

Seminarieuppsatser nr 166

Avsmältningen av isen i Arktis - mätmetoder, orsaker och effekter

Hanna Forssman

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



Avsmältningen av isen i Arktis - mätmetoder, orsaker och effekter

Hanna Forssman

Kandidatuppsats i naturgeografi och ekosystemanalys

2009

Handledare: Harry Lankreijer
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet

Förord

Denna uppsats är ett examensarbete på 15 hp i ämnet naturgeografi. Uppsatsen är en litteraturstudie som behandlar avsmältningen av isen i Arktis som en följd av ett varmare klimat. Syftet med uppsatsen är att presentera vilka mätmetoder som används för att mäta isens utbredning, hur resultaten ser ut och vilka effekter detta kan ge. Uppsatsen har skrivits på Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys, Lunds universitet. För goda råd och synpunkter på arbetet vill jag tacka Andreas Olofsson samt min handledare Harry Lankreijer.

Abstract

All over the world ice is melting as a result of the increased temperature. The sea ice at the poles is getting thinner and glaciers are retreating. The Arctic has been studied during hundreds of years but it was not until the 1970's the sea ice extent could be surveyed properly with remote sensing. The most common method to investigate the sea ice extent is with passive microwave satellite sensors. Due to the trends from many studies the sea ice extent is decreasing and many signs indicate a faster decrease of sea ice in the future. The increasing temperature is the major reason to the deglaciation, but there are many different mechanisms that could be part in the fast melting. A warmer climate affects streams in both the ocean and in the atmosphere. This can in turn transport the ice southwards were it melts. The deglaciation affects humans as well as animals and plants, but also the earth in a bigger perspective.

Key words: Geography · Physical geography · Arctic · Sea ice · Deglaciation · Remote sensing

Sammanfattning

Is världen över smälter till följd av temperaturökningen som sker på jorden. Glaciärer retirerar och isen tunnas ut vid polarområdena. Vid Arktis har isen studerats under hundratals år men det var inte förrän på 1970-talet som havsisens utbredning kunde kartläggas ordentligt med hjälp av fjärranalys. Passiv mikrovågsradiometri är den vanligaste metoden för att mäta havsisens utbredning. Trenderna visar att havsisens utbredning minskar och mycket pekar på att avsmältningen kommer att öka. Orsaken till isarnas avsmältning är temperaturökningen och den är sammankopplad med olika mekanismer som också kan bidra till den ökade avsmältningen. Ett varmare klimat kan påverka strömmar både i atmosfären och i havet, vilket sedan kan resultera i att isen transporteras längre söderut än normalt och smälter. Avsmältningen av isarna ger effekter över hela jorden som påverkar såväl människor som djur och växter men den påverkar även jorden i ett större perspektiv.

Nyckelord: Geografi · Naturgeografi · Arktis · Havsis · Avsmältning · Fjärranalys

Innehåll

Förord	5
Abstract	7
Sammanfattning	9
1. Introduktion	13
2. Bakgrund	14
2.1 <i>Förekomst av is på jorden</i>	14
2.1.1 <i>Glaciärer</i>	15
2.1.2 <i>Havsis</i>	15
2.1.3 <i>Permafrost</i>	16
2.2 <i>Polarklimat</i>	17
2.3 <i>Avsmältningen</i>	17
3. Mätmetoder	19
3.1 <i>Manuella mätningar</i>	19
3.2 <i>Fjärranalys</i>	20
4. Resultat	22
4.1 <i>Orsaker</i>	24
4.2 <i>Effekter</i>	25
5. Diskussion	27
6. Referenser	29

1. Introduktion

Polarregionerna har genom historien alltid varit svårtillgängliga och utforskade även om försök att nå Nordpolen redan gjordes för över 2300 år sedan. Upptäcktsfärderna mot Arktis var länge förenade med stora faror och det var inte förrän en bit in på 1900-talet, år 1909, som Nordpolen nåddes för första gången av amerikanen Robert E. Peary (*Dyring & Dyring, 2007*). Under det senaste seklet har vetenskapen om polerna ökat enormt i takt med att Arktis har blivit mer lättillgängligt och mätmetoderna bättre. Idag finns stora mängder information om Arktis efter många forskningsexpeditioner och med satellitmätningar som startade för mer än fyrtio år sedan. För att mäta isens utbredning är satelliter med passiv mikrovågsradiometri den metod som är mest använd och dessa mätningar startade år 1972 (*Vinnikov et al., 1999*).

I Arktis utgör täcket av havsis en livsviktig miljö för många arter. Samtidigt spelar havsisen en viktig roll för jordens klimat och är betydelsefull i samspelet mellan oceanen och atmosfären (*Thomas & Dieckmann, 2003*). Havsisen breder ut sig över stora delar av Norra Ishavet, men andra typer av is är också viktiga i den Arktiska regionen, däribland inlandsisen och de glaciärer som finns på Grönland. Temperaturökningen som skett under det senaste seklet har resulterat i ett minskande istäcke i Arktis. Havsisens utbredning har under de senaste åren nått rekordlåga nivåer och glaciärer minskar i omfattning samtidigt som en accelererad havsnivåhöjning skapar stora diskussioner världen över (*IPCC, 2007c*).

Syftet med denna uppsats är att undersöka hur avsmältningen i Arktis ser ut och förklara vilka mekanismer som ligger bakom den ökade avsmältningen. Mätmetoderna som används för att genomföra de olika studierna kommer också att presenteras, samt hur resultaten ser ut och vilka effekter detta kan ge. De frågor som främst ska besvaras i denna uppsats är:

- Vilka processer påskyndar avsmältningen?
- Hur mäts isens utbredning i fält och med fjärranalys?
- Vilka möjliga effekter kan avsmältningen leda till?

2. Bakgrund

Det finns ett flertal olika sätt att definiera vilka områden som ingår i den Arktiska regionen. Ofta används temperaturen för att bestämma Arktis utbredning. Det är då vanligast att gränserna för polarklimat, en klimattyp i Köppens klimatklassifikation som omfattar både glacialklimat och tundraklimat, används. De områden där alla månaders medeltemperatur är lägre än 10°C tillhör då Arktis (Polarforskningssekretariatet, 2009a). Denna gräns sammanfaller på de allra flesta ställen med trädgränsen. Då Köppens klimattyp polarklimat används som avgränsning är Arktis totala yta $26 \cdot 10^6$ km², vilket drygt motsvarar Nordamerikas areal. Av denna yta utgörs ungefär $8 \cdot 10^6$ km² av land (Werner & Melander, 2009). Norra ishavet, eller Arktiska oceanen som det också kallas, är navet i den Arktiska regionen och den största delen av oceanen är täckt av is. Norra ishavet är uppdelat i mindre bihav och randhav (figur 1).



Figur 1. Karta över Arktis (Polarforskningssekretariatet, 2009b).

2.1 Förekomst av is på jorden

På jorden finns flera olika typer av naturlig is som alla är viktiga komponenter för att klimatbalansen på jorden ska upprätthållas. Ungefär 75 %, av allt färskvatten på jorden

är bundet i is vid polerna och i glaciärer. Glaciärer utgör den absolut vanligaste typen av is och de största glaciärområdena återfinns vid polerna. Glaciärer större än 50 000 km² kallas inlandsisar och är mycket gamla (*Strahler & Strahler, 2005*). En annan typ av is är havsisen, som består av fruset havsvatten. Mellan åren 1979-2000 täckte havsisen i Arktis en yta på $11,5 \cdot 10^6$ km² då ett årsmedelvärde räknas ut (*Serreze et al., 2007*). Permafrost, frusen mark, är också en typ av is och den återfinns främst i den Arktiska regionen men även i nordliga alpina områden.

2.1.1 Glaciärer

Glaciärer finns på alla världens kontinenter och bildas genom en långsam process. För att en glaciär ska bildas krävs det att en del av den snö som faller under vintern ligger kvar hela året utan att smälta undan. På detta sätt ansamlas snö och en glaciär kan växa fram och senare även röra sig neråt med hjälp av sin egen tyngd (*Strahler & Strahler, 2005*).

Den översta delen av en glaciär kallas för cirque. Det är i denna halvcirkelformade cirque som ansamlingen av snö sker och således påbyggnaden av glaciären. Ansamlad snö omvandlas efterhand till firn, en grovkornig massa som sedan efter en kristallomvandling blir is. En gammal glaciär har ofta iskristaller som är väldigt stora, ibland med en diameter uppemot ett par decimeter. Då glaciärernas istäcke når havet bryts delar av isen av och flyter ut i havet som isberg. Isbergen, som har 90 % av sin massa under havsytan, flyter mot varmare områden där de långsamt smälter. (*Adriellsson, 2009*).

En stor del av jordens glaciärer finns i form av inlandsis. En glaciär kallas för inlandsis då den täcker en yta större än 50 000 km². Genom jordens historia har det funnits perioder då stora inlandsisar har dominerat stora områden på jorden, men även tider som idag då glaciärerna har en relativt liten utbredning. Idag finns inlandsisar på Antarktis och Grönland. Den största återfinns på Antarktis och täcker över $13 \cdot 10^6$ km² medan inlandsisen på Grönland har en area på ungefär $1,7 \cdot 10^6$ km² (*Strahler & Strahler, 2005*).

2.1.2 Havsis

Det som kännetecknar Norra ishavet är havsisen som ligger som ett flytande täcke över havet. Den är hela tiden i rörelse och omformas ständigt. Under året varierar mängden havsis, utbredningen är som minst i september och som störst i mars då den täcker upp till 7 % av jordens yta. Havsisen är relativt tunn och därför känslig för rörelser både i

havet och i atmosfären. Eftersom havsisen utgör gränsen mellan oceanen och atmosfären har den en viktig roll i dess samspel. Havisen kontrollerar men blir också kontrollerad av de flöden av värme, fuktighet och gaser som drivs av samspelet mellan oceanen och atmosfären (Thomas & Dieckmann, 2003).

Havets salinitet har ett medelvärde på 35 ‰ och det är detta som gör att havsis inte bildas förrän vattentemperaturen nått $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Comiso, 2003). Ju högre salthalten är i vattnet, desto kallare temperaturer krävs för att vattnet skall frysa. Havsis blir på grund av sin salthalt porös och mindre hållfast än den is som bildas av sötvatten. En del av saltet i havsvattnet fälls ut under frysningsprocessen och detta bidrar till att havsisens salthalt blir lägre än havets. Ju äldre isen är, desto mindre salt är den. Då havsis bildas är det först som en vit issörja som är full av luftbubblor och salt. Efterhand som den fryser samman minskar salthalten och isen bryts upp i flak med hjälp av havets vågrörelser och strömmar (Lundqvist & Rodhe, 2009).

Havsisens årliga cykel är av stor vikt för klimatet men påverkar också havet och alla de levande organismsmer som lever där. Många däggdjur påverkas starkt av förändringar i tjocklek och koncentration av havsis. De är beroende av isen för att kunna söka föda och fortplanta sig. Exempel på däggdjur som är direkt beroende av havsis är isbjörnar *Ursus maritimus* och grönländssälar *Pagophilus groenlandicus*. Det finns även fågelarter som endast förekommer vid eller i närheten av havsis, i Arktis är rosenmåsar *Rhodostethia rosea* och ismåsar *Pagophila eburnea* exempel på sådana arter. Vikaren *Phoca hispida*, som ingår i familjen örönlösa sälar, är också en viktig art i Arktis. Den är ett viktigt bytesdjur till isbjörnen och lever helst i istäckta hav (Thomas & Dieckmann, 2003).

2.1.3 Permafrost

I polarområdena råder permafrost och marken är frusen under hela året. Det är ständig tjäle i marken men det översta lagret tinar under den varmaste perioden på året och bildar det som kallas för det aktiva lagret. Det aktiva lagret varierar i tjocklek från år till år men också mellan olika platser och beroende på hur materialet i marken ser ut. Forskning visar att det aktiva lagret under de tre senaste decennierna har blivit djupare till följd av temperaturökningen (Åkerman & Johansson, 2008). Ett minskande aktivt lager resulterar i ett ökat utsläpp av växthusgaserna som i sin tur kan bidra till temperaturökningen.

Permafrost kan vid vissa förhållanden skapa särskilda landformer. Pingos och palsar är exempel på sådana men även iskilar och frostsprickspolygoner är former som skapas i områden med permafrost. I områden med permafrost måste hänsyn tas vid olika byggnadsprojekt då en speciell teknik måste användas för att minska risken för skador och sättningar (NE, 2009).

2.2 Polarklimat

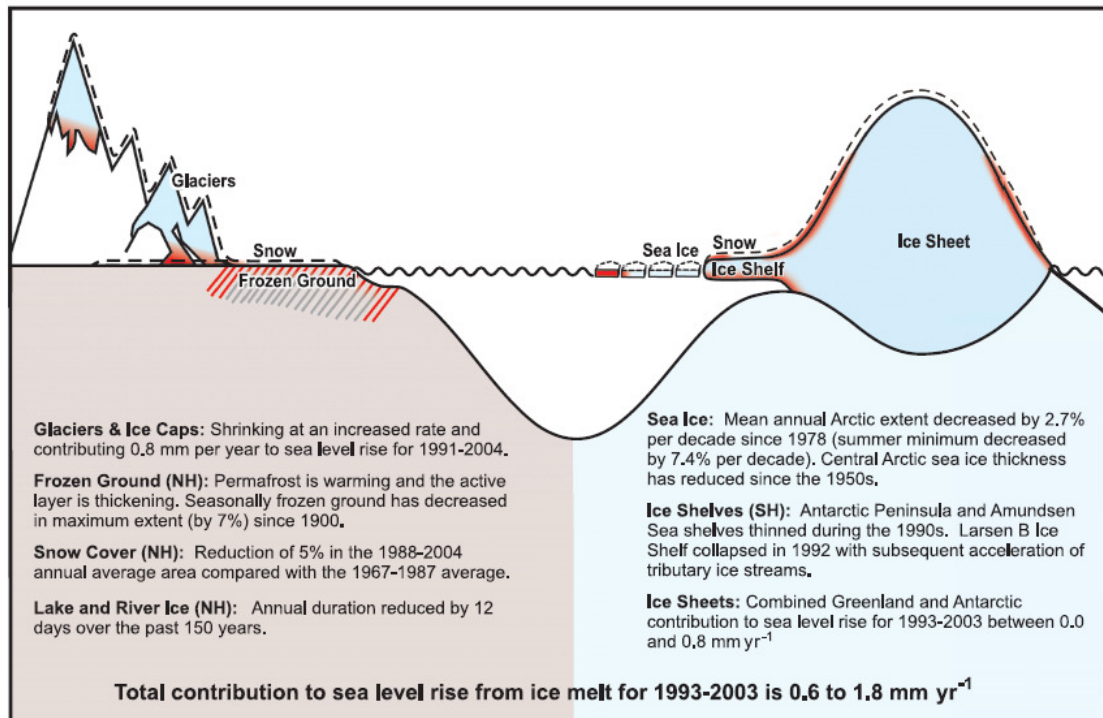
Vid Arktis råder polarklimat, en klimattyp i Köppens klimatklassifikation. Det innebär att medeltemperaturen under årets alla månader ligger under 10 °C. Vintern är lång och extremt kall medan sommaren är mycket kort (Werner & Melander, 2009). Polarklimat omfattar både glacialklimat och tundraklimat. Glacialklimat råder där alla månaders medeltemperatur ligger under 0 °C och tundraklimat råder där medeltemperaturen varje månad är lägre än 10 °C (Strahler & Strahler, 2005). Medeltemperaturen vid Nordpolen är i januari -33 °C och i juli -2 °C. Detta är högre temperaturer än på Sydpolen, där årsmedeltemperaturen är -50 °C. Anledningen till detta är att Nordpolen är belägen i havet i motsats till Sydpolen som ligger högt belägen på en kontinent (Polarforskningssekretariatet, 2009a).

2.3 Avsmältningen

Klimatförändringen som skett under de senaste hundra åren ger många effekter på jorden. En del områden påverkas mer än andra och Arktis är ett av de områden där temperaturökningen varit som störst. Under 1900-talet ökade den globala medeltemperaturen med 0,7- 0,8 grader. Den största temperaturökningen har skett vid Arktis, där temperaturen på en del håll ökat med mer än två grader (IPCC, 2007a). Även om det finns meningsskiljaktigheter angående var det går snabbast och hur det kommer att påverka oss och andra levande organismer så går det inte att förneka den temperaturökning som skett under det senaste seklet. Det råder heller inte några tvivel om ett varmare klimat minskar jordens isar och glaciärer. Havsisen i Arktis har minskat i utbredning under de senaste decennierna (Comiso, 2003, Comiso et al., 2008, Johannessen et al., 1999, Stroeve et al., 2007, Zhang et al., 2008). Permafrostens maximala utbredning har minskat med 7 % sedan år 1900 och varje år bidrar avsmältningen av glaciärer och istäcken till en havsnivåhöjning på 0,8 mm (IPCC, 2007c). Avsmältningen som skett i kryosfären, vilken innefattar allt fruset vatten i hydrosfären, under det senaste seklet sammanfattas i figur 2.

Avsmältningen som sker påskyndas av en naturlig återkopplingsmekanism som styrs av mängden is och albedo, där albedo innebär den reflexionsförmåga som en yta har. Ju mer is som smälter, desto mer solstrålning fångas upp på grund av ett minskat albedo. Detta i sin tur påskyndar uppvärmningen och förstärker återkopplingen ytterligare. Is och snö kan ha ett albedo på upp till 90 % medan havet har ett albedo på ungefär 5 %, havets albedo varierar beroende på hur stilla havsytan är (Strahler & Strahler, 2005). Det finns effekter och andra återkopplingsmekanismer relaterat till albedot i Arktis. Ett varmare Arktis bidrar till fler stormar som i sin tur ökar mängden partiklar i atmosfären. Detta resulterar i ett ständigt minskande albedo och uppvärmningen ökar. Det finns dock även återkopplingsmekanismer som tvärtom kan ha en kylande effekt på Arktis.

Ett varmare Arktis ger mer avdunstning och resultatet av det kan ge mer nederbörd som ökar snötäcket på havsisen (Comiso & Parkinson, 2004).



Figur 2. Sammanfattning av den avsmältning som skett i kryosfären (IPCC, 2007c).

Väderförhållanden spelar en stor roll i havsisens utbredning och detta ger upphov till en naturlig variation. Den naturliga variationen är dock inte så omfattande att den kan förklara avsmältningen som forskarna ser idag. Från olika håll har det gjorts många försök att koppla ihop avsmältningen av is med olika styrande processer, däribland atmosfäriska mekanismer som den Arktiska Oscillationen. Dessa tillsammans med temperaturökningen påskyndar isarnas avsmältning (Wang et al., 2009 & Zhang et al., 2008).

Idag är massförlusten av is från inlandsisen på Grönland större än tillförseln som sker via snöfall (IPCC, 2007b). Detta är också en drivande faktor till avsmältningen. En annan faktor är havstemperaturen som ökat under det senaste seklet (IPCC, 2007b) och bland annat påverkar glaciärer. Glaciärer som kommer i kontakt med varmare havsvatten kan tränga in i glaciären och öka glaciärens avsmältning avsevärt (Rignot & Steffen, 2008).

3. Mätmetoder

Genom tiderna har en rad olika mätmetoder för Arktis utbredning och utveckling funnits, vid de allra tidigaste expeditionerna var de direkt sammankopplade med stor fara och risk för livet. Ett exempel på en tidig utforskning av Arktis gjordes av Fridtjof Nansen som år 1893 lät sitt fartyg Fram frysa fast i isen vid Laptev havet för att sedan driva med polarisen och tre år senare nå Svalbard (*Dyring & Dyring, 2007*). Idag sker polarforskningen på isbrytare som, i motsats till Fram, enkelt och snabbt tar sig fram genom Arktis. Den metod som dock används mest i samband med att bestämma isens utbredning är fjärranalys. Satellitbilder har använts i detta sammanhang med framgång sedan 1970-talet. Hur istäcket såg ut innan mätningar med hjälp av satelliter startade går inte att säga med säkerhet eftersom det då dokumenterades främst i loggböcker.

3.1 Manuella mätningar

I samband med de mätningar som ej är gjorda med hjälp av satelliter finns det många problem. De är tidsbegränsade, lokala och täcker inte hela året (*Vinnikov et al., 1999*). Trots detta är de manuella mätningarna ett bra komplement till alla de undersökningar som görs med fjärranalys. I en handbok utgiven av Mahoney & Gearheard (2008) i samband med National Snow and Ice Data Center (NSIDC) beskrivs standardmetoder för hur man mäter havsisens tjocklek samt snödjupet. Dessa två egenskaper är viktiga att undersöka då de ger en bra bild av hur istäcket ser ut. Havsisens tjocklek fastställer hur pass stark och tålig isen är medan snödjupet ger en indikation hur mycket isen kommer att växa. Mätningarna görs med fördel på minst 200 meters avstånd från isvallar och gärna på en plats som är relativt lättillgänglig då flera mätningar ska göras på platsen under vintern och våren. Snödjupet mäts enkelt med en mätsticka. För att mäta havsisens tjocklek borrar först ett hål genom hela isen. Därefter kan man med hjälp av ett speciellt måttband med en mässingstyngd mäta isens tjocklek. Mahoney & Gearheard (2008) förklarar också vikten av att vid en mätpunkt även mäta temperatur i luften och på olika djup i snön.

Många svenska expeditioner går till Arktis, den senaste tiden har polarexpeditioner med isbrytaren Oden genomförts varje år. På expeditionerna är det internationella arbetet viktigt och undersökningar görs av forskare från många olika områden (*Polarforskningssektariatet, 2009a*). För att få ett svar på hur avsmältningen sker och vilka effekterna kan bli är det viktigt att kombinera denna typ av manuella mätningar tillsammans med den information som satellitbilderna ger.

3.2 Fjärranalys

Den forskning som idag är aktuell med resultat över hur isens utbredning sett ut de senaste åren är baserad på fjärranalys. Satelliter är ett viktigt verktyg för att kunna studera utvecklingen och utbredningen av jordens isar. Den första konstgjorda satelliten sändes upp år 1957 av Sovjetunionen och därefter har tusentals satelliter sänts upp i banor kring jorden, alla specialiserade på särskilda områden och med olika egenskaper. Utifrån satellitbilder kan olika undersökningar göras beroende på satellitens kapacitet och teknik.

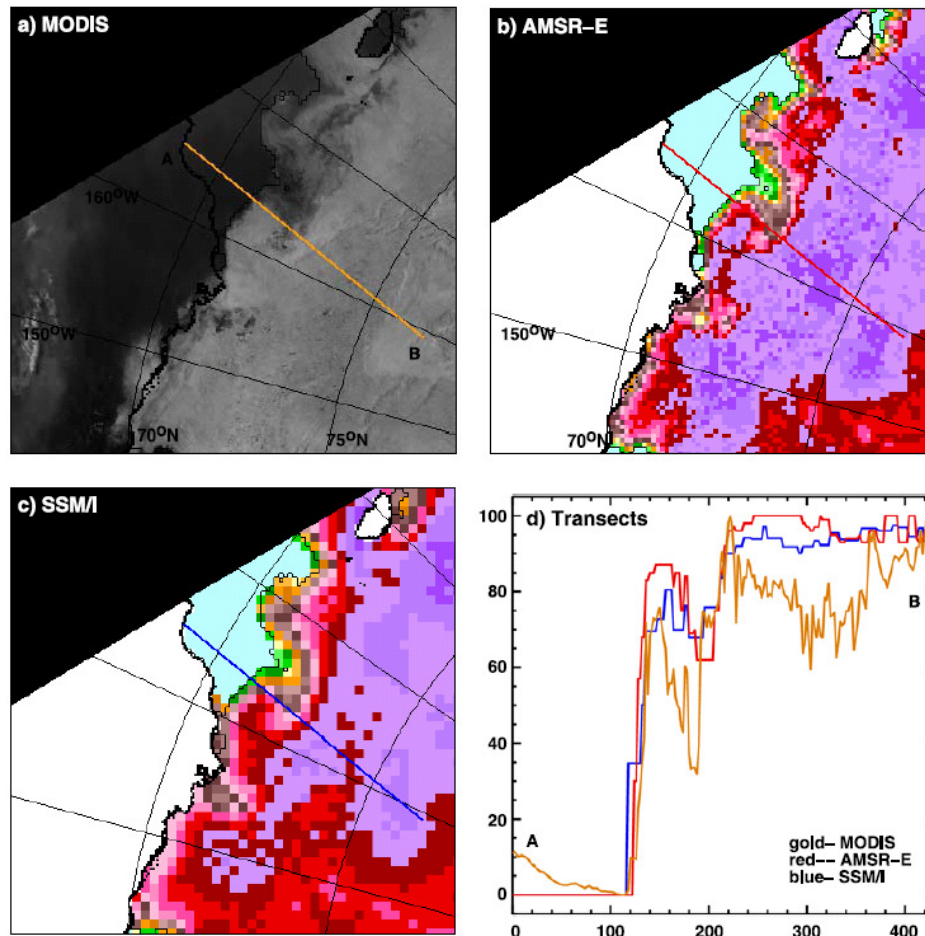
Det var år 1966 som satellitbilder med synligt och infrarött ljus först introducerades och började användas. Detta gjorde det möjligt att få information om isens globala utbredning. Några år senare, år 1972, började satelliter med mikrovågor användas för att exempelvis kunna mäta havsisens koncentration och utbredning. Detta är också den längsta mätserien över havsisens utbredning som finns tillgänglig idag (*Vinnikov et al., 1999*). På 1970-talet började också flerkanaliga sensorer att användas. Detta innebar bland annat att även albedo och yttemperaturer kunde börja mätas (*Comiso & Parkinson, 2004*).

En stor del av den vetenskap som idag finns om de storskaliga variationerna i havsisen baseras på passiv mikrovågsradiometri från satelliter i kretsbanor runt polerna. Med denna teknik mäts den elektromagnetiska strålning som inom mikrovågsintervallet (1 mm - 1 m) sänds ut från objekt med en temperatur över den absoluta nollpunkten (*Wastenson, 1993*). Havsisen har en högre utstrålning än havsvattnet och på så vis går det att urskilja havsisen från havet. Det finns dock problem i samband med att skilja ur havsisen då täta moln och nederbörd kan försvåra arbetet (*NOAA, 2008*). Flerårig is, det vill säga den is som finns kvar efter sommaren, och förstaårsis har olika strålningsegenskaper och kan därför också skiljas från varandra. Bäst resultat fås på vintern då strålningsegenskaperna är relativt stabila från de två istyperna (*Johannessen et al., 1999*).

Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) är den mest använda mikrovågsradiometern i satelliter. SMMR samlade in data under en period av tjugo år (1978-1998) och gav mycket användbar information om isens utbredning. Från sensorerna erhålls kvantitativ data av de grundläggande parametrarna. Ett exempel är iskoncentration, vilket är procentdelen av istäckt hav i varje pixel. Därefter räknas andra parametrar fram, till exempel isens totala area över hela området (*Johannessen et al., 1999*).

Möjligheterna att studera havsisens utbredning förbättrades år 2002 då Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) fanns ombord på EOS-Aqua satelliten. Syftet med EOS-Aqua satelliten är att studera jordens hydrologiska cykel och AMSR-E är en av sex sensorer som finns ombord på satelliten. Tidigare användes bland annat

Spectral Scanning Microwave Imager, SSM/I, som i en jämförelse med AMSR-E har sämre egenskaper. AMSR-E har på alla frekvenser en högre upplösning, en vidare spektral frekvens och en större svepvidd. I figur 3 visas bilder från både AMSR-E och SSM/I där skillnaden i kvalitet kan ses. I figuren presenteras även bilder från MODIS som visar iskanternas lokalisering med större noggrannhet, upplösningen är 250 m (Comiso & Nishio, 2008).



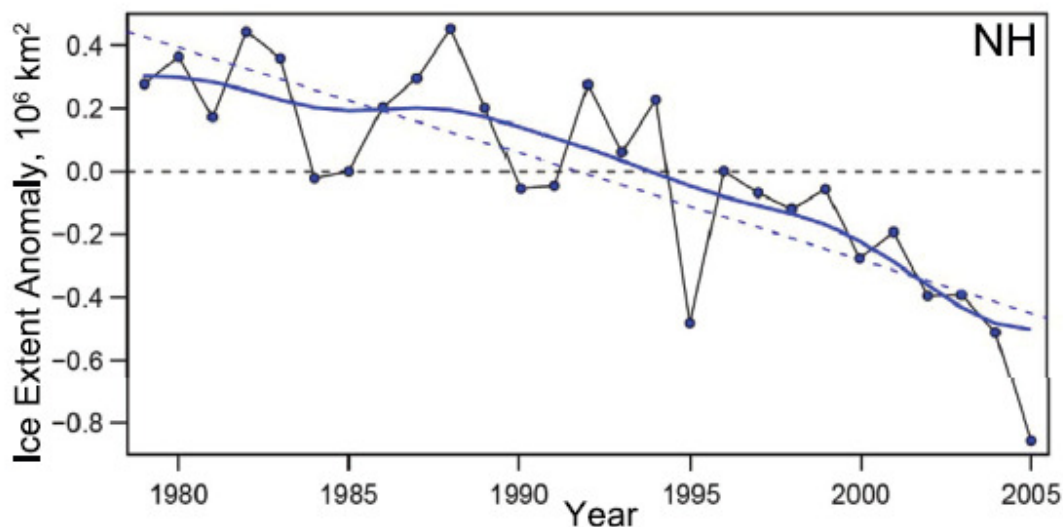
Figur 3. Bilder över istäcket vid Beauforts hav där a) visar MODIS radian, b) AMSR-E iskoncentration, c) SSM/I iskoncentration och d) fördelningen av strålning från MODIS, AMSR-E och SSM/I längs transekterna. Transekt i figur 3a är markerad A-B. Bilderna är tagna den 29 juni, 2004 (Comiso & Nishio, 2008).

Ju längre mätserier som finns att analysera, ju fler och bättre slutsatser kan man dra. Då finns också möjligheten att urskilja cykliska mönster från långtidstrender och urskilja mänsklig påverkan från naturlig inverkan (Comiso & Parkinson, 2004).

4. Resultat

Arktis istäcke har en naturlig variation under året med störst utbredning i mars och minst utbredning i september (Thomas & Dieckmann, 2003). Isens utbredning definieras som arean av alla de pixlar som täcks av minst 15 % is. Det ger en god information om hur långt isen sträcker sig respektive drar sig tillbaka i olika riktningar under året (Comiso & Nishio, 2008). Under åren 1979-2000 varierade utbredningen mellan att i mars ha ett maximum på cirka $16 \cdot 10^6$ km² till ett minimum i september på cirka $7 \cdot 10^6$ km². Sedan år 2001 har havsisen varje år haft ett extra tydligt minimum och år 2005 nådde havsisen ett minimum som var det lägsta på femtio år. Då var havsisens utbredning $5,56 \cdot 10^6$ km². Om 2005 års minimum jämförs med värdena från perioden 1979-2000 så innebär det en minskning på ca 21 %, en area drygt lika stor som Alaska (Serreze et al., 2007). Redan år 2007 kunde ett nytt rekordlåg minimum mätas upp och den 14 september täckte isen en yta på endast $4,1 \cdot 10^6$ km² (Comiso et al, 2008).

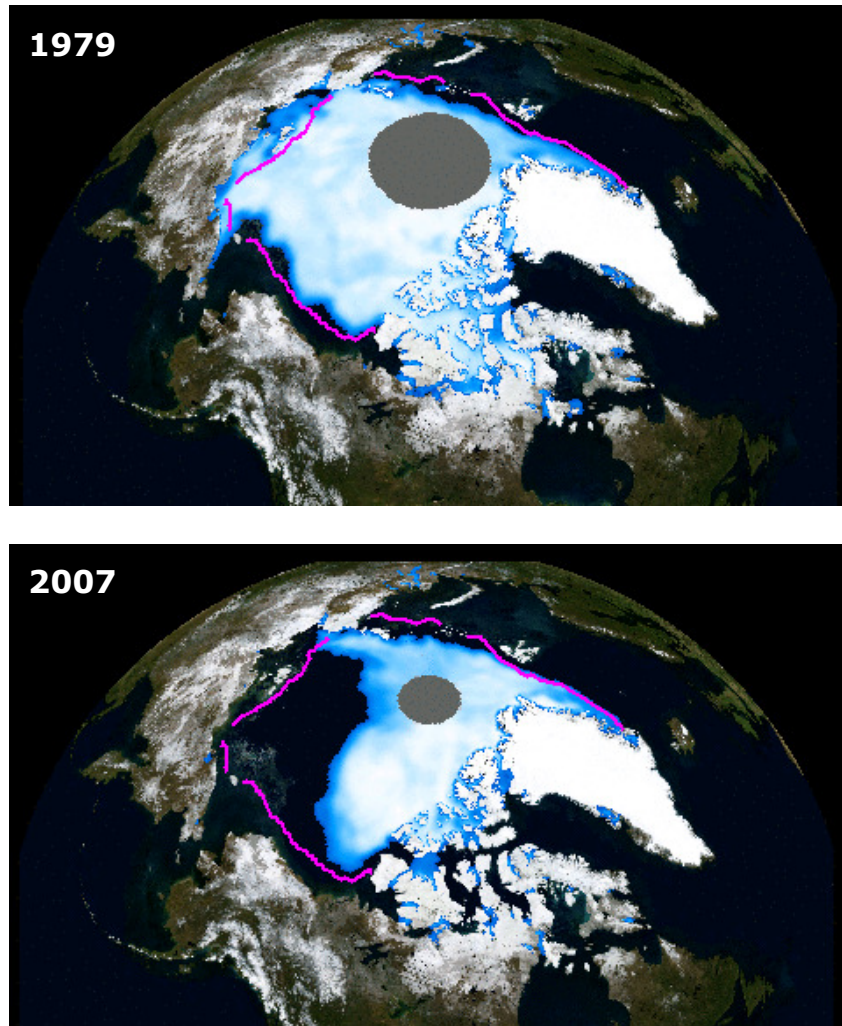
I IPCC:s rapport från 2007 (2007c) fastslås det att isens utbredning minskat signifikant sedan 1979 med en hastighet på 2,7 % per decennium, se figur 4. I en annan studie visar resultaten att isens utbredning minskat ännu snabbare än så. Den totala arean med is på



Figur 4. Avvikelser i havsisutbredning under åren 1979-2005 (räknat utifrån ett medelvärde från hela perioden). Mätningarna är baserade på passiv mikrovågsradiometri. Blå punkter symboliserar det årliga medelvärdet, blå heldragen linje visar variationer per årtionde. Den streckade linjen visar trenden (signifikant med 90 % konfidensgrad) som är att minskningen är ca 2,7 % varje decennium (IPCC, 2007c).

Arktis minskade med 6 % under åren 1978-1998 enligt den undersökningen, som gjordes med SMMR och SMMI-data. Detta innebär alltså en minskning med 3 % per decennium

(Johannessen *et al.*, 1999). Comiso & Nishio (2008) ser en avsmältning med 2-3 % per decennium, baserat på data från åren 1978-2003. September månads utbredningsminimum har sedan år 1978 minskat med 7,4 % per decennium (IPCC, 2007c). I figur 5 visas satellitbilder över Arktis istäcke i september månad från två år, 1979 och 2007.



Figur 5. Havsisens utbredning i september månad under år 1979 och 2007. Data kommer från SSM/I (NSIDC, 2008).

4.1 Orsaker

Den främsta orsaken till att havsisen minskar i utbredning är forskarna eniga om, temperaturökningen som skett under de senaste hundra åren (IPCC, 2007b) har påverkat havsisen och rubbat dess balans. Temperaturökningen har till stor del orakats av människan på grund av den mängd växthusgaser som släpps ut varje dag (IPCC, 2007b). Det finns däremot många olika teorier om på vilka olika sätt temperaturökningen har påverkat havsisen. Wang et al. (2009) tar upp Dipole Anomaly (DA) som en möjlig orsak till den minskade mängden havsis. Det innebär att havsisen vid särskilda atmosfäriska förhållanden förflyttas från den västra delen av Arktiska oceanen mot den norra delen av Atlanten. Avsmältningen snabbas på i Atlanten där havstemperaturen är högre än i Arktiska oceanen.

År 2007 minskade ismängden i Arktis mer än den gjort någonsin under den tid som mätningar med fjärranalys har gjorts. Flera forskare har försökt undersöka vad det var som gjorde att denna minskning ägde rum just då och vad det var som satte igång den stora minskningen. En modell har visat att det var de atmosfäriska förhållandena som skapade situationen och att den Arktiska havsisen nu är ännu mer känslig för årliga atmosfäriska förändringar (Zhang et al., 2008). En annan studie konstaterar att Ekmantransporten under sommaren spelar en viktig roll i styrandet av havsizens årliga utbredningsminimum (Ogi et al., 2008). Comiso et al. (2008) menar att 2007 års extrema minimum orakades av ovanligt höga temperaturer i samband med sydliga vindar. Orsaken har också bland annat förklarats vara den Arktiska Oscillationen (AO) som framkallar uppvärmning (Wang et al., 2009).

Den arktiska oscillationen har till skillnad från DA endast ett centrum. Beroende på om det är en positiv eller negativ fas är vindarna antingen cyklonala eller anticyklonala. Under en positiv AO-fas är vindarna cyklonala och konvergerar. Det leder till att isen i större utsträckning hålls kvar i Arktiska oceanen. Då AO är i den negativa fasen är vindarna istället anticyklonala och divergerar. Detta innebär att is förs utåt och bort från Arktiska oceanen (Wang et al., 2009).

För att kunna förklara varför avsmältningen vissa år är större än andra så görs många försök att koppla ihop dessa händelser med olika styrande mekanismer. Wang et al. (2009) menar att DA är den avgörande faktorn vid år med ovanligt hög avsmältning av is i Arktis. I studien jämförs DA med AO för att kunna dra slutsatser om vilken av de två som är den styrande processen. DA-mönstret som analyserats har baserats på data från perioden 1962-2002. Då DA är i sin positiva fas blåser vindarna från västra mot östra Arktis på grund av ett högre havsnivåtryck vid Kanada och ett lägre havsnivåtryck vid Barents hav. Havsisen förs då mot Grönland och Barents hav. Vid den negativa DA-fasen förs isen istället västerut på grund av att förhållandena då är de motsatta och havsnivåtrycket är lägre i Kanada och högre vid Barents hav (Wang et al., 2009).

DA-mönstret skiljer sig från AO då det har två centrum i motsats till AO som endast har ett centrum. Det avgörande stadiet är den positiva fasen av DA på grund av den dominanta meridionala, det vill säga nord-sydliga, vinden. Detta är alltså den starkaste process som driver ut havsis från den Arktiska oceanen (Wang *et al.*, 2009).

4.2 Effekter

Avsmältningen av isarna ger effekter över hela jorden. De olika effekterna påverkar såväl människor som djur och växter men avsmältningen påverkar också jorden i ett större perspektiv. Här presenteras en del av de effekter som avsmältningen av Arktis ger eller i framtiden kommer att ge.

Som tidigare tagits upp så är albedoeffekten en effekt som förstärks ju varmare det blir. Ju mer is och snö som smälter, desto mer av solinstrålningen fångas upp av havet som har ett lägre albedo än is och snö. Detta medför att havet värms upp snabbare, vilket ger en positiv feedback och därmed en större uppvärmning. Resultatet av detta blir att isen smälter snabbare.

Rahmstorf (2007) presenterar i en studie hur den globala havsnivåhöjningen är sammankopplad med den ökade temperaturen. Att isen ger en stor effekt är känt, men det finns stora osäkerheter i hur mycket isens avsmältning påverkar havsnivåhöjningen. Om inlandsisarna på Grönland och Antarktis skulle smälta hade det inneburit en höjning av havet med 70 meter, så effekterna av avsmältningen är otvivelaktiga (Rahmstorf, 2007). Enligt IPCC (2007c) skulle Grönlands och Antarktis inlandsisar om de smälte motsvara en höjning av havsnivån med 7 respektive 57 m, alltså en total höjning med 64 m. Havsisen i Arktis har påverkat den havsnivåhöjning som har skett men de främsta källorna till havsnivåhöjningen är inlandsisarna på Grönland och Antarktis. Mellan år 1993-2003 bidrog inlandsisarnas avsmältning till en havsnivåhöjning på 0-0,8 mm per år. Den totala havsnivåhöjningen orsakad av smältande is under denna tidsperiod var 0,6-1,8 mm per år. Det närmsta seklet, fram till år 2100, kommer havsnivån enligt IPCC: s prognoser att stiga med 18-59 cm (IPCC, 2007c).

Då istäcket minskar vid strandkanterna ger det vinden en längre fetch, det vill säga en längre väg över öppet vatten, vilket resulterar i fler och större vågor. Detta förstärker den kusterosion som äger rum i bland annat Alaska och Sibirien men påverkar även den typ av traditionell jakt som bedrivs av den inhemska befolkningen i dessa områden (Serreze *et al.*, 2007). Arktis uppvärmning påverkar också permafrostens utbredning. Eftersom permafrosten är känslig mot små förändringar i temperatur så påverkas den starkt av endast en liten temperaturökning. Då permafrosten minskar har detta stora effekter på hur mycket av växthusgasen metan (CH₄) som släpps ut (Christensen *et al.*,

2004). Även infrastruktur, byggnader och andra anläggningar som är byggda i områden med permafrost hotas att förstöras då permafrosten tinar (*Naturvårdsverket, 2008*).

Något som kan konstateras är att de ändrade isförhållandena i Arktis påverkat de djur som är beroende av havsis, däribland isbjörnar och grönländssälar (*Schipper et al., 2008*). Även många fågelarter som lever i Arktis hotas av uppvärmningen som minskar deras förutsättningar att jaga och föda upp ungar. Liknande gäller för flera fiskarter som också påverkas av förändringarna. Diversiteten utanför Arktis influeras också eftersom en hel del arter är beroende av Arktis över sommaren där de fortplantar sig innan de sedan framåt hösten flyttar söderut. På land berörs bland annat renar som stressas på grund av förändrad tillgång på föda i och med ett varmare klimat (*Naturvårdsverket, 2008*).

En annan effekt som är sammankopplad med avsmältningen är ökningen av färskvattentransport till havet. Prognoser visar att mängden färskvatten som smälter av vid Arktis kommer att öka under hela 2000-talet. Konsekvensen av detta kan bli att den termohalina cirkulationen störs, vilket i sin tur kan ge dramatiska följder världen över (*Serreze et al., 2007*).

I samband med att glaciärerna smälter med en allt högre hastighet frigörs mycket energi. Genom att använda smältvattnet från glaciärer på exempelvis Grönland kan stora mängder energi utvinna. Idag finns det inga kraftverk på Grönland där elproduktionen bygger på vatten från glaciärer, och förhållandena där är komplicerade. Investerarna vill också vara säkra på att uppvärmningen av jorden kommer att fortsätta så att avsmältningen från glaciärerna inte minskar. Även olje- och naturgasutvinning är något som blir enklare då istäcket är mindre. Enligt geologiska undersökningar finns det stora reserver av gas och olja i Arktis. Den känsliga miljön skulle hotas ytterligare om utvinning av dessa resurser skulle ske.

5. Diskussion

Arktis är ett område som genom alla tider varit i ständig förändring. Under de senaste decennierna har förändringarna observerats mer exakt än någonsin och stora satsningar har gjorts på forskningen om Arktis. De senaste åren har förändringarna i Arktis fått mycket uppmärksamhet bland annat i samband med det internationella polaråret som pågått under två år. Uppmärksamheten har medfört ett ökat intresse för Arktis och forskningen är idag mycket omfattande.

Utifrån de studier som gjorts med hjälp av fjärranalys är svaren entydiga. Arktis istäcke har minskat sin utbredning med 2-3 % varje decennium. Även om forskningen inte är helt enig om exakt hur stor minskningen varit finns det inga tvivel om att en avsmältning sker och att den under 2000-talet förstärkts. Genom att titta på hur havsisens minimum i utbredning sett ut har minskningen procentuellt varit ännu större. Det finns flera olika sätt att utvärdera minskningen som skett och det är svårt att säga vilket sätt som är mest relevant. Undersökningarna studerar olika fenomen och händelser och därför bör slutsatser dras utifrån flertalet olika undersökningar för att få en så klar bild som möjligt av vad som sker. Även om liknande undersökningar ibland görs av flera forskare kan det finnas variationer i resultatet på grund av datahanteringen. De data som satelliter ger behandlas inte exakt likadant av alla forskare och avvikelser kan därför förekomma. Data från olika satelliter har olika egenskaper och då trender över flera decennier beräknas måste man ha i åtanke att de äldsta mätserierna har sämre noggrannhet än de nyare. I framtiden kommer fjärranalystekniken utvecklas och ge ännu säkrare resultat med en högre upplösning.

Den främsta orsaken till att avsmältningen i Arktis sker är med stor sannolikhet människan. Utsläppen av växthusgaser har skapat en temperaturhöjning som berör hela jorden. Huruvida andra processer styr avsmältningen är svårt att få klarhet i då det finns så många olika faktorer som spelar in. Det är svårt att peka ut en process som ensam reglerar havsisens utbredning, det är flera mekanismer som är kopplade till varandra som gemensamt påverkar havsisen. Det är svårt att skapa modeller som har med alla faktorer och processer som styr och därför nästan omöjligt att säga hur Arktis kommer att se ut i framtiden. Det finns studier som visar på att havsisen kommer att försvinna från Arktis helt under det närmsta århundradet. Även om det inte går att bekräfta är det i alla fall klart att havsisen kommer att finnas längre från kontinenterna. Ett tecken på detta kom år 2007 då nordvästpassagen öppnades, en sjöväg som går norr om Kanada som tidigare varit oframkomlig.

Hur framtiden än kommer att se ut i Arktis gäller det att hela tiden följa utvecklingen och skapa bästa möjliga förutsättningar för alla som påverkas av avsmältningen, oberoende av var någonstans effekterna finns. Utsläppen av växthusgaser är den källa till uppvärmning som vi mer eller mindre kan reglera och detta är det viktigaste att ta med sig då det gäller att bevara den unika miljön som finns i Arktis. Nya satelliter

kommer att skjutas upp för att rapportera om förändringarna i Arktis och ge nya data till världens forskare att analysera och utvärdera. Trots att mycket forskning idag redan sker på området finns det möjlighet till utveckling och förbättringar för att få fram säkrare resultat.

6. Referenser

- Adriellsson, L. (2009) Nationalencyklopedin, "Glaciär"
<http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/glaciär>, hämtat 2009-05-14
- Christensen, T.R., Johansson, T., Åkerman, H.J., Mastepanov, M., Malmer, N., Friberg, T., Crill, P. & Svensson B.H. (2004) "Thawing sub-arctic permafrost: Effects on vegetation and methane emissions". *Geophysical Research Letters*, Vol 31, L04501
- Comiso, J. C. (2003) "Warming Trends in the Arctic from Clear Sky Satellite Observations". *Journal of Climate*, Vol 16:3498-3510
- Comiso, J. C. & Nishio, F. (2008) "Trends in the sea ice cover using enhanced and compatible AMSR-E, SSM/I, and SMMR data". *Journal of Geophysical Research*, Vol 113, C02S07
- Comiso, J. C. & Parkinson, C. L. (2004) "Satellite-Observed Changes in the Arctic". *Physics Today*, August 2004, pp 38-44
- Comiso, J. C., Parkinson, C. L., Gersten, R. & Stock, L. (2008) "Accelerated decline in the Arctic sea ice cover". *Geophysical Research Letters*, Vol 35, L01703
- Dyring, A. & Dyring, E. (2007) *Polardrömmars höga pris: Historiska äventyr i Arktis och Antarktis*. Kristianstad. Carlsson Bokförlag.
- IPCC Fourth assessment report: Climate Change 2007 Synthesis Report. (2007a)
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf, hämtat 2009-04-20
- IPCC Sammanfattning för beslutsfattare. Rapport 5677. Februari 2007. (2007b)
<http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/swedish/ar4-spm-wg1.pdf>, hämtat 2009-04-20
- IPCC Fourth assessment report: Climate Change 2007, Working Group I Report "The Physical Science Basis", Chapter 4 Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. (2007c)
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter4.pdf>, hämtat 2009-04-20
- Johannessen, O. M., Shalina, E. V. & Miles, M. W. (1999) "Satellite Evidence for an Arctic Sea Ice Cover in Transformation". *Science*, Vol 286:1937-1939
- Lundqvist, J-E. & Rodhe, J. (2009) Nationalencyklopedin, "Is, havsis"
<http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/is/213435/213433>, hämtat 2009-05-19
- Mahoney, A. & Gearheard, S. (2008) "Handbook for community-based sea ice monitoring". *National Snow and Ice Data Center, Special Report #14*
http://nsidc.org/pubs/special/nsidc_special_report_14.pdf, hämtat 2009-05-08
- Naturvårdsverket (2008) "Arktis havsis smälter"
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Klimat-i-forandring/Sa-forandras-klimatet/Hela-varlden-paverkas/Arktis-havsis-smalter/>, hämtat 2009-05-06

NE, Nationalencyklopedin. (2009). "Permafrost", skrivet av Rapp, A.
<http://ne.se/lang/permafrost>, hämtat 2009-05-14

NOAA (2008) Satellite and Information Service, National Environmental Satellite, Data, and Information Service
<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/satellite/ssmi/ssmisnowice.html>, hämtat 2009-05-15

NSIDC, National Snow and Ice Data Center. (2008)
http://nsidc.org/sotc/sea_ice_animation.html, hämtat 2009-05-27

Ogi, M., Rigor, I.G., McPhee, M.G. & Wallace, J.M. (2008) "Summer retreat of Arctic sea ice: Role of summer winds". *Geophysical Research Letters*, Vol 35, L24701

Polarforskningssekretariatet. (2009a) www.polar.se
http://www.polar.se/lattlast/arktis_nordpolen.html, hämtat 2009-05-13

Polarforskningssekretariatet. (2009b). www.polar.se
<http://www.polar.se/expeditioner/swedarctic2006/index.html>, hämtad 2009-05-07

Rahmstorf, S. (2007) "A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise". *Science*, Vol 315:368-370

Rignot, E. & Steffen, K. (2008) "Channelized bottom melting and stability of floating ice shelves". *Geophysical Research Letters*, Vol 35, L02503

Schipper, J., Chanson J.S., Chiozza, F., Cox, N.A., Hoffmann, M., Katariya, V., Lamoreux, J., Rodrigues, A.S.L., Stuart, S.N., Temple, H.J. et al. (2008) "The Status of the World's Land and Marine Mammals: Diversity, Threat, and Knowledge". *Science*, Vol 322:225-230

Serreze, M.C., Holland, M.M. & Stroeve, J. (2007) "Perspectives on the Arctic's Shrinking Sea-Ice Cover". *Science*, Vol 315:1533-1536

Strahler, A. & Strahler A. (2005) *Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment*. John Wiley & Sons, Inc. Third edition.

Thomas, D. N. & Dieckmann, G. S. (2003) *Sea ice: an introduction to its physics, chemistry, biology and geology*. Oxford. Blackwell Science.

Vinnikov, K. Y., Robock, A., Stouffer, R. J., Walsh, J. E., Parkinson, C. L., Cavalieri, D. J., Mitchell, J. F. B., Garrett, D. & Zakharov, V. F. (1999) "Global Warming and Northern Hemisphere Sea Ice Extent". *Science*, Vol 286:1934-1937

Wang, J., Zhang, J., Watanabe, E., Ikeda, M., Mizobata, K., Walsh, J. E., Bai, X. & Wu, B. (2009) "Is the Dipole Anomaly a major driver to record lows in Arctic summer sea ice extent?". *Geophysical Research Letters*, Vol 36, L05706

Wastenson, L. (1993) "Fjärranalysens grunder" i Nämnden för Skoglig Fjärranalys, *Flygbildsteknik och Fjärranalys*. Sid 349-350. Jönköping, Skogsstyrelsen

Werner & Melander. (2009) Nationalencyklopedin, "Arktis"
<http://www.ne.se/ludwig.lub.lu.se/lang/arktis>, hämtat 2009-05-10

Zhang, J., Lindsay, R., Steele, M. & Schweiger, A. (2008) "What drove the dramatic retreat of arctic sea ice during summer 2007?". *Geophysical Research Letters*, Vol 35, L11505

Åkerman, J. & Johansson, M. (2008) "Thawing Permafrost and Thicker Active Layers in Sub-arctic Sweden". *Permafrost and Periglacial Processes*, 19: 279–292

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): Tågbuller 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
stormfällan 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 Lyschede, 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 höjdmodeller 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