

Seminarieuppsatser nr 170

Aerosolers påverkan på klimatet

Mats Carlsson

2009
Centrum för Geobiosfärvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Aerosolers påverkan på klimatet

Mats Carlsson

Kandidatuppsats
Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys
Lunds universitet, 2009

Handledare:
Karin Hall
Harry Lankreijer
Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys

Sammanfattning

Den globala medeltemperaturen stiger kontinuerligt pga. att den ökande användningen av fossila bränslen lett till ökning av mängden växthusgaser och aerosoler. På sikt förutspås detta leda till stora klimatförändringar. Växthusgasernas uppvärmande effekt har länge varit känd. Först på senare år har emellertid forskarna börjat inse att aerosolernas kylande effekt kamouflerar växthuseffekten. Paradoxen är därför att luftföroreningar utöver sin skadliga inverkan på miljön, samtidigt har positiv effekt på dagens klimat ur temperaturhänseende. Utan aerosolet i luftföroreningarna skulle växthuseffekten få en ännu mer förhöjande effekt på temperaturen än den redan har.

Uppsatsen fokuserar på hur antropogena aerosoler påverkar klimatet. Vidare behandlas hur aerosoler påverkar molnbildning, vilka mätmetoder som används för att bedöma aerosolmängden i atmosfärens skikt i olika delar av världen, hur transportsektorn påverkar klimatet samt olika problem inom klimatforskningen. För att illustrera vad som händer när länder med kraftigt växande ekonomier i snabb takt ökar sin konsumtion av fossila bränslen finns två landexempel, Kina och Indien. Uppsatsen avslutas med egna förslag på hur aerosolutsläppen kan minskas.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Förkortningar	4
Allmänt om aerosoler	5
<i>Definition av aerosoler</i>	5
<i>Uppkomst av naturliga aerosoler</i>	6
<i>Uppkomst av antropogena aerosoler</i>	7
<i>Aerosolernas funktion, storlek och livstid</i>	8
<i>Mätning av aerosolutsläpp genom historien</i>	9
<i>Modern klimatforskning och temperaturpåverkande faktorer</i>	10
Aerosolers påverkan på moln och klimat	11
<i>Global fördunkling och luftföroreningar</i>	12
<i>Direkta, indirekta och semidirekta effekter</i>	12
<i>Aerosolers och växthusgasers samband med temperaturförändringar</i>	14
<i>Klimatmodeller</i>	15
<i>Fjärranalys</i>	16
<i>Problem i klimatforskningen</i>	17
Exempel på antropogena aerosolers påverkan på klimatet	18
<i>Transport- och flygsektorns roll</i>	18
<i>Landexempel: Kina och Indien</i>	19
<i>Anlagda bränder i Indonesien</i>	20
Diskussion	21
Referenser	23
<i>Internetadresser</i>	23
<i>Artiklar</i>	26
<i>Böcker</i>	28
Appendix: ordförklaringar	29

Förkortningar

AOT = Aerosol Optical Thickness [1]

BBC = British Broadcasting Corporation [2]

CCN = Cloud Condensation Nuclei

CDNC = Cloud Droplet Number Concentration [3]

CERES = Clouds' and Earth's Radiant Energy

DTR = Diurnal Temperature Range

GCMs = Global Circulations Models

INDOEX = Indian Ocean Experiment [4]

IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change [5]

IPCC-Tar = Intergovernmental Panel on Climate Change, third assessment report [6]

LWC = Liquid Water Content

MISR = Multiangle Imaging SpectroRadiometer [7]

nm = nanometer [8]

NIR = nära infrarött

VOC = Volatile organic compounds [9]

WTC= World Trade Center

Inledning

Jordens medeltemperatur har under det senaste århundradet ökat med 0.6°C och förutspås öka i snabbare takt. Detta beror på att människans ökade användning av fossila bränslen lett till ökning av växthusgaser och aerosoler. Ökad global uppvärmning [10; 11] förutspås medföra stora klimatförändringar med oerhörda konsekvenser för både människor och många växt- och djurarter. Issmältning (både landis och havsis) kommer att leda till att stora markområden kommer att hamna under vatten [12; 13]. Vissa delar av världen kommer att drabbas av översvämningar pga. naturkatastrofer [14;15]. För oss i nordvästra Europa kommer både årsmedeltemperatur och årsnederbörd att sjunka pga. att Golfströmmen sannolikt kommer att försvagas [16; 17].

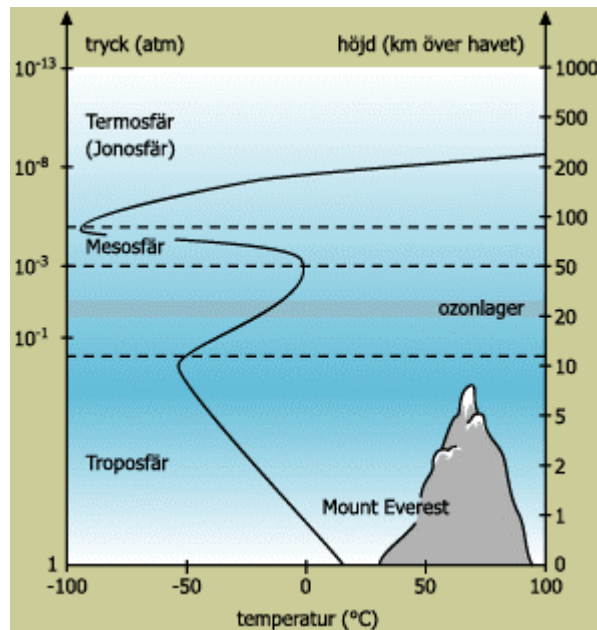
Huvudorsaken till de pågående klimatförändringarna anses vara den s.k. växthuseffekten. Växthusgasernas uppvärmande effekt på klimatet har länge varit känd. Kunskapen om att vissa aerosoler har en kylande effekt är dock relativt ny. Aerosoler ingår i det som med vardagligt tal kallas luftföroreningar. Paradoxen är därför att luftföroreningar utöver sin skadliga inverkan på miljön, samtidigt har positiv effekt på dagens klimat ur temperaturhänseende. Utan aerosolet i luftföroreningarna skulle växthuseffekten få en ännu större temperaturförhöjande effekt än den redan har (Kolb, 2002).

Denna uppsats är en litteraturstudie om aerosoler. Frågeställningen är hur klimatet påverkas av aerosoler. Syftet är att ta reda på hur aerosoler påverkar klimatet på både kort och lång sikt ur ett globalt perspektiv. Som källor har framför allt använts vetenskapliga artiklar. För att ge läsaren möjlighet till kompletterande förtydliganden finns även ett stort antal referenser till Internet (hänvisningar genom noter). Uppsatsen inleds med en allmän definition av aerosoler, följd av en allmän beskrivning av olika slags aerosoler, dels de som spontant uppkommer i naturen, dels de som skapas av människan. Därefter följer huvudtemat om hur aerosoler påverkar moln och klimat, samt beskrivning av forskningsmetoder för undersökning och förutsägelser av aerosolers utbredning. Uppsatsen är avgränsad till aerosoler i form av förbränningspartiklar skapade av människan. Som illustration används exempel från två länder med stora utsläpp: Kina och Indien.

Allmänt om aerosoler

Definition av aerosoler

Aerosoler är ett samlingsnamn för små partiklar i atmosfären (Schrope, 2000). Atmosfären är det gashölje som omger jordklotet. Atmosfären är uppdelad i fyra olika skikt: troposfären, stratosfären (där ozonlagret finns), mesosfären och termosfären. Figur 1 visar de fyra skikten i atmosfären [18].

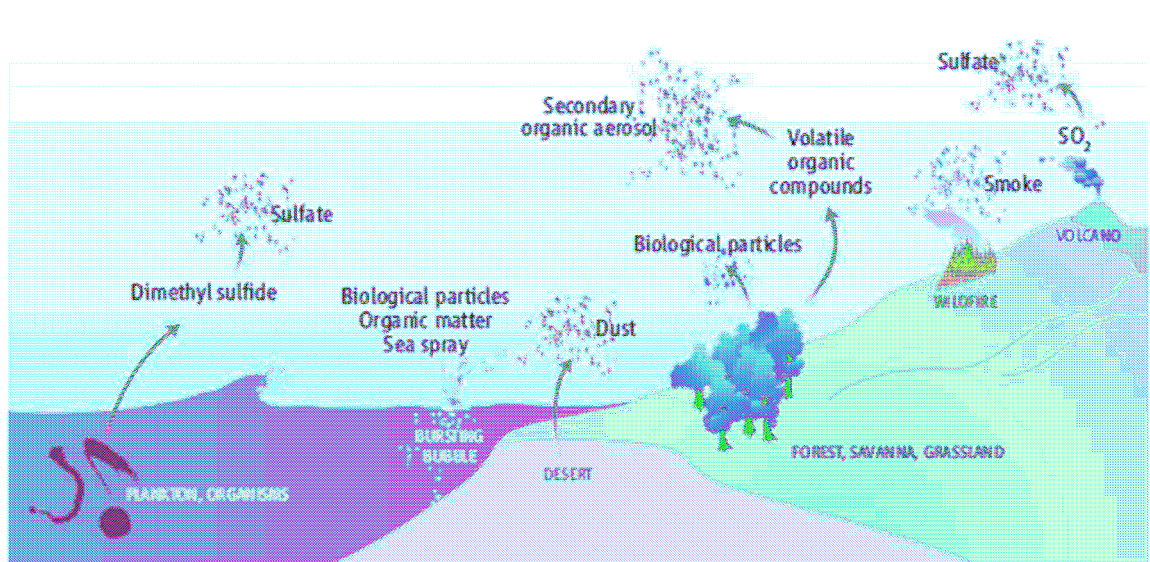


Figur 1. Atmosfärens fyra skikt.

Det finns både naturliga aerosoler och aerosoler som uppkommit genom mänsklig aktivitet, s.k. antropogena aerosoler. Naturliga aerosoler är de som utgör största masskoncentrationen partiklar i atmosfären (Lohmann 2006). Exempel är damm, sotpartiklar och sulfatpartiklar (Schrope, 2000). De kan också förekomma som rök, dimma eller moln [19]. Enligt Kolb (2002) finns naturliga aerosoler i vulkanutbrott, sandöknar, biologiska processer och marina alger [19]. Antropogena aerosoler uppstår främst i luftföroreningar orsakade vid förbränning av fossila bränslen samt eldning som röjningsmetod vid jord- och skogsbruk [20;21].

Uppkomst av naturliga aerosoler

De flesta små aerosoler bildas globalt i själva atmosfären (Kolb, 2002). Det finns dels primära, dels sekundära källor. Exempel på *primära aerosolkällor* är damm från torra områden, saltpartiklar som uppkommer vid havsstormar [22], fragment från skogsbränder samt biologiska partiklar som pollen, mikrober och nedbrytningsprodukter från växter. *Sekundära aerosolkällor* uppstår via processer i atmosfären, då aerosoler bildas som består huvudsakligen av sulfater, organiska partiklar samt en blandning av olika sorters saltpartiklar (Andreae, 2007). Två exempel är när oorganiskt sulfat överförs till atmosfären via plankton i havets ytskikt (Andreae, 2007) samt när marina alger avger utsläpp som med hjälp av solljus omvandlas till aerosoler (Kolb, 2002). Andra sekundärkällor är svaveldioxid från vulkanutbrott som genom kemiska processer omvandlar svavel till sulfater i atmosfären (Andreae, 2007; [23]). Slutligen finns aerosoler som bildats när flyktiga organiska ämnen snabbt blandat sig med andra gaser i atmosfären (Andreae, 2007; [24]) och omvandlats via oxidation [25]. Figur 2 visar en översikt av naturliga aerosolkällor.



Figur 2. Olika typer av naturliga aerosolkällor av primärt och sekundärt slag. Exempel på primära källor är pollen, mikrober och nedbrytningsprodukter av växter, partiklar från skogsbränder, damm från torra områden och saltpartiklar från havsvågor. Exempel på sekundära källor är svaveldioxid från vulkanutbrott, som genom kemiska processer omvandlar svavel till sulfater i atmosfären (Andreae, 2007).

Den mest kända påverkan av klimatet i nutid av naturliga aerosoler är vulkanutbrottet i Pinatubo på Filippinerna 1991 [26]. Växtligheten ökade på norra jordhalvan mellan 1982-1998, förutom perioden 1991-1992. Pinatubos eruption hade nämligen en avkylande effekt, eftersom den medförde att det tillfälligtvis fanns fler partiklar i atmosfären, som reflekterade solinstrålning tillbaka till rymden [27].

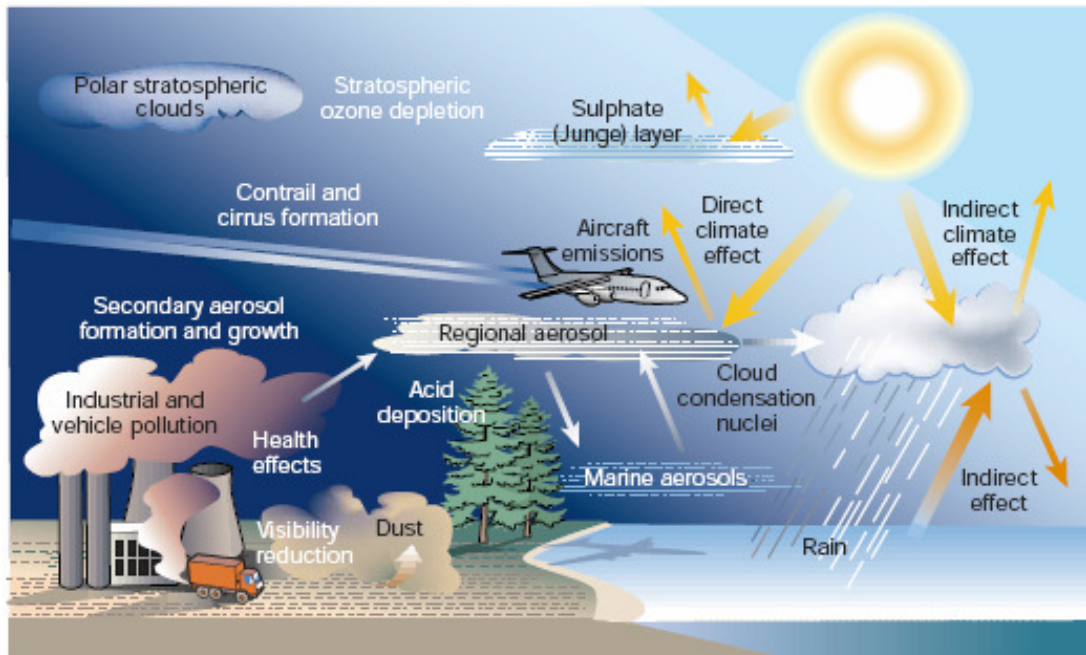
Som avrundning på detta inledande avsnitt om naturliga aerosoler kan nämnas två exempel på biologiska processer - ett från växtriket, ett från klimatet. För att växtätande skadeinsekters angrepp mot träd skall minska, så utsöndrar barrträd aerosoler som motverkar angreppen. Ju högre temperatur i luften, desto mer aerosoler avges [28]. Andra exemplet är de saltkristaller som fälls ut när vatten avdunstar från en större sjö vid höga temperaturer, som i Aralsjön [29]. De naturliga processerna bidrar med 480–2 200 miljoner ton aerosoler per år, vilket kan jämföras med de mänskligt uppkomna aerosolerna, som bidrar med totalt 185 - 420 miljoner ton partiklar per år [19].

Uppkomst av antropogena aerosoler

Enligt Lohmann (2006) är de främsta källorna de produkter som uppstår vid förbränning av fossila bränslen som kol och olja, samt av biobränslen som ved, pellets och spannmål [20;21]. Vidare sker mycket utsläpp från industrin och från transportverksamhet med bilar och flyg, som använder fossila drivmedel. Slutligen skapas också aerosoler i anlagda skogsbränder, där människan bränner skog för att kunna få mer odlingsbar mark, som exempelvis sker på Borneo [20;21].

Det är svårt att säkerställa mängden av aerosoler från förbränning av biomassa och fossila bränslen, vilket medför stor osäkerhet kring aerosolernas påverkan på klimatet (Andreae, 2001). På norra hemisfären finns geografiska områden i atmosfären som tidigare bestod av enbart naturliga aerosoler, men som numera är uppblandade med mänskligt uppkomna

aerosoler i varierande nivåer. Sulfater och organiska aerosoler som uppstår i samband med förbränning av svart kol dominerar. Sulfater kan också uppstå genom omvandling från svaveldioxid (Parashar, Gadi, Mandal & Mitra, 2005). På södra hemisfären finns huvudsakligen aerosoler uppkomna genom människans förbränning av biomassa (Andreae, 2007). Figur 3 visar framför allt aerosoler uppkomna genom mänsklig inverkan, både primära och sekundära källor. Figuren inkluderar även några av tidigare nämnda naturliga aerosolkällor.



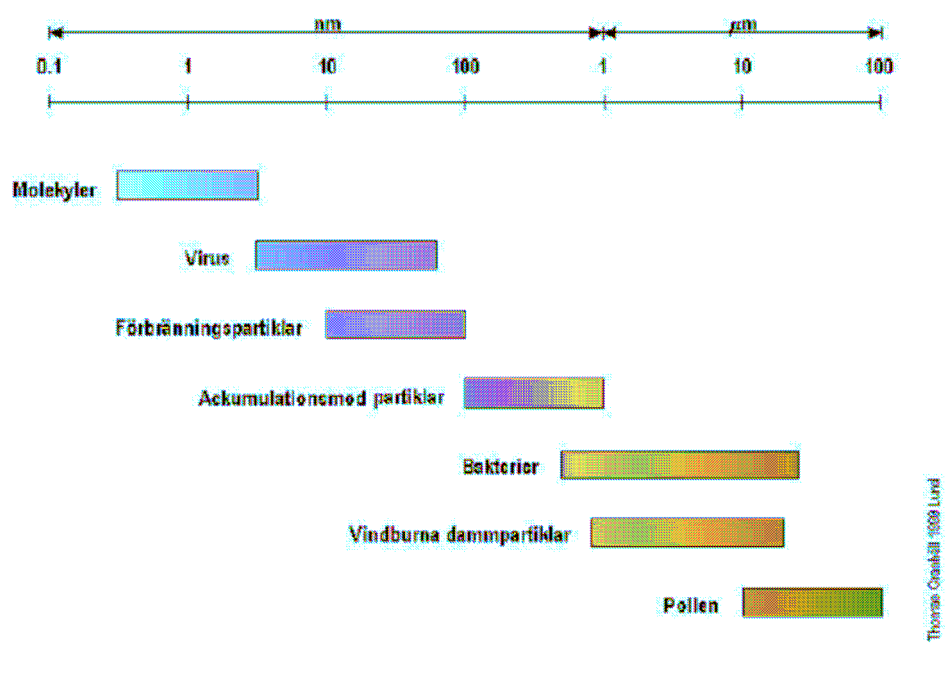
Figur 3. Aerosoler uppkomna genom mänsklig inverkan. Primärt kommer dessa från industrins utsläpp samt från fordonsavgaser, såväl flyg som personbilar och lastbilar. Sekundärt omvandlas förorenad luft från storstäder till aerosoler genom fotokemiska processer högt uppe i atmosfären [(Kolb, 2002); 30]. Även några naturliga aerosolkällor finns avbildade. Primära källor är t.ex saltpartiklar i uttorkade pölar som bildats då havsvågor sköljt upp på stranden. Ett annat exempel är sand som blåst upp från torra öknar. Sekundära källor är t.ex marina organismer och utsläpp från vegetationen (Kolb, 2002).

Aerosolernas funktion, storlek och livstid

Aerosolerna kan ha både avkylande och uppvärmande effekt. Beroende på hur de är sammansatta, absorberar de solljus vilket kyler markytan, samtidigt som de värmer atmosfären under själva processen (Kaufman, Tanre & Boucher, 2002). Skillnaden mellan den avkylande och uppvärmande effekten benämns nettoeffekt. Utan aerosoler hade vi haft en högre temperatur vid markytan [31]. Aerosolerna påverkar också molnbildningen, vilket fördjupas under rubriken *Direkta, indirekta och semidirekta effekter*.

Aerosoler varierar i storlek, form och sammansättning. Storleken benämns aerodynamisk diameter (d_a) och varierar mellan 1 nm och 100 μm . Detta mått har införts för att kunna bedöma olika aerosolpartiklars mekaniska egenskaper, dvs. om strukturen är rund, kantig eller avlång. Även om denna uppsats fokuserar på förbränningspartiklar skapade av människan, illustreras olika aerosolers inbördes storlek i figur 4 nedan.

Med aerosolers livstid avses den tid aerosolen befinner sig i atmosfären. (Andreae, 2007). Därefter transporteras de i väg med hjälp av regn, eller så dras de neråt mot jorden av sin egen tyngd (Schrope, 2000). För atmosfäriskt aerosol är livstiden i genomsnitt 3-10 dagar. Efter 9-30 dagar återstår cirka 5 %. Under en period på 15 dagar kan luftmassor innehållande aerosoler färdas flera tusen kilometer i atmosfären. (Andreae, 2007). Den sammanhängande tid en aerosol befinner sig i atmosfären beror på den aerodynamiska diametern och av de väderförhållanden som råder i atmosfären [19]. Om partiklarna från en eruption hamnar i stratosfären kan de bli kvar där flera år, jämfört med om partiklarna hamnar i troposfären. Detta beror på att det inte finns någon nederbörd i stratosfären, som tar med sig aerosolerna tillbaka till jordytan [32].



Figur 4. Aerosolers inbördes storlek (Granhäll, 1999).

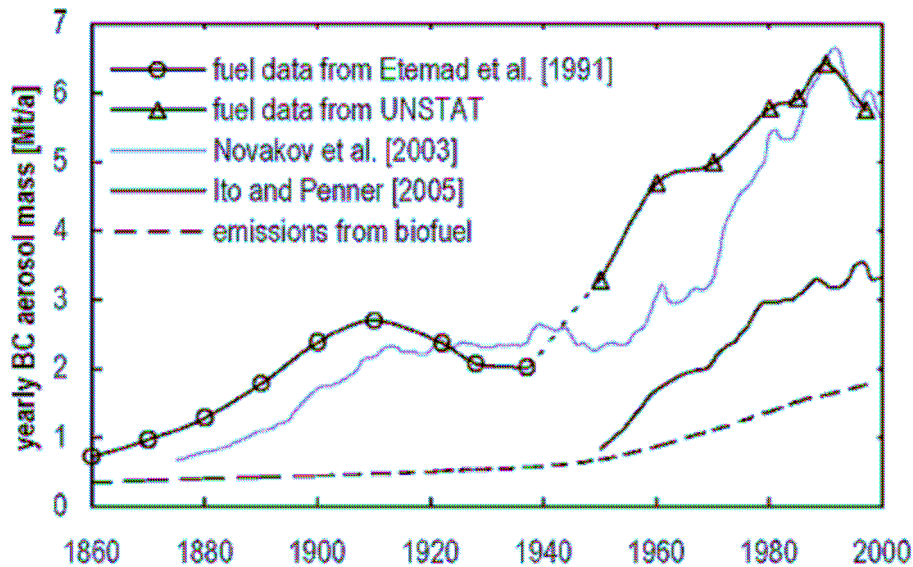
Som en jämförelse mellan aerosoler och växthusgaser kan nämnas att de har samma utbredning, men aerosolernas mängd i atmosfären är lättare att påverka. Koncentrationer av koldioxid kan ligga kvar i atmosfären under århundraden, medan mänskliga aerosoler endast blir kvar under några dagar i atmosfären (Bréon, 2006).

Mätning av aerosolutsläpp genom historien

Mätning av kolaerosoler har genomförts sedan 1860, då industrialiseringen började ta fart. Junker och Lioussé (2006) beskriver hur utsläppsmängden förändrats under perioden 1860-1997. Sedan industrialiseringen tog fart 1860 påvisas en ökning av svart kol och organiskt kol fram till 1910. Mellan 1920-1930 sker en måttlig minskning. Mellan 1930-1990 ökar utsläppen av kolaerosoler igen, för att därefter minska. Under den lägre ökningsperioden var det före 1950 främst USA, Tyskland och Storbritannien som stod för utsläppen. Efter 1950 stod Kina, Indien och f.d. Sovjetunionen för de största utsläppen.

Junker och Lioussé (2006) beskriver svart kol som den viktigaste faktorn för att absorbera solinstrålningen i atmosfären, medan organiskt kol sprider instrålningen. Svart kol uppstår vid ofullständig förbränning av fossila bränslen medan organiskt kol är nedbrutet biologiskt material. Eftersom kol innehåller aerosoler leder detta till klimatpåverkan. Genom att

undersöka hur kolutsläpp sett ut i det förflutna kan forskarna föreställa sig hur klimatet har varit tidigare. Sedan 1875 har koldioxid (CO₂) använts för beräkning av förbränning av fossilt bränsle. Figur 5 visar utsläppen av svart kol, uttryckt i megaton/år. Organiskt kol inkluderas alltså inte i dessa beräkningar. De beräkningar som är gjorda för svart kol/koldioxid i Storbritannien utgör dock inte några bevis för att detta gäller i hela världen.



Figur 5. Globala utsläpp av aerosoler i form av svart kol (BC), baserat på förbränning av fossila bränslen och biobränslen. Den övre heldragna kurvan inkluderar både fossila bränslen och biobränslen, medan kurvorna från Novakov et al. (2003) samt Ito och Penner (2005) baseras på beräkningar av utsläpp från endast fossila bränslen. Figur från Junker och Liousse (2006).

Modern klimatforskning och temperaturpåverkande faktorer

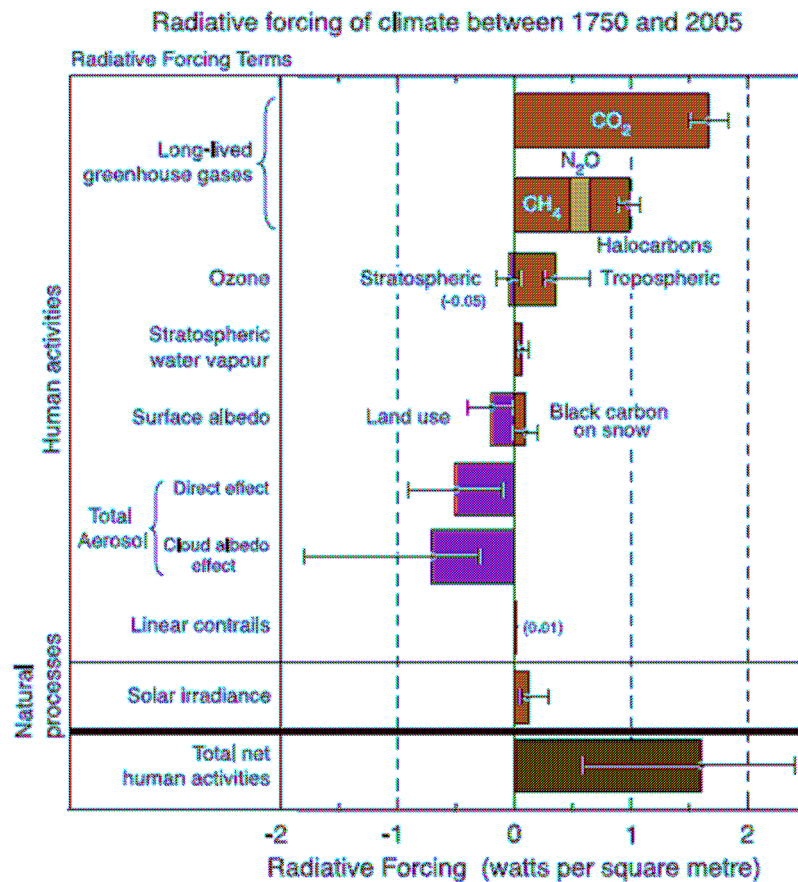
De forskningsmetoder som används inom modern klimatforskning är datoriserade klimatmodeller och fjärranalys. Klimatmodeller används för att åskådliggöra klimatteffekter och tänkbara förutsägelser av klimat samt för att t.ex. förstå aerosolernas effekt på molndropparnas storlek [33]. Vid fjärranalys används satellitbilder för att kvantifiera aerosolernas indirekta effekt på klimatet. Metoderna beskrivs mer ingående under egna rubriker.

Större forskningsresultat gällande det globala klimatet sammanställs av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), ett internationellt samarbete mellan FN-organen UNEP (United Nations Environmental Program) och WMO (World Meteorological Organization). IPCC etablerades på initiativ av FN:s generalförsamling 1988 och utvärderingar av dess arbete har sedan dess presenterats fyra gånger: 1990, 1995, 2001 samt 2007 [5].

Det finns faktorer som påverkar temperaturen i atmosfären på olika sätt [34]. Temperaturen höjs av långlivade växthusgaser: koldioxid, metan [35], dikväveoxid [36] och halokarboner [37], ozon beläget i troposfären, vattenmolekyler i atmosfären samt kondensationsstrimmor. Dessa gaser kopplas till mänsklig påverkan fr.o.m. industrialiseringens start kring 1850-talet [34]. Vattenmängden i atmosfären ökar dock inte pga mänskliga aktiviteter utan vattenångan i sig påverkar växthuseffekten [38]. Temperaturen påverkas av ökande mängder aerosoler och ozon i stratosfären. Även förändrad markanvändning påverkar temperaturförhållandena. Ozonet har sammantaget framför allt en temperaturhöjande effekt. Samtliga dessa faktorer har

uppkommit genom mänsklig påverkan. Den enda stora faktorn som uppkommit genom naturliga processer är solirradiansen, den s.k. Milankovichteorin [39].

Figur 6 visar skillnaden mellan inkommande och utåtgående strålningsenergi av dessa faktorer som påverkat jordens atmosfär under tidsperioden 1750-2005, uttryckt i watt/m².



Figur 6. Skillnaden mellan inkommande och utåtgående strålningsenergi av olika faktorer som påverkat atmosfärens temperatur under tidsperioden 1750-2005. De negativa staplarna visar de faktorer som har avkylande effekt på jorden; de positiva staplarna har uppvärmande effekt. Samtliga värden har ett visst mått osäkerhet, vilket markeras av en tunn svart linje i respektive färgstapel. Källa: IPCC:s hemsida [34].

När den första rapporten från IPCC utkom 1990, visste man ännu bara att klimatförändringar främst beror på växthusgaser från mänskliga utsläpp (Andreae, Jones & Cox, 2005). Aerosolernas påverkan på klimatet var ännu relativt okänd, utan aerosoler togs upp i samband med växthusgaser. Först efter 1990 har IPCC börjat uppskatta aerosolernas mängd samt deras totalt sett temperatursänkande påverkan på klimatet (Andreae et al., 2005).

Aerosolers påverkan på moln och klimat

Både aerosoler och växthusgaser ingår i det som med vardagligt tal kallas luftföroreningar. Att växthusgaserna har en uppvärmande effekt på klimatet har länge varit känt. Kunskapen om att vissa aerosoler kan ha en kylande effekt är dock relativt ny. Utan denna motverkan skulle växthusgaserna ha orsakat ännu större temperaturhöjningar. En av klimatforskningens största frågeställningar är att ta reda på hur stor nettoeffekten är mellan aerosolers avkylande

och uppvärmande effekter (Schrope, 2000) samt att kvantifiera aerosolernas indirekta effekt på vårt klimat (Kaufmann et al., 2002; Kolb 2002). Aerosoler påverkar även klimatet genom att inverka på molnbildningen, t.ex genom att fungera som kärnor vid både molnkondensation och bildning av iskristaller samt påverkar den hydrologiska cykeln (Lohmann, 2005).

Global fördunkling och luftföroreningar

Global fördunkling innebär att aerosoler kan ha en avkylande effekt genom att minska mängden solinstrålning som når markytan. Begreppet introducerades på 1980-talet av Gerald Stanhill (2007), som den förste som upptäckte att aerosoler kan ha en avkylande effekt. Upptäckten var från början ett bifynd vid Stanhills forskning om avdunstning i Israels jordbruksområden, som han bedrivit ända sedan 1950-talet. Vid analys av mätningresultaten gjorde han den paradoxala upptäckten att avdunstningen minskade trots att temperaturen ökat [40]. Stanhill (2005) presenterar en rad mätningar som gjorts under åren 1958, 1965, 1975 och 1985, som alla visar på en minskning av solinstrålningen med cirka 2 % per decennium av det totala inflöde som når markytan i Nordamerika, Europa, Asien och stora delar över Afrika. Detta är alltså de geografiska områden där det finns flest människor och följaktligen mest föroreningar. Australien uppvisar dock ingen minskning av solinstrålning.

Luftföroreningar påverkar klimatet genom att aerosolerna förändrar molnens egenskaper, t.ex deras förmåga att reflektera solljus. Konsekvensen är att luftföroreningar kyler jordytan [31] samtidigt som de värmer upp atmosfären. Ju högre befolkningens mängd är, desto högre mängder föroreningar och aerosoler släpps ut och följaktligen sjunker regnmängderna över tätbefolkade områden (Kaufmann et al. 2002). Således förändrar aerosoler såväl nederbördsmonster som atmosfäriska cirkulationsmönstren (Stanhill, 2005).

Luftföroreningar sprids genom vindsystem och nederbörd. Regn kommer ur moln. För att regnmoln ska kunna bildas behöver varje enskild regndroppe en aerosolpartikel som vattenångan kondenserar kring och benämns därför molnkondensationskärnor (cloud condensation nuclei, CCN). Aerosolpartikeln måste vara minst 60-90 nm för att kondensation ska kunna äga rum (Andreae, 2007). Molnets egenskaper påverkas av CCN-kärnans sammansättning, storlek och totala koncentration av aerosoler. Dessa faktorer påverkar nederbörds mängden och därmed i förlängningen även den hydrologiska cykeln (Kaufmann, Tanre & Boucher, 2002).

Direkta, indirekta och semidirekta effekter

Aerosoler har också effekt på den atmosfäriska balansen av inåtgående solinstrålning och utåtgående värmestrålning. Man särskiljer direkta, indirekta och semidirekta effekter, vilka åskådliggörs i figur 5. Aerosoler med *direkt effekt* påverkar solljusets spridning och reflektans. Vid bestämning av om en aerosol har direkt effekt eller inte tittar man på olika optiska egenskaper [34]. Aerosolernas direkta effekt vid solinstrålning verkar på två sätt. Dels reflekteras kortvågig inkommande solinstrålning tillbaka till rymden [41]. Dels absorberas solinstrålning när aerosolerna är många och stora, eftersom det leder till minskning av kortvågig solinstrålning som når markytan [34]. Konsekvensen i båda fallen är att det blir kallare på markytan. Exempel på aerosoler med *direkt effekt* är svart kol från förbränning av fossila bränslen (dvs sot), organiskt kol från fossila bränslen, brinnande biomassa (dvs ved), sulfater, svavel samt mineraldamm. När aerosolernas effekter på klimatet började kartläggas upptäckte man att det även finns *indirekta effekter* och *semidirekta effekter* [34], se figur 6.

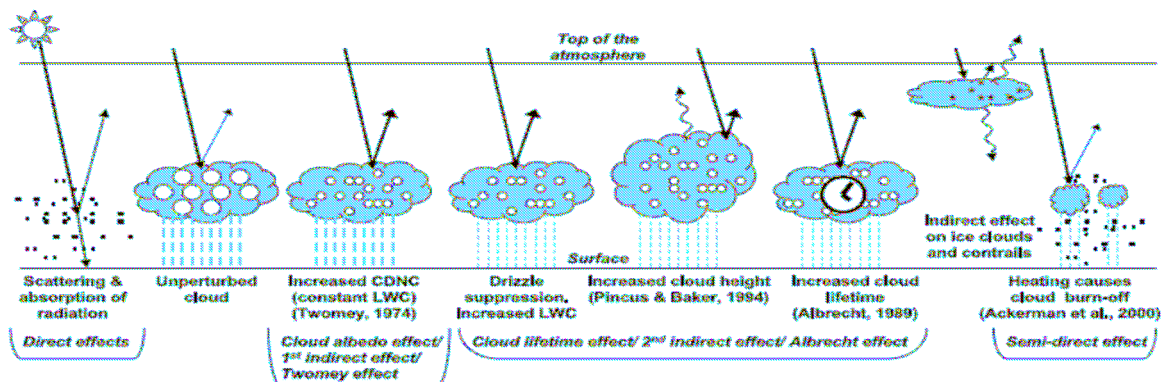
Indirekta effekter uppstår när aerosoler påverkar de optiska egenskaperna hos solljus, vilket förändrar molnens mikrofysiska egenskaper så att regnmängden minskar. Vid minskad (och framför allt vid utebliven) nederbörd ökar reflektionen av solinstrålning, vilket har en kylande effekt på klimatet. Minskad nederbörd gör också att molnens geografiska utbredning påverkas

samt att deras livslängd ökar (Bréon 2006; [33]). Den sammantagna effekten av indirekta effekter är att fler CCN-kärnor bildas, vilket förlänger molnens livscyklar (Bréon, 2006; [34]). Det finns två olika sorters indirekta effekter benämnda efter sina upptäckare.

Den första kallas *Twomey-effekten* [42; 43] och innebär molnen utövar en kylande effekt, eftersom molnets reflektansyta ökar pga att ökad förekomst av sulfatpartiklar gör att fler CCN-kärnor bildas. Molnets vattenmängd förblir konstant, men när vattendropparna blir fler och mindre så sker dels att vattnet stannar kvar längre i molnet, dels att molnen blir vitare (Bréon, Tanre & Generoso, 2002; Schroepe 2000). Följderna blir dels att det regnar mindre, dels att molnets strålningsegenskaper ändras så att mer solinstrålning reflekteras tillbaka till rymden varvid jordytan kyls.

Den andra indirekta effekten kallas *Albrecht-effekten* och innebär att moln har en kylande effekt genom att deras reflektansyta ökar i kombination med att vattendropparna i molnet förtätas. Dropparna blir 20-30 % mindre, eftersom det sker en kondensation kring varje enskild aerosol. Det finns dock mindre vatten tillgängligt för varje enskild aerosolpartikel. Molnets vattenmängd ökar, dess höjd ökar och livscykel förlängs. Regnmängden minskar ännu mer än i Twomey-effekten och om CCN-kärnorna blir riktigt små, så regnar det inte alls. Reflektionen av solinstrålning kan öka upp till 25 %. Även här är följden en kylande effekt på klimatet (Kaufmann et al., 2002; Schroepe 2000). Högre upp i atmosfären finns dessutom moln som innehåller ispartiklar. Dessa absorberar värme och dämpar solinstrålningen från de yttre lagren i atmosfären.

Den sista effekten benämns *semidirekt effekt* och avser hur ljusabsorption av aerosoler (fr.a. svart kol) leder till minskad molnbildning i den lägre troposfären (Koren, Kaufman, Remer & Martins, 2004). Detta sker genom att när värmeinstrålningen avtar, minskar även avdunstningen från vegetation och vattenkroppar vilket leder till ökad reflektans utåt från jordens atmosfär (Kaufmann et al., 2002). Konsekvensen blir en torrare och stabilare atmosfär.



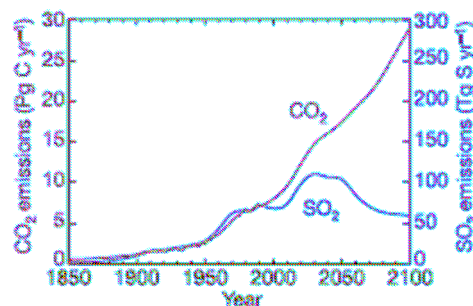
Figur 6. Moln kopplas samman med aerosolers effekt på klimatet. De öppna cirklarna illustrerar molndroppar och de svarta prickarna visar aerosolerna. De vågiga linjerna representerar den strålning som kommer från moln med fler CCN-kärnor. De raka linjerna visar den solinstrålning som reflekteras. De fyllda vita kärnorna visar antalet koncentrationskärnor i molnet. LWC (Liquid Water Content) avser molnets vattenmängd. De vertikala streckade linjerna illustrerar nederbörd. I moln som innehåller stora molndroppar och är opåverkade av mänskliga aerosolutsläpp finns endast naturliga aerosoler som är tillgängliga för kondensationskärnor. Även moln som innehåller aerosoler uppkomna genom både mänsklig och naturlig påverkan kan bilda kondensationskärnor. Eftersom det finns fler kondensationskärnor så bildas dock fler men storleksmässigt mindre molndroppar [34].

En global studie (Bréon, 2006, som refererar till Kaufmann och Koren, 2006) har påvisat ett starkt positivt samband mellan aerosoler och molntäcket (Bréon, 2006).

Aerosolers och växthusgasers samband med temperaturförändringar

Växthuseffekten anses vara huvudorsaken till de pågående klimatförändringarna, inklusive stora temperaturhöjningar. Paradoxen är dock att aerosoler, utöver sin skadliga inverkan på miljön, samtidigt har en positiv effekt på klimatet. Utan aerosoler skulle nämligen växthuseffekten få en ännu större temperaturförhöjande effekt än den redan har. Samtidigt har insikten om aerosolernas dämpande inverkan på temperaturen gjort att växthuseffektens verkliga omfattning har kamouflerats. Förvisso har industrisläppen minskat, fossila bränslen har allt oftare ersätts med alternativa bränslen samt teknologin för avgasrening har förbättrats. Fortfarande är det dock ett stort problem att dagens teknologi är otillräcklig för att reducera mängden koldioxid. Dessutom kompliceras problematiken av att koldioxid har så mycket längre livslängd. Aerosolernas korta livslängd (3-30 dagar) i relation till livstiden hos koldioxiden i växthusgaserna (upp till ett århundrade) gör nämligen att "aerosolbromsens" kraft minskar, medan koldioxiden får ännu större inflytande än tidigare. I framtiden förväntas därför klimatet bli väsentligt varmare än vad som tidigare beräknats. Först efter 1990 har IPCC börjat uppskatta aerosolernas mängd samt temperaturdämpande påverkan på klimatet (Andreae et al., 2005).

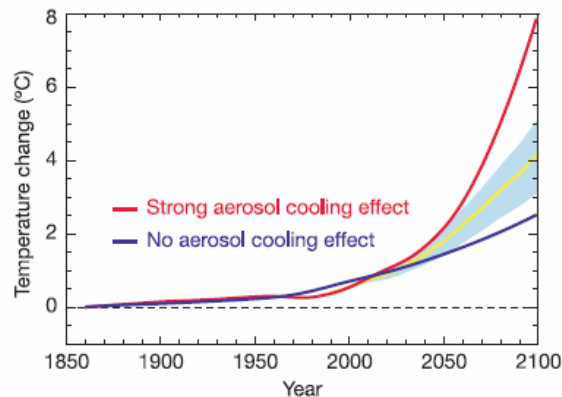
Mängden växthusgaser förväntas alltså öka markant under närmsta århundradet, samtidigt som aerosolmängden förutspås öka under de närmsta årtiondena, för att därefter i mitten av detta århundrade åter minska till nuvarande nivå eller något lägre. Figur 7 visar utsläppen av växthusgasen koldioxid och aerosolpartiklarna i svaveldioxid från 1850-2000 samt det förväntade utsläppsscenario fram till 2100, som presenterades år 2001 i IPPC:s tredje rapport IPPC-TAR (Andreae et al., 2005).



Figur 7. Utsläpp av koldioxid och svaveldioxid mellan 1850-2000 samt den förväntade ökningen fram till 2100, enligt IPPC-TAR, publicerad 2001 (Andreae et al., 2005).

Klimatkänslighet är beteckningen för hur starkt jordens klimatssystem svarar på givna rubbningar och uttrycks ofta som höjning av den globala temperaturen som följd av dubblad koncentration atmosfäriskt koldioxid. Vid beräkning av temperaturförändringar är referensåret vanligen år 1850. Det råder stor osäkerhet om hur mycket temperaturen kan förväntas ha stigit mellan 1850-2100 och spännvidden på olika förutsägelser varierar mellan 2,2 - 8° C, beroende på om aerosolernas avkylande effekt beaktas eller ej. Enligt IPCC – TAR:s prognos kommer höjningen att vara mellan 2,3° till 4,9° C. Enligt en klimatmodell där aerosolernas kylande effekt helt har exkluderats, förutspås temperaturen ha ökat med 2,2° C redan år 2050. Enligt en annan modell, där aerosolernas starka avkylnings effekt beaktas, tros temperaturhöjningen istället vara begränsad till ca 1° C. Bägge dessa värden ingår i marginalerna för IPPC-TAR:s prognos.

Figur 8 visar IPCC-TAR:s prognos om temperaturförändring, jämfört med de två ytterlighetsscenarierna, med respektive utan beaktande av aerosolernas kylande inverkan (Andreae et al., 2005).



Figur 8. Modellsimulering om ytterlighetsscenario för temperaturförändring för perioden 1850-2100, jämfört med ett mer sannolikt scenario. Den röda linjen beaktar aerosolernas konstant avkylande effekt. Den blå linjen exkluderar helt aerosolernas kylande effekt. Den gula linjen är den mer sannolika prognos som IPCC – TAR presenterade 2001 (Andreae et al. 2005).

Jämte växthusgasen koldioxid är aerosolkällan svart kol den största orsaken till den globala uppvärmningen (Parashar et al., 2005, som refererar till Jacobsen, 2001 samt Hansen et al., 2001). I studien INDOEX (Indian ocean experiment, [4]), som fokuserade på sotpartiklar, beskrivs sammanställningen av mätningar från såväl fartyg i Indiska Oceanen som från markbaserade stationer, flygplan och satelliter. Resultaten påvisade att sot kan ha en uppvärmande effekt på klimatet genom att absorbera mer solenergi (Schrope, 2000). Sulfater och svavel har däremot den motverkande effekten att kyla jorden genom att reflektera mer solinstrålning (Granhäll, 1999; Kolb, 2000; Schrope, 2000; [44]). Genom INDOEX-studien upptäcktes också en tidigare okänd källa till svart kol i södra Asien, som utgör cirka 25 % av de tidigare kända föroreningskällorna i världen (Andreae, 2001).

Den ovanligare effekten att aerosoler värmer upp atmosfären har observerats över Amazonas och Indiska Oceanen. Antropogena aerosoler kan absorbera en ansevärd mängd av solenergi, vilket minskar konvektionen, förhindrar molnbildning och värmer upp atmosfären (Bréon, 2006). De forskningsmetoder som används för att utforska sambandet mellan växthusgaser, aerosoler och temperaturförändringar är datoriserade klimatmodeller och fjärranalys.

Klimatmodeller

Klimatmodeller används för att simulera tänkbara framtida klimatförändringar samt åskådliggöra klimatförändringens effekter på ekosystem och samhälle. Idag står det klart att atmosfäriska aerosoler har stor inverkan på nederbördsmönstren, vilka bidrar till att sprida luftföroreningar.

Eftersom det var först efter 1995 som aerosoler inkluderades i klimatmodellerna är deras verkningar fortfarande osäkra. För att få en uppfattning om de antropogena utsläppens andel av framtida aerosolmängder har modeller som inkluderar både naturliga och antropogena aerosoler jämförts med modeller där de antropogena aerosolerna fränkopplats. Dessa jämförelser visar att de antropogent orsakade aerosolmängderna kommer att vida överstiga de naturliga aerosolmängderna (Andreae et al., 2007; Schrope, 2000).

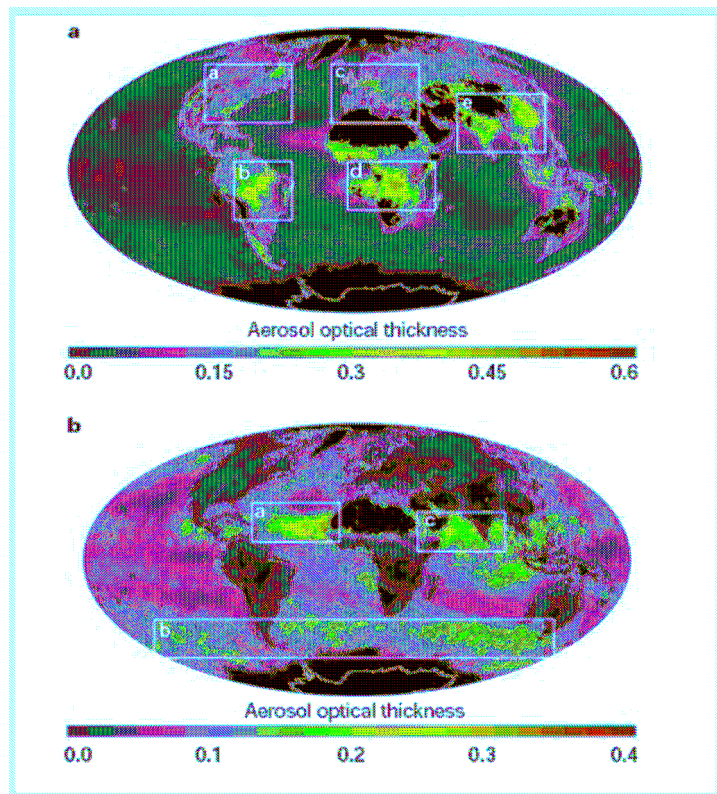
Aerosolforskarna fokuserar på hur aerosolernas storlek, andelen antropogena respektive naturliga aerosoler samt hur deras geografiska fördelning påverkar molnbildning (Andreae,

2007). Dessa tre faktorer påverkar molnkondensationskärnorna, som i sin tur påverkar molnens albedo och livslängd samt därmed nederbördsmonstren. I dagens klimat nås fryspunkten oftare i underkylda moln pga en ökning av mängden iskristaller. Den totala nederbörden ökar, eftersom nederbördsbildning är snabbare i moln med iskristaller än i moln innehållande enbart vattendroppar. Den globala uppvärmningen har redan medfört att klimatzonerna förskjutits. Klimatmodeller visar att molntäcket kommer att minska ytterligare kring norra hemisfärens mittlatituder (Lohmann, 2006), dvs 30°N-50°N (Ahrens, 1999) och höga latituder. Solinstrålningen i atmosfären förutspås därmed öka, vilket utlöser indirekta effekter av aerosoler på varma moln, som den tidigare beskrivna Twomey-effekten (Lohmann, 2006).

Fjärranalys

Vid fjärranalys används satellitbilder för att undersöka och kvantifiera aerosolernas indirekta och direkta effekter på klimatet. Ett exempel på satelliter i aerosolforskning är NASA:s observationssystem Terra. Sensorernas svepbredd är 2000 km och tar dagligen satellitbilder av nästan hela jordklotet. Bilderna mäter reflekterad solinstrålning i 36 olika våglängder. Aerosoler som sand, salt och mineraler har störst reflektans i de längre våglängdsbanden (Schrope, 2000), dvs de som omfattas av området 600 – 700 nm och täcker upp för rött ljus (Nämnden för skoglig Fjärranalys, 1993). Terra mäter också aerosolernas vertikala distribution i atmosfären och deras värmestrålning. Satellitens information kompletteras av mätningar från cirka hundra markstationer (Schrope, 2000).

Det är svårt att särskilja naturliga från antropogena aerosoler, eftersom varje enskild aerosolpartikel kan ha komponenter av båda slagen. Exakta analyser förutsätter kemiska mätningar, men har nackdelen att de måste begränsas till viss plats och tidpunkt. Övergripande uppskattning av andelen antropogena aerosoler kan göras genom att kombinera satellitdata, aerosolmodeller samt information om verksamhet i stadsbebyggelse respektive jordbruksområden samt eldningsmetoder (Kaufmann et al., 2002). Figur 9 visar satellitbilder från Terra, som visar att aerosolerna oftare är antropogena och finfördelade över tätbefolkade områden med mycket industrier, medan aerosoler från landsortsområden oftare är naturliga och grövre.



Figur 9. Satellitbild från Terra på finfördelade respektive grövre aerosoler i september 2000. De vita inramade rutorna innebär höga koncentrationer av aerosoler. Den övre bilden visar hur finfördelade aerosoler återfinns i föroreningar över landmassa över Nordamerika och Europa (ruta a och c), skogsbränder i Sydamerika och Sydafrika (ruta b och d) samt i utsläpp från södra och östra Asien (ruta c). Den nedre bilden visar grövre aerosoler över havsyta som kommer från Afrika (ruta a), saltpartiklar på den blåsiga Södra hemisfären (ruta b) samt ökendamm (ruta c). Källa: Kaufmann et al., 2002.

Problem i klimatforskningen

Enligt IPCC har klimatmodellerna uppskattning av aerosolernas direkta effekter på klimatet en felmarginal med upptill 50 %, vid jämförelse med fjärranalysdata (Schrope, 2000). Det övergripande problemet med klimatmodellerna är svårigheten att särskilja naturliga aerosoler från antropogena, vilket är nödvändigt för att kunna bedöma de senares effekt på klimatet. Ett annat problem är att aerosoler förekommer i många olika storlekar och former, allt från stadsföroreningar till ökendamm, samt att koncentrationen kraftigt varierar rumsligt och över tid (Kaufmann et al., 2002). Vad gäller modellering av moln, anser Schrope (2000) att dagens skalindelning på 100 km är för grov. Tillförlitligheten skulle öka väsentligt med 1 km celler.

Bréon (2006) påtalar att riktigare förutsägelser om aerosolernas effekt på framtidens klimat förutsätter globala mätningar av aerosolabsorptionen. Med dagens fjärranalysmetoder är det bara möjligt att utföra grova uppskattningar, utan befintliga värden baseras på mätningar från markbaserade stationer. Ny teknik är dock under utveckling för tredimensionell mätning av aerosolernas vertikala distribution, dvs aerosolernas höjd, mängd och fördelning.

Andreae et al. (2005) poängterar vikten av att inkludera molnbildningsprocesserna i klimatmodellerna samt att koppla dessa modeller till de allmänna cirkulationsmodellerna av atmosfär och hav. De framhåller också nödvändigheten av ökad förståelse för kolcykeln och

klimatets ömsesidiga påverkan av varandra, eftersom detta hela tiden inverkar på förändring av nederbörd och temperatur. Klimatet är mest känsligt i områden med lite aerosoler i atmosfären, vilket innebär att utsläpp i sådana områden medför större klimatpåverkan än utsläpp i redan aerosoltäta områden (Andreae, 2007)

Exempel på antropogena aerosolers påverkan på klimatet

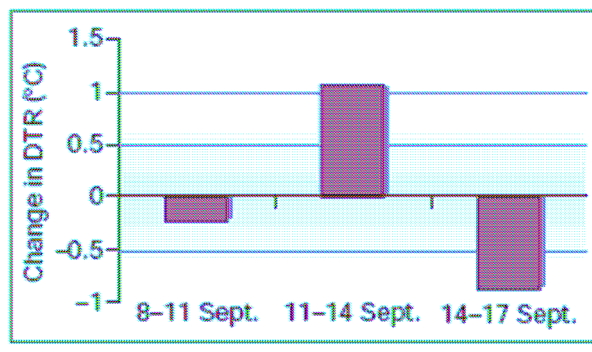
Antropogena aerosoler uppstår huvudsakligen genom utsläpp från industrier och transportmedel samt från anlagda skogsbränder. På FN:s konferens om miljö- och utveckling i Rio de Janeiro 1992 antogs en ramkonvention om klimatförändringar, som bl.a. innebar att minska utsläppen av växthusgaser (aerosoler diskuterades ännu inte som ett separat problem). I det s.k. Kyotoprotokollet från 1997 undertecknade en rad länder en internationell överenskommelse med målet att årligen minska de globala utsläppen av växthusgaser fram till 2012. Vid den stora klimatkonferensen på Bali 2007 enades alla länder om att arbetet i FN:s klimatpanel ska vara utgångspunkten för utsläppsminskningar. Det var unikt att EU, USA, Kina och Indien kunde komma överens om vissa riktlinjer. Däremot har enskilda länder olika mål. USA siktar på att halvera sina utsläpp fram till 2050, medan länderna i Kyotoprotokollet har som mål att minska i-ländernas utsläpp med 25-40 % tills 2020 [45].

Utvecklingsländer som Kina har förbättrat sin teknologi för rening av industriutsläpp snabbare än vad forskarna trodde för ett decennium sedan (Andreae et al., 2005). Ett stort problem är dock att Kina, liksom USA, totalt sett använder fossila bränslen i så hög utsträckning. I t.ex. Indien däremot är bibränslen huvudkällan till energi .

Transport- och flygsektorns roll

Transportsektorns luftföroreningar bidrar i hög utsträckning till försurning av nederbörd, uttunning av ozonskiktet samt pågående klimatförändringar, såsom global temperaturhöjning. Bilar och lastfordon, flygtrafiken, dieseldrivna tåg samt fartyg har ofta förbränningsmotorer som använder fossila bränslen. Visserligen har utsläppen från bilar minskat i västvärlden som följd av förbättrad teknologi, såsom katalysatorer och åtgärder för att begränsa biltrafiken i innerstäderna. Samtidigt blir det allt fler bilägare i Östeuropa och utvecklingsländer (som t.ex. Kina och Indien). Flygplanstrafiken förutspås att öka väsentligt. Det finns därför all anledning till fortsatt arbete med luftföroreningar (Colvile, Hutchinson, Mindell & Warren, 2000). Flygplans kondensationsstrimmor leder till minskning av både utgående värmestrålning och inkommande solinstrålning, vilket gör att dygnets temperaturvariation (diurnal temperature range, DTR) minskar. Terroristattaken mot World Trade Center (WTC) 11 september 2001 medförde en unik möjlighet att mäta flygtrafikens effekt på marktemperaturen. Efter attacken upphörde under tre dagar all kommersiell flygtrafik i USA. Travis, Carleton och Lauritsen (2002) påvisade att det under denna tredagars period inträffade en anmärkningsvärd ökning i skillnaden mellan nattliga minimum- och dagliga maximumtemperaturer.

Travis et al. (2002) sammanställde medelvärdena av de nationella dygnsvariationerna i temperatur 8-17 september under 30 års tid, uppmätt på väderstationer över nästan hela USA. Beräkningarna delades upp i tredagarsperioder omedelbart före respektive efter 11-14 september. Därefter jämfördes medeltemperaturen för samma datum under åren 1971-2000 med år 2001. Figur 9 visar medelvärdet av den sammanlagda nationella temperaturvariationen i USA under tidsperioden 8-17 september åren 1971-2000 jämfört med dygnsvariationen under samma datum år 2001, dvs dagarna före och efter terroristattaken mot WTC. Resultatet av jämförelsen visade att DTR ökade med 1.1°C när flygtrafiken stod stilla. Avvikelsen på DTR:s medelvärde för tredagarsperioderna före och efter flygstoppet efter terroristattaken är 1.8°C högre.



Figur 9. Diagrammet visar dygnstemperaturens medelvärden utifrån normalvärdena 1971-2000 jämfört med de avvikande medelvärdena under de tre dagar 11-14 september 2001 då amerikansk flygtrafik stod helt stilla efter terroristattacken mot WTC (ur Travis et al., 2002).

Landexempel: Kina och Indien

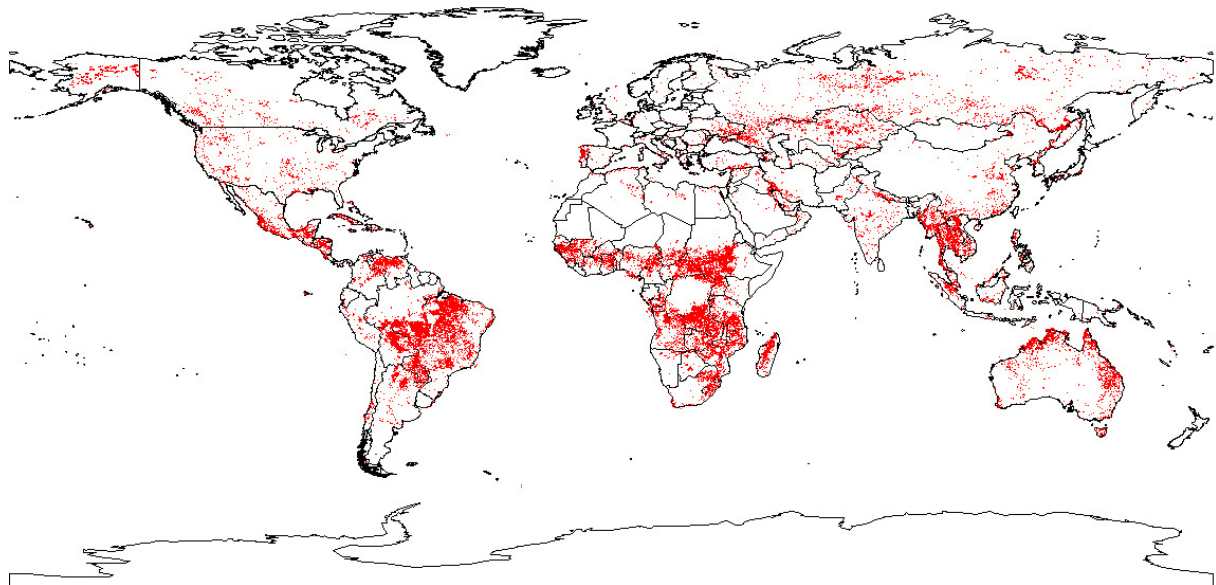
Kina är ett utvecklingsland på stark frammarsch. Enligt sina egna politiska ledare kommer ekonomin att ha fyrdubblats år 2020, jämfört med 2005. Energibehovet beräknas vid samma tid att ha dubblats. Kina har överflöd på kol, men underskott på egen gas och olja. 75-80 % av den nuvarande elförbrukningen kommer från kol, 20 % från storskaliga vattenkraftverk och en mindre del från kärnkraft. År 2020 beräknar Kina att kärnkraften kommer att ha expanderat till 5 %, gas till 15 % samt förnyelsebar energi till 10 % av energibehovet. Samtidigt är det oundvikligt att kolförbrukningen kommer att fortsätta att öka kraftigt.

Kolets konsekvenser som Kinas egna invånare märker i sin vardag är framför allt de svåra luftföroreningarna. Dålig luftkvalitet orsakar årligen många för tidiga dödsfall. Sotet stör den regionala miljön och ökar mängden surt regn. Den ökade aerosolmängden har under de senaste tjugo åren påverkat klimatet regionalt genom ökade översvämningar i södra Kina, medan torkan har ökat i norr. Ur ett globalt perspektiv är huvudproblemet att den massiva användningen av fossila bränslen medför stora hot mot klimatet (Aldhous, 2005; Dennis, 2005).

I utvecklingsländerna, framför allt Indien, utgör biobränslen huvudkällan till energi på landsbygden. De kolhaltiga utsläppen där har därför en annan sammansättning än dem från USA och Europa. För att kunna uppskatta mängden aerosoler som släpps ut från Indien, måste fler studier göras som beaktar utsläppen från både fossila bränslen och biobränslen. En indisk klimatstudie om kolhaltiga utsläpp (Parashar et al., 2005) visar att det regionala klimatet och luftkvaliteten kommer att påverkas. En annan studie (Ramanathan et al., 2005, som refereras i Dennis, 2005) beskriver hur aerosoler påverkar sommarmonsunen så att nederbörden minskar och torrperioderna ökar. Liknande effekter kan bli följden för Kina med dess omgivande hav. Sedan kommersiella energikällor introducerats i Indien, har användandet av biobränsle per capita minskat. Sammantaget ökar ändå konsumtionen av biobränslen i takt med det ökande invånarantalet och den förbättrade levnadsstandarden.

Anlagda bränder i Indonesien

Brand är en gammal röjningsmetod som fortfarande används i Sydamerika och Sydostasien av bönder, ranch- och plantageägare som vill utöka sina marker [46]. Även naturligt uppkomna skogsbränder förekommer på alla håll i världen, men på varmare breddgrader gör torkan att de får betydligt större omfattning. Röken innehåller stora mängder aerosoler. Figur 10 visar global förekomst av båda typerna av bränder genom en satellitbild från 2005.



Figur 10. Global brandkarta enligt satellitbild från 2005. Bilden visar både naturligt uppkomna och anlagda bränder. Definitionen på brand är 38.85°C i landytetemperatur. Källa: Europeiska rymdorganisationens satellit [47].

Naturligt uppkomna bränder har sitt eget förlopp, men även anlagda bränder kan gå överstyr. Ett exempel är de skogsbränder som härjade i Sydostasien 1997, sedan indonesiska plantageägare och bönder tappat kontrollen över sin eldning. Bränderna fick en oväntat stor spridning pga den extrema torkan efter det årets el Niño, en av de värsta i historien. Elden spred sig i en båge runt den malaysiska halvön: från Sumatra, tvärs över Borneo och ända till ön Sulawesi. Rökutvecklingen spred sig även in över städerna så att sikten begränsades till tiotalet meter. Luftföroreningarna blev så allvarliga att indonesiska flygvapnet fick i uppdrag att skingra dem genom molnsåddsinsatser för att utlösa regn (Swinbanks, 1997).

För att återkoppla till de tidigare beskrivna indirekta effekterna av hur aerosoler förändrar molnens sammansättning så att regnmängden minskar, så styrks dessa fynd av två studier om konsekvenser av bränder och industriföroreningar (Schrope, 2000, som refererar Facchini, Mircea, Fuzzi, & Charlson, 1999, samt även Rosenfeld, 1999 och 2000). När organiska aerosoler löser upp sig i molnens vattendroppar, så minskar deras ytspänning. Vattendropparnas tillväxt hindras, vilket gör att de delas upp i mindre droppar vilket gör att nederbörd uteblir.

Diskussion

Syftet med denna litteraturstudie har varit att undersöka hur aerosoler påverkar klimatet ur ett globalt perspektiv på både kort och lång sikt. Jordens temperatur har under det senaste århundradet ökat med 0.6° C och förutspås öka i allt snabbare takt, med stora klimatförändringar som följd. Huvudorsaken anses vara den s.k. växthuseffekten, som beror på att den ökade användningen av fossila bränslen lett till ökning av växthusgaser och aerosoler i atmosfären. Växthusgasernas uppvärmande effekt på klimatet har länge varit känd. Kunskapen om att vissa aerosoler har en kylande effekt är dock relativt ny. Paradoxen är därför att luftföroreningar utöver sin skadliga inverkan på hälsa och miljö, samtidigt har en positiv effekt på klimatet ur temperaturhänseende. Utan aerosolet i luftföroreningarna skulle nämligen växthuseffekten få en ännu större temperaturförhöjande effekt än den redan har (Kolb, 2002).

Upptäckten att somliga aerosoler har en avkylande effekt är oerhört viktig därför att den lett till insikten att växthuseffektens temperaturförhöjande effekt varit underskattad. I förlängningen leder detta också till ett tidigare oantat etiskt dilemma. Det är angeläget att arbetet fortsätter med åtgärder mot luftföroreningarnas skadeverkan på miljön och människors hälsa. Samtidigt kommer minskade utsläpp att medföra att växthuseffektens uppvärmning tilltar väsentligt, med ytterst allvarliga konsekvenser för såväl klimat och miljö som människors hälsa.

Det är komplicerat att rena luftförorenande utsläpp och det finns ofta intressekonflikter mellan miljö och ekonomi. Exempel: även om man skulle lyckas med optimal borttagning av aerosolpartiklarna i bilavgaser, så finns ändå den långlivade koldioxiden kvar. Hur kan man motivera bilindustrin att investera stora summor på att minimera bränsleåtgången i motorer, istället för att t.ex. satsa på säkerhet, som man vet är ett bra säljargument? Är det rimligt att förvänta sig att bilindustrin själv bekostar utveckling av mer miljövänlig teknik, eller bör de premieras? Isåfall av vem – staten eller EU? Vem skulle stödja biltillverkare i övriga världen?

Flygtrafiken ger upphov till stor del av utsläppen i atmosfären. Studien efter WTC-attacken (se åter Travis et al., 2002) som bekräftade att flygtrafiken har kylande effekt, ger samtidigt tankeställare. Kanske bränslesnålare motorer och annan teknologi riskerar leda till oönskade höjningar av dygnsmedeltemperaturen?

Utsläppen över södra och östra Asien har förvärrats avsevärt. Stora delar av denna landmassa och dess angränsande havsområden täcks därför numera nästan hela året av stora bruna moln av föroreningar, som leder till ohälsa för befolkningen samt absorberar stora mängder solljus. Kunskapen om aerosolernas roll vid molnbildning har tydliggjort aerosolernas indirekta påverkan av hur jordens nederbördsmonster utvecklats. Vad gäller molnen över Asien antar man att deras täthet och utbredning har haft stort inflytande i att regnmängden under de senaste 50 åren ökat i södra Kina, att monsunregnen i norra Indien minskat samt att torka breder ut sig i mellersta Afrika [48].

En av de största effekterna som aerosolerna har på klimatet har att göra med molnbildning. Senare forskningsfynd (t.ex. Facchini, 1999; Kaufmann et al., 2002; Schroepe, 2000) påvisar att aerosoler indirekt påverkar molnbildningen genom att göra så att kondensationskärnorna blir fler och mindre, resulterande i minskad eller helt utebliven nederbörd. Detta kan kopplas samman med de många bränderna i Sydostasien. I Indien uppstår hela 2/3 av sotpartiklarna från eldning av biomassa, den vanligaste metoden i hushållens matlagning och uppvärmning. Endast 1/3 av sotpartiklarna från fossila bränslen.

Kinas expansion som industrination är framför allt uppbyggd på användande av fossila bränslen. Energibehovet ökar stadigt med den växande ekonomin och den ökande privatkonsumtionen, samtidigt som det är svårt för kineserna att hitta alternativa energikällor.

Kina har stora egna tillgångar av obruten kol, men använder betydligt mer energi än man själv kan framställa och importerar därför olja och gas. Detta medför en konfliktsituation: är det realistiskt att förvänta sig att Kina självt ska bekosta utveckling av alternativa energikällor för att minska förbrukningen av fossila bränslen? Är det rimligt att tänka sig att resten av världen ska hjälpa till att betala en sådan utbyggnad, utifrån globala miljöintressen.

Aerosolernas livslängd är blott 3-30 dagar, växthusgasernas livslängd är ca 100 år. Det är viktigt att särskilja att aerosoler som kyler (främst sulfat- och svavelpartiklar) från aerosoler som värmer (främst sotpartiklar). Växthusgasernas verkliga klimatpåverkan förutsätter kunskap om nettoeffekten mellan aerosolers avkylande och uppvärmande effekter.

Idag finns en internationell politisk enighet om vikten av gemensamt arbete om klimatfrågor. Minskning av utsläpp är dock ett komplicerat ämne, bl.a eftersom de kortlivade aerosolerna trots sin skadeverkan har en dämpande inverkan på långlivade växthusgasernas uppvärmande effekt. Exempel på följdfrågor som tornar upp sig är: vad händer på lång sikt med nederbörden om vi lyckas minska utsläppen? Om vissa områden riskerar att torka ut och andra att översvämmas eller att drabbas av missväxt stor risk – kan folk bo kvar då? Vart ska de annars ta vägen? Om människor mister möjligheten att använda sin jordbruksmark, vem hanterar eventuella inbördes konflikter om marktillhörighet?

Ur klimathänseende måste naturligtvis allt arbete med att förbättra klimatet ur ett globalt perspektiv inbegripa reduktion av både växthusgaser och aerosoler. Eftersom denna studie är begränsad till aerosoler, fokuserar nedanstående förslag på dem. Många åtgärder kan ske på individnivå, men förutsätter ofta samtidigt stöd från statsmakten, som i sin tur är förankrat internationellt.

Det är nödvändigt att förbränningen av fossila bränslen minskar. Istället måste stöd ges för utveckling av alternativa energikällor, som sol- och vindkraft [49; 50]. Rening från befintliga kolkraftverk måste förbättras. Det är angeläget att regeringarna runt om i världen satsar mer på forskning kring den nya energikällan fusionskraften, som har stor potential att ersätta en del av fossila bränslena [51; 52]. I utvecklingsländer använder hushållen ofta spisar som eldas med ved och kodynga. Dessa måste renas bättre [53].

Transportindustrin måste fortsätta utveckla flyg och bilar med minimala utsläpp. Ett exempel är elbilar, som redan nu används i liten skala. Ett annat exempel är de prototypmotorer som Saab har byggt, baserade på ett nytt motorkoncept (som tyvärr ej kommit till serieproduktion). Saab utlovar 30 % bränslebesparing/mil [54] och [55]. Staten kan också påverka individens beteende genom utbyggnad av kollektivtrafiken och uppmuntran till gemensamt åkande, t.ex hjälp att bygga upp bilpooler.

Både byggindustrin och privata husbyggare behöver uppmuntras att bygga mer välisolerade hus. De behöver också stöd att bygga ut andelen värmepumpar som utgår från jordvärme eller bergvärme. Tillverkningsindustrin behöver uppmuntras att framställa mer energisnåla hushållsapparater för hemmen, såsom rakapparater samt radio- och TV-apparater. Även industrin behöver tillverka energisnåla apparatur.

Referenser

Internetadresser

- [1] http://www.daac.ornl.gov/FIFE/guides/optical_thick_fraser.html 2007-06-14 FIFE Information
- [2] http://www.ne.se/jsp/search/search.jsp?h_search_mode=simple&h_advanced_search=false&t_word=BBC 2008-01-25 Nationalencyklopedin
- [3] <http://www.agu.org/pubs/crossref/1997/97JD00631.shtml> 2008-01-25 AGU
- [4] http://scrippsnews.ucsd.edu/pressreleases/indoex_water.cfm 2007-06-26 University of California San Diego
- [5] http://www.ne.se/jsp/search/search.jsp?t_word=IPCC 2008-01-25 Nationalencyklopedin
- [6] http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/003.htm 2008-01-25 IPCC
- [7] <http://www-misr.jpl.nasa.gov/> 2008-02-04 NASA
- [8] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=716581&i_word=nanometer 2008-01-25 Nationalencyklopedin
- [9] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=247637&i_sect_id=24763600&i_word=volatile%20organic%20compounds&i_h_text=1&i_rphr=volatile%20organic%20compounds 2007-06-14 Nationalencyklopedin
- [10] http://www.bbc.co.uk/climate/evidence/greenhouse_gases.shtml 2007-07-05 BBC väder centrum
- [11] http://www.bbc.co.uk/climate/evidence/carbon_dioxide.shtml 2007-07-05 BBC väder centrum
- [12] <http://www.bbc.co.uk/climate/impact/glaciers.shtml> 2007-07-05 BBC väder centrum
- [13] <http://www.bbc.co.uk/climate/impact/wildlife.shtml> 2007-07-05 BBC väder centrum
- [14] http://www.bbc.co.uk/climate/impact/sea_level.shtml 2007-07-05 BBC väder centrum
- [15] <http://www.bbc.co.uk/climate/impact/flooding.shtml> 2007-07-05 BBC väder centrum
- [16] http://www.bbc.co.uk/climate/impact/gulf_stream.shtml 2007-07-05 BBC väder centrum
- [17] http://www.smhi.se/sgn0106/if/rc/documents/Transientreg_A4.pdf 2007-10-02 Sveriges metrologiska och hydrologiska institut
- [18] http://images.google.se/imgres?imgurl=http://www-vaxten.slu.se/atmosfaren/images/luftsk1.gif&imgrefurl=http://www-vaxten.slu.se/atmosfaren/luftskikt.htm&usg=__IlrF5YzH5JTBqRJneOOp8La8CQ0=&h=31

3&w=296&sz=16&hl=sv&start=127&tbnid=3MChCsEqmXwknM:&tbnh=117&tbnw=111
&prev=/images%3Fq%3Djordatmosf%25C3%25A4ren%252Bbilder%26start%3D126%26
gbv%3D2%26ndsp%3D18%26hl%3Dsv%26sa%3DN 2009-04-03 växten & marken

[19] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=108701&i_word=aerosoler&i_h_text=1&i_rphr=aerosoler 2007-06-14 Nationalencyklopedin

[20] <http://www.wwf.se/show.php?id=1026186> 2007-09-10 Världens naturorganisation

[21] <http://www.wwf.se/show.php?id=1003687> 2007-10-15 Världens naturvårdorganisation

[22] <http://www.aftonbladet.se/vss/nyheter/story/0,2789,751193,00.html> 2007-06-14 Aftonbladet

[23] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=318662&i_word=sulfater 2007-06-14 Nationalencyklopedin

[24] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=O152191&i_word=flyktig 2007-09-10 Nationalencyklopedin

[25] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=278305&i_word=oxidation 2007-06-14 Nationalencyklopedin

[26] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=283542&i_word=pinatubo 2007-06-19 Nationalencyklopedin

[27] http://www.pik-potsdam.de/~wlucht/texts/sci_lund.pdf 2007-10-02 Lunds Universitet

[28] <http://www.analyskritik.press.se/Taknr/NAK/NAK2006-17.pdf> Barrskogen och växthuseffekten 2007-06-14 tidskriften analys & kritik

[29] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=200090&i_word=havssalt 2007-06-14 Nationalencyklopedin

[30] <http://www.shenet.se/ravaror/isolatterpen.html> 2007-06-14 Shenet

[31] <http://www.aftonbladet.se/vss/nyheter/story/0,2789,751193,00.html> 2007-06-19 Aftonbladet Torsdagen 28 september 2006

[32] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=226248&i_sect_id=22624803&i_word=atmosf%e4r%20%26%20aerosoler&i_h_text=1&i_rphr=atmosf%e4r%20%26%20aerosoler 2007-10-04 Nationalencyklopedin

[33] <http://forskningsfronter.vr.se/main.asp> 2007-09-13 Vetenskapsrådet (Aerosol moln och klimatåterkopplingar)

[34] <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf> 2007-06-14 IPCC (Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing)

- [35] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=255069&i_word=metan 2007-08-17 Nationalencyklopedin
- [36] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=153731&i_word=dikv%e4veoxid 2007-08-17 Nationalencyklopedin
- [37] http://www.polar.se/expeditioner/ao2002/forskningsprojekt/organiska_foreningar.html 2007-08-17 Arctic ocean 2002
- [38] <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1353&lan=sv> 2007-10-04 Finlands Miljöcentral
- [39] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=255963&i_word=Milankovic,Milutin 2007-06-14 Nationalencyklopedin
- [40] http://www.ukcip.org.uk/news_releases/28.pdf 2007-06-19 Royal Metrological Society, Reading
- [41] <http://forskningsfronter.vr.se/main.asp> 2007-09-13 Vetenskapsrådet (Vattenlösliga organiska föreningar i den atmosfäriska aerosolen - Effekter på molnbildning, hygroskopiska egenskaper och klimat)
- [42] <http://www.smhi.se/sgn0106/klimat/text11.htm> 2007-06-19 Sveriges metrologiska och hydrologiska institut
- [43] http://www.polar.se/expeditioner/ao2001/forskningsprojekt/stralningsbalans_klimat.htm 1 2007-06-28 Polarforskningssekretariatet 2001
- [44] <http://forskningsfronter.vr.se/main.asp?page=main&type=proj&classid=39&projectid=3783#> 2007-09-12 Vetenskapsrådet
- [45] <http://www.regeringen.se/sb/d/108> regeringskansliet 2009-03-20
- [46] <http://www.wwf.se/vart-arbete/skog/problem/skogsbrander/1195745-skogsbrander2> världsnaturfonden 2009-03-20
- [47] http://www.esa.int/esaCP/SEMQNI9ATME_Sweden_0.html 2007-09-10 Europeiska rymdorganisationen
- [48] <http://miljoforskning.formas.se/formas/jsp/document.jsp?idocument=920> 2009-04-16 Miljöforskning Formas tidning för ett uthålligt samhälle
- [49] <http://www.svensksolenergi.se/> 2007-06-26 Svenska solenergiföreningen
- [50] <http://www.snf.se/verksamhet/energi/vindkraft.htm> 2007-10-08 Naturvårdverket
- [51] http://ec.europa.eu/research/leaflets/fusion/page_86_sv.html 2007-06-26 Europeiska kommissionen

- [52] http://ec.europa.eu/research/leaflets/fusion/page_89_sv.html 2007-06-26 Europeiska kommissionen
- [53] http://www.tekniikkatalous.fi/doc.ot?f_id=840056 2007-10-08 Tekniikka & Talous
- [54] <http://www.isaab.net/nyhet.php?id=55503287> 2007-06-26 Teknikens Värld
- [55] <http://www.privataaffarer.se/bil/testdrive.asp?id=1925> 2007-06-26 Teknikens värld
- [56] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=129211&i_word=biobr%e4nslen 2007-06-14 Nationalencyklopedin
- [57] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=227587&i_word=koks 2007-06-14 Nationalencyklopedin
- [58] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=229645&i_word=konvektion 2007-06-14 Nationalencyklopedin
- [59] <http://www.lbl.gov/Education/ELSI/Frames/pollution-black-carbon-f.html> 2007-06-14
- [60] http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=179480&i_word=temperaturprofil&i_h_text=1&i_rphr=temperaturprofil 2007-06-14 Nationalencyklopedin

Artiklar

- Ackermann, A.S., Toon, O.B., Stevens, D.E., Heymsfield, A.J., Ramanathan, V.C., Veerabhadran, W., & Ellsworth, J. (2000). Reduction of tropical Cloudiness by Soot. *Science*, **288**, 2684-2695.
- Albrecht, B.A. (1989). Aerosol, cloud microphysics and fractional cloudness. *Science*, **245**, 1227-1230.
- Aldhous, P. (2005). China's burning ambition. *Nature*, **435**, 1152-1154.
- Andreae, M. O. (2001). The dark side of aerosols. *Nature*, **409**, 671-672.
- Andreae, M.O., Jones, C.D., & Cox, P.M. (2005). Strong present-day aerosol cooling implies a hot future. *Nature*, **435**, 1187-1190.
- Andreae, M.O. (2007). Aerosols before pollution. *Science*, **315**, 50-51.
- Bréon, F-M. (2006). How Do Aerosols Affect Cloudiness and Climate? *Science*, **313**, 623-624.
- Bréon, F-M., Tanre, D., & Generoso, S. (2002). Aerosol Effect on Cloud Droplet Size Monitored. *Science*, **295**, 834-838.
- Colvile, R.N., Hutchinson E.J., Mindell, J.S., & Warren R.F. (2000). The Transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric environment*, **35**, 1537-1565.

- Dennis, C. (2005). Brown clouds cast a dark shadow. *Nature*, **435**, 1154.
- Facchini, M.C., Mircea, M., Fuzzi, S., & Charlson, R.J. (2000). Cloud albedo enhancement by surface-active organic solutes in growing droplets. *Nature*, **401**, 257 – 259.
- Granhäll, T. (1999). Aerosolers dygnsvariationer och långväga transporter. Seminarieuppsats, Lunds universitet, Naturgeografiska institutionen. **60**, 7.
- Hansen, J. E., Ruedy, R., Sato, M., Imhoff, M., Lawrence, W., Eaterling, D., Peterson, T., & Karl, T. (2001). A closer look at United States and global surface temperature change. *Journal of Geophysical Research*, **106**, 23947-23963.
- Ito, A., Penner, J. E. (2005). Historical emissions of carbonaceous aerosols from biomass and fossil fuel burning for the period 1870–2000. *Global Biogeochemical cycles*, **19**, 1-14.
- Jacobson, M. Z. (2001). Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, **409**, 695-696.
- Junker, C., & Lioussé, C. (2006). A global emission inventory of carbonaceous aerosol from historic records of fossil fuel and bio fuel consumption for the period 1860-1997. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, **6**, 4897-4927.
- Kaufman, Y.J., Tanre, D., & Boucher O. (2002). A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, **419**, 215-223.
- Kaufman, Y.J., Koren I. (2006). Smoke and Pollution Aerosol Effect on Cloud Cover. *Science*, **313**, 655-658.
- Kolb, C. E. (2002). Lodine´s air of importance. *Nature*, **417**, 597-598.
- Koren, I., Kaufman, Y.J., Remer, L.A., & Martins, V. (2004). Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation. *Nature*, **303**, 1342-1345.
- Lohmann, U. (2006). Aerosol effects on clouds and climate. *Space Science Reviews*, **125**, 129-137.
- Novakov, T., Ramanathan, V., Hansen, J.E., Kirchstetter, T.W., Sato, M, Sinton, J.E., & Sathaye, J.A. (2002). Large historical changes of fossil-fuel black carbon aerosols. *Geophysical Research Letters*, **30**, 1324 – 1327.
- Parashar, D.C, Gadi, R., Mandal, T.K., & Mitra A.P. (2005). Carbonaceous aerosol emissions from India. *Atmospheric Environment*, **39**, 7861-7871.
- Pincus, R., & Baker, M.B. (1994). Effect of precipitation on the albedo susceptibility of clouds in the marine boundary layer. *Nature*, **372**, 250-252.
- Ramanathan, V., Chung, C., Kim, D., Bettge, T., & Buja, L., Kiehl, J.T., Washington, W.M., Fu, Q., Sikka, D.R., & Wild, M. (2005). Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle. *PNAS*, **102**, 5326-5333.

Rosenfeld, D. (1999). Observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophysical Research Letters*, **26**, 3105-3108.

Rosenfeld, D., (2000). Suppression and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, **287**, 1793-1796.

Schrope, M. (2000). Trouble in the greenhouse. *Nature*, **407**, 10-12.

Stanhill, G. (2007). A perspective on global warming, dimming and brightening. *Eos*, **88**, 58-59.

Stanhill, G. (2005). Global dimming: A new aspect of climate change. *Weather*, **60**, 11-14.

Swinbanks, D. (1997). Forest fires cause pollution crisis in Asia. *Nature*, **389**, 321.

Twomey, S.A. (1974). Pollution and the planetary albedo. *Atmospheric Environment*, **8**, 1251-1256.

Travis, D.J., Carleton, A.M., & Lauritsen, R.G. (2002). Contrails reduce daily temperature range. *Nature*, **418**, 601.

Böcker

Ahrens, C.D. (1999). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 6:e uppl. Brooks/Cole: Pacific Grove.

Nämnden för skoglig Fjärranalys (1993). *Flygbildsteknik och fjärranalys*. Skogsstyrelsen: Jönköping.

Appendix: ordförklaringar

Aerosol Optical Thickness (AOT) = aerosolernas påverkan på solinstrålningen tills den når marken i våglängderna synligt ljus och nära infrarött ljus

Biobränslen = energikälla framställd av biomassa, dvs skogsbränsle, halmbränsle, energigröda samt exempelvis kodynga [56]

Climate Sensitivity = förändring av jämvikten i jordytans ytemperatur, kopplad till dubbling av koldioxidkoncentrationen i atmosfären

Cloud Condensation Nuclei (CCN) = molnkondensationskärnor

Diurnal Temperature Range (DTR) = temperaturamplitud, dvs temperaturens dygnsvariation

Global Circulations Model (GCMs) = allmänna cirkulationsmodeller

Hydrologisk cykel = vattnets kretslopp mellan hav, atmosfär och land

Koks = bränsle som utvinns vid bearbetning av stenkol [57]

Konvektion = rörelser i gaser och vätskor som uppstår pga temperaturskillnader mellan olika delar på markytan och t.ex. bidrar till molnbildning [58]

Liquid Water Content (LWC) = vatteninnehållet i molnet

Meteorologi = vetenskapen om atmosfärens fysik och kemi, ”väderlekslära”

Mittlatituder = breddgraderna 30°N-50°N och 30°S-50°S (Ahrens,1999)

Nettoeffekt = skillnaden mellan aerosolers avkylande och uppvärmande effekter

Oorganiskt kol = kol som saknar direkta bindningar mellan kol och väte

Organiskt kol = kol som har direkta bindningar mellan kol och väte

Svart kol = de små partiklar som frigörs vid ofullständig förbränning av fossila bränslen [59]

Temperaturprofil = temperaturvariationen inom atmosfärens fyra olika skikt [60]

Volatile organic compounds = flyktiga organiska ämnen, exempelvis lösningsmedel [25; 44]

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Uppsatserna är även tillgängliga på <http://www.geobib.lu.se/>

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

Report series started 1985. Also available at <http://www.geobib.lu.se/>

111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tollebäck, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogsområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer i sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tåguller i Skåne – befolkningens exponering.
126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBird-data för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
128. Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker.
129. Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
130. Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i

- stormfällen efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
- 131 Eckeskog, M., (2006): Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio
Sucio drainage basin, Nicaragua.
- 132 Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global
carbon cycle and greenhouse gas forcing.
- 133 Persson, P., (2007): Investigating the Impact of Ground Reflectance on
Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index
- 134 Valoczi, P. (2007): Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av
barrskog i Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.
- 135 Johansson, H. (2007): Dalby Söderskog - en studie av trädarternas
sammansättning 1921 jämfört med 2005
- 137 Kalén, V. (2007): Analysing temporal and spatial variations in DOC
concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing
- 138 Maichel, V. (2007): Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda
våtmarker i Skåne
- 139 Agardh, M. (2007): Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och
åtgärdsförslag
- 140 Peterz, S. (2007): Do landscape properties influence the migration of Ospreys?
- 141 Hendrikson, K. (2007): Småvatten och groddjur i Täby kommun
- 142 Carlsson, A. (2008): Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans
aktivitet NDVI uppmätt med satellit.
- 143 Paulsson, R. (2008): Analysing climate effect of agriculture and forestry in
southern Sweden at Högestad & Christinehof Estate
- 144 Ahlstrom, A. (2008): Accessibility, Poverty and Land Cover in Hambantota
District, Sri Lanka. Incorporating local knowledge into a GIS based
accessibility model.
- 145 Svensson T. (2008): Increasing ground temperatures at Abisko in Subarctic
Sweden 1956-2006
- 146 af Wåhlberg, O. (2008): Tillämpning av GIS inom planering och naturvård -
En metodstudie i Malmö kommun.
- 147 Eriksson, E. och Mattisson, K. (2008): Metod för vindkraftslokalisering med
hjälp av GIS och oskarp logik.
- 148 Thorstensson, Helen (2008): Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos
växter och djur i Europa sedan 1950.
- 149 Raguz, Veronika (2008): Karst and Waters in it – A Literature Study on Karst
in General and on Problems and Possibilities of Water Management in Karst in
Particular.
- 150 Karlsson, Peggy (2008): Klimatförändringarnas inverkan på de svenska
vägarna.
- 151 Lyshede, Bjarne Munk (2008): Rapeseed Biodiesel and Climate Change
Mitigation in the EU.
- 152 Sandell, Johan (2008): Detecting land cover change in Hambantota district, Sri
Lanka, using remote sensing & GIS.
- 153 Elgh Dalgren, Sanna (2008): vattennivåförändringar i Vänern och dess
inverkan på samhällsbyggnaden i utsatta städer
- 154 Karlgård, Julia (2008): Degrading peat mires in northern Europe: changing
vegetation in an altering climate and its potential impact on greenhouse gas
fluxes.
- 155 Dubber, Wilhelm and Hedbom, Mari (2008) Soil erosion in northern Loa PDR
– An evaluation of the RUSLE erosion model

- 156 Cederlund, Emma (2009): Metodgranskning av Klimatkommunernas lathund för inventering av växthusgasutsläpp från en kommun
- 157 Öberg, Hanna (2009): GIS-användning i katastrofdrabbade utvecklingsländer
- 158 Marion Früchtl & Miriam Hurkuck (2009): Reproduction of methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions
- 159 Florian Sallaba (2009): Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes. A Case Study in Northern Greece
- 160 Sara Odelius (2009): Analys av stadsluftens kvalitet med hjälp av geografiska informationssystem.
- 161 Carl Bergman (2009): En undersökning av samband mellan förändringar i fenologi och temperatur 1982-2005 med hjälp av GIMMS datasetet och klimatdata från SMHI.
- 162 Per Ola Olsson (2009): Digitala höjddata och höjdsystem. Insamling av höjddata med fokus på flygburen laserskanning.
- 163 Johanna Engström (2009): Landskapets påverkan på vinden -sett ur ett vindkraftperspektiv.
- 164 Andrea Johansson (2009): Olika våtmarkstypers påverkan på CH₄, N₂O och CO₂ utsläpp, och upptag av N₂.
- 165 Linn Elmlund (2009): The Threat of Climate Change to Coral Reefs
- 166 Hanna Forssman (2009): Avsmältningen av isen på Arktis - mätmetoder, orsaker och effekter.
- 167 Julia Olsson (2009): Alpina trädgränsens förändring över 100 år.s
- 168 Helen Thorstensson (2009): Relating soil properties to biomass consumption and land management in semiarid Sudan – A Minor Field Study in North Kordofan
- 169 Nina Cerić och Sanna Elgh Dalgren (2009): Kustöversvämningar och GIS - en studie om Skånska kustnära kommuners arbete samt interpolationsmetodens betydelse av höjddata vid översvämningssimulering
- 170 Mats Carlsson (2009): Aerosolers påverkan på klimatet

