. Förändringen av säsongsmedeltemperaturer uppmätta i Ny-Ålesund, Svalbard. Källa: Maturilli et al., 2014.

### Koncentration av koldioxid i atmosfären, årsmedelvärden 1989 – 2014



**FIGUR 2.** Årsmedelvärden av koldioxidhalter uppmätta på Zeppelinstationen, Ny-Ålesund, Svalbard. Källa: Aces, Stockholms universitet inom miljöövervakningsprogrammet

### Partiklars storlek och antal. Svalbard 2000-2010



**FIGUR 3.** Luftburna partiklar och deras fördelning i storlek och antal. Medelvärde av dagskoncentrationer uppmätt på Zeppelinstationen, Ny-Ålesund, Svalbard, Mars 2000 – December 2010. Källa: Tunved et al., 2013.

ökat 3,1 grader per decennium – en drastisk förändring av Arktis klimat (se figur 1). Orsaken till dessa kraftiga förändringar jämfört med den globala temperaturförändringen är ännu oklar.

### STIGANDE KOLDIOXIDHALTER

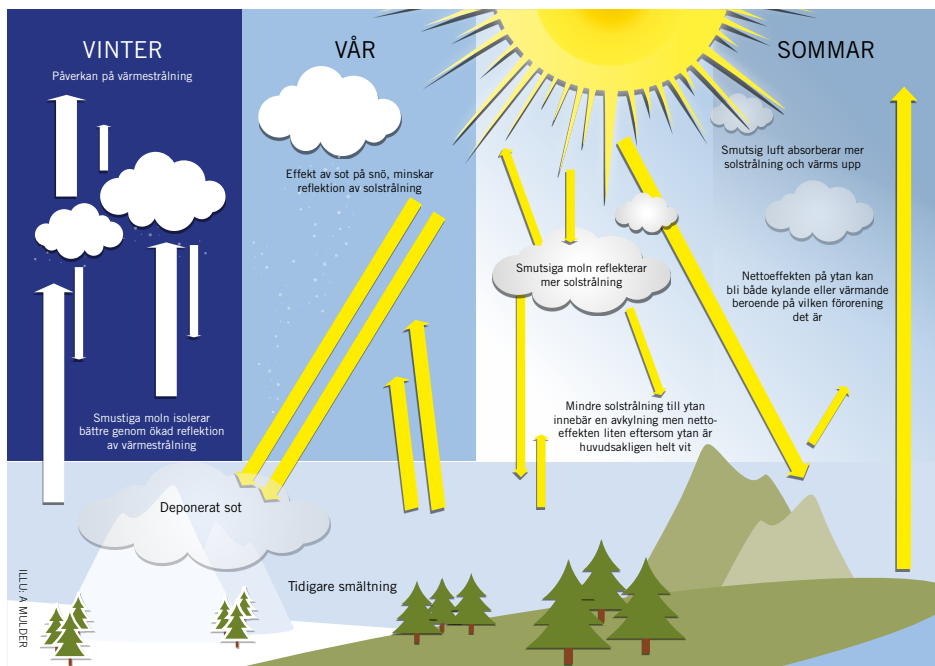
Stockholms universitet har, med finansiering av bland annat Naturvårdsverket, mätt halten av koldioxid i Ny-Ålesund, Svalbard, på

Zeppelinstationen sedan 1989. År 2013 passerade vinterhalterna 400 ppm. Ökningen har stabiliserats på cirka 0,5 procent eller 2 ppm per år och under 2015 kommer medelvärdet att passera 400 ppm (se figur2). Koldioxidhalterna på Svalbard följer halterna vid andra mätstationer, såsom på Mauna Loa, Hawaii där man har världens längsta dataserie av atmosfäriska koldioxidhalter. Att halterna på hela jorden följs åt

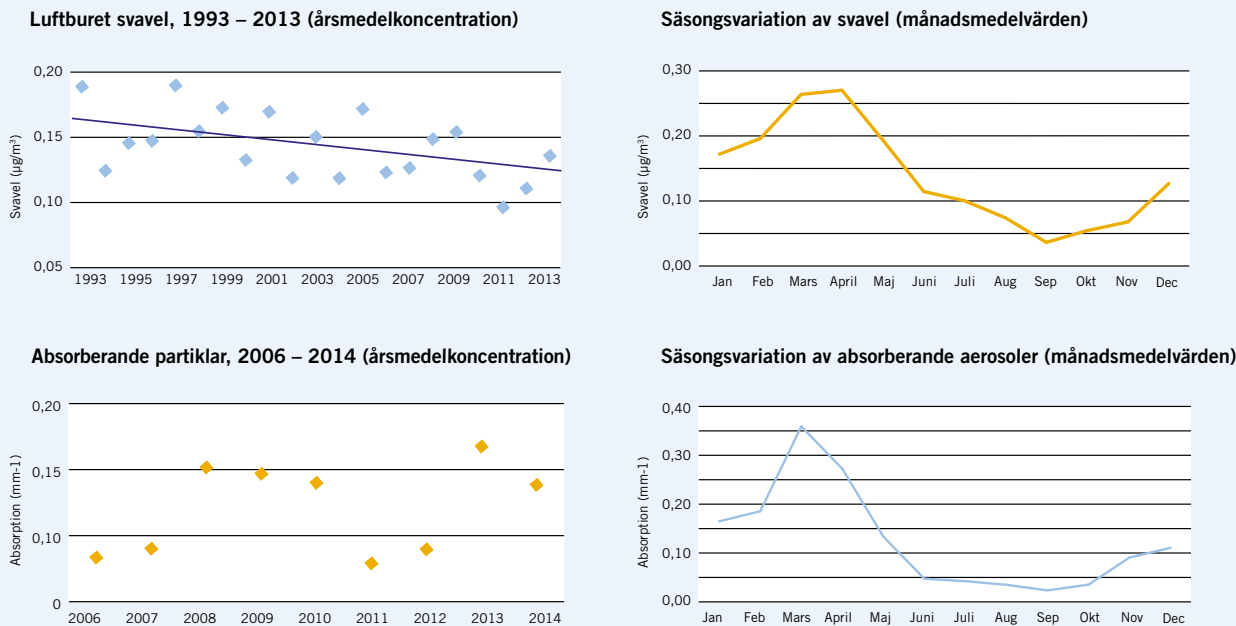
beror på att koldioxid är en långlivad, och därmed välblandad, gas i atmosfären. Halterna på Svalbard är dock något högre jämfört med Mauna Loa, eftersom mätningarna sker längre norrut och på lägre höjd över havet, men trenden är alltså den samma.

### HÖGA HALTER GER ARCTIC HAZE

I de nordligaste delarna av Arktis råder totalt vintermörker under



**FIGUR 4.** Aerosoler, bland annat sot påverkar klimatet i Arktis. Figuren visar vilka olika klimatpåverkande atmosfärsprocesser som sker i Arktis under olika delar av året Källa: AMAP, 2011.



**FIGUR 5.** Koncentrationer av svavel- och sotpartiklar uppmätta på Zeppelinstationen, Ny-Ålesund, Svalbard  
Källa: EBAS, NILU och Stockholms universitet.

cirka fyra månader, därefter ökar dagslängden till 24 timmar på cirka två månader och sedan varar midnattssolen under fyra månader, följt av en två månader lång höst. När våren kommer och det blir varmare transporteras stora mängder varm luft norrut till Arktis från norra Eurasien, framför allt Central-europa, vilket oftast innebär att det inte bildas några moln. Då blir det heller ingen nederbörd. Detta gör transporten av luftföroreningar mycket effektiv och ger kraftigt höjda koncentrationer av luftföroreningar i Arktis. Detta fenomen har observerats sedan 1950-talet och kallas Arctic Haze. Detta brun-gula dis innehåller huvudsakligen svavel- och sotpartiklar.

Under sommaren är partikelmassan i luften mycket låg och beror i stort sett enbart på lokala källor, eftersom tillfällen till långdistans-transport är mycket få. Dessutom är depositionen av partiklarna

hög på grund av ökad nederbörd i Arktis, vilket ytterligare minskar partikelhalterna i Arktis. Till hösten ökar långdistanstransporten gradvis samtidigt som nederbörden minskar och därmed ökar halterna i luften.

Detta syns tydligt vid mätningar av partiklarna och deras storleksfördelning (se figur 3). Under vinter och vår är partiklarna många och stora. Under den långa transporten kondenserar gaser på partiklarna vilket ökar deras storlek. På sommaren är antalet partiklar ungefär lika stort, men de är bara en fjärdedel så stora som under resten av året, vilket ger en betydligt lägre partikelmassa under sommaren. Storleksskillnaden visar att det är nybildade partiklar under sommaren och äldre under vintern.

De kraftiga årstidsvariationerna och den huvudsakligen vita markytan i Arktis gör att det lokala klimatet påverkas på ett speciellt sätt (se figur 4). Vinterns molntäcke isolerar

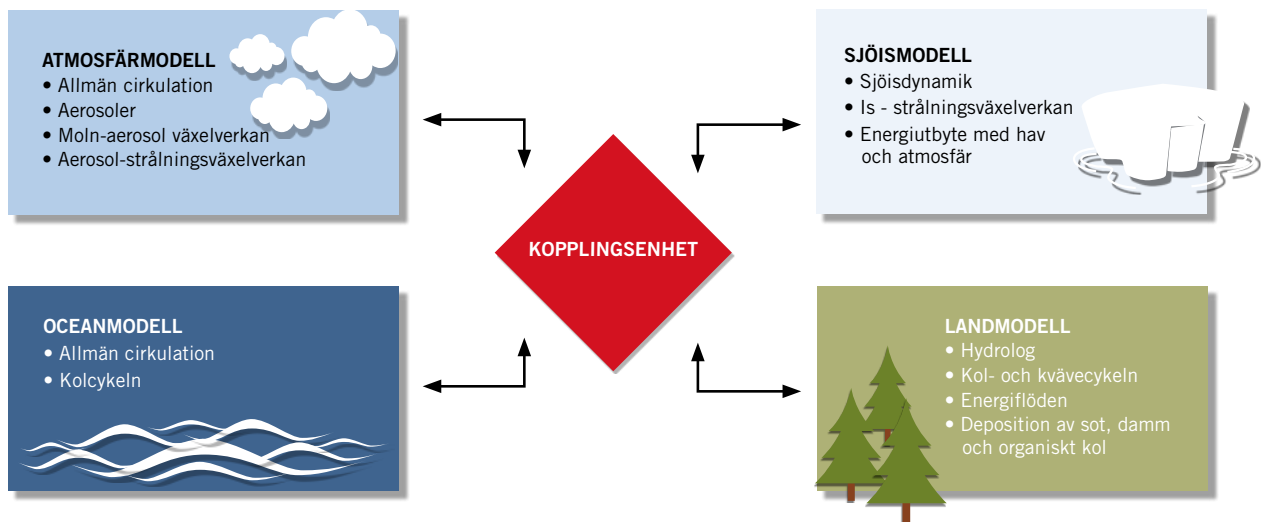
markytan genom att reflektera den utgående värmestrålningen, vilket ger högre vintertemperaturer.

Med Arctic Haze under våren förändras molnens och markytans reflektion av solstrålningen. Sotpartiklar på den vita snöytan har framförts som en viktig orsak till ökad avsmältning. De mörka sotpartiklarna gör att solens strålar inte reflekteras lika mycket utan istället absorberas.

Då smälter snön och isen undan ännu snabbare. Sammantaget ger dessa processer en ökad uppvärmning med ökande halter av partiklar, oberoende av kemisk sammansättning under vintern, medan ljusspridande partiklar som svavel kyler och absorberande partiklar som sot, värmer under sommaren.

#### TRENDER FÖR SULFAT OCH SOT

Arctic Haze framträder tydligt i säsongsvariationen av sulfat- och sothalter (se figur 5). Halterna



FIGUR 6. Beskrivning av modelldelarna i den norska Earth System modellen NorESM. Källa: Kirkevåg et al., 2013.

under våren (april-maj) är nästan tio gånger högre än under sensommaren. Men svavelhalterna under Arctic Haze har minskat med cirka 25 procent sedan 1993, även om de under de senaste tio åren inte har förändrats signifikant. Det senare gäller även för sot och därmed är det inte troligt att partiklarnas

klimatpåverkan har förändrats, åtminstone inte under de senaste tio åren.

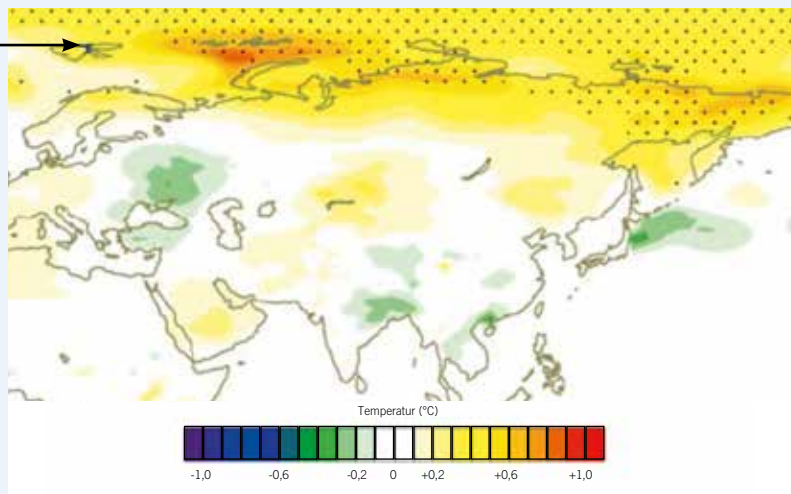
#### MODELLER AV LUFTFÖRORENINGARS KLIMATPÅVERKAN

Den specifika meteorologin i Arktis och få observationsplatser gör det svårt att modellera transporten och

halter av luftföroreningar och därmed hur de påverkar klimatet i Arktis. Arktis klimat är dessutom starkt beroende av transporten av värme söderifrån. Värmen förs med havs- och luftströmmar och förändringar av dessa beror av klimatförändringar i andra delar av den norra hemisfären, som i sin

#### Modellerade samband mellan minskade svavelutsläpp och temperatur, 1980 – 2005

Uppmätt temperaturökning +2,6°C, Zeppelinstationen, Svalbard



FIGUR 7. Figuren visar simuleringar med Earth System modellen NorESM hur de minskade svavelutsläppen har bidragit till temperaturförändringen. Kartan visar de modellerade temperaturförändringarna 1980 – 2005. Temperaturförändringen är endast signifikant inom det prickade området. Temperaturförändringen under samma period i Ny-Ålesund-Svalbard är +2,6°C. Källa: Acosta & Varma et al., 2015.

tur kan bero på klimatpåverkande föroreningar utanför Arktis. För att försöka visa hur alla dessa olika processer påverkar Arktis krävs globala så kallade Earth System-modeller (jordsystemmodeller). Modellerna kopplar samman hav, atmosfär, land och ekosystem, hur de påverkar och påverkas av klimatet för att ge en så en fullständig beskrivning av klimatsystemet som möjligt (se figur 6). Målet är att få en mer korrekt beskrivning av klimatet och därmed bättre kunna beräkna den framtida klimatutvecklingen.

## HISTORISK OCH FRAMTIDA PÅVERKAN

Sedan 1980-talet har svavelutsläppen från Europa minskat med cirka 80 procent, vilket kraftigt påverkat sulfathalterna över Europa och även Arktis. Samtidigt har utsläppen av svavel ökat i andra delar av världen, främst Kina. Men totalt sett har den globala belastningen av svavel i atmosfären minskat med cirka 25 procent jämfört med 1980. Svavelpartiklar har generellt sett en kylande effekt i atmosfären. Beräkningar med NorESM visar att de minskade svavelutsläppen sannolikt bidragit till uppvärmningen av Arktis med cirka en halv grad (se figur 7). Men som syns i figur 1 är uppvärmningen i Arktis betydligt större, vilket högst sannolikt främst beror på ökade koldioxidhalter.

Sotpartiklar anses ofta ha bidragit till den snabba klimatförändringen i Arktis, men simuleringar med bland annat NorESM visar att förekomsten av sotpartiklar endast har en relativt liten påverkan jämfört med svavel. Dessa resultat avviker ifrån tidigare modelleringar, men kunskaperna om sotpartiklars påverkan på klimatet i Arktis är fortfarande otillräckliga för att kunna

dra klara några klara slutsatser om dess faktiska inverkan på klimatet.

Dagens modeller visar samfällt att europeiska utsläpp av partiklar påverkar klimatet främst i Arktis, medan påverkan i själva utsläppsområdet framträder relativt svagt, och då främst i östra Europa. Detta beror troligen på att luftföroreningarna ändrar strålningsbalansen, dvs. summan av ingående och utgående strålning, och att detta påverkar hela vädersystem och ökar värmetransporten till Arktis, vilket i sin tur begränsar klimatförändringen i Europa. Luftföroreningarna i Europa har därmed en indirekt inverkan på klimatet i Arktis. En kraftig global minskning av utsläppen genom införande av bästa möjliga teknik i enlighet med IIASA:s ”Maximum Feasible Reduction” scenario, med en minskning på cirka 70 – 80 procent av utsläppen av svavel, partiklar och partikelbildande gaser, skulle troligen ge en ytterligare uppvärmning om cirka 1°C i Arktis. Dock måste det påpekas att enbart ökningen av koldioxid kommer att ge en uppvärmning motsvarande minst 3°C i Arktis.

## LUFTFÖRORENINGAR INTE AVGÖRANDE

Klimatförändringar kan inte stoppas genom minskade luftföroreningar. Visserligen visar modellsimuleringar att kraftigt minskade utsläpp kan påverka klimatet i vissa regioner signifikant, men i framtiden kommer utsläppen av koldioxid helt dominera klimatförändringen. Detta gäller även om koldioxidutsläppen begränsas så att man inte överskrider tvågradersmålet för den globala uppvärmningen.

Modellering av klimatförändringar är mycket komplicerat. Övervakning av klimatpåverkande nyckelparametrar är helt avgörande

för att kunna utveckla och utvärdera modellerna för att med tillräcklig noggrannhet kunna beskriva hur klimatet i Arktis kommer att utvecklas.

**Hans-Christen Hansson,**  
Stockholms universitet  
hanschristen.hansson@aces.su.se

### LÄSTIPS:

AMAP, 2011. *The Impact of Black Carbon on Arctic Climate* (2011). P.K. Quinn, A. Stohl, A. Arneth, T. Berntsen, J. F. Burkhardt, J. Christensen, M. Flanner, K. Kupiainen, H. Lihavainen, M. Shepherd, V. Shevchenko, H. Skov, and V. Vestreng. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo. 72 pp.

J. Acosta Navarro, V. Varma, A. Ekman, I. Riipinen, Ø. Seland, A. Kirkevåg, H. Struthers, M. Gauss, T. Iversen & H-C. Hansson, 2015. *Amplification of Arctic warming by air pollution reductions in Europe, submitted to Nature Geoscience.*

A. Kirkevåg, T. Iversen, Ø. Seland, C. Hoese, J. E. Kristjansson, H. Struthers, A. M. L. Ekman, M. S. Ghan, J. Griesfeller, E. D. Nilsson & M. Schulz, 2013. *Aerosol – climate interactions in the Norwegian Earth System Model – NorESM1-M*, *Geosci. Model Dev.*, 6, 207 – 244.

M. Maturilli, A. Herber, & G. König-Langlo, 2014. *Surface radiation climatology for Ny-Ålesund, Svalbard (78.9° N), basic observations for trend detection*, *Theor Appl Climatol* DOI 10.1007/s00704-014-1173-4.

P. Tunved, J. Ström, & R. Krejci, 2013. *Arctic aerosol life cycle: linking aerosol size distributions observed between 2000 and 2010 with air mass transport and precipitation at Zeppelin station, Ny-Ålesund, Svalbard*, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 3643 – 3660.

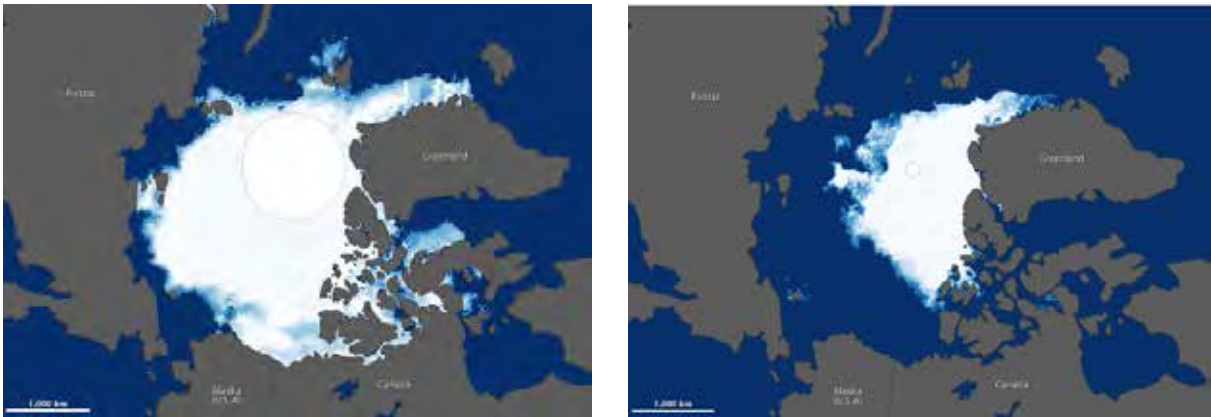
Stockholms universitets mätningar av luftföroreningar i Arktis:  
[www.aces.su.se/zeppelin](http://www.aces.su.se/zeppelin)

Norsk institutt for luftforskning:  
[www.nilu.no](http://www.nilu.no)

Databas: [ebas.nilu.no](http://ebas.nilu.no)

# Tillgängligheten och trycket ökar i Arktis

Klimatförändringarnas påverkan syns tydligt i Arktis, isen smälter och blir allt mindre. När isen minskar blir det lättare att via sjöfarten nå nya platser för olje- och mineralutvinning och nya transportleder mellan Europa, Asien och Nordamerika. En ökad exploatering av Arktis skulle ha en ytterligare negativ påverkan på klimatet och luften, framförallt genom ökade koldioxidutsläpp.



**FIGUR 1.** Isens utbredning i september 1984 jämfört med september 2014. Källa: Smith & Stephenson, New Trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury, 2013.

ARKTIS ÄR ETT UTSATT OMRÅDE, påverkat av den globala uppvärmningen som leder till att havsisen smälter. Det är framförallt sommarisens utbredning som minskar. Bilder av sommarisens tagna med 20 års mellanrum visar en kraftig minskning av istäcket.

Sedan 1979 har sommarisens utbredning minskat med cirka 40 procent, isen blir också hela tiden tunnare och yngre. Däremot har vinterisens utbredning bara minskat med cirka 8 procent. Figur 1 visar minskningen för vinterisen (mars)

respektive sommarisen (september) under perioden 1979 – 2014.

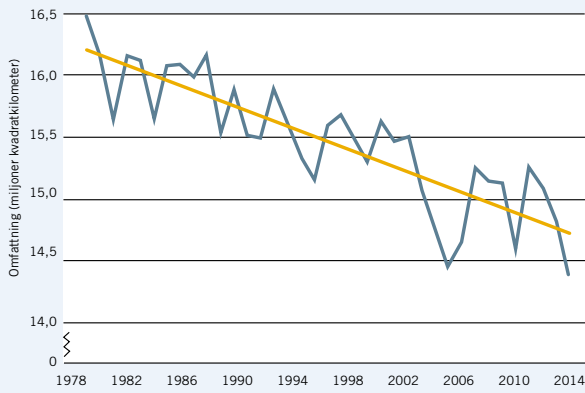
## FRAMTIDA EXPLOATERING HOTAR

I den arktiska regionen finns en stor del av världens olje- och naturgas-tillgångar. Här sker redan 10 procent av världens oljeproduktion och 25 procent av den globala naturgasproduktionen. Den största delen utvinns från kustnära områden i Ryssland och Alaska (se karta). Platser långt ifrån kusten har varit svåra att komma åt, eftersom havsisen inte enbart hindrar transporter

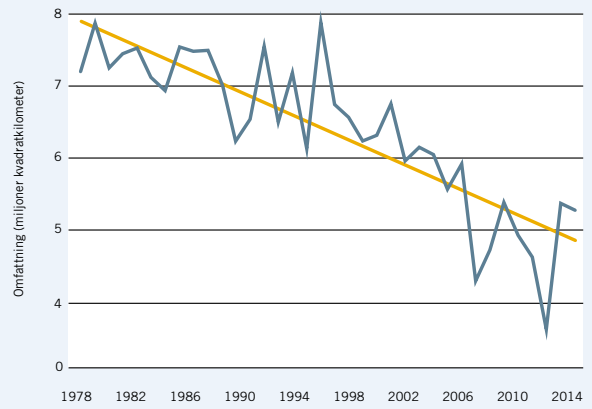
utan också är farlig för fartyg som transporterar olja. Flytande is och isberg kan orsaka stora skador. De senaste årens krympande istäcke i Arktis har öppnat upp nya farleder för sjöfarten, farleder som gjort det möjligt att upptäcka outforskade naturtillgångar. Tillsammans med förbättrad teknik för utvinning av olja innebär det nya möjligheter för exploatörer, och många oljebolag har planer på att utvidga sin verksamhet i Arktis de närmaste åren. Fallande oljepriser gör ändå att läget för närvarande är osäkert och



Istäckets utbredning i Arktis mars 1979 – 2014



Istäckets utbredning i Arktis september 1979 – 2014



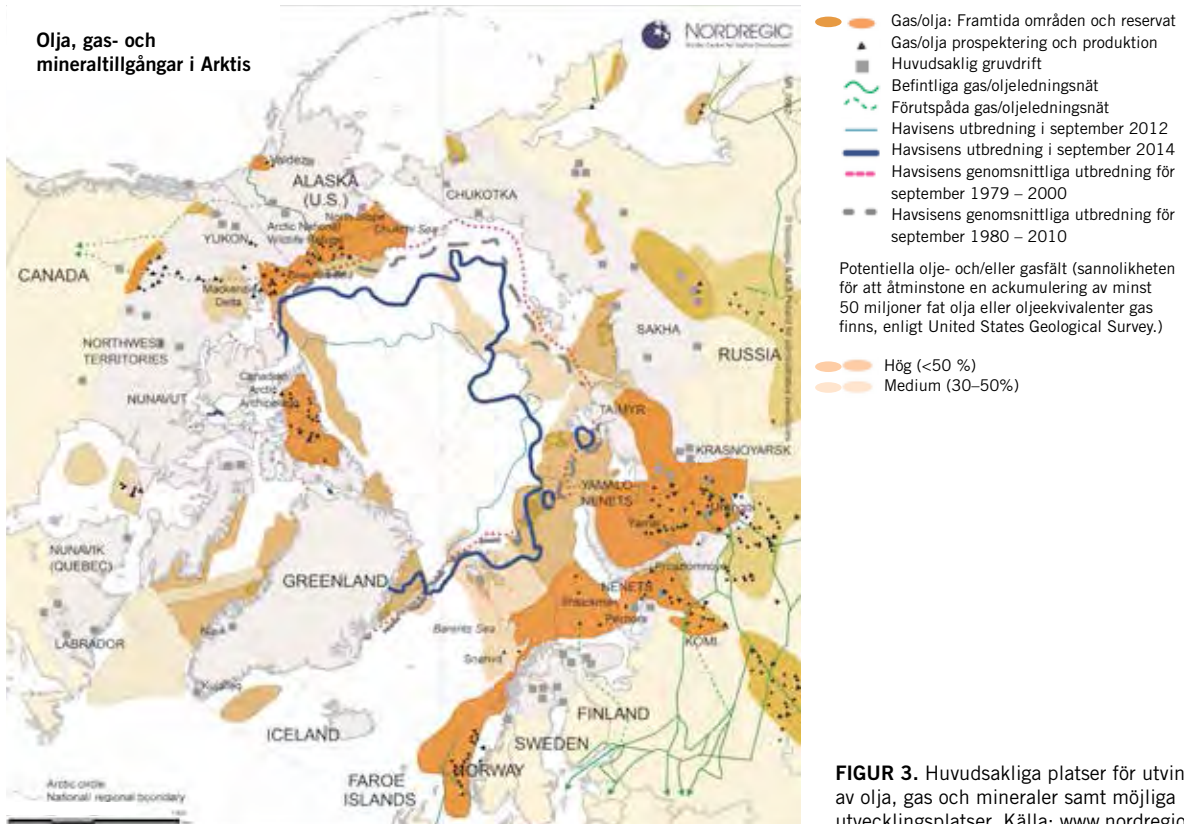
FIGUR 2. Istäckets minskning mellan 1979 – 2014 för mars och september. Källa: nsidc.org/arcticseaicenews.

FOTO: MARK MARSSINK



Longyearbyen, Svalbard

## Olja, gas- och mineraltillgångar i Arktis



**FIGUR 3.** Huvudsakliga platser för utvinning av olja, gas och mineraler samt möjliga utvecklingsplatser. Källa: www.nordregio.se.

många oljebolag avvaktar därför den fortsatta utvecklingen.

Klart är att ökad oljeutvinning i Arktis känsliga miljö kommer att innebära en stor miljöpåverkan såväl som i havet som i mark och luft. Det finns också risker med oljespill som skulle kunna få katastrofala följder, då olja bryts ner mycket långsamt och sanering är svårt i det hårda klimatet.

### FRESTANCE MINERALRIKEDOMAR

Arktis är också mycket rikt på mineraler, där utvinns 40 procent av världens palladium, 25 procent av världens diamanter, 15 procent av världens platina och 10 procent av apatit och volfram. Det finns även mycket zink, bly och krom. Utvinningen av mineralerna har blivit mycket lättare på grund av att havsisen minskat. Det har även

blivit enklare och billigare att transportera mineralerna till marknaden, vilket skulle kunna vara en drivkraft för en utökad mineralutvinning.

Det är inte bara på grund av utvecklingen inom olje- och mineralutvinningen som sjöfarten i Arktis har ökat, även turismen leder till mer transporter. Här finns starka drivkrafter för en utökning av transportererna i de vatten som nu är navigerbara under en längre säsong.

### NYA FARLEDER EN REALITET

Det finns idag två möjliga farleder i Arktis, via Nordostpassagen, som går längs Norge, Ryssland och Alaska, samt via Nordvästpassagen, som går längs Kanada och Alaska. Det finns även intresse för att i framtiden kunna segla direkt över Nordpolen, längs den centralarktiska havsrutten. Nordostpassagen

är den mest tilltalande passagen för transporter idag, bland annat på grund av bättre isförhållanden och en kvarvarande infrastruktur från Sovjettiden med exempelvis kärnkraftsdrivna isbrytare.

Nordvästpassagen har mer problem med is, en sämre infrastruktur för transporter och det finns heller inga klara politiska beslut för hur den ska utvecklas.

Med beräknad minskning av sommarisen kommer både Nordvästpassagen och rutten över Nordpolen att vara möjlig i mitten av detta århundrade. Kartorna visar de nuvarande farlederna och de farleder som tros bli möjliga vid mitten av 2000-talet.

### ÖKADE UTSLÄPP AV VÄXTHUSGASER

En ökning av olje- och mineralutvinning och fler transporter i Arktis



**FIGUR 4.** Farleder idag jämfört med troliga farleder vid mitten av 2000-talet. Källa: Smith & Stephenson, *New Trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury*, 2013.

har, som nämnts, en negativ påverkan på luften både i Arktis och på andra håll. En ökad produktion och användande av fler kolväteresurser, till exempel olja och naturgas, ger upphov till mer utsläpp av växthusgaser och gör det svårare att klara det så kallade tvågradersmålet. Målet bygger på EU:s gemensamma klimatpolitik och innebär att man vill begränsa den globala uppvärmningen till under två grader jämfört med förindustriell tid. År 2010 blev tvågradersmålet ett globalt mål. Om de globala utsläppen börjar minska senast 2020 kan tvågradersmålet nås till 2050, men då måste också en stor del av världens fossila kolväteresurser lämnas oanvända.

### LUFTEN I ARKTIS FÖRORENAS

Vid oljeborrning kommer det ofta upp gas från borrhålen och eftersom oljeborrningen ofta sker långt ifrån en plats där gasen kan användas som bränsle, förbränns den istället direkt på plats. Denna metod kallas gasfackling och ger upphov till stora utsläpp av luftföroreningar, till exempel koldioxid, sot och ibland oförbränd metan.

Fartygstrafiken är också en källa till föroreningar. Avgasutsläppen från fartygen innehåller många olika gaser

och partiklar, som i sin ursprungliga form och genom reaktioner med andra ämnen, kan påverka luftens kvalitet på flera sätt och i sin tur även miljön och människors hälsa.

Koldioxid, lustgas och metan är några växthusgaser som släpps ut både vid gasfackling och från fartygstrafik. Svavel- och kväveoxider som släpps ut framför allt från fartygstrafiken bildar partiklar som påverkar molnbildningen, något man vet bidrar till klimatföränd-

ringarna i den arktiska atmosfären. När sot (svarta kolpartiklar) från gasfackling och avgasröken från fartygen lägger sig på snön så absorberar de mer solljus än den rena snön, vilket påskyndar avsmältningen. Koldioxid, som är en långlivad växthusgas, släpper igenom solens kortvågiga strålar men absorberar de långvågiga. Detta har en starkt värmande effekt på atmosfären och koldioxid bidrar även till att göra havet surare (Läs mer på sidorna 10 och 49).

### MILJÖGIFTER

#### TRANSPORTERAS LÅNG VÄG

Arktis är redan idag ett utsatt område för många organiska miljögifter och tungmetaller, främst kvicksilver. Till största delen härör dessa föroreningar från den industrialiserade delen av världen och har nått Arktis genom långdistanstransport. I den ryska delen av Arktis finns även lokala industrier och deponier som möjliga källor. Många miljögifter bioackumuleras



FOTO: SHUTTERSTOCK



i marina näringsvävar och kan nå höga halter i större fisk och marina däggdjur. De sistnämnda är viktiga födokällor för befolkningen i Arktis. Därigenom är ofta riskerna för exponering och hälsoeffekter högre för befolkningen i Arktis än i till exempel Norden, trots ett längre avstånd från utsläppskällorna. (Läs mer om kvicksilver och miljögifter i Arktis i artiklarna på sidan 36 och 46).

Klimatförändringen i sig kan komma att påverka transporten av miljögifter till Arktis och hur de fördelas mellan olika delar av ekosystemen, men för många ämnen är förändringar i utsläppen i sig en viktigare faktor än själva klimatförändringen. Smältande havsis och glaciärer samt tinande permafrost kan dock komma att frigöra miljögifter. Detta kan leda till ytterligare exponering för de marina ekosystemen och i slutändan människor.

Med en ökad exploatering av Arktis är det sannolikt att spridningsmönstren för miljögifter förändras och att nya lokala källor uppstår.

### UTMANINGAR

Mycket tyder på att olje- och mineralutvinningen i Arktis kommer att utökas. Samtidigt finns det också argument mot en sådan utveckling. Det internationella arbetet med att

minska utsläppen av klimatgaser är ett, de höga kostnaderna i kapital och energi ett annat, liksom det hårda klimatet. En ökad exploatering av Arktis naturtillgångar innebär stora risker för miljön.

Exakt hur och i vilken utsträckning miljön kommer att påverkas är idag svårt att bedöma då man inte är säker på vilken effekt föroreningarna har i ett så kallt klimat. Här krävs mer forskning.

### SAMARBETEN FÖR ATT SKYDDA ARKTIS

Arktis är ett hett ämne i media och många organisationer arbetar för att stoppa exploateringen av Arktis resurser. Arktiska rådet är ett internationellt forum där de åtta arktiska länderna (Danmark, Finland, Island, Norge, Sverige, Kanada, Ryssland och USA) samarbetar för en hållbar utveckling av Arktis. Man verkar inom fyra huvudområden, miljö och klimat, växt- och djurliv, havet samt ursprungsbefolkningen. (Läs mer på sidan 54). IMO (International Maritime Organization) tog under 2014 fram polarkoden (Polar Code) för en säkrare fartygstrafik i vattnen kring nord- och sydpolen. Det är också viktigt att göra den nuvarande oljeproduktionen i arktiska områden säkrare för att förebygga olyckor.

Utvecklingen av förnyelsebar energi och minskat behov av fossila bränslen skulle också kunna göra oljeutvinning i Arktis mindre intressant.

**Karin Sjöberg**, IVL  
karin.sjoberg@ivl.se

**Malin Fredricsson**, IVL  
malin.fredricsson@ivl.se

#### LÄSTIPS:

AMAP, 2011. *AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xiv + 193 pp.

AMAP, 2010. *AMAP Assessment 2009: Persistent Organic Pollutants (POPs) in the Arctic*. Science of the Total Environment Special Issue. 408:2851-3051. Elsevier, 2010.

Andrew, R., 2014. *Socio-Economic Drivers of Change in the Arctic*. AMAP Technical Report No. 9. 2014, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.

Resultat från projektet ArcRisk 2009 – 2013. [www.arcrisk.eu/results/](http://www.arcrisk.eu/results/)

Faktablad: Developing Oil and Gas Resources in Arctic Waters: The Final Frontier?

Changes in Arctic Maritime Transport, Climate Change in the Arctic. [www.arcticinfo.eu](http://www.arcticinfo.eu)

[earthobservatory.nasa.gov](http://earthobservatory.nasa.gov)

[www.nordregio.se](http://www.nordregio.se)

US National Sea and Ice Data Centre. [nsidc.org/arcticseaicenews](http://nsidc.org/arcticseaicenews)

# Marknära ozon ett växande problem i Arktis?

Marknära ozon är en gas som kan ge hälsoproblem, skada växter och kulturminnesmärken samt påverka klimatet. I Arktis är genomsnittshalterna av marknära ozon inte lika höga som längre söderut, men under våren inträffar toppar med höga ozonhalter. Dessa toppar kan få allt större betydelse om klimatförändringarna gör så att växtsäsongen i norr startar allt tidigare på året.



FOTO: PÅREASTIME

## FAKTA: Så bildas ozon

Ozon bildas på olika sätt i troposfären och stratosfären. I stratosfären finns energirik UV-strålning i solljuset som kan dela upp syrgas i två fria syreatomer ( $O_2 + UV-C \rightarrow 2O$ ). De fria syreatomerna kan reagera med syrgas och bilda ozon ( $O + O_2 \rightarrow O_3$ ), vilket ger höga halter av ozon i stratosfären.

När solljuset når troposfären är den mest energirika delen av solstrålningen bortfiltrerad. Fria syreatomer bildas istället genom att mindre energirik UV-strålning i solljuset kan dela upp luftföroeningen kvävedioxid i kvävemoxid och en fri syreatom ( $NO_2 + UV-A \rightarrow NO + O$ ) som sedan bildar ozon på samma sätt som i stratosfären genom att slå ihop sig med en syremolekyl.

Ozonbildningen i troposfären påskyndas starkt av andra luftföroeningar, främst flyktiga organiska föreningar och kolmonoxid.



*Latnjajaure i Lapplandsfjällen där mätningar av marknära ozon har gjorts. Stationen ligger på cirka 1000 m ö h.*

INOM MILJÖÖVERVAKNING, forskning och modellering har forskare länge undersökt förekomsten av marknära ozon. När det gäller arktiska, subarktiska områden och i fjällen har uppmärksamheten däremot inte varit lika stor. Men på senare år visar både mätningar och modelleringar att marknära ozon kan vara ett viktigt problem i norr.

Halterna av marknära ozon i norra Skandinavien visar ingen vikande trend, utan snarare ökande. Ozonhalterna i luften närmast marken under våren (mars – maj) är genomgående avsevärt högre i norra jämfört med södra Sverige (se figur 1). Längst i norr, vid mätplatserna Nikkaluokta och Palovare, ligger månadsmedelhalterna kring  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (50 ppb) under denna

period. Världshälsoorganisationen (WHO) har för att skydda människors hälsa, satt som mål att medelhalten under åtta timmar inte ska överskrida  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De höga ozonhalterna på våren skulle i framtiden även kunna få betydelse för växtligheten eftersom växtsäsongen i norra Sverige börjar allt tidigare på året på grund av klimatförändringarna.

Vid enstaka tillfällen kan ozonhalterna i norr bli mycket höga och närma sig de nivåer där EU:s direktiv anger att allmänheten måste informeras, dvs. när timmedelhalterna överskrider  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Figur 2 visar korta perioder med toppar i ozonhalter, så kallade ozonepisoder. Under maj 2006 steg ozonhalterna i norra Sverige och Norge till runt

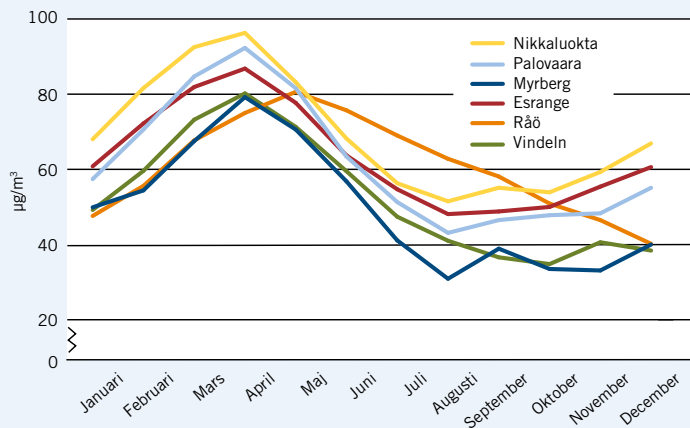
$160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Då hade luften med ozonbildande ämnen sitt ursprung från stora skogsbränder i Ryssland.

Vid detta tillfälle syntes ovanliga bladskador på buskar och träd i norra Sverige och Norge, som troligen berodde på de höga ozonhalterna.

#### **OZONMODELLER FÖR HALTERNA I NORR**

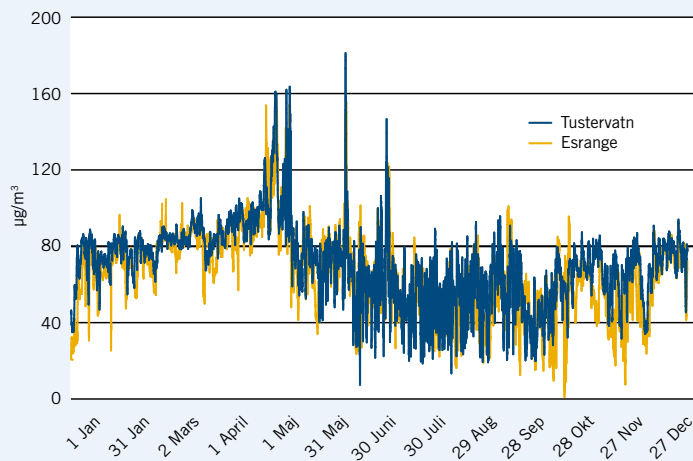
Dagens storskaliga atmosfärskemiska modeller simulerar en variation av marknära ozonhalter i Arktis med ett maximum under våren. Modellbaserad forskning har visat att den andel av marknära ozon i Arktis som transporterats från stratosfären är störst på våren, ibland upp till 10 procent, medan bidraget sommartid är litet. I stratosfären (luftlagret

Marknära ozon, medelhalter 2004 – 2008

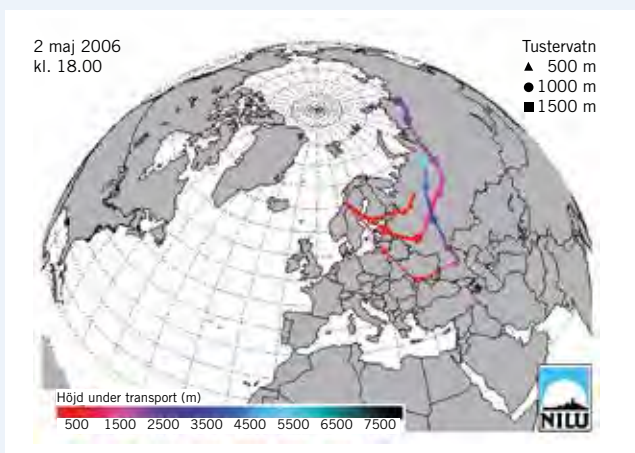


**FIGUR 1.** Månadsmedelhalter av marknära ozon uppdelat på månad på året, som medelvärden för perioden 2004-2008. Värden visas för fyra platser i Norrbottens län, Nikkaluokta, Palovare, Myrberg samt Esrange; en plats i Västerbottens län, Vindeln, samt en plats vid kusten i Hallands län, Råö. Källa: Krondroppsnetet för Nikkaluokta, Palovare och Myrberg. Övriga data från den nationella ozonövervakningen.

Marknära ozon i norra Sverige och Norge



**FIGUR 2.** Ozonepisoder 2006 vid Esrange, i norra Sverige strax utanför Kiruna, och vid Tustervatn i centrala Norge mellan Trondheim och Narvik.



**FIGUR 3.** Trajektorieanalys för luftmassor som svepte in över Tustervatn i början av maj 2006. Trajektorierna som visar luftmassornas färdväg fram till en viss punkt, är beräknade med Flextra-modellen från NILU.

Symbolerna visar trajektorier för luftmassor och på vilken höjd över marken de befinner sig när de väl kommit fram till den aktuella platsen.

Färgen anger höjd över marken under tiden luftmassorna transporteras.

ovanför troposfären, se sidan 7) är ozonhalterna mycket höga, men troposfärens och stratosfärens luftmassor blandas inte med varandra i någon större grad.

År 2014 presenterade SMHI bland annat simuleringar på norra halvklotet med hjälp av MATCH-modellen. Månadsmedelvärden av ozon från simuleringarna för stationerna i Esrange utanför Kiruna och Vindeln nära Umeå visas i figur 4. Simuleringarna visar en säsongsvariation som överensstämmer med de uppmätta halterna i figur 1, även om modellens halter generellt ligger något lägre än dessa. Dagens kunskap om hur ozonet bildas och transporteras kan till viss del förklara hur ozonhalterna i delar av Arktis varierar under året. För att mer i detalj ta reda på vilka processer som styr säsongsvariationen och de höga ozonhalterna på våren i norra Sverige krävs ytterligare modellexperiment.

Men de generella orsakerna bakom de höga ozonhalterna på våren

i norra Sverige och i den europeiska delen av Arktis är solljusets aktivering av ozonbildande ämnen, framförallt peroxiacetylnitrat (PAN), salpetersyra och kolmonoxid som lagrats upp under vintern. Detta i kombination med låg deposition på ytor täckta av snö och is samt viss transport av ozonrik luft från stratosfären, gör att lufthalterna av marknära ozon stiger.

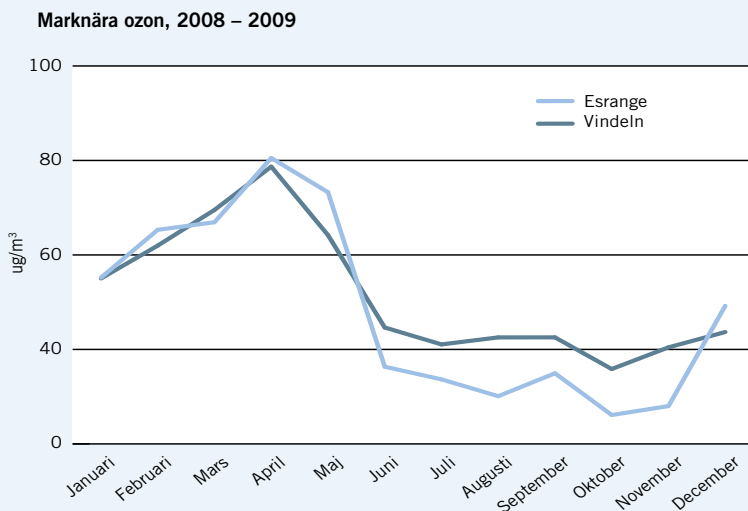
### BÄTTRE KUNSKAPER NÖDVÄNDIGA

Luften högt uppe i troposfären påverkas mycket lite av deposition eftersom avståndet till marken är så stort. Även andra faktorer kan påverka hur mycket ozon som finns tillgängligt i luften på hög höjd, men överallt i världen verkar ozonhalterna högt upp i luften vara högre jämfört med vid marken. Utöver detta är kunskaperna om ozonbelastningen på hög höjd i fjällen och andra bergsområden på nordliga breddgrader fortfarande dåliga. Höga ozonhalter dygnet runt

Fjällbjörk (*Betula pubescens ssp. czerepanovii*) med ozonskadade, röd- och bronsfärgade blad, Karasjok, Nordnorge, augusti 2006.

i kombination med långa, ljusa nätter medger ett närmast kontinuerligt ozonupptag och påverkan på växternas livsprocesser på sommaren.

Ozonbildande ämnen kan även transporteras med vindarna mycket långa sträckor. Så länge utsläppen av ozonbildande ämnen på norra halvklotet består, inklusive utsläpp från industri och trafik i södra och mellersta Europa och från stora bränder, till exempel i Ryssland, kommer även den höga ozonbelastningen i norr att bestå. En eventuell framtida ökad fartygstrafik genom Nordostpassagen kommer även den att ge ökade utsläpp av ozon-



**FIGUR 4.** Simulerade månadsmedelhalter av ozon vid Esrange utanför Kiruna och Vindeln i trakten av Umeå, som medelvärden för perioden 2008 – 2009. Källa: Data från simuleringar beskrivna i Monks m.fl., 2014.

### FAKTA: Marknära ozon

Det ozon som finns i luftlagren närmast marken kallas marknära ozon och ska inte förväxlas med det skyddande ozonlagret uppe i stratosfären.

Hur hög halten av marknära ozon blir på en plats, beror på flera faktorer. Ozonets kemiska bildning har förstas en avgörande betydelse, liksom de processer som förbrukar ozon som deponerats på jordens yta som atmosfäriskt nedfall. Exempelvis tar snö, is och vattenytor upp betydligt mindre ozon än växtligheten, som tar upp stora mängder, särskilt under tillväxtperioden på våren och sommaren.

Även horisontell transport av luft med låga eller höga halter av ozon och ozonbildande ämnen, längs med jordytan, är av stor vikt. Denna typ av transport kan ske över stora avstånd.





*”Ozonupptaget i bladen  
hämmar fotosyntesen”*

**FAKTA:** Effekter på växter, hälsa och kulturarv

Marknära ozon ( $O_3$ ) andas in av människor och kan tas upp av växternas blad och barr. Ozonupptaget i bladen hämmar fotosyntesen och leder till för tidigt åldrande av blad, barr och mognande frön. Detta kan ge upphov till betydande skörde-förluster inom jordbruket och minskad virkesproduktion i skogen.

Andningsbesvär på grund av marknära ozon och andra effekter hos människor ger årligen upphov till ett stort antal sjukhusinläggningar och till och med förtida dödsfall. Ozonets starka oxidationsförmåga bidrar också till att exempelvis husfasader och statyer av sten eller betong bryts ner. Det kan bli både svårt och kostsamt att reparera dessa kulturarv.

bildande ämnen, vilket kan förvärra situationen.

En allvarlig brist är att det i nuläget i stort sett saknas kunskap om nivån på ozonbelastningen i fjällen. Mätningar, bland annat vid fältstationen Latnjajaure på cirka 1000 meter över havet, tyder på att den kan vara avsevärt högre jämfört med vad som exempelvis är fallet vid Esrange utanför Kiruna. Förståelsen av den storskaliga atmosfärschemin i Arktis begränsas också av brist på regelbundna mätningar av ozon och ozonbildande ämnen i den ryska delen av Arktis och på olika höjder i atmosfären.

Det finns många intressanta forskningsfrågor om marknära ozon och de speciella förhållanden som råder i Arktis. Några frågor som vi hoppas kunna ge svar på

under de närmaste åren är hur de höga ozonhalterna på våren kommer att påverka växterna alltmer när växthuseffekten blir starkare? Hur höga är ozonhalterna på hög höjd, till exempel i fjällen? Vilka trender finns för måttliga och höga ozonhalter i norr och hur kan eventuella trender förklaras? Svaren på dessa frågor kan ge betydligt mer kunskaper om vilka miljörisker som marknära ozon i Arktis utgör.

**Per Erik Karlsson**, IVL  
pererik.karlsson@ivl.se

**Joakim Langner**, SMHI  
joakim.langner@smhi.se

**Håkan Pleijel**, Göteborgs universitet  
hakan.pleijel@bioenv.gu.se

#### LÄSTIPS:

Karlsson, P.E., Tang, L., Sundberg, J., Chen, D., Lindskog, A. and Pleijel, H. 2007. *Increasing risk for negative ozone impacts on vegetation in northern Sweden*. Environmental Pollution 150, 96-106.

Karlsson, P.E., Ferm, M., Tømmervik, H., Hole, L.R., Pihl Karlsson, P., Truoho-Airola, T., Aas, W., Hellsten, S., Akselsson, C., Nørsgaard Mikkelsen, T. and Nihlgård, B. 2013. *Biomass burning in Eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia*. Environmental Pollution 176, 71 – 79.

Klingberg, J. Björkman, M., Pihl Karlsson, G. and Pleijel, H. 2009. *Observations of ground-level ozone and NO<sub>2</sub> in northernmost Sweden, including the Scandian Mountain Range*. Ambio 38, 448-451.

Lindskog, A., Karlsson, P.E., Grennfelt, P., Solberg, S., Forster, C. 2007. *An exceptional ozone episode in northern Fennoscandia*. Atmospheric Environment 41, 950-958.

Monks, S. A., Arnold, S. R., Emmons, L. K., Law, K. S., Turquety, S., Duncan, B. N., Flemming, J., Huijnen, V., Tilmes, S., Langner, J., Mao, J., Long, Y., Thomas, J. L., Steenrod, S. D., Raut, J. C., Wilson, C., Chipperfield, M. P., Diskin, G. S., Weinheimer, A., Schlager, H., and Ancellet, G.: *Multi-model study of chemical and physical controls on transport of anthropogenic and biomass burning pollution to the Arctic*, Atmos. Chem. Phys. 15, 3575-3603, doi:10.5194/acp-15-3575-2015, 2015.

Om trajektorieanalys:  
[www.nilu.no/projects/ccc/trajectories](http://www.nilu.no/projects/ccc/trajectories)

FOTO: FREDRIK LUDVIGSSON/JOHNER



Tinande tiotusentals år gammal permafrost frigörs utmed den nordostsibiriska kusten.

## Metan i Arktis

Metan kan avges från arktiska permafrostlager som finns på land och i bottensedimenten. Kunskaperna om hur metan och koldioxid fungerar och interagerar i Arktis är begränsade, men framsteg görs framför allt när det gäller att bättre förstå de många olika källorna till metan.

### FAKTA:

#### Metan och metanutsläpp

Metan ( $\text{CH}_4$ ) är en färg- och luktlös gas, bestående av kol och väte, som når atmosfären från en mängd olika källor och försvinner därifrån framför allt genom olika kemiska reaktioner, 90 procent av metanet reagerar med hydroxyradikalen i troposfären. Eftersom uppehållstiden för metan i troposfären är nästan tio år, så är gasen relativt väl omblandad här.

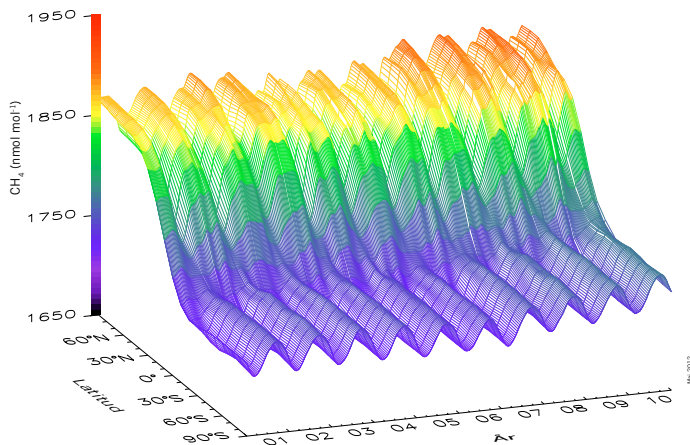
Utsläppen av metan kan klassificeras utifrån olika källor: biogena, termogena och pyrogena.

**Biogent metan** produceras av bakterier vid nedbrytning av organiskt material i miljöer med låg syrehalt, till exempel våtmarker, soptippar, risodlingar och hos idisslande boskap.

**Termogent metan** bildas geologiskt djupt inne i jordskorpan där organiskt material under högt tryck och temperatur bildar fossila reservoarer, exempelvis naturgas, olja och koldepåer. Dessa fossila bränslen kan sedan nå atmosfären både via naturliga läckor eller genom medveten utvinning inom industrin, samt vid förädling och transport.

**Pyrogent metan** bildas vid ofullständig förbränning vid exempelvis bränder på tundran.

Alla dessa tre källor kan i sin tur delas in i naturliga och antropogena källor. Summan av alla naturliga källor och summan av alla antropogena källor uppskattas vara ungefär lika stora. Men osäkerheten i uppskattningen är stor framförallt när det gäller de naturliga utsläppen.



**FIGUR 1.** Ökningen av globala metanhalter under perioden 2000 – 2010. Ju längre norrut på jordklotet (ökande nordliga latituder) desto högre metanhalter och större ökning med tiden.

DE HÖGSTA METANHALTERNA i hela atmosfären finns just ovan Arktis (se figur 1). Det beror på hur luften här är skiktad och på lokala källor. De globala metanhalterna i atmosfären har mer än dubblats sedan början av 1800-talet, från 770 ppb till 1800 ppb, troligen främst på grund av utsläpp från människans aktiviteter.

### NATURLIGA UTSLÄPP AV METAN

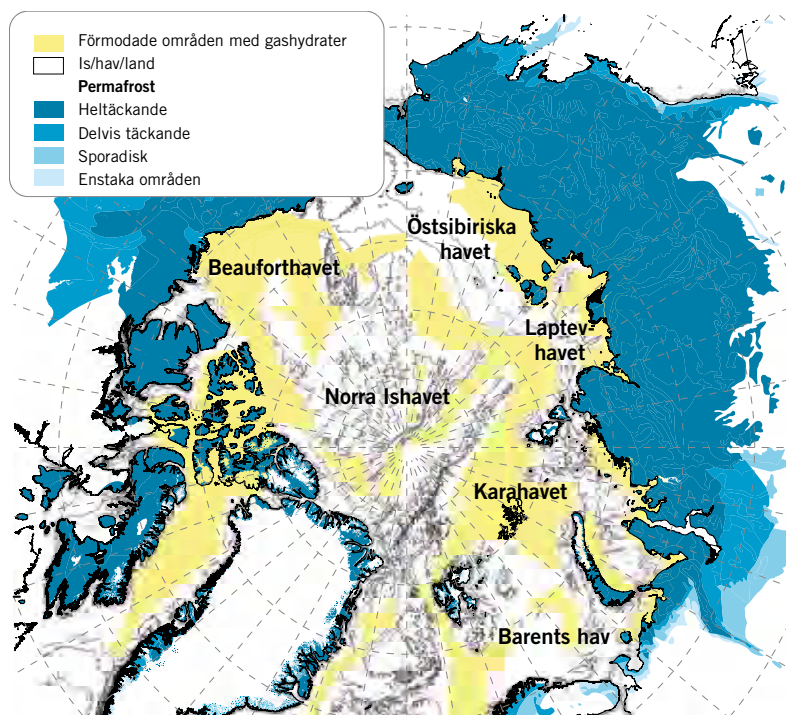
De naturliga metankällorna domineras troligen av utsläpp från våtmarker, men även från sjöar, vattendrag och myrar och geologiska källor, så kallat termogent metan (se fakta). De utsläpp som människan direkt eller indirekt ger upphov till domineras av utsläpp från idisslande boskap, soptippar och ofullständig förbränning av fossila bränslen.

Källor av metan i Arktis och dess närhet, till exempel Sverige, finns både på land, i haven och i samhället. På land runt Arktis, framför allt i Ryssland och Kanada, finns enorma ytor våtmarker där det helt eller delvis råder permafrost. Många studier av metan har fokuserat på dessa våtmarkssystem och det översta lagret av permafrost som

tinat upp varje sommar. Studierna har inkluderat bland annat laboratorieexperiment, fältexperiment, flödesmätningar och långtidsmätningar från höga torn med så kallade ”footprints”, där man kan överblicka metanflöden över stora ytor. Studierna har inneburit rejäla framsteg i förståelsen för hur metan

beter sig i våt tundra, torr tundra och sjöar. Däremot bedöms det bli svårt att genomföra storskaliga mätningar i Arktis av liknande art för att kunna förutsäga framtida utsläpp från dessa system.

Utsläpp av metan från marina källor i Arktis sker bland annat från permafrost i havsbotten i de stora Östsibiriska grundhaven. Denna permafrost låg ursprungligen på land men översvämmades när glaciärer smälte och havsnivån steg vid slutet av istiden. I dessa grundhav ligger nära 80 procent av den permafrost som finns i jordens havsbottnar. I och under dessa finns dessutom gashydrater, ett slags frusna vattenmetan komplex, samt naturgas lagrat. Utmed Arktiska oceanens (Norra Ishavets) kontinentalsluttningar finns dessutom en stor mängd metan i vanliga marina gashydrater. Mätningar med forskningsfartyg under sommarexpeditioner har under många år visat starkt förhöjda halter



**FIGUR 2.** Utbredning av permafrost på land och gashydrater i havsbottarna i Arktis.

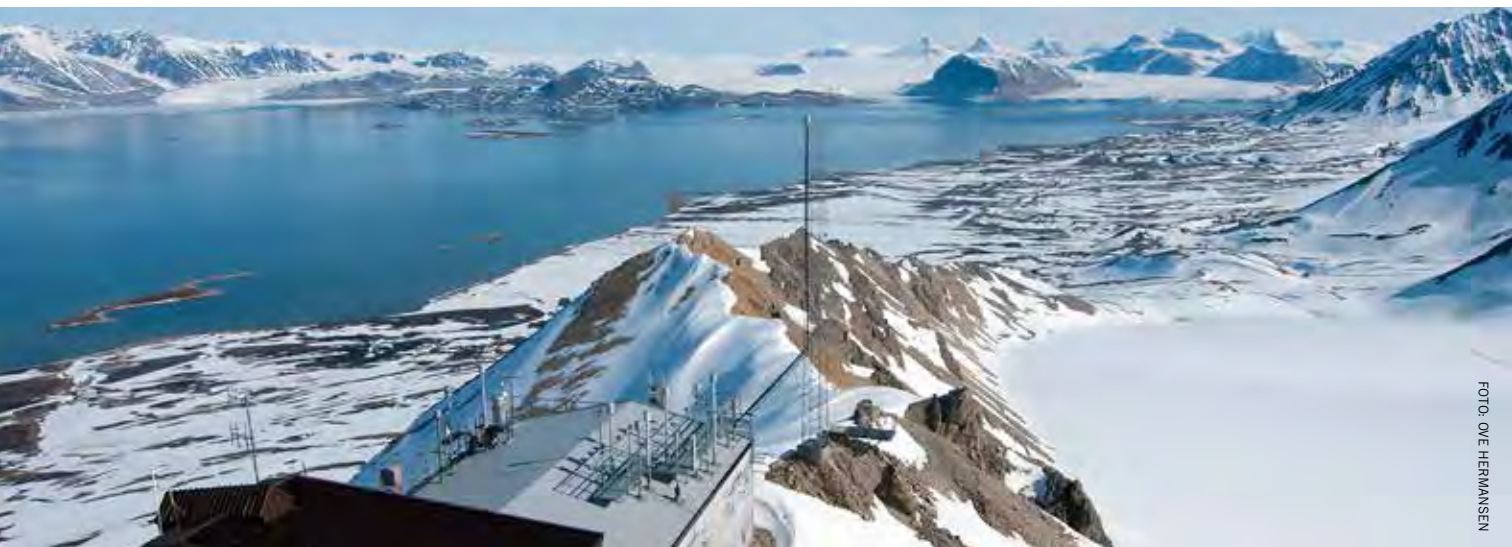


FOTO: OVE HERMANSEN

Zeppelinstationen på Svalbard. Här finns ett stort internationellt samarbete kring luftövervakning.

av metan i havsvattnet och i luften ovanför den Östsibiriska arktiska oceanen. Liksom utsläppen på land, är även dessa marina utsläpp svåra att kvantifiera.

#### **METANUTSLÄPP ORSAKADE AV MÄNNISKAN**

Det är svårt att bestämma storleken på utsläpp av metan från enskilda källor eller områden genom mätningar av halter i luft. Orsaken är att gasen blandas om snabbt i atmosfären och att mätningarna, framförallt i Arktis, oftast sker långt ifrån utsläppsområdena.

International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) har gjort en prognos av hur metanutsläpp orsakade av människan kan komma att utvecklas. Studien som baseras på antaganden om hur mycket metan som släpps ut från olika sektorer indikerar att de globala utsläppen kommer att öka under kommande decennier. Stora bidrag väntas från främst kolproduktion i Kina och skiffergasutvinning i Nordamerika. Idag finns teknologi och möjligheter att

begränsa och återvinna utsläpp av metan från bland annat oljeproduktion, gasproduktion och läckande gasledningar, samt från biologiskt nedbrytbart avfall. De åtta medlemsländerna i Arktiska rådet beräknas stå för ungefär en femtedel av de globala metanutsläppen. Dessa länder borde rimligtvis ha ambitionen att minska metanutsläppen så mycket som möjligt vid pågående och framtida olje- och gasutvinning i Arktis.

#### **LÅNGTIDSSTUDIER OCH MÄTNINGAR AV METAN I ARKTIS**

Mätningar av metan och koldioxid i den faktiska atmosfären, samt på land och i hav, är av stor vikt för att bättre förstå både källor, effekter, långtidstrender och påverkan på klimatet i Arktis. Kontinuerliga mätningar av metan och koldioxid sker på tre stationer på Svalbard, samt i Alaska och Kanada. Sverige bidrar indirekt till mätningarna på Svalbard via det internationella samarbete som Naturvårdsverket deltar i. Nyligen har en mätstation i nordöstra Sibirien (Tiksi) etablerats.

Den förväntas snart bidra med de första mätserierna från en region med hitintills mycket få landbaseerade observationer. Kontinuerliga mätningar sker även i finska Lappland och på ett antal andra stationer belägna runt polcirkeln. Dessa mätningar har visat att metanhalterna i Arktis sedan 2007 har ökat i ungefär samma takt som de globala metanhalterna.

Under vintern påverkas stationerna i Arktis av metantransport från källor på sydligare breddgrader. Sommartid varierar metanhalterna kraftigt under dygnet och ett maximum i metankoncentrationer verkar uppstå under sensommaren och början av hösten. Vad detta beror på är svårt att veta, det kan antingen vara utsläpp från våtmarker eller från de Östsibiriska grundhaven.

Olika isotoper av metan kan eventuellt ge information om vilka källor det härrör från. De första studierna av stabila kolisotoper av metan i Arktis genomfördes på Svalbard 2011, men fler långtidsstudier av även stabila väteisotoper och så kallad naturlig abundans

kol-14 av metan behövs för att bättre kunna identifiera de olika källorna till metan.

### TINAD PERMAFROST KAN GE STORA UTSLÄPP

Det finns enorma mängder organiskt kol infruset i de översta jordlagren (1 – 3 m) och i den grunda havsbotten i och runt Arktis. Dessa mängder motsvarar tre gånger så mycket kol som finns i form av koldioxid i den globala atmosfären och 400 gånger så mycket som det metan som finns där. Även om endast en liten del av permafrosten och/eller gashydraterna tinar upp och tillförs atmosfären som växthusgaser, under relativt kort tid, kan det påverka klimatet.

Förenklade modeller visar att en gradvis upptining av det aktiva lagret i terrest permafrost kan ge avsevärda utsläpp av växthusgaser. Kolet, som finns bundet här, skulle om klimatet i Arktis blev varmare, kunna ge upphov till att 50 – 200 miljarder ton metan frigörs fram till år 2100. Detta kan jämföras med att cirka 800 miljarder ton kol, i ett ofta refererat utsläppsscenario, beräknas tillföras atmosfären som koldioxid från förbränning av fossila bränslen under samma tid.

Beräkningarna tar inte hänsyn till andra snabba frigörandeprocesser som erosion, bränder, upptining eller kollaps av permafrost samt hydrater i de arktiska grundhaven. Permafrosten i Arktis havsbotten verkar ha tinat upp snabbare än permafrosten på land, förmodligen på grund av att havsvattnet som svämmade över dessa områden för 7000 – 15000 år sedan var varmare än luften över den nordligaste sibiriska delen av Arktis.

Det är också möjligt att en del av det kol som frigörs från permafrostlagren inte omvandlas till växthus-

gaser, utan återigen fastläggs i sjöar och havssediment som en del av kolkretsloppet.

### FRAMTIDA FORSKNING

De nu pågående utsläppen från Arktis permafrost har inte någon avgörande påverkan på halterna av koldioxid och metan i den globala atmosfären. Men fortsatt forskning är nödvändig för att kunna förutse framtida utsläppsnivåer av dessa växthusgaser från den enorma mängd kol som ännu är infruset i den arktiska permafrosten. Här är ett utvecklat övervakningsprogram viktigt som kan ge bättre kunskaper för att kunna förutse hur situationen utvecklas. Studier av tinande permafrost och kollapsande metanhydrater i Arktis är också något som internationella utvärderingar anser bör prioriteras.

För att förbättra kunskaperna om metanutsläpp kopplade till människans aktiviteter i och kring Arktis och också kunna förutse hur de arktiska ”naturliga” utsläppen kan komma att utvecklas finns följande rekommendationer:

- 1) Etablera fler långtidsmätningar framförallt i Sibiriska Arktis.
- 2) Utveckla atmosfärsprogrammet med mätningar av metans isotopsammansättning (ett slags kemiskt fingeravtryck) som berättar varifrån metanet kommer.
- 3) Stöd till processstudier av permafrost och gashydrat-systemen.

Slutligen är det för att begränsa den globala uppvärmningen nödvändigt att minska de utsläpp av metan, koldioxid och andra växthusgaser som orsakas av människan. En begränsning av uppvärmningen minskar också riskerna för att

ytterligare växthusgaser ska läcka från de naturliga arktiska kollagren, och den förstärkta uppvärmning detta kan orsaka.

Örjan Gustafsson, Stockholms universitet  
orjan.gustafsson@aces.su.se

#### LÄSTIPS:

Ciais P. et al. 2013. *Carbon and other Biogeochemical Cycles*. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.

Harden J. et al. 2012. *Field information links permafrost carbon to physical vulnerabilities of thawing*. Geophysical Research Letters, 39, L15704.

Höglund-Isaksson, L. 2012. *Global anthropogenic methane emissions 2005-2030: technical mitigation potentials and costs*. Atmospheric Chemistry and Physics, 12:9079-9096.

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. IPCC Working Group I Contribution to AR5, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

MacDougall, AH, C.A. Davis & A.J. Weaver, 2012. *Significant contribution to climate warming from the permafrost carbon feedback*. Nature Geoscience, 5, 719-721.

Shakhova, N., Semiletov, I., Salyuk, A., Yusupov, V., Kosmach, D. & Gustafsson, Ö. 2010. *Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf*. Science 327, 1246-1250.

Shakhova, N., Semiletov, I., Leifer, I., Sergienko, V., Salyuk, A., Kosmach, D., Chernykh, D., Stubbs, C., Nicol-sky, D., Tumskey, V. & Gustafsson, Ö. 2014. *Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf*. Nature Geoscience, 7, 64 – 70, doi:10.1038/ngeo2007.

Vonk, J., & Gustafsson, Ö. 2013. *Permafrost-Carbon complexities*. Nature Geoscience, 6, 675 – 904, doi:10.1038/ngeo1937.

## Ozonskiktet över Arktis – då, nu och i framtiden

Efter en sex månader lång vinter har solen åter kommit till Arktis. Mitt på dagen ligger den ännu lågt över horisonten, men klättrar sakta uppåt varje dag. Högt uppe i stratosfären reflekteras solstrålarna av *pärlemormoln*, eller så kallade polarstratosfäriska moln. Här kommer det att under några månader framöver råda en febril kemisk aktivitet som påverkar ozonskiktet.

REDAN UNDER 1970-talet visade forskningen att människans utsläpp av vissa ämnen kunde påverka ozonskiktet. Men det var först i och med brittiska och japanska forskares upptäckt av det antarktiska ozonhålet som det inte längre rädde något tvivel om att något allvarligt hade hänt i atmosfären.

Upptäckten ledde fram till undertecknandet av Wienkonventionen för skydd av ozonskiktet 1985. Två år senare infördes Montrealprotokollet som hanterar utfasningen av ozonnedbrytande ämnen som innehåller klor och brom. Konventioner och protokoll till trots, pågick debatten under mer än ett decennium om människan verkligen påverkade ozonskiktet eller inte.

Efterhand ökade kunskaperna om hur ozonet i atmosfären påverkas av olika ämnen framställda av människan. I takt med detta har också Montrealprotokollet reviderats ett antal gånger. Effekten har blivit att minskningen av ozonskiktet upphört och vi förväntar oss snart en tillväxt. Det finns också tecken på att det redan har återhämtat sig, men det är inget som hittills är statistiskt säkerställt.

### SVERIGE BÖRJAR MÄTA OZON

I Sverige fick Naturvårdsverket ansvaret för skyddet av ozonskiktet, vilket inkluderade att initiera en utveckling av de ozonnedbrytande ämnena och även följa upp ozonskiktets utveckling. SMHI fick i uppdrag att inom den nationella miljöövervakningen utföra så kallade totalozonmätningar. Dessa startade först i Norrköping 1988 och utökades med en station i Vindeln 1991.

Långt in på 1990-talet fanns oron kvar för att ozonskiktet skulle tunnna ut mycket kraftigt. Mätningarna av totalozon blev därför basen för ett

Vid den här stationen i Vindeln mäts ozonskiktets tjocklek. Stationen har två stycken så kallade ozonspektrofotometrar, en äldre som sköts manuellt och en ny automatisk, som kompletterar varandra.



varningssystem i händelse av att det skulle uppstå ozonhål och därmed förhöjd UV-strålning från solen. SMHI tog fram en enkel modell för att beräkna mängden skadlig UV-strålning på uppdrag från dåvarande Statens strålskyddsinstitut, nu Strålsäkerhetsmyndigheten. I dag kallas det för UV-index och finns direkt tillgängligt för alla med en dator eller smartphone.

### SATELLITER MÄTER

Efterhand tillkom även allt bättre satellitbaserade mätningar vilket ger bra yttäckning. De markbaserade instrumenten kan hållas i drift mycket länge, medan de som finns på satelliter ofta har en begränsad livslängd. Kombinationen av satellitinstrument och markinstrument gör att vi numera har en god global övervakning av ozonskiktet, något som inte var fallet för några decennier sedan.

### FAKTA: Ozonskiktet

Ozonskiktet finns på 10 – 40 km höjd över jordytan. Koncentrationerna av ozon är dock små, i storleksordningen 100 ppb. Trots den ringa mängden har ozonet en oerhörd viktig roll för att skydda flora och fauna mot skadlig UV-strålning från solen.

Genom fotokemiska processer både bildas och bryts ozon ned. Hur effektivt detta sker beror bland annat på vilka gaser och partiklar som finns i atmosfären.

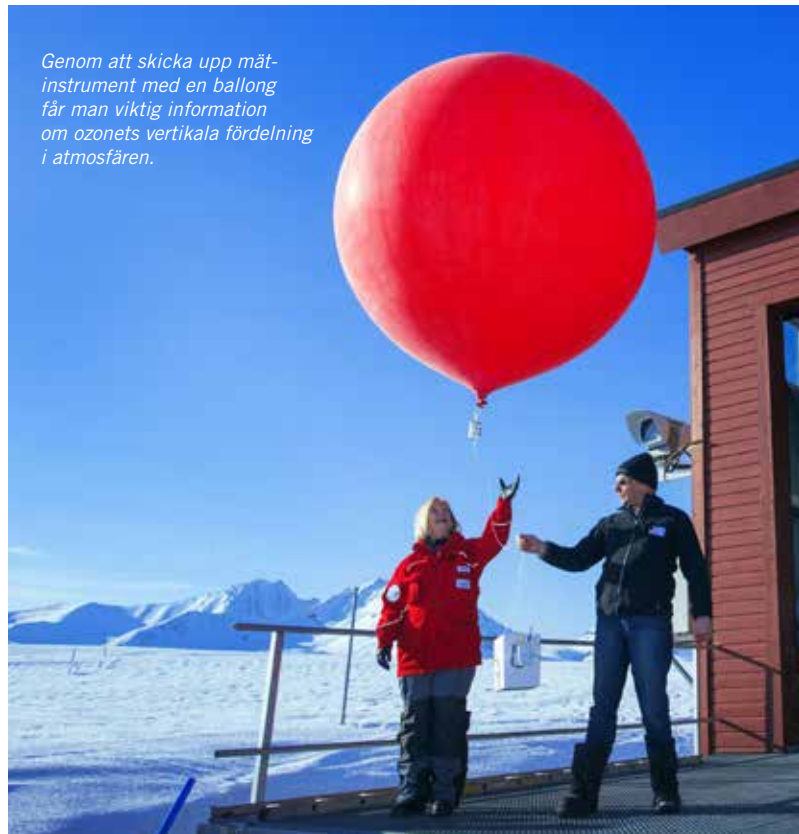
Ozon är en reaktiv gas som lätt bryts ner och därför krävs en ständig nybildning av gasen i atmosfären för att ersätta det som försvinner. Eftersom solstrålningen är en viktig faktor för produktionen av ozon bildas merparten av atmosfärens ozon på hög höjd över tropikerna. Därifrån transporteras det med vindarna mot högre breddgrader. Ozonskiktet över Antarktis och Arktis är därför kraftigt beroende av strömningsmönstret i atmosfären. Detta gör också att ozonskiktets tjocklek varierar mer över polarområdena än vad det gör över tropikerna.



### FAKTA: Polar Vortex

Under vintern råder polarnatt över Arktis. Då uppstår en polär virvel (Polar Vortex) i stratosfären genom en kombination av luftens rörelser och avkylning via utstrålning mot rymden. Virveln, som rör sig över olika delar av Arktis, skiljer effektivt luften innanför från den utanför. Inuti virveln kan temperaturen sjunka under  $-90^{\circ}\text{C}$  över stora områden under vintern.

Stratosfären är mycket torr och vanliga moln bildas därför sällan så högt upp. Men när temperaturen sjunker kan salpetersyra och svavelsyra, som finns naturligt där och fryser vid mycket låga temperaturer, bilda moln. Molnens iskristaller fungerar som katalysatorer där inaktiva former av klor kan förvandlas till aktiva former snabbare än de annars skulle ha gjort. Aktiva klorföreningar kan sedan angripa ozonmolekylerna när vårsolen börjar lysa. Processen förstärks ytterligare av att kvävet, som i vanliga fall kan förvandla klor till inaktiva former, istället binds som salpetersyra när molnen bildas.



Genom att skicka upp mätinstrument med en ballong får man viktig information om ozonets vertikala fördelning i atmosfären.

FOTO: IBL BILBYRYA

### STORA VARIATIONER

Montrealprotokollet innebar att uttunnningen av ozonskiktet över Europa stannade vid omkring fem procent. Variationen är dock stor och veckolånga episoder med större minskningar har förekommit, ibland flera tiotals procent i jämförelse med långtidsmedelvärden. SMHI:s mätningar visar också att ozonskiktet över våra breddgrader varierar mycket från dag till dag och även mellan olika år. Denna relativt sett stora naturliga variation gör det svårare att upptäcka små, långsiktiga förändringar.

### PARTIKLAR OCH POLARVIRVLAR PÅVERKAR OZONSKIKTET

Idag är hotet av ett globalt förtunnat ozonskikt nästintill avvärrt, även om det finns ozonskadande ämnen som fortfarande kräver åtgärder.

Därför är dagens ozonmätningar inte i första hand till för att varna utan främst för att se att utvecklingen fortsätter i positiv riktning. Däremot har ett annat hot snabbt tornat upp sig där ozonmätningarna kan ge ett bidrag, nämligen klimatförändringen orsakad av den ökande växthuseffekten.

Ozon är en betydande växthusgas, och det finns därför kopplingar mellan ozonproblematiken och klimatförändringar. I och med att växthusgaserna stänger inne en stor del av jordens utgående värmestrålning blir den nedre atmosfären (troposfären) varmare medan den övre atmosfären (stratosfären), där ozonskiktet finns, blir kallare. Den sjunkande temperaturen, i kombination med uppkomsten av en polär virvel, Polar Vortex (se fakta), gynnar uppkomsten av partiklar

som i sin tur ger upphov till polarstratosfäriska moln. Dessa moln förekommer över både Arktis och Antarktis under vintern och bidrar till uppkomsten av ozonhål genom att partiklarna i molnen snabbar på nedbrytningen av ozon. Men detta sker inte förrän fram på vårkanten då solen börjar värma och aktiverar de klor- och brommolekyler som ansamlats över Arktis under den långa vintern. Molekylerna bryts nu med hjälp av solens strålar snabbt ned till fria atomer. Dessa är kemiskt aggressivare och kan sedan bryta ner ozonmolekylerna som skyddar mot skadlig UV-strålning. På sensvåren och sommaren upphör den snabba ozonnedbrytningen. Under vissa år i Arktis kan ozonhålslänkande episoder inträffa som varar någon eller några veckor under våren. Detta sker under extrema



*Askmolnen från vulkanen Pinatubos utbrott på Filippinerna 1991 spred askpartiklar över hela jorden, bland annat till Arktis, där de påverkade ozonet under flera år.*

#### **FAKTA:** Solstrålningens väglängd

Solstrålningens väglängd genom atmosfären brukar jämföras med den väglängd som gäller om solen står i zenit (=1). Väglängd är den sträcka som solstrålarna färdas genom atmosfären, ju lägre solen står på himlen desto längre väglängd. I södra Sverige mitt på dagen på sommaren är den relativa väglängden cirka 1,3 medan den mitt på dagen i vintern i södra Sverige är omkring 6. I norra Sverige är motsvarande väglängder cirka 1,4 och större än 10. Detta visar att solhöjden är den faktor som är mest betydelsefull när det gäller hur UV-strålningen varierar under dygnet, under året och hur den kan skilja sig mellan olika breddgrader.

men naturligt kalla arktiska vintrar, något som riskerar att bli vanligare i och med att den övre atmosfären kyls ner. Efter att virveln lösts upp när vårvärmen kommer kan luftmassor med ozonfattig luft ta sig söderut över till exempel Sverige och på så vis påverka ozonskiktet här. Detta skedde senast våren 2011 och då observerades en mer än 30 procentig förtunning av ozonskiktet under några dygn vid flera mätstationer i Skandinavien. En följd av detta blev att UV-strålningen mitt på dagen mer än fördubblades jämfört med det normala för denna tid på året. Den arktiska virveln är dessutom rörligare än sin motsvarighet i Antarktis. Detta kan få konsekvenser eftersom det uttunnande ozonskiktet riskerar att drabba tätbefolkade områden i betydligt större omfattning.

### VULKANUTBROTT KAN TUNNA UT

En annan typ av partiklar, som kan påverka ozonskiktet, har vulkaniskt ursprung. När det sker stora vulkanutbrott, till exempel El Chichon 1982 och Pinatubo 1991, kan stora mängder stoft och gaser hamna i

stratosfären. Trots att utbrotten ägde rum i Mexiko respektive i Filippinerna, nådde partiklarna Arktis efter bara några månader och påverkade där ozonets fotokemi under ett par års tid. Följden blev ett några procent tunnare ozonskikt över hela jorden.

### UV-STRÅLNING I ARKTIS

Den ultraviolettera solstrålningen (UV) minskar i regel kraftigt under sin färd genom jordatmosfären. Det är främst två processer, absorption samt spridning på atom- eller molekylnivå, som minskar UV-strålningen. Ju tjockare ozonskikt desto mer absorberas UV-strålarna, och ju längre väg solstrålningen går genom atmosfären desto mer sprids den. Det senare innebär att en lågt stående sol kommer att ge en lägre UV-strålning än en högt stående sol.

Utöver solhöjden, ozonskiktets tjocklek och mängden partiklar i atmosfären beror UV-strålningen även på vilken reflektionsförmåga markytan har och hur tjockt molntäcket är.

Arktis speciella förhållanden med mycket is och snö gör att om

UV-strålningen träffar ett utbrett snöfält, reflekteras en mycket stor del av den upp i atmosfären, för att sedan åter reflekteras tillbaka ner mot jordytan igen. Detta upprepas flera gånger och kallas multipelreflektion. Detta ökar UV-strålningen med så mycket som 20 – 40 procent jämfört med om det hade varit barmark eller skog. I extrema polarmiljöer kan ökningen nästan bli dubbelt så hög.

En stor del av Arktis utgörs av havsområde. När havet är täckt av is når i praktiken ingen UV-strålning ner i havet, men på sommaren under mer isfria förhållanden kan en tämligen stor del av UV-strålningen tränga ned till någon meters djup. Under vintern är UV-strålningen i praktiken noll, men under sommarhalvåret kan den ökade UV-strålningen påverka ekosystemet i polarhavet och en smältande polaris kan skynda på denna utveckling.

### KUNSKAP INFÖR VIKTIGA BESLUT

På många plan blev hotet mot ozonskiktet en solskenshistoria att glädjas åt, men också något att dra lärdom av. Inte minst visar det på värdet av att forskare söker och tillämpar kunskap för att sedan förmedla resultat, om än komplexa och besvärande, till beslutsfattare. För de senare gäller det att ha förmågan att försöka förstå och se bortom kortsiktiga vinster, pågående konflikter och inte minst att komma överens med andra länders beslutsfattare, trots att kunskapsunderlaget inte alltid är helt komplett.

Weine Josefsson. SMHI  
weine.josefsson@smhi.se

#### LÄSTIPS:

Bernhard, G., Dahlback, A., Fioletov, V., Heikkilä, A., Johnsen, B., Koskela, T., Lakkala, K., & Svendby, T. 2013. *High levels of ultraviolet radiation observed by ground-based instruments below the 2011 Arctic ozone hole*, Atmos. Chem. Phys., 13, 10573-10590, doi:10.5194/acp-13-10573-2013.

Chubachi, S. 1985. *A Special Ozone Observation at Syowa Station, Antarctica From February 1982 to January 1983*, Atmospheric Ozone, edited by C. S. Zerefos and A.M. Ghazi, pp. 285-289, D. Reidel, Norwell, Mass.

Farman, J. C., Gardiner, B. G. & Shanklin, J. D. 1985. *Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction*, Nature 315 (6016): 207. doi:10.1038/315207a0.

Fountoulakis, I., A. F. Bais, K. Tourpali, K. Fragkos, & S. Misios. 2014. *Projected changes in solar UV radiation in the Arctic and sub-Arctic Oceans: Effects from changes in reflectivity, ice transmittance, clouds, and ozone*, J. Geophys. Res. Atmos., 119, 8073–8090, doi:10.1002/2014JD021918.

*Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment – 2015*, Copies of the report are available from United Nations Environment Programme (UNEP) P. O. Box 30552 Nairobi, Kenya or download [http://ozone.unep.org/Assessment\\_Panels/EEAP/eeap\\_report\\_2014.pdf](http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/EEAP/eeap_report_2014.pdf)

# Kvicksilver färdas till Arktis

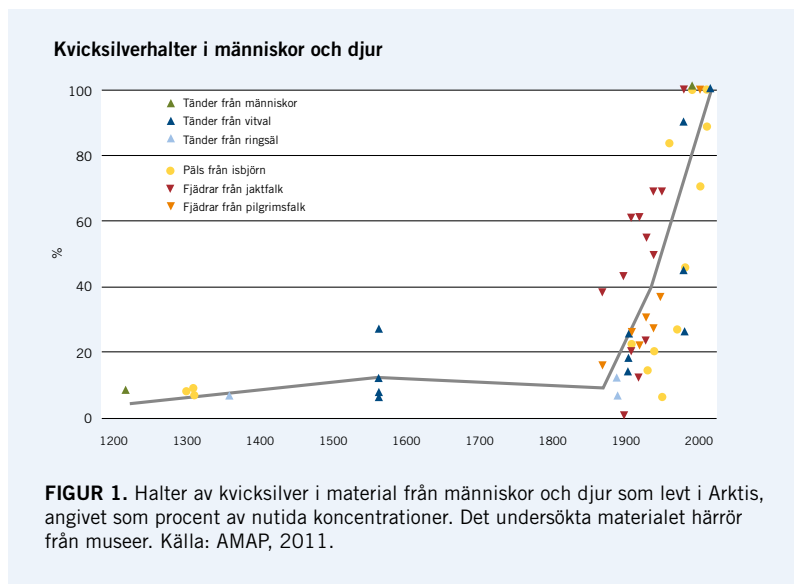
I Arktis finns inga kända kvicksilverkällor. Trots det är kvicksilverhalterna i luften där ofta lika höga som i bakgrundsluften på sydligare breddgrader. Förklaringen är lufttransport, men kvicksilvret följer också med havsströmmar. Kustnära områden får även ett betydande tillskott av kvicksilver från erosion av sedimentlager och tillförsel via floder från de landmassor som omger Arktis.

MED HJÄLP AV modellberäkningar uppskattas att cirka 100 ton kvicksilver årligen transporteras till Norra ishavet via luften, vilket är ungefär lika mycket som de andra flödena tillsammans. Kvicksilver via lufttransport utgör därför det enskilt största bidraget till kvicksilver i detta område. Det deponeras på land och vatten som oorganiskt kvicksilver via regn och snö, samt nedfall av partikelbundet kvicksilver. På grund av ett speciellt fenomen "AMDE" deponeras även stora mängder oxiderat kvicksilver under våren i arktiska områden (se fakta).

## SÅ PÅVERKAS DJUR OCH MÄNNISKOR I ARKTIS

Höga halter av kvicksilver hos människor och djur påverkar reproduktionsförmågan, immunsystemet samt hjärta, kärl- och nervsystem. Utvecklingen av barns, och särskilt fosters, hjärnor kan skadas av kvicksilver.

Figur 1 visar halterna av kvicksilver i lämningar från människor och djur i Arktis från 1200-talet



FIGUR 1. Halter av kvicksilver i material från människor och djur som levt i Arktis, angivet som procent av nutida koncentrationer. Det undersökta materialet härrör från museer. Källa: AMAP, 2011.

fram till nutid. Det är ont om material före 1850, men ökningen av kvicksilver verkar sammanträffa med industrialiseringen i Europa och USA.

Exponeringen av kvicksilver har mätts genom flertalet analyser av kvicksilver i hår- och blodprov samt prov på lever, njure och hjärna. Olika fiskarter, valar, fåglar, sälar och isbjörn har undersökts.

Kvicksilver i hjärnan hos vitval och andra tandvalar har hittats i så höga halter att effekter på nervsystemet inte kan uteslutas. Eftersom en del metylkvicksilver lagras in i pälsen blir pälsdjur som isbjörn och säl av med en del kvicksilver när de byter päls. Detta är troligen orsaken till att isbjörn och säl har lägre kvicksilverhalter i hjärnan än tandvalar.

Förändringar i lever och njure som troligen orsakats av kvicksilver har hittats hos isbjörn utanför östra Grönland, hos vitval, grönlandsval och hos ringsäl i Alaska. Pilotval vid Färöarna har så höga kvicksilverhalter att de riskerar leverskador. Trots de undersökningar som gjorts saknas fortfarande kunskaper för att få en heltäckande bild av hur djurlivet i Arktis påverkas av kvicksilver.

### KOMBINATIONSEFFEKTER

Faunan i Arktis påverkas också av andra miljögifter som kadmium och persistenta organiska miljögifter. Den sammanlagda effekten av olika miljögifter i kombination med klimatförändringar kan vara av avgörande betydelse. Det här är en mycket komplex fråga och det återstår mycket forskning på området.

### KOSTEN EN RISK

Eftersom den traditionella dieten bland många folkgrupper i Arktis, till exempel inuiterna, är fisk-, säl- och valkött men också inre organ från säl och val är de särskilt

exponerade för kvicksilver och andra miljögifter. Det här problemet uppmärksammades tidigt och myndigheterna i de berörda länderna har informerat om riskerna och gett råd om vad och hur ofta man kan äta traditionell kost, eftersom metylkviksilver från mamman kan överföras till fostret via blodet. Gravida kvinnor och kvinnor i barnafödande ålder rekommenderas att helt avstå från föda med höga kvicksilverhalter eftersom det visat sig kunna ge direkta skador på foster och ammade barn.

Färöarna utgör ett mycket speciellt fall, där pilotval varit en viktig föda. Halten kvicksilver i pilotval är mycket hög och studier från 1980- och 1990-talet visade att barn födda av mödrar som ätit pilotvalkött fick små, men ändå tydliga, utvecklingsstörningar i form av språkinlärnings- och minnesförmåga, samt försämrade syn- och hörselintryck. Myndigheterna rekommenderade då kvinnor i barnafödande ålder att helt avstå från pilotvalkött. Rådet följdes och sedan dess har kvicksilverhalten

i blod i den här gruppen kvinnor minskat med nära 90 procent.

Undersökningar visar nu att kvicksilver minskar i blod från kvinnor i barnafödande ålder i hela Arktis. Trots det finns det mödrar och unga kvinnor bland vissa folkgrupper i Arktis som fortfarande får i sig kvicksilver via maten i mängder långt över det rekommenderade intaget.

### KVICKSILVER SPRIDS I MILJÖN

På grund av människans aktiviteter har kvicksilverhalterna i luft, vatten och i mark ökat kraftigt. Det kvicksilverhaltiga mineralet cinnober har under tusentals år använts som färgpigment och för att utvinna rent, metalliskt kvicksilver. Metalliskt kvicksilver har i sin tur exempelvis använts vid guldutvinning, även detta sedan tusentals år tillbaka. Men den största ökningen har skett under 1900-talet då industrialiseringen tog fart på allvar.

I borrhärdar från glaciärer finns nedfall av luftföroreningar från tidigare år samlat i olika lager. Om man analyserar innehållet av kvicksilver i de olika lagren kan man se



En del metylkviksilver lagras i pälsen. När pälsdjur som isbjörn och säl byter päls blir de av med en del av kvicksilvret. Storsäl (*Erignathus barbatus*), Svalbard.

#### FAKTA:

#### Metylkviksilver vandrar uppåt

Oorganiskt kvicksilver kan omvandlas till metylkviksilver – den giftigaste formen av kvicksilver. Exakt hur det går till och i vilken omfattning det sker är inte helt känt. Men man vet att metylkviksilver kan bildas av bakterier i syrefattiga miljöer i arktiska våtmarker och sjöar, samt i sediment. Metylkviksilver kan också på liknande sätt bildas i sedimenten på Arktis havsbotten. Fördelen med metylkviksilver är att det tas upp av alger och mikroorganismer, basen i näringsväven. Alger och mikroorganismer föder högre livsformer som små kräftdjur, som i sin tur blir mat åt fiskar. Rovfiskar, fåglar och sälar livnär sig på fisk, och så vidare. Man räknar med att anrikningen av metylkviksilver i varje steg i näringskedjan kan öka tre till sju gånger. På så vis kan halten av metylkviksilver i de djur som befinner sig längst upp i näringskedjan bli miljoner gånger högre än den miljö de lever i.



*Invånare i Aksarka, Jamalo-Nentsien,  
Tjumen oblast, västra Sibirien.*

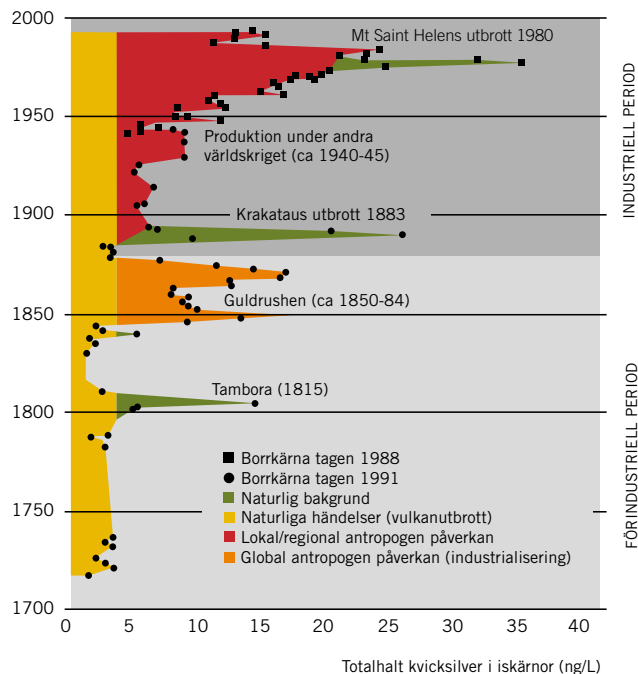
hur nedfallet förändrats med tiden. Borrkärnor från en glaciär i Klippiga Bergen i USA visar hur mängden kvicksilver i luften där varierat från början av 1700-talet fram till idag (figur 2). Tidiga variationer av kvicksilverhalter i glaciärisen kan knytas till stora vulkanutbrott, men under senare delen av 1800-talet fram till idag domineras spridningen helt av mänskliga aktiviteter.

Nuvarande utsläpp av kvicksilver till luft orsakat av människan uppskattas till cirka 2000 ton kvicksilver per år. Figur 3 visar utsläppens fördelning på olika verksamheter. Det största bidraget kommer från småskalig guldutvinning och utgör 37 procent av de totala utsläppen. Andra betydande källor är förbränning av kol, olika typer av metallbearbetning samt produktion av cement. Ny teknik vid kolkraftverk och andra verksamheter har minskat kvicksilverutsläppen i Europa och Nordamerika under senare decennier, men däremot ökar de i utvecklingsländer i bland annat Asien.

## KVICKSILVRETS KRETSLOPP I NATUREN

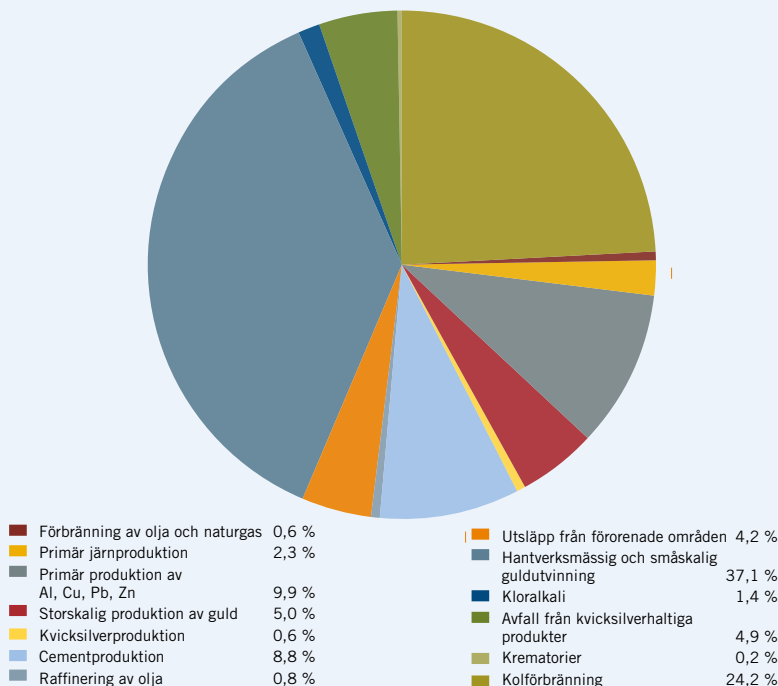
Allt kvicksilver kommer ursprungligen från berggrunden. Innan människan började exploatera fyndigheter av kol och metaller och annat, fanns endast de naturliga källorna som tillförde kvicksilver till luft, land och hav. Kvicksilvret i haven och på land återgår långsamt till mineralriket när det binds till jord på land och till sedimenten i sjöar och på havsbottnar. Det här är en mycket långsam process som pågår under tusentals år. Troligen har det tidigare funnits en sorts balans mellan det kvicksilver som tillfördes via vulkanutbrott och erosion och det som återfördes via sedimentation och omvandling till berggrund.

### Kvicksilver i iskärnor



FIGUR 2. Analys av kvicksilver i iskärnor från Upper Fremont Glaciären i Klippiga bergen i USA (1 ng = 1 miljarddel gram). Källa: Schuster med flera 2002.

### Fördelning globala kvicksilverutsläpp



FIGUR 3. Globala utsläpp av kvicksilver till luft fördelat på olika samhällssektorer. Källa: AMAP-rapport 2013.



**FIGUR 4.** Kvicksilver har ett komplicerat kretslopp i naturen och figuren visar en förenklad bild av detta. Kvicksilver som deponerats på land- och havsytor kan återgå till atmosfären. Det här förlänger kvicksilvrets uppehållstid i miljön.

Genom att stora mängder kvicksilver frisatts på förhållandevis kort tid har den här balansen rubbats och kvicksilverhalten i atmosfären uppskattas ha stigit tre till sju gånger jämfört med för flera tusen år sedan. Kvicksilver på land och i haven har ökat i motsvarande grad.

Kvicksilver har ett komplicerat kretslopp i naturen. Den största spridningen sker via luft i form av gasformiga kvicksilveratomer. Metallen kan också förekomma på partiklar i luft och det finns även oxiderade former av kvicksilver som är gasformiga. Atomärt kvicksilver har lång uppehållstid i atmosfären, vilket gör att det lätt kan spridas globalt innan det

oxideras och faller ner på land- och havsytor. Upphållstiden förlängs dessutom genom att kvicksilvret kan reduceras tillbaka till atomär form som i gasform återgår till atmosfären. Man har uppskattat att avgången av kvicksilver från land- och havsytor är lika stor eller till och med större än de direkta utsläppen av kvicksilver orsakade av oss människor.

#### **INTERNATIONELLT ARBETE FÖR MINSKADE UTSLÄPP**

Inom UNEP (United Nations Environment Programme) pågår ett viktigt arbete för att minska de globala utsläppen av kvicksilver. Minamatakonventionen är en

#### **FAKTA: Kvicksilver**

Kvicksilver (Hg) är en giftig tungmetall som förekommer i jordskorpan i låga halter, främst i form av mineralet cinnober (HgS dvs. kvicksilversulfid). Metallen är unik på flera sätt med lägre smältpunkt (-39°C) och lägre kokpunkt (357°C) än alla andra metaller. Detta gör att kvicksilver är flytande vid rumstemperatur och kan förekomma i gasform, det vill säga som Hg-atomer (Hg<sup>0</sup>) i luft. Förutom ädelgaserna är kvicksilver det enda grundämnet som uppträder som en atomär gas vid normala temperaturer. Kvicksilver kan även ingå i oorganiska och organiska kemiska föreningar. Luftburet kvicksilver utgörs till större delen av atomärt kvicksilver (> 98 procent) och små mängder av oxiderat gasformigt kvicksilver samt partikulärt bundet kvicksilver. Kvicksilveratomer i luft är relativt stabila vilket gör att de har lång uppehållstid i atmosfären (cirka 1 år) och kan spridas globalt innan de oxideras och lämnar atmosfären via våt- eller torrdeposition. Det vill säga via nederbörd eller i form av nederfall av torra partiklar. Oxiderat kvicksilver (Hg<sup>2+</sup>) kan omvandlas till metylkvicksilver i fuktiga och syrefattiga miljöer via naturliga biologiska processer. Metylkvicksilver är den giftigaste formen av kvicksilver i naturen och tas lätt upp och anrikas i levande organismer.

internationell överenskommelse för att minska all mänsklig användning och utsläpp av kvicksilver till skydd för människor och miljö. I mars 2015 hade 128 länder skrivit under konventionen och 10 länder, däribland USA, ratificerat den, dvs. förbundit sig att följa det internationella avtalet och infört lagar i sitt rättssystem som gör detta möjligt. Minamatakonventionen är ett stort steg i rätt riktning för att minska kvicksilver i naturen, men mycket arbete återstår.

**Ingvar Wängberg**, IVL  
ingvar.wangberg@ivl.se



## FAKTA: AMDE

Atmospheric Mercury Depletion Events kan översättas med tillfälliga då kvicksilver i sin grundform ( $Hg^0$ ) oxideras och deponeras på snö och is. Fenomenet uppträder i Arktis efter vårdagjämningen. Förloppet tar bara några timmar och pågår av och till från slutet av mars fram till början av maj. Det hela tros bero på atmosfäriska reaktioner som drivs av solljus och halogener, främst bromföreningar, som finns naturligt i havet och isen. Fenomenet leder till att även andra gaser, såsom olika kolväten och marknära ozon också oxideras. Det är osäkert hur mycket kvicksilver som tillförs Arktis via AMDE, men modellberäkningar visar att

det kan röra sig om upp till 40 ton per år. Det kan jämföras med den totala årliga tillförseln av kvicksilver till Arktis som har uppskattats till cirka 200 ton. Delar av det här kvicksilvret kan omvandlas till metylkvicksilver och upptas i den arktiska näringskedjan. Det sker senare på våren när isen och snön smälter. Trots allt är det oklart vilken inverkan AMDE har för tillförseln av kvicksilver till Arktis eftersom så mycket som 80 procent av det nedfallna oxiderade kvicksilvret kan reduceras tillbaka till  $Hg^0$  på bara några få dagar. Det innebär att det då blir biologiskt otillgängligt, samt att det även kan transporteras bort från Arktis.

## LÄSTIPS:

AMAP Assessment 2011: *Mercury in the Arctic*  
ISBN – 13 978-7971-068-4

AMAP, 2011. Arctic Pollution 2011. *Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*  
ISBN – 13 978-82-7971-066-0

AMAP/UNEP Technical Background report for the *Global Mercury Assessment 2013*. [www.amap.no](http://www.amap.no)

Helen M. Amos, Daniel J. Jacob, David G. Streets, Elsie M. Sunderland. 2013. *Legacy impacts of all-time anthropogenic emissions on the global mercury cycle*. GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES, VOL. 27, 410 – 421, doi:10.1002/gbc.20040

Paul F. Schuster m. fl. 2002. Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: *A glacial ice core record of natural and anthropogenic sources*. Environ. Sci. Technol. Vol. 36, 2303-2310.

**FAKTA: Taiga**

Den svenska barrskogsmiljön är en del av den boreala taigan. Oftast syftar man på det sibiriska barr- och urskogsområdet, men ordet används även som generell beteckning för barrskogsbältet på norra halvklotet. Taigan är ett av de största skogsområdena med majoriteten av jordens barrträd och cirka 29 procent av den totala skogsarealen på jorden. Näst efter tundran är taigan det växt- och djursamhälle som har de lägsta årliga medeltemperaturerna.

## Transport och nedfall av kvicksilver i Sverige

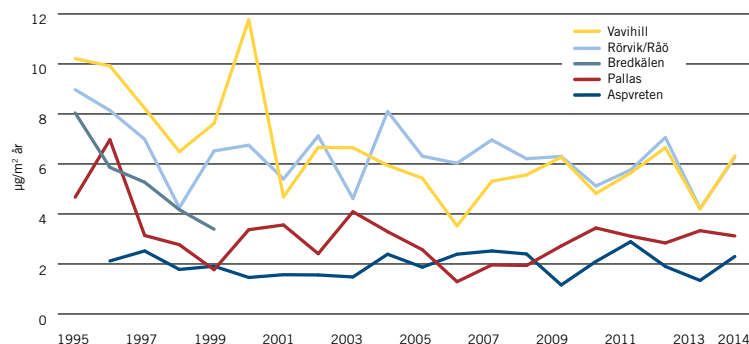
Den svenska barrskogen är en del av den boreala taigan. Föroreningar som kvicksilver transporteras från den industrialiserade världen och deponeras i områden långt ifrån källorna, som taigan. Kvicksilver är mycket giftigt och har ett komplicerat kretslopp i naturen. Transporten i ekosystemet påverkas av bland annat skogsbruk och klimatförändringar. Skogsbrukets påverkan har uppmärksammats stort, men forskning visar att det kan ha allt ifrån relativt liten till stor effekt på hur kvicksilvret beter sig. Klimatförändringarna kan ge förändrade flöden på grund av ändrade nederbördsmängder.

KVICKSILVERHALTER I nederbörd har uppmätts sedan 1980-talet i Sverige, först som en del av ett forskningsprogram och från 1994 som en del av den nationella miljöövervakningen. Sedan år 2000 genomförs mätningar till följd av

EU:s luftkvalitetsdirektiv. Antalet mätstationer har varierat och innefattar idag fem stationer från Skåne till norra Finland (figur 1). Nedfallet av kvicksilver är idag i storleksordningen 2 – 8  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , cirka två till tre gånger lägre än under 1980-talet.

I mätningarna av kvicksilvernedfallet kan man tydligt se två trender. Dels har det en geografisk gradient med högre värden i söder än i norr, vilket tydligt visar på påverkan från källor i Europa. Dels har nedfallet också minskat kraftigt med tiden,

## Nedfall kvicksilver över Sverige, 1995 – 2014



**FIGUR 1.** Nedfall av kvicksilver i vid några övervakningsstationer. Nedfallet är högre i södra Sverige (Vavihill, Råö/Rörvik) än i norra delen av landet (Bredkålen, Pallas (Finland). Framförallt i södra Sverige har nedfallet minskat de senaste decennierna. Källa: Naturvårdsverkets datavård.

framför allt under 1990-talet till följd av stora utsläppsminskningar i Europa, men även i mindre omfattning under 2000-talet. Utsläppen från svenska källor är idag låga och har en relativt liten påverkan på nedfallet i Sverige. Utsläppen i Europa har fortsatt att minska

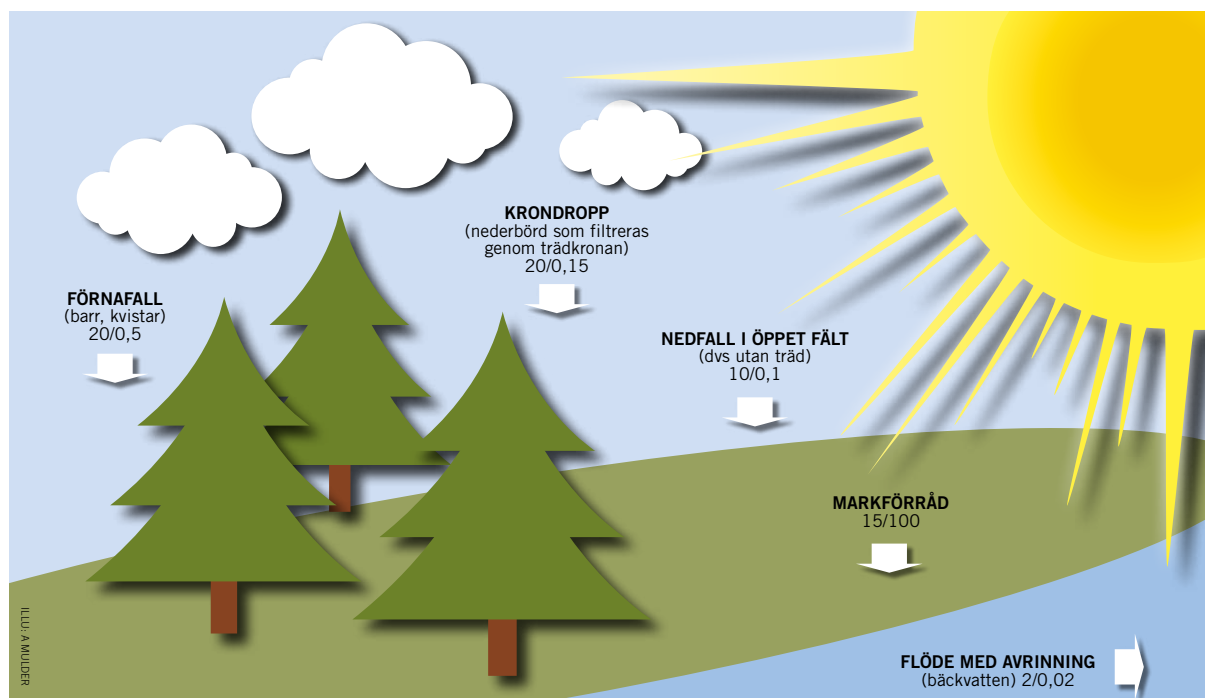
under 2000-talet, men nedfallet i Sverige påverkas också av global transport av kvicksilver och utsläppen i till exempel Kina har ökat under samma period som de europeiska har minskat. Därför har nedfallet endast påverkats mycket lite under senare år.

## LÄCKAGE FRÅN SKOGSMARK TILL YTVATTEN

Kvicksilvers kretslopp i miljön är komplicerat och påverkas av såväl kemiska som biologiska omvandlingsprocesser. Transport mellan olika delar av ekosystemen kan ske i luft och vatten. Kvicksilver binder relativt starkt till organiskt material vilket gör att en stor upplagring har skett i skogsmark tillsammans med humus. Läckage av kvicksilver från skogsmark till ytvatten är en viktig källa till belastning i sjöar och vattendrag, i vissa fall större än nedfallet från luften. Under vissa omständigheter kan också läckaget av metylkvicksilver vara betydande.

## EFFEKTER AV SKOGSBRUK

Transporten av kvicksilver från skogsmark till ytvatten utgör endast en bråkdel av den kvicksilvermängd som finns lagrad i marken, men kan ändå vara en betydande källa för



**FIGUR 2.** Förråd och flöden av kvicksilver eller metylkvicksilver i skogsekosystem baserat på mätningar under 1990-talet. Typiska flöden och förråd av kvicksilver i ett skogsekosystem. Siffran till vänster – totalkvicksilver ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ). Siffran till höger – metylkvicksilver ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ). Markförråd anges i  $\text{g}/\text{m}^2$  för totalkvicksilver och  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  för metylkvicksilver.



FOTO: ROINE MÄGNISSON/PHOTNER

sjöar och vattendrag. Relativt små förändringar av läckaget kan därför också öka belastningen betydligt. Det är idag inte helt klarlagt vilka faktorer som styr hur kvicksilver binds till och läcker ut från skogsmark. Stora variationer förekommer mellan olika avrinningsområden, men läckaget av kvicksilver har till exempel visat sig korrelera väl med läckage av organiskt material. Avrinningsområden med stor andel våtmarker läcker lättare metylkvicksilver till omgivningen jämfört med exempelvis podsolljor.

Skogsbrukets påverkan på läckaget av kvicksilver, framför allt av metylkvicksilver, har fått stor uppmärksamhet sedan det först upptäcktes för cirka tio år sedan. Flödet av kvicksilver påverkas delvis genom att kalhuggning förändrar markens vattenbalans, men främst på grund av de skador som orsakas av skogsmaskiner. Studier av skogsbrukets effekter visar varierande resultat med allt från ingen alls till stor påverkan, men sam-

manfattningsvis är påverkan störst i områden som innan skadorna hade lågt läckage. Områden som redan innan avverkningen hade ett högt läckage påverkas däremot i mindre utsträckning.

#### **FÖRÄNDRAT KLIMAT PÅVERKAR**

Klimatförändringarna kan komma att påverka läckage från skogsmark främst genom att ökad eller minskad nederbörd och förändrade flöden kan påverka markens vattenbalans. Högre temperaturer kan också bidra till snabbare nedbrytning av organiskt kol, som annars binder kvicksilver i marken, samt snabbare produktion av metylkvicksilver.

I nuläget finns tyvärr väldigt lite information tillgänglig om klimatförändringens påverkan på kvicksilverläckage. I en studie i Gårdsjöområdet, 50 km norr om Göteborg, med experimentell bevattning av ett mindre avrinningsområde som skulle motsvara en ökning av nederbörden med 50 procent, ökade

#### **FAKTA: Metylkvicksilver**

Alla former av kvicksilver är giftiga för människor men metylkvicksilver är den enda formen som förekommer i miljön i halter som kan skada människor, trots att den totalt sett utgör en mycket liten andel. Orsaken är att metylkvicksilver lätt tas upp av organismer och ackumuleras i näringsväven i våra sjöar och vattendrag. Idag har cirka hälften av landets insjöar kvicksilverhalter som överstiger de internationella normer som är satta för att skydda de mest känsliga individerna, som i detta fall är foster. Gravida kvinnor ska alltså inte äta vissa former av insjöfisk då det finns risker för fosterskador. [www.livsmedelsverket.se](http://www.livsmedelsverket.se)

kvicksilver- och metylkvicksilverläckaget kraftigt, men resultaten från detta experiment är svåra att generalisera.

#### **CLEO BEARBETAR NATIONELLA DATA**

Forskningsprogrammet CLEO samlar in och bearbetar statistiskt nationella data om kvicksilver i

avrinningsvatten tillsammans med information om klimat, avrinningsområdenas egenskaper m.m. Resultaten har använts för att beräkna och skala upp den påverkan som skogsbruk kan ha på nationell nivå. De preliminära analyserna visar att ett nytt, intensivt skogsbruk på 15 procent av den svenska skogsarealen skulle leda till ökad kvicksilverbelastning på ytvatten

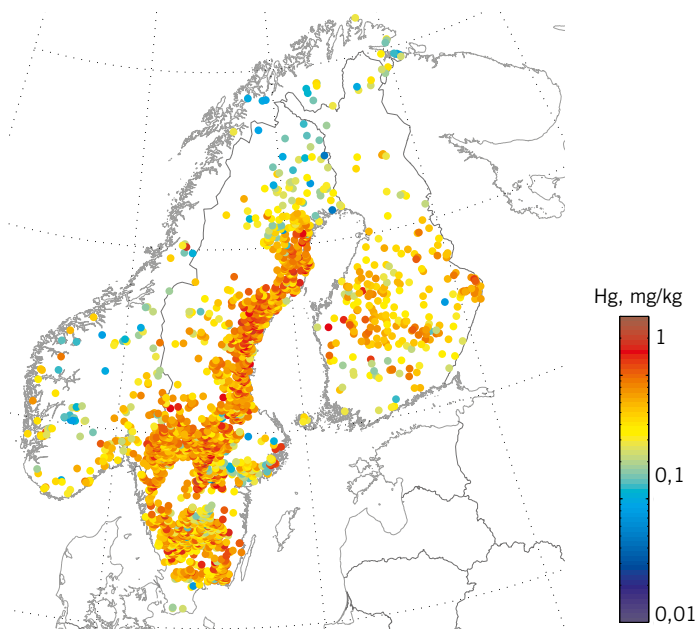
från nuvarande 347 kg/år till 413 kg/år. Motsvarande siffror för metylkvicksilver är en ökning från 25 till 36 kg/år.

### FISKEN KAN PÅVERKAS YTTERLIGARE

Den ökade belastningen på ytvatten kan förväntas leda till att även kvicksilverhalterna i fisk påverkas, men hur mycket är svårt att bedöma.

Kvicksilver i fisk i svenska sjöar överskrider ofta EU:s gränsvärden och återhämtningen går långsamt trots minskat nedfall. Även små förändringar i belastningen kan fördröja fiskens framtida återhämtning.

John Munthe, IVL  
john.munthe@ivl.se



**FIGUR 3.** Kvicksilver i gädda (1 kg) i nordiska insjöar. Figuren bygger på data insamlade under perioden 1965 till 2004. Röda värden över gränsvärdet på 1,0 mg/kg (mätt i muskel) innebär att fisken inte får säljas som livsmedel enligt EU. Källa: Naturvårdsverkets datavård.

### FAKTA: Kvicksilver i miljön

Kvicksilver är ett grundämne som förekommer i alla delar av våra ekosystem. Under industrialismen ökade utsläppen av kvicksilver från industriell verksamhet och från förbränning av bland annat kol. Detta har lett till ökade halter i både luft, jord och vatten. Kvicksilver har använts flitigt i en rad industriella processer och produkter, där kanske kvicksilvertermometrar är den mest kända. Kvicksilverföroreningar i landets sjöar och vattendrag är ett resultat av historiska nationella utsläpp och långdistanstransport av kvicksilver från utsläpp i Europa och globalt.

Kvicksilvrets egenskaper, rörlighet och skadliga effekter varierar beroende på vilken kemisk form det har. Elementärt, metalliskt kvicksilver är en flytande metall som även är flyktig, vilket innebär att den kan avgå till luft och transporteras långa sträckor. I nederbörd, sjöar och hav förekommer kvicksilver mest i oxiderad, vattenlöslig form, och i skogsmark och sediment är det bundet till organiskt material. En mycket liten andel av den totala kvicksilvermängden i miljön består av organiskt kvicksilver, så kallat metylkvicksilver.

### LÄSTIPS:

CLEO, 2014. *Klimatförändringen och miljömålen*. Rapport till Naturvårdsverket inför Fördjupad Utvärdering 2015. [www.cleoresearch.se](http://www.cleoresearch.se)

Bishop, K., Allan, C., Bringmark, L., Garcia, E., Hellsten, S., Högbom, L., Johansson, K., Lomander, A., Meili, M., Munthe, J., Nilsson, M., Porvari, P., Skyllberg, U., Sørensen, R., Zetterberg, T., & Åkerblom, S. *The Effects of Forestry on Hg Bioaccumulation in Nemoral/Boreal Waters and Recommendations for Good Silvicultural Practice*. *Ambio* 38, 373 – 380, 2009.  
Munthe, J., Wängberg, I., Rognerud, S., Fjeld, E., Verta, M.,

Porvari, P. & Meili, M. 2007. *Mercury in Nordic ecosystems*. IVL rapport B1761. [www.ivl.se/publikationer](http://www.ivl.se/publikationer).

Munthe, J. & Hultberg, H. 2004. *Mercury and methylmercury in run-off from a forested catchment - concentrations, fluxes and their response to manipulations*. *Water, Air, Soil Pollution Focus* 4, 607 – 618.

Porvari P., Verta M., Munthe J. & Haapanen, M. 2003. *Forestry practices increase mercury and methylmercury output from boreal forest catchments*. *Environmental Science and Technology* 37, 2389 – 2393.

**FAKTA:****Stockholmskonventionen**

Stockholmskonventionen (UNEP Stockholm Convention) syftar till att skydda människors hälsa och miljön från långlivade organiska föreningar (POP:s). Detta ska uppnås genom att förbjuda eller begränsa produktion, användning, handel och lagring samt att minimera eller om möjligt eliminera utsläpp av oavsiktligt bildade POP:s. Långdistanstransport och förekomst av organiska ämnen i den arktiska miljön är viktiga parametrar för att ämnen ska regleras inom Stockholmskonventionen.



## Miljögifter transporteras till Arktis med luften

Persistenta organiska föroreningar, så kallade POP:s, finns i den arktiska miljön trots att de inte har använts eller släppts ut där. De transporteras huvudsakligen dit via luften från källor i till exempel Europa. Där kan de sedan förorena både vatten- och landekosystem via atmosfäriskt nedfall, till exempel i form av regn eller snö.

EN ÄMNESGRUPP SOM ÄR vanligt förekommande i arktiska områden är polyklorerade bifenyl, PCB. De är miljö- och hälsoskadliga industrikemikalier, som trots att de varit förbjudna sedan 1970-talet, fortfarande finns kvar i miljön. De lagras exempelvis i sediment, djur och växter. PCB är ett av de mest undersökta miljögifterna och används därför ofta som indikator för att beskriva hur förorenande ämnen med liknande egenskaper kan transporteras i miljön.

Många klorerade bekämpningsmedel som idag är förbjudna förekommer också i den arktiska miljön. Exempel på sådana är hexakloro-cyklohexaner, HCH:er, som tidigare använts världen över.

### LÅNGVÄGA TRANSPORT

Hur kemikalier rör sig och fördelas i miljön beror på ämnets fysikaliska och kemiska egenskaper samt var och hur utsläppet ägde rum. Många POP:s tillhör gruppen ”semivolatila” organiska ämnen, det vill

säga de förekommer i luften både i gasfas och bundna på partiklar. I vilken form ett ämne förekommer i atmosfären är väsentligt för dess vidare spridning i miljön. Lufttransport av persistenta, det vill säga långlivade organiska ämnen från de områden där ämnena används och släpps ut till Arktis sker över flera klimatzoner. Det kan beskrivas som en så kallad global fraktionering – en upprepad förångning och deponering av ämnena, som bland annat beror på luftens

temperatur och ämnens fysikalisk-kemiska egenskaper. När persistenta organiska ämnen transporteras från varmare till kallare områden enligt denna princip kallas det för "grasshopper effect".

Många organiska miljögifter har hittats i både luft, vatten, mark, växter och djur i Arktis. Persistenta ämnen som når Arktis kan bioackumuleras i näringsväven. Djur och människor exponeras via födan och det är hos dessa toppkonsumenter som de ansamlas i högst koncentrationer.

### MÄTNINGAR I LUFT

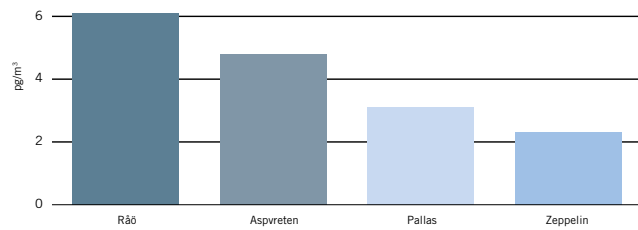
Inom ramen för Naturvårdsverkets luftövervakningsprogram mäts halter av organiska miljögifter i luft och atmosfäriskt nedfall vid en subarktisk station i norra Finland (Pallas) samt på den svenska västkusten (Råö) och ostkusten (Aspvreten). Mätningarna ska belysa vilka olika källor och spridningsvägar som kan finnas samt betydelsen av långväga lufttransport. Delprogrammet startade i mitten av 1990-talet vilket gör det möjligt att idag analysera tidstrender av halter i luft och nedfall. Mätningarna ingår i såväl europeiska (EMEP) som arktiska (AMAP) mätprogram.

Att PCB kan transporteras över långa avstånd visas av att de förekommer i bakgrundsluft både i Arktis och i norra Finland. PCB-halterna i Pallas år 2013 ligger på samma nivå eller något högre än dem som förekommer på den arktiska stationen Zeppelin, på Svalbard (se figur 1). Generellt har PCB-halterna varit högre i södra Skandinavien, dvs. närmare källorna jämfört med i norra Finland.

Halterna av PCB vid Pallas har minskat sedan mätningarna började men mellanårsvariationer med högre halter förekommer (se figur 2). Trendberäkningar visar att PCB-halterna i Pallas och Råö har minskat med mellan två och fem procent per år under mätperioden. Minskningen av PCB-halterna går långsamt, vilket visar att PCB lagrats upp i samhället och ekosystemet.

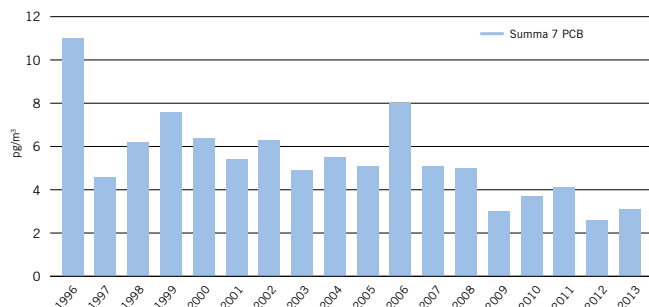
Lufthalterna av PCB vid Pallas varierar mellan årstiderna. De är som högst under sommaren och som lägst under vinterhalvåret. Detta tyder på att PCB återförs till luften från vatten och mark när det blir varmare på

### Summa PCB i luft vid övervakningsstationerna, 2013



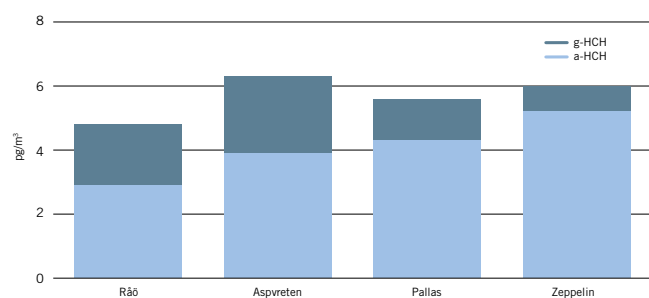
FIGUR 1. Halterna av summa PCB 7 (summan av sju kongener – varianter av PCB) i luft vid Råö, Aspvreten, Pallas och Zeppelin (Svalbard). Årsmedelvärde 2013. Källa: EBAS databas och Naturvårdsverkets datavärd.

### Summa PCB 7 i luft, Pallas 1996 – 2013



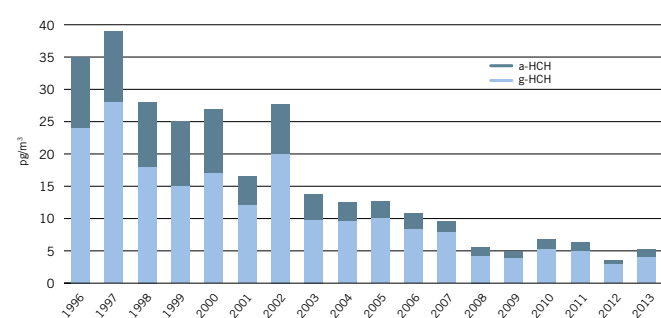
FIGUR 2. Halterna av summa PCB 7 i luft vid Pallas. Årsmedelvärden. Källa: Naturvårdsverkets datavärd.

### HCH:er i luft vid övervakningsstationerna, 2013



FIGUR 3. Halterna av alfa- och gamma-HCH i luft vid Råö, Aspvreten och Pallas och Zeppelin (Svalbard). Årsmedelvärde för 2013. Källa: EBAS databas och Naturvårdsverkets datavärd.

### HCH i luft, Pallas, 1996 – 2013



FIGUR 4. Halterna av HCH:er i luft vid Pallas, årsmedelvärden. Källa: Naturvårdsverkets datavärd.



Mätstation, Adventdalen, Svalbard.

grund av ökad förångning (se ovan ”grasshopper effect”). Det är alltså inte nya källor som ger upphov till de förhöjda PCB-halterna under sommaren. Figur 3 visar halterna av alfa- och gamma-HCH. Till skillnad från PCB ligger halterna av HCH på samma nivå i norr och söder. HCH:er är flyktigare ämnen än PCB och förekommer i luften i gasfas.

HCH-halterna i luft har minskat tydligt sedan mätningarna började i mitten av 1990-talet. Minskningen var som störst under de första årens mätningar för att sedan ligga ungefär på samma nivå (se figur 4). Trendberäkningar visar att HCH i genomsnitt har minskat med cirka sex procent per år. Både alfa- och gamma-HCH är listade i Stockholmskonventionen och användningen av dessa är förbjuden eller starkt begränsad.

#### NYA ÄMNER OCH NYA HOT

Övervakning av olika ämnens koncentrationer i luft, vatten, mark,

växter och djur är ett kraftfullt verktyg för att belysa förändringar och trender av olika föroreningar. Den långsiktiga övervakningen av långlivade organiska föroreningar i luft som sker i Skandinavien och i arktiska områden är viktig för att kunna bedöma tidstrender och följa upp olika åtgärder, nationella miljökvalitetsmål samt internationell lagstiftning. Mätningarna vid Pallas och de andra svenska stationerna är av stort värde för att kartlägga spridning och halter av olika kemikalier i luft till och i arktiska områden.

Det svenska mätprogrammet inkluderar, förutom ovan nämnda föroreningar, ett stort antal ämnen. Det handlar om både miljögifter som idag är förbjudna, oavsiktligt bildade ämnen och ”nya” kemiska ämnen som kommit ut på marknaden – ämnen av så kallad ”emerging concern”. Inom Naturvårdsverkets screeningprogram har ett stort antal nya kemikalier och deras förekomst

#### LÄSTIPS:

Brorström-Lundén E, Pia Anttila P, Katarina Hansson K & Vestenius M. *Levels and trends of organic contaminants in the Nordic atmosphere 1995 – 2011* (2015) Manus inskickat.

Wania F & Mackay D. 1993. *Global Fractionation and Cold Condensation of Low Volatility Organochlorine Compounds in Polar-Regions*. *Ambio*, 22, 10 – 18.

AMAP, Arctic Monitoring and Assessment Program:  
[www.amap.no](http://www.amap.no)

EBAS databas:  
[www.nilu.no](http://www.nilu.no).

Miljögiftseffekter på biota i Arktis:  
[www.ArcRisk.eu](http://www.ArcRisk.eu)

Naturvårdsverkets datavärd:  
[www.ivl.se/datavard-luft](http://www.ivl.se/datavard-luft)

i miljön kartlagts. Exempel på kemikalier som hittas i arktiska områden är bromerade flamskyddsmedel som polybromerade difenyletrar (PBDE) och bekämpningsmedel som endosulfan. Dessa ingår nu i luftövervakningen i Pallas.

**Eva Brorström-Lundén, IVL**  
[eva.bl@ivl.se](mailto:eva.bl@ivl.se)

**Katarina Hansson, IVL**  
[katarina.hansson@ivl.se](mailto:katarina.hansson@ivl.se)

#### FAKTA: AMAP

Arctic Monitoring and Assessment Program, AMAP, är en arbetsgrupp under Arktiska rådet som tillhandahåller information om status för och hoten mot den arktiska miljön. Arbetsgruppen ger även vetenskapliga råd och stöttar de arktiska regeringarna i ansträngningarna för att genomföra korrigerande och förebyggande åtgärder mot föroreningar och deras negativa effekter. Data från svensk luftövervakning till exempel från Pallas används i AMAP:s utvärderingar.



# Så påverkar havsförsurningen Arktis

Ungefär 30 procent av våra koldioxidutsläpp hittills till atmosfären har tagits upp av världshaven, och det är en process som pågår hela tiden. Utan haven hade därför växthuseffekten varit betydligt kraftigare än den är. När koldioxid löses i haven innebär det att pH sänks. Hur påverkas haven kring Arktis när pH sjunker?

**FÖRBRÄNNINGEN AV FOSSILA** bränslen har höjt halten av koldioxid i atmosfären dramatiskt sedan slutet av 1800-talet. Idag är halten cirka 400 ppm, jämfört med cirka 280 ppm år 1750 innan industrialiseringen satte fart.

Hittills har pH i världshaven sjunkit med mellan 0,1 och 0,2 pH-enheter. Det kan tyckas vara lite, men eftersom pH-skalan är logaritmisk är sänkningen kraftig. Relativt säkra prognoser för pH-förändringen visar att havets pH väntas sjunka med cirka 0,4 enheter till år 2100. Det finns inga belägg för att så snabba förändringar av havsvattnets surhetsgrad någonsin ägt rum tidigare. Vatten med ett pH-värde på 7 betraktas som neutrala. Termen havsförsurning används ändå, trots att havet kemiskt sett fortfarande är basiskt och inte surt.

Däremot blir det allt surare. I det kalla Ishavet är pH lägre än i varma hav eftersom koldioxiden löser sig lättare i kallt vatten. Modellering av havsströmmarna kring Arktis och koldioxidutbytet mellan luft och hav visar att pH kommer att sjunka snabbare här än längre söderut. pH-värdet i ytvattnet i Arktis kommer under delar av året sannolikt vara så lågt att aragonit, en form av kalciumkarbonat som bland annat finns i musselskal och koraller, kan lösas upp.

## **ORGANISKT MATERIAL PÅVERKAR**

Ökad tillrinning från floder i Arktis till havet gör frågan mer komplex. En effekt som observerats under senare år är att betydande mängder organiskt material tillförts kusthaven från land, något som sannolikt kommer att öka ännu mer om permafrosten tinar. När det organiska materialet bryts ner förbrukas syre samtidigt som koldioxid bildas och pH sjunker. Andra mer kortsiktiga effekter på pH är exempelvis algbloomningar som höjer pH eftersom växtplanktonen tar upp koldioxid när de tillväxer med hjälp av fotosyntesen.

## **VÄXTPLANKTON REAGERAR OLIKA**

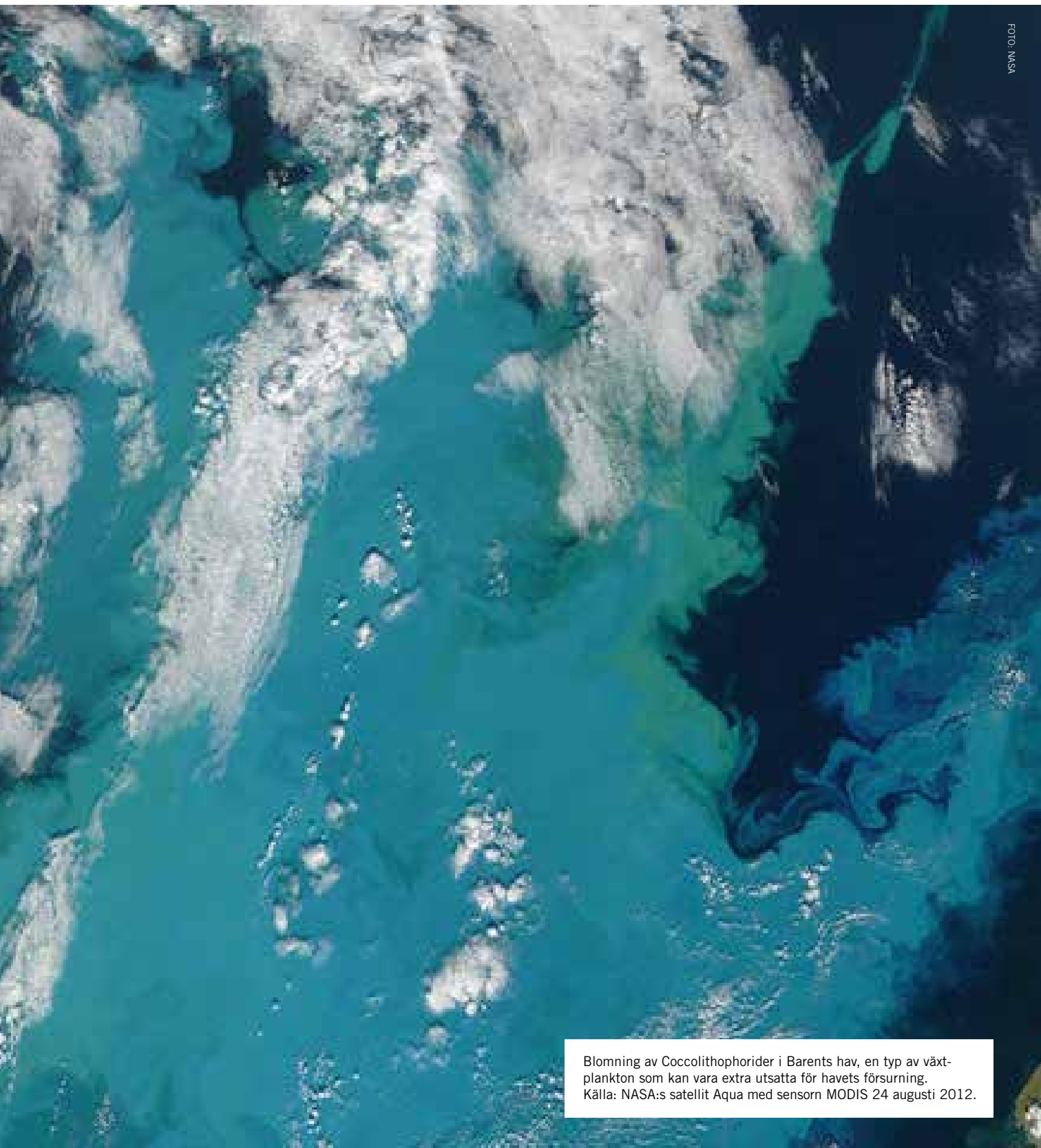
Vad kan havets försurning innebära för Ishavet och andra hav i

Arktis? Hela ekosystemet kommer sannolikt att påverkas, men det är svårt att veta exakt hur eftersom försurningen pågår samtidigt som andra förändringar sker, exempelvis hur vattnets skiktningförhållanden påverkas av högre vattentemperaturer och ändrad tillrinning.

Några processer är dock värda att särskilt lyfta fram. Växtplanktons tillväxt kan komma att gynnas generellt eftersom koldioxid blir mer lättillgängligt i havet. Det skulle kunna ge mer algbloomningar. Studier har visat att växtplanktonarter kan reagera på olika sätt. I ett experiment på Svalbard fylldes stora plastpåsar med havsvatten i vilka man sedan reglerade pH och undersökte hur växtplanktonsamhället påverkades. Det visade sig



FOTO: PETER PROKOSCH



Blomning av Coccolithophorider i Barents hav, en typ av växtplankton som kan vara extra utsatta för havets försurning.  
Källa: NASA:s satellit Aqua med sensorn MODIS 24 augusti 2012.

att små växtplankton gynnades framför större, när pH sänktes. Andra experiment har visat att växtplankton täckta av plattor av kalciumkarbonat missgynnas av sänkt pH. Dessa växtplankton kallas Coccolithophorider och kan blomma kraftigt i Arktis, något som syns väl på satellitbilder (se foto). Nya studier indikerar också att Coccolithophorider kan anpassa sig till ett förändrat pH, vilket kan innebära att de ändå skulle kunna klara sig bra vid ett lägre pH.

### SJÖPUNGAR ISTÄLLET FÖR MUSSLOR

Djur som har kalkskelett, till exempel musslor, snäckor, sjöborrar och en del kallvattenskoraller, kan också vara extra utsatta för havets försurning. Även här har experiment visat att variationen mellan arter är stor. Vissa verkar klara försurningen väl medan andra är mer utsatta. Larvstadier är sannolikt mer känsliga för sänkt pH jämfört med vuxna individer. Om organismer med kalkskelett missgynnas i förhållande till andra så kan stora förändringar i ekosystemet ske. Risker finns att musslor till en del ersätts av sjöpungrar. Förändringarna kommer även att påverka de så kallade ekosystemtjänsterna i havet, bland annat fisket.

### UTMANINGAR FÖR ÖVERVAKNINGEN

Förändringar som hänger samman med havets försurning och andra klimatförändringar ställer nya krav på miljöövervakningen i Arktis. Det är viktigt att etablera provtagningsplatser med frekventa och långsiktiga mätningar av marinbiologiska, kemiska och fysiska parametrar. Automatiska mätsystem kan delvis användas, men provtagning från forskningsfartyg och vid marinbiologiska stationer är grunden i ett



Risken finns att musslorna i haven alltmer ersätts av sjöpungrar.

övervakningssystem. Det finns även mätsystem på lastfartyg i området, bland annat mellan Nordnorge och Svalbard. I Östersjön och Nordsjöområdet är det vanligt med så kallade ferryboxsystem på färjor och lastfartyg. Med dessa system mäts bland annat koldioxidhalter i vatten och luft automatiskt. Det sker även automatisk vattenprovtagning för senare analys av proverna på ett laboratorium. Allt eftersom istäcket i Arktis smälter ökar trafiken med lastfartyg. Det gör det möjligt för fler lastfartyg att användas som plattformar för miljöövervakning. Även fjärranalys kan ge information om algblomningar under molnfria förhållanden och kan i förlängningen berätta om förändringar kopplade till växthuseffekten och havets försurning.

**Bengt Karlson**, SMHI  
bengt.karlson@smhi.se

#### LÄSTIPS:

Brussaard, C.P.D. et al. 2013. *Arctic microbial community dynamics influenced by elevated CO2 levels*, Biogeosciences, 10, 719 – 731.

Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely, and J.A. Kleypas. 2009. *Ocean acidification: the other CO2 problem*. Annual Review of Marine Science 1: 169 – 192.

Duarte, C. et al. 2013. *Is Ocean Acidification an Open-Ocean Syndrome? Understanding Anthropogenic Impacts on Seawater pH*, Estuaries and Coasts, Vol. 36, pp 221-236.

Gattuso J-P. & Hansson L. (Eds.), 2011. *Ocean acidification*, 326 p. Oxford: Oxford University Press.

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

[www.smhi.se/havetsforsurning/ocean-acidification.net/a](http://www.smhi.se/havetsforsurning/ocean-acidification.net/a)

# Den arktiska klimatförändringens effekt på vädret i Sverige

FOTO: PER ERIKSSON/JOHNÉR



Klimatet i Arktis har förändrats snabbt under de senaste trettio åren. Observationerna visar att temperaturen här har ökat mer än dubbelt så snabbt som den globala medeltemperaturen. Klimatförändringarna påverkar Arktis, men hur påverkar dessa förändringar vädret längre söderut?

Utbredningen av havsisen, framförallt på sommaren och hösten, har minskat med över 30 procent och istäckets tjocklek har minskat ännu mer. Snön på Arktis fastland smälter allt tidigare på våren. Mindre is och snö leder till starkare utbytes-

processer mellan det relativt varma havet och den kallare atmosfären. Detta påverkar det lokala klimatet kraftigt och leder till mycket högre temperaturer, mindre stabil temperaturskiktning i atmosfären och därmed till mer nederbörd.

Samtidigt minskar temperaturskillnaden mellan Arktis och områden på sydligare breddgrader under höst och vinter. Det här är en av de viktigaste drivkrafterna som styr den storskaliga atmosfäriska cirkulationen i landområdena söder om Arktis, där bland annat Sverige ligger.

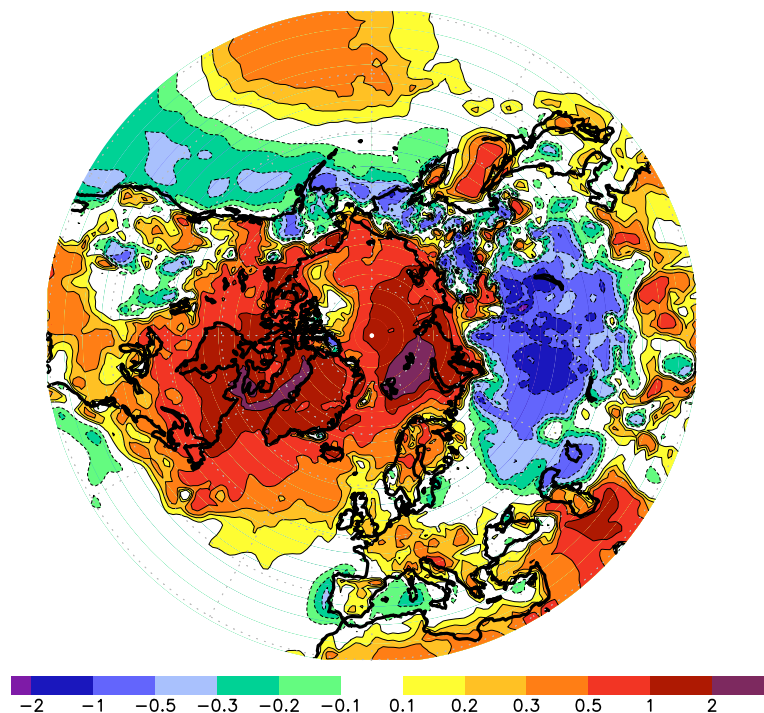
## **VARMT I ARKTIS, RISK FÖR KALLA VINTRAR HOS OSS**

Medan de arktiska områdena har blivit allt varmare, har det på senare år förekommit flera extremt kalla perioder och snöoväder i Europa,

Asien och Nordamerika. Trenden med varmare vintertemperaturer i dessa områden har varit betydligt mindre än det globala medelvärdet. Flera av de senaste vintrarna visar ett så kallat ”varmt Arktis – kallare längre söderut-mönster”. Även i Sverige – efter en lång period med övervägande milda vintrar mellan 1990 och 2005 – har vi upplevt tre kalla vintrar under senare år.

Många klimatstudier har undersökt det här mönstret av ett möjligt sammanhang mellan isminskningen i Arktis och väderförhållanden i främst Europa och Asien under vintern. Både analys av data och simuleringar med klimatmodeller har gjorts. Resultaten är inte helt entydiga, men många studier har hittat ett samband mellan mindre is och färre lågtryck på Nordatlanten. Färre

## Vintertemperatur, trend 1982 – 2013



**FIGUR 1.** Temperaturtrend på vintern, mätt under perioden 1982 – 2013. Bilden visar temperaturförändringar i grader Celsius per 10 år. I Barents hav och i Baffin Bay är förändringen som störst, över 2 grader på tio år. Det beror på att havsisarna minskat i dessa områden. I Östeuropa och Asien blir det desto kallare och det hänger ihop med förändrade vindar.

lågtryck på Atlanten betyder mindre kraftiga västvindar i Sverige och som helhet en tendens till kallare vintrar. Samtidigt pekar vissa studier på mer nord-sydliga vågmönster i de storskaliga vindsystemen och också längre perioder med samma väderläge. För Sverige kan det betyda både längre kalla perioder men också längre perioder med varma sydvindar. Även om vi hade tre kalla vintrar 2008 – 2009, 2009 – 2010 och 2012 – 2013, var vintrarna 2007 – 2008, 2013 – 2014 och även 2014 – 2015 i delar av Sverige rekordvarma.

### RISK FÖR MER VÄRMEBÖLJOR

Isminskningen i Arktis har störst påverkan på cirkulationen i atmosfären vintertid på grund av mycket starkare förändringar av värme-

flödet mellan hav och is då. Detta ger större förändringar i temperaturskillnaden mellan Arktis och mellanbredderna (området mellan 40°N och 60°N) än på sommaren. Men det finns också indikationer på att även sommarvädret kan påverkas av det minskande istäcket. Studier visar en trend med färre västvindar även på sommaren. Det kan betyda att risken för värmeböljor ökar i framtiden, men också mer ihållande perioder med regnväder i Sverige. Men sambandet mellan sommartrender i Europa och isminskningen i Arktis är fortfarande mycket osäker.

### KORTA TIDSSERIER

Studier av istäckets utbredning använder relativt korta tidsserier för att studera klimatförändringar. Till-

förlitliga observationer av isarna i Arktis från satellitdata finns inte före 1978. Detta leder till osäkerheter kring huruvida det är så att sambandet mellan istäcket och strömningen i atmosfären på vintern är verkligt eller slumpmässigt. Det är också oklart om sambandet beror på hur mycket isen minskat och i vilket område den minskat mest. En allt kraftigare minskning av isen i Arktis kan också leda till en större uppvärmning även söder om Arktis, till exempel i Ryssland och Östeuropa, eftersom nordvindar för med sig mindre kall luft söderut när Arktis fortsätter att värmas upp. Samtidigt skulle detta leda till färre extremt kalla perioder, något som klimatmodellerna också visar.

Fortsatt forskning är nödvändig för att ta reda på hur arktiska klimatförändringar kommer att påverka vädret i Sverige. Forskning behövs också för att som helhet bättre förstå processerna som knyter ihop det arktiska klimatet med klimatet på sydligare breddgrader.

**Torben Koenigk**, Rossby Center, SMHI  
torben.koenigk@smhi.se

#### LÄSTIPS:

Coumou, D., J. Lehmann & J. Beckmann, 2015. *The weakening summer circulation in the Northern Hemisphere mid-latitudes*. Science, doi: 10.1126/science.1261768.

Overland, J.E., J.A. Francis, E. Hanna & M. Wang, 2012. *The recent shift in early summer Arctic atmospheric circulation*. Geophys. Res. Lett. 39, doi:10.1029/2012GL053268.

Vihma, T, 2014. *Effects of Arctic Sea Ice Decline on Weather and Climate: A Review*. Surv Geophys 35: 1175-1214, doi: 10.1007/

# Arktiska rådet

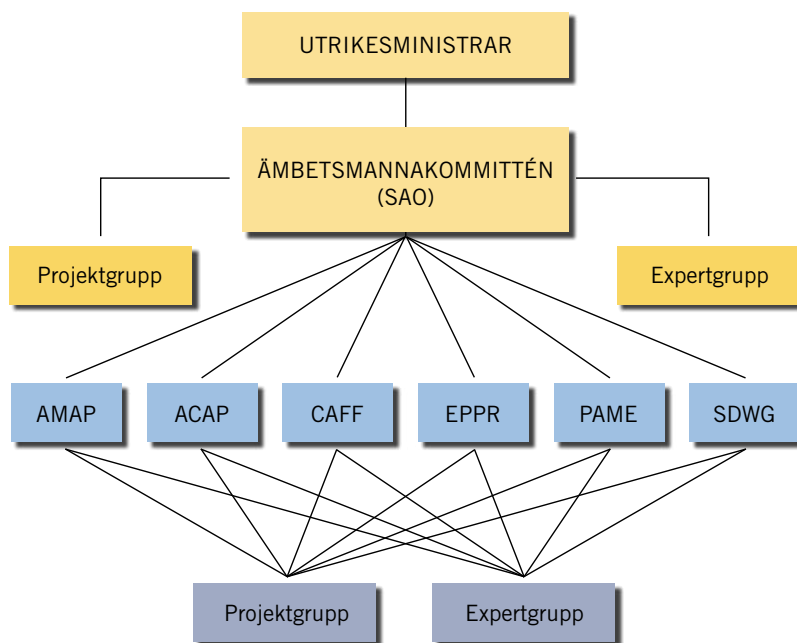
Arktiska rådet är de arktiska staternas samarbetsforum där man gemensamt arbetar för en ansvarsfull utveckling av regionen. Det är det enda politiska samarbetsorganet för arktiska frågor där samtliga länder i området norr om polcirkeln ingår. Arbetet har pågått i snart tjugo år och utmaningarna blir inte färre.

**ARKTISKA RÅDETS HUVUDSYFTEN** är att skydda den arktiska miljön samt verka för en hållbar utveckling av regionen. Allt för att förbättra det ekonomiska, sociala och kulturella välbefinnandet för dem som lever i Arktis.

Rådet är inte grundat på något rättsligt bindande avtal utan har sitt ursprung i ett samarbete mellan de arktiska staternas miljöministrar, den så kallade Rovaniemiprocessen. Samarbetet ledde till en deklaration om att skydda den arktiska miljön. Under den senaste tiden har även andra frågor kommit upp på dagordningen, bland annat sådana som rör näringslivsintressen. Arktiska rådet har mandat att hantera alla frågor, utom militär säkerhet.

## POLITISKA REKOMMENDATIONER

Rådet leds av utrikesministrarna från respektive medlemsländer och håller möten vartannat år. Efter varje möte publicerar Arktiska rådet en ministerdeklaration. Rekommendationerna i deklarationen



**AMAP:** Arctic Monitoring and Assessment Programme **ACAP:** Arctic Contaminants Action Programme **CAFF:** Conservation of Arctic Flora and Fauna **EPPR:** Emergency Prevention Preparedness and Response **PAME:** Protection of the Arctic Marine Environment **SDWG:** Sustainable Development Working Group.

riktar sig till medlemsländerna och meningen är att de ska implementeras nationellt i respektive land. Även om rekommendationerna inte är juridiskt bindande, är de politiskt förpliktigande. Ordförandeskapet roterar mellan länderna och varar i två år. Mellan utrikesministermötena leds arbetet av en ämbetsmannakommitté (Senior Arctic Officials, SAO) som träffas minst två gånger per år. Arktiska rådets formella beslut fattas på utrikesministermötena genom konsensusbeslut.

## ORDFÖRANDESKAPET STYR PRIORITERINGAR

Kanada avslutade sitt ordförandeskap i april 2015 och nu har USA tagit över. Det land som är ordförande har genom sitt ordförandeskapsprogram stort inflytande på vilka frågor rådet ska arbeta med under de kommande två åren. USA kommer främst att lyfta fram det arktiska havet. Här ingår sjösäkerhet, försurning, vetenskaplig förståelse och att förhandla fram ett regionalt havsprogram. Man kom-

## FAKTA: Arktiska rådets medlemmar

Arktiska rådet bildades 1996 i Ottawa efter ett arktiskt miljöministermöte. *Medlemmar* är de åtta arktiska staterna Danmark, Finland, Island, Kanada, Norge, Ryssland, Sverige och USA. Rådet är ett av få internationella samarbetsorgan med representanter för ursprungsfolk som permanenta deltagare. Utöver medlemsstaterna och de permanenta deltagarna finns även observatörer; tolv länder samt ideella och internationella organisationer.

mer också att prioritera förbättrade levnadsvillkor och ekonomiska förutsättningar för ursprungsbe- folkningarna. Klimatförändringar- nas inverkan på Arktis är också en högt prioriterad fråga.

### RÅDETS ORGANISATION

Verksamheten bedrivs huvudsak- ligen av sex arbetsgrupper med experter från fackdepartement, myndigheter och forskningsinstitu- tioner. Arbetsgrupperna har olika inriktning och hanterar frågor som klimatförändringar och annan miljöpåverkan i den arktiska regionen, miljöövervakning, miljö- skyddsfrågor, biologisk mångfald, marina frågor samt frågor som rör ursprungsbefolkningar. Arbetsgrup- perna skapar och arbetar i projekt, program och expertgrupper efter beslut av ämbetsmannakommittén.

Resultaten av arbetsgruppernas insatser presenteras ofta i veten- skapliga rapporter, som många gånger fått stor uppmärksamhet internationellt. Med rapporterna som grund lämnar Arktiska rådet rekommendationer till medlems- staterna som bör följa upp och implementera dem.

### INSATSER DE SENASTE ÅREN

Biodiversitet, havsfrågor och klimat är frågor som prioriteras högt i Arktiska rådet.

- Arbetet med reducering av kortlivade klimatpåverkande ämnen har bland annat resulterat i ett ramverk ”Arctic Council Framework for Action on Enhanced Black Carbon and Methane Emissions Reductions”. Ramverket fokuserar på ambitiösa nationella och kollektiva aktiviteter och godkändes på utrikesministermötet i april 2015.



- Rapporten ”Arctic Ocean Acidification” och uppföljningen av den. Den första rapporten som behandlar havsförsurningen ur ett arktiskt perspektiv.
- ”Rapporten Arctic Biodiversity Assessment” och uppföljningen av dess rekommendationer. Här utvärderas status och trender för den arktiska biodiversiteten. Rapporten har skapat en bas för global och regional utvärdering och kommer att fortsätta vara en guide för Arktiska rådet i frågor om biodiversitet.
- En överenskommelse ”Arctic Search and Rescue Agreement” har antagits och arbetet fortsätter inom detta område.
- En ny ”Arctic Marine Strategic Plan” för 2015 – 2025 har arbetats fram och godkändes på utrikesministermötet i april 2015.
- Ett övergripande samarbete med ursprungsbefolkningar är också högt prioriterat och ingår nu i alla arbetsgruppers program.

## SVERIGE OCH ARKTISKA RÅDET

För Sveriges del har Utrikesdepartementet de formella posterna i Arktiska rådet, sköter förhandlingar och fattar beslut under utrikesministerns ledning. Sakfrågorna bereds på nationell nivå tillsammans med berörda fackdepartement och myndigheter.

Miljö- och energidepartementet har en viktig roll i Arktiska rådet genom att de flesta frågor som rådet hanterar ligger inom miljöområdet. Sverige är aktivt i alla sex arbetsgrupperna och Naturvårdsverket deltar som svensk representant i tre av dessa: ACAP (Arctic Contaminant Action Program),

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme, se faktaruta) och CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna). De övergripande målsättningarna för Naturvårdsverkets medverkan i Arktiska rådet är att:

- bidra till att uppnå de nationella miljömålen,
- bidra till att svenska prioriteringar får genomslag i internationella organisationers analyser och utredningsarbete,
- bidra till att svenska erfarenheter och kunskaper tas tillvara i underlag och analyser,
- miljöarbetet utvecklas i linje med EU-direktiv och internationella konventioner,
- bidra till att sprida kunskaper i Sverige om vetenskapliga underlag och rapporter samt
- bidra till att följa upp riktlinjerna i Sveriges arktiska strategi.

Under det svenska ordförandeskapet 2011 – 2013 antog Sveriges regering den första nationella strategin för Arktis. Syftet med denna strategi för den arktiska regionen är att ur ett internationellt perspektiv presentera Sveriges förhållande till Arktis, våra prioriteringar och hur svensk politik gällande Arktis bör utvecklas. Strategin har tre tematiska områden; Klimat och miljö, Ekonomisk utveckling och Den mänskliga dimensionen.

*Ur Sveriges strategi för Arktis:*  
 ”Den arktiska regionen genomgår omfattande förändringar. Klimatförändringarna skapar nya utmaningar men också möjligheter som Sverige måste förhålla sig till och påverka. Nya förutsättningar för att bedriva sjöfart, jakt, fiske, handel och energiutvinning växer fram och parallellt med detta uppstår nya behov av fungerande infrastruktur. Närvaron av statliga och kommersiella aktörer ökar och nya

beroendeförhållanden uppstår. Det fördjupade nordiska och europeiska samarbetet gör dessutom att Sverige allt tydligare påverkas av andra länders politik och prioriteringar rörande Arktis. Det är av svenskt intresse att nya framväxande aktiviteter styrs av gemensamma och bra regelverk och framförallt att de har ett miljömässigt hållbarhetsfokus”.

**Ann-Sofi Israelson**, Naturvårdsverket  
 ann-sofi.israelson@naturvardsverket.se

## FAKTA: AMAP

Arbetsgruppen AMAP:s (Arctic Monitoring and Assessment Programme) uppdrag är att övervaka och utvärdera tillståndet i den arktiska miljön. Gruppen jobbar i stor utsträckning med klimatfrågor och olika typer av miljögifter, och producerar inom sina områden både vetenskapliga och populärvetenskapliga rapporter samt rekommendationer för åtgärder. Under AMAP finns flera expertgrupper, och oftast är det dessa som skriver de vetenskapliga rapporterna. För luft- och klimatrelaterade frågor finns expertgrupper för klimat, kortlivade klimatpåverkande föreningar, marin försurning, persistenta organiska ämnen, kvicksilver, radioaktivitet och människors hälsa. I de flesta av expertgrupperna finns svenska forskare med. Rapporter från AMAP finns att ladda ner från [www.amap.no](http://www.amap.no). Sverige representeras i AMAP av Tove Lundeberg, Naturvårdsverket.

## LÄSTIPS:

Riksrevisionens rapporter om Arktiska rådet, bland annat: *Sverige i Arktiska rådet - effektivt utbyte av medlemskapet?* Riksrevisionen RIR 2013:9. Rapporterna hittas på: [www.riksrevisionen.se](http://www.riksrevisionen.se), sök på Arktiska rådet.

Sveriges strategi för den arktiska regionen. [www.regeringen.se](http://www.regeringen.se), sök på titeln

Arktiska rådet – Arctic council: [www.arctic-council.org](http://www.arctic-council.org)



Liefdefjorden, Svalbard.

FOTO: MARK MARSSINK





## Sveriges 16 miljökvalitetsmål

Miljökvalitetsmålen följs upp en gång per år. I och med detta görs en bedömning av trender i miljötillståndet och om beslutade styrmedel och de åtgärder som görs har underlättat utsikterna att nå målen. Vart fjärde år utförs en fördjupad utvärdering av möjligheterna att nå miljökvalitetsmålen och det så kallade generationsmålet, dvs. att till

nästa generation kunna lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser. Slutsatserna från de årliga och fördjupade utvärderingarna ligger till grund för de prioriteringar och vägval som görs i miljöpolitiken. Miljöövervakningen har i och med detta en

mycket viktig roll eftersom den i sig är en förutsättning för att miljökvalitetsmålen ska kunna utvärderas.

De miljökvalitetsmål som främst är berörda när det gäller kopplingen till luften och klimatet i Arktis är **Frisk luft**, **Skyddande ozonskikt**, **Begränsad klimatpåverkan**, **Giftfri miljö** och **Bara naturlig försurning**.

### FAKTA: Miljökvalitetsmålen

Sveriges riksdag har antagit 16 miljökvalitetsmål som tillsammans med preciseringar av respektive mål beskriver det tillstånd i den svenska miljön som ska nås. Miljökvalitetsmålen ska vara vägledande för hela samhällets miljöarbete, såväl hos myndigheter, länsstyrelser, kommuner, som näringslivet och andra aktörer.

[www.miljomal.se](http://www.miljomal.se) och [www.naturvardsverket.se/miljomal](http://www.naturvardsverket.se/miljomal)

FOTO: STAFFAN WIDSTRAND/JOHNER



FOTO: ISTOCK



FOTO: ISTOCK



FOTO: ISTOCK



FOTO: NATURE PICTURE LIBRARY



# Programområde Luft

## – nationell övervakning av luften

Den nationella miljöövervakningen av luft studerar halter och nedfall av luftföroreningar som kan orsaka skador på hälsa, naturmiljö och kulturföremål samt bidra till klimatförändringar, ozonuttunning, försurning och övergödning. I övervakningsprogrammet för luft ingår tolv delprogram.

### PROGRAMOMRÅDE LUFT:

Övervakningen sker främst genom mätning och provtagning, men även genom modellberäkningar. Resultaten bidrar till uppföljning av krav i lagstiftning och konventioner samt är en viktig del av underlaget till internationell rapportering, officiell statistik om miljötillståndet och uppföljning av de nationella miljökvalitetsmålen.

**Kontaktperson:** Helena Sabelström, samordnare Programområde Luft  
E-post: [helena.sabelstrom@naturvardsverket.se](mailto:helena.sabelstrom@naturvardsverket.se)

### FÖRSURANDE OCH ÖVERGÖDANDE ÄMNER I LUFT OCH NEDERBÖRD

Syftar till att följa trender av försurande och övergödande ämnen. Programmet är uppdelat i två underprogram: EMEP-nätet och Luft- och nederbördskemiska nätet. EMEP-stationerna (European Monitoring and Evaluation Programme) utgör fyra av ca 100 mätplatser i Europa vid vilka halter av svavel- och kväveföreningar m.m. mäts i luft och nederbörd (Vavihill, Råö, Aspvreten och Bredkålen). I Luft- och nederbördskemiska nätet (LNKN) mäts idag flera motsvarande luftföroreningar i nederbörd vid sexton stationer och som halter i luft vid nio stationer. Delprogrammet bidrar till att följa upp miljökvalitetsnormerna samt bland annat miljökvalitetsmålen *Frisk luft och Bara naturlig försurning*.

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB  
**Kontaktperson:** Maria Barton, Naturvårdsverket  
[maria.barton@naturvardsverket.se](mailto:maria.barton@naturvardsverket.se)

### KRONDROPPSNÄTET

Mätningarna i Krondroppsnätet utförs i samarbete med länsstyrelserna och syftar främst till att bidra med underlag till uppföljningen av miljökvalitetsmålet *Bara naturlig försurning*. I programmet, som omfattar ett sextiototal stationer, mäts nedfall av bland annat svavel- och kväveföreningar, både som krondropp, över öppet fält, som markvatten samt i viss mån även som torrdeposition. Naturvårdsverket finansierar analyser av mätningar i öppet fält vid 18 stationer samt mätningar av torrdeposition vid tio stationer.

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB  
**Kontaktperson:** Maria Barton, Naturvårdsverket  
[maria.barton@naturvardsverket.se](mailto:maria.barton@naturvardsverket.se)

### PARTIKLAR I LUFT

I delprogrammet om partiklar utförs, i enlighet med luftkvalitetsdirektivet och luftvårdskonventionen, mätningar av PM10, PM2,5 och sot på de fyra EMEP-stationerna.

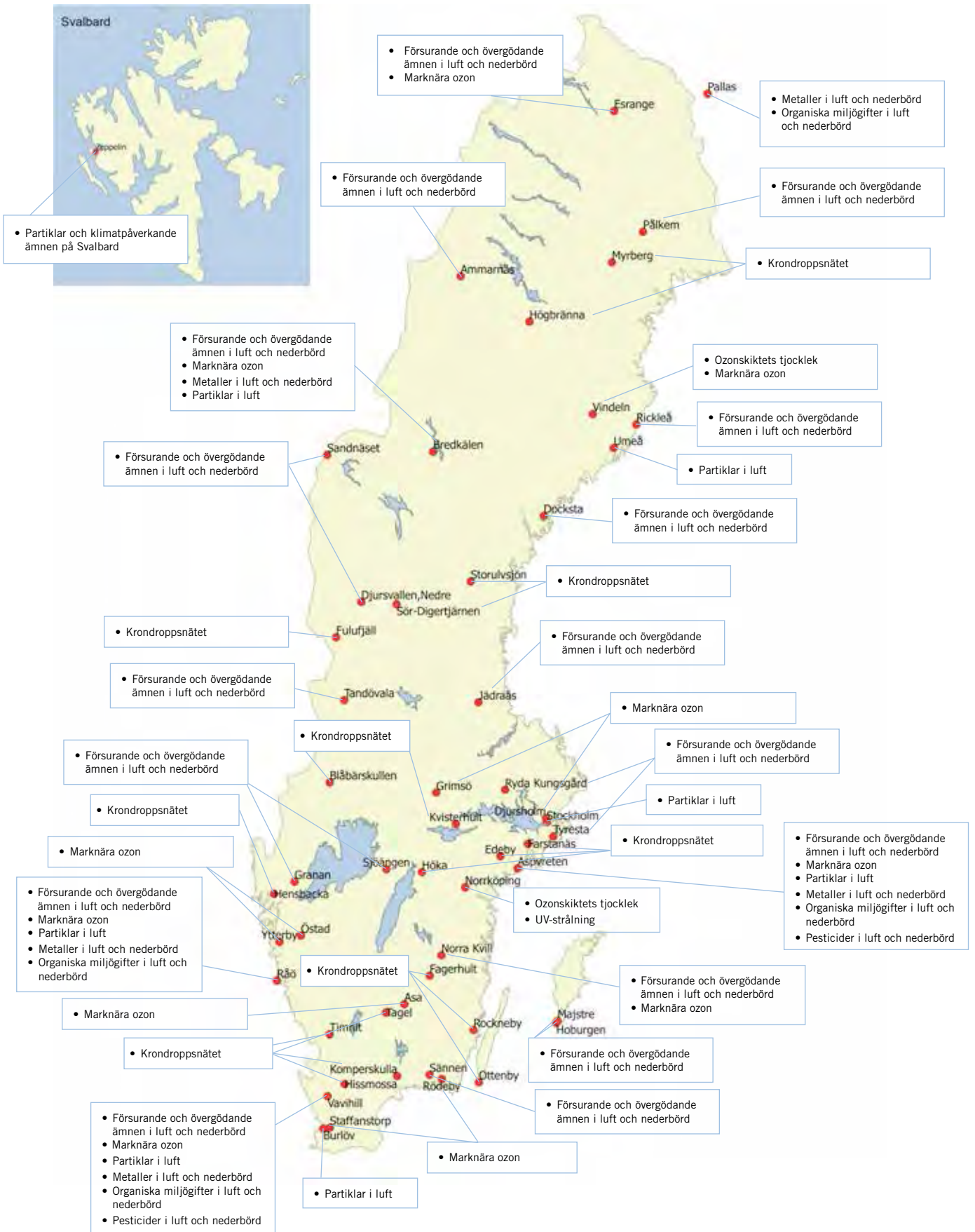
På två av stationerna mäts även bland annat ljusspridning, partikelstorleksfördelning samt elementärt och organiskt kol. På ytterligare tre stationer, som är placerade i urban bakgrund i Burlöv, Stockholm och Umeå, följs luftkvalitetsdirektivets s.k. exponeringsminskningsmål för PM2,5 upp. Delprogrammet bidrar till uppföljningen av miljökvalitetsnormerna samt miljökvalitetsmålet *Frisk luft*.

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Stockholms universitet (ACES)  
**Kontaktperson:** Titus Kyrklund, Naturvårdsverket  
[titus.kyrklund@naturvardsverket.se](mailto:titus.kyrklund@naturvardsverket.se)

### MARKNÄRA OZON

Marknära ozon mäts på de fyra EMEP-stationerna samt ytterligare tio stationer i regional bakgrund och förort i enlighet med krav i luftkvalitetsdirektivet. Resultaten bidrar till att följa upp miljökvalitetsnormerna och miljökvalitetsmålet

# ALLA NATIONELLA MÄTSTATIONER OCH DERAS DELPROGRAM



*Frisk luft*. I övervakningen ingår även en varningstjänst för särskilt höga halter. Information skickas då ut till berörda lokalradiostationer.

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Stockholms universitet (ACES)

**Kontaktperson:**

Matthew Ross-Jones, Naturvårdsverket  
matthew.ross-jones@naturvardsverket.se

## METALLER I LUFT OCH NEDERBÖRD

Tungmetaller mäts på de fyra EMEP-stationerna i Sverige till följd av luftvårdskonventionen samt för att följa upp kraven i direktivet om metaller och PAH. Kvicksilver mäts på tre av stationerna samt på en station i Pallas, norra Finland. Delprogrammet bidrar till uppföljningen av miljö kvalitetsnormerna samt miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö*

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB

**Kontaktperson:**

Lars Klintwall, Naturvårdsverket  
lars.klintwall@naturvardsverket.se

## METALLER I MOSSA

Mätningar av metaller i mossa görs i femårsintervall till följd av direktivet om metaller och PAH och ICP Vegetation i luftvårdskonventionen. Vid kartläggningen mäts ett tiotal tungmetaller på cirka 600 platser över hela landet. Delprogrammet bidrar till att följa upp miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö*.

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB

**Kontaktperson:**

Lars Klintwall, Naturvårdsverket  
lars.klintwall@naturvardsverket.se

## ORGANISKA MILJÖGIFTER I LUFT OCH NEDERBÖRD

I detta delprogram mäts bland annat PAH, PCB, HCB, dioxiner/furaner, pesticider, bromerade flamskyddsmedel och PFAS på fyra olika stationer, varav Pallas är en. VOC mäts på en station i urban bakgrund i Göteborg. Mätningarna görs till följd av direktivet om metaller och PAH, luftkvalitetsdirekti-

vet samt internationella konventioner, t.ex. Stockholmskonventionen. Delprogrammet bidrar till uppföljningen av miljö kvalitetsnormerna samt miljö kvalitetsmålen *Giftfri miljö* och *Frisk luft*.

**Utförare:** IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Stockholms universitet (ACES)

**Kontaktperson:**

Linda Linderholm, Naturvårdsverket  
linda.linderholm@naturvardsverket.se

## PESTICIDER I LUFT OCH NEDERBÖRD

Övervakningen av pesticider (växtskyddsmedel) görs på två stationer i landet under sommarhalvåret (april-oktober). Programmet omfattar idag drygt 130 substanser i nederbörd och cirka 65 substanser i luft. Listan omfattar samtliga prioriterade pesticider enligt EU:s direktiv om prioriterade ämnen inom vattenpolitiken. Delprogrammet bidrar till uppföljningen av miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö* och *Ett rikt odlingslandskap*.

**Utförare:** Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU

**Kontaktperson:**

Anna Hellström, Naturvårdsverket  
anna.hellstrom@naturvardsverket.se

## SPRIDNINGSBERÄKNINGAR MED MATCH-MODELLEN

Genom MATCH-modellen visas den geografiska fördelningen av halter och nedfall för försurande och övergödande ämnen såsom svavel och kväve. Resultaten bidrar med underlag för uppföljningen av flera miljö kvalitetsmål, till exempel *Frisk luft* och *Bara naturlig försurning*

**Utförare:** SMHI

**Kontaktperson:**

Maria Barton, Naturvårdsverket  
maria.barton@naturvardsverket.se

## STRÅNG – UV-STRÅLNING

STRÅNG är en modell som dagligen tar fram data om globalstrålning, fotosyntetiskt aktiv strålning, UV-strålning, direktstrålning samt

solskenstid. Delprogrammet följer åtagandena i Wienkonventionen och bidrar till uppföljningen av miljö kvalitetsmålen *Skyddande ozonskikt*, *Begränsad klimatpåverkan* och *Säker strålmiljö*.

**Utförare:** SMHI

**Kontaktperson:**

Lars Klintwall, Naturvårdsverket  
lars.klintwall@naturvardsverket.se

## OZONSKIKTETS TJOCKLEK

Mätningar av ozonskiktets tjocklek görs vid två platser i Sverige, Norrköping och Vindeln, i enlighet med Wienkonventionen och Montrealprotokollet. Delprogrammet bidrar till uppföljningen av miljö kvalitetsmålen *Skyddande ozonskikt* och *Säker strålmiljö*.

**Utförare:** SMHI

**Kontaktperson:**

Lars Klintwall, Naturvårdsverket  
lars.klintwall@naturvardsverket.se

## PARTIKLAR OCH KLIMATPÅVERKANDE ÄMNER PÅ SVALBARD

Förutom miljöövervakning inom Sveriges gränser, bidrar Naturvårdsverket till finansiering av övervakning på Svalbard, bland annat tillsammans med Norge. Övervakningen sker på Zeppelinfjället och bidrar till möjligheterna att studera partiklar och klimatpåverkande ämnen och vilka effekter detta kan ha för klimatet på jorden, i synnerhet på norra halvklotet. Mätningarna omfattar bland annat koldioxid och partiklar. Delprogrammet bidrar till uppföljningen av miljö kvalitetsmålen *Begränsad klimatpåverkan* och *Frisk luft*.

**Utförare:** Stockholms universitet (ACES)

**Kontaktperson:**

Pelle Boberg, Naturvårdsverket  
pelle.boberg@naturvardsverket.se

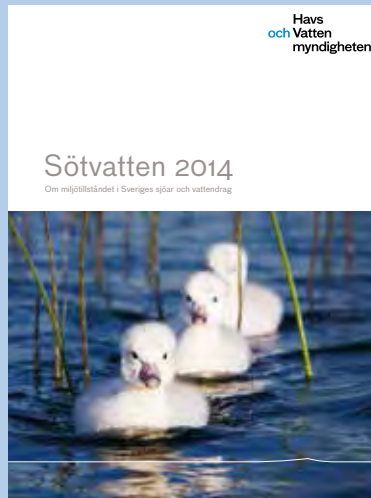
**LÄSTIPS:**

[www.naturvardsverket.se/  
programomradeluft](http://www.naturvardsverket.se/programomradeluft)

# Andra temarapporter från Miljöövervakningen



Rapporten Havet berättar det senaste om miljötillståndet i Sveriges havsområden. Den ges ut i samarbete mellan Havs- och vattenmyndigheten, Havs- miljöinstitutet och Naturvårdsverket. Nästa Havet-rapport utkommer 2016.



Rapporten Sötvatten berättar om den senaste forskningen i Sveriges sjöar och vattendrag. Den ges ut av Havs- och vattenmyndigheten. Nästa Sötvatten utkommer hösten 2015.



Rapporten Skog & Mark berättar om tillståndet i Sveriges landmiljöer. Nästa rapport utkommer hösten 2015 och har tema "Fjäll".

Resultaten från den svenska miljöövervakningen behövs för att kunna beskriva tillståndet, upptäcka förändringar och bedöma hotbilder i miljön. Resultaten från de systematiska undersökningarna ligger också till grund för beslut om åtgärder. Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten samordnar och driver det nationella miljöövervakningsprogrammet.

[naturvardsverket.se/publikationer](http://naturvardsverket.se/publikationer)



#### MILJÖÖVERVAKNING FÖR MILJÖMÅLEN

Resultaten från miljöövervakningen visar tillståndet i miljön och används för att bedöma om vi uppnår Sveriges miljö kvalitetsmål.

De 16 målen är beslutade av Sveriges riksdag och beskriver önskade tillstånd i miljön.

Mer om miljöövervakningen  
[naturvardsverket.se/  
miljoovervakning](http://naturvardsverket.se/miljoovervakning)

Mer om miljö kvalitetsmålen  
[miljomal.se](http://miljomal.se)

LUFT & MILJÖ ARKTIS 2015 följer luftföreningarnas resa mot Arktis och visar vilken påverkan de har på luften och klimatet, dels i Arktis, men även som en följd av detta – för hela jordens klimat. Läs om allt mellan havets försurning till hur ozonskiktet – och vädret i Sverige – påverkas, om nya farleder och ökad exploatering, om olika luftföreningars påverkan på hälsa och miljö i Arktis – och långt utanför Arktis, men även om vad som görs för att förbättra miljö tillståndet.

#### SVENSK MILJÖÖVERVAKNING

Resultaten från den svenska miljöövervakningen behövs för att kunna beskriva tillståndet, upptäcka förändringar och bedöma hotbilder i miljön. Resultaten från de systematiska undersökningarna ligger också till grund för beslut om åtgärder. Naturvårdsverket samordnar och driver Programområde Luft inom den nationella miljöövervakningen.

