

Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv

Johan Gabrielsson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 323
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2012

Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv

Kandidatarbete
Johan Gabrielsson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2012

Innehåll

1	Introduktion	5
2	Lokal	5
3	Metoder	5
3.1	Satellitmätningar för area och tjockleksmätningar	5
3.2	Ubåtsmätningar för tjockleksmätningar	5
3.3	Fartygsmätningar	6
3.4	Drivved – för Paleoperspektiv	6
3.5	Strandvallar – för Paleoperspektiv	6
3.6	Mätstationer – för temperaturmätningar	6
3.7	Övriga metoder	6
4	Resultat	6
4.1	Isens utveckling historiskt	6
4.2	Isens utveckling de senaste 10000 åren	7
4.3	Förändringar i isens utbredning	7
4.4	förändringar i isens ålder	7
4.5	Förändringar i isens tjocklek	7
4.6	Temperaturförändringar i Arktis	7
5	Tolkning och Diskussion.....	8
5.1	Isens minskade utbredning och tjocklek	8
5.2	Isens framtida utveckling	8
5.3	Faktorer som påverkar isen	8
5.4	Övrigt	9
6	Slutsatser	9
7	Tack.....	10
8	Referenser.....	10

Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv

JOHAN GABRIELSSON

Gabrielsson, J., 2012: Den Arktiska havsisen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 323, 10 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Det Arktiska istäcket har sedan slutet av 1800-talet minskat både med avseende på utbredning och på tjocklek. Sedan 1960-talet har denna utveckling accelererat och senast 2007 var isens utbredning mindre än någon gång sedan mätningarna började, det har därefter återhämtat sig och ligger nära den minskande trendlinjen. Då temperaturökningen i de arktiska regionerna är tre gånger större än ökningen av den globala medeltemperaturen är det möjligt att på ett tidigt stadium se effekterna av den globala uppvärmningen något som ytterligare ökar intresset av isens utveckling. Syftet med arbetet har varit att undersöka de faktorer som påverkar isen och undersöka varför minskningen sker. Arbetet har bestått av en litteraturstudie med syftet att undersöka det Arktiska istäckets historia och framtida utveckling. Artiklarna som ingått i studien har använt sig av en lång rad metoder för att undersöka isens utveckling, främst har de dock byggt på modelleringar och satellit och ubåtsmätningar. Andra metoder som använts är insamling och analys av drivved, observationer av strandvallar och temperaturmätningar. Bilden som framträder är att istäckets variation på kort sikt beror på tillfälliga väderfenomen, utvecklingen på lång sikt styrs dock till stor del av temperaturen då denna har en mycket tydlig trend. Samtidigt som isen gradvis blir mindre både ifråga om utbredning och tjocklek kommer den också att bli mer instabil då isens tjocklek har en stabiliserande effekt på dess ytmässiga utbredning. Modelleringar som gjorts pekar på ett i september isfritt ishavsområde någon gång efter 2040. Historiskt är detta dock inte unikt. Under den senaste 10000 års perioden har isens utbredning både varit avsevärt mycket större och mindre än den är idag.

Nyckelord: Arktis, istäcke, Ishavet, global uppvärmning.

Handledare: Per Möller

Ämnesinriktning: Kvartergeologi

Johan Gabrielsson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.

E-post: jogabrielsson@hotmail.com

The Arctic ice sheet – present and future in a global warming perspective

JOHAN GABRIELSSON

Gabrielsson, J., 2012: . The Arctic ice sheet – present and future in a global warming perspective. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 323, 10 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The Arctic ice sheet has been declining since the end of the 19.th century both with consideration to its Area and to its thickness. Since the 1960.s this development has been accelerating and as recently as 2007 the extent of the ice was smaller than at any time since observations began. Since then the ice has however recovered slightly and is now close to the negative trend line. Since the temperature increases in the arctic are between two and three times the magnitude of the increases in the global mean temperature it is possible to at an early date see the effects of global warming, this further increases the interest in the ice sheet's development. The purpose of this paper has been to examine the processes that impact the ice and to examine why the ice sheet is decreasing. The paper is a literature review and the source material has primarily consisted of scientific papers. The papers used have been using several different methods to gather information about the ice, primarily modeling, satellite and submarine data has been used. However some articles have also been used different methods such as gathering and analyzing drift wood, observing beach ridges and measuring the surface temperature around the Arctic. The picture that emerges from these papers is that in the short term the ice is mainly impacted by temporary weather patterns, however in the longer term rising temperatures are driving the changes since the temperature is following a very clear trend. While the extent of the ice sheet is gradually declining and it's thickness is gradually decreasing it is also growing more unstable, this is because thick ice has a stabilizing effect on the ice sheets extent. Models of the ice sheets future points to an ice free arctic ocean in September at some point after 2040. In a historical perspective this won't be unique however. During the last 10,000 years the ice sheets extent has been both far larger and far smaller than it is today

Keywords: Arctic, Ice sheet, Arctic ocean, global warming.

*Johan Gabrielsson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: jogabrielsson@hotmail.com*

1 Introduktion

Den arktiska havsisen har minskat sedan slutet på 1800-talet och under de senaste 30 åren har minskningen av den accelererat. Även om det funnits stora variationer kan en tydlig trend urskiljas och enligt vissa modeller kommer Ishavet att vara helt isfritt under sommaren redan på 2040-talet (Polyak et al., 2010).

Den Arktiska isen är av stort intresse av flera olika skäl bl.a. eftersom Arktis antas vara den plats där effekterna av den globala uppvärmningen kommer att ha störst påverkan och synas först (Graversen and Wang, 2009). Ett minskat eller försvunnet istäckte kommer också ha stor påverkan på den lokala befolkningens livsstil då många folk lever på att jaga is beroende djurarter som troligen kommer att påverkas kraftigt av istäckets försvinnande. Isens försvinnande kommer också ha stor påverkan på möjligheten för transporter via Arktis och möjligheten att utvinna naturresurser som finns i regionen.

Syftet med detta arbete är att sammanställa litteratur som berör hur havsisutbredningen har utvecklats historiskt, hur den ser ut idag och hur den kommer att utvecklas i framtiden. Anknuten till detta är också att sammanställa de faktorer som har en påverkan på hur isen utvecklas bl.a. regionala klimatmönster, global temperaturhöjning och isens egen tjocklek.



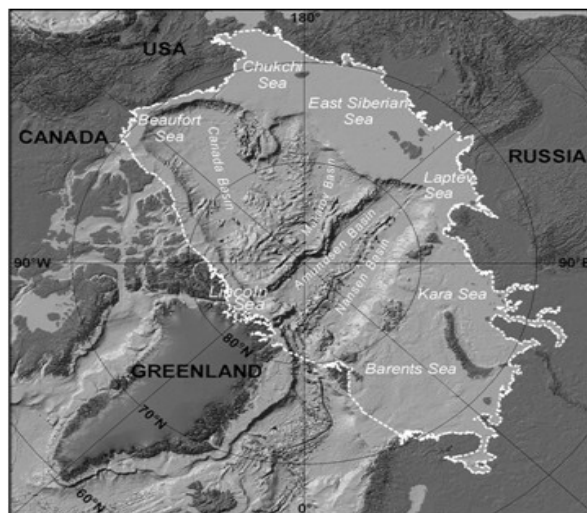
Figur 1: Den arktiska isens utbredning. Det vita området visar isens utbredning i september 2005. Den röda linjen visar den genomsnittliga utbredningen mellan 1979 och 2000 i september och den blå linjen visar den genomsnittliga utbredningen mellan 1979 och 2000 i mars. NSIDC image in google earth. (Serreze et al., 2007)

2 Lokal

Det Arktiska istäckte ligger över Ishavet som täcker den nordligaste delen av jordklotet och som när an-

slutna hav (bl.a. Hudson Bay, Grönlandshavet, Karahavet etc.) räknas in omfattar 14,056 miljoner kvadratkilometer. Den djupaste punkten ligger i Frambassängen på 4665 m under havsytan (CIA world factbook, 2012). Ishavet omges av kontinentalsocklar som ligger kring djuphavsbotten. Denna korsas av ett antal ryggar och har genomgått förändringar också under närliggande tider bl.a. öppnades Framsundet för 17 MA (Jakobsson et al., 2003).

I Ishavet finns det olika havsströmmar som har stor påverkan på isens transport inom havet och som också påverkar exporten av is. De viktigaste havsströmmarna är Beafort virveln som cirkulerar medurs i västra Ishavet och Transpolardriften som för is från Sibirien till Fram sundet och vidare ut i nordatlanten.



Figur 2: Visar Ishavets kontinentalshelfer och dess huvudsakliga bassänger. (Jakobsson et al., 2003)

3 Metoder

Det egna arbetet har bestått av insamling av artiklar. De artiklar som använts som referenser i arbetet har använt en lång rad olika metoder för att få fram data.

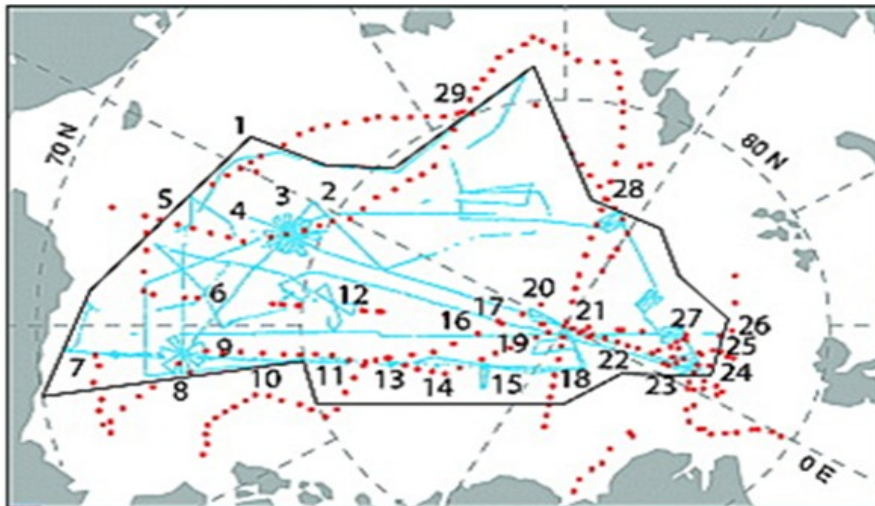
3.1 Satellitmätningar - för area och tjockleksmätningar

Data inhämtad från satellitmätningar används i ett flertal artiklar. Det finns pålitliga satellitmätningar av det Arktiska istäckets utbredning sedan 1979 (Polyak et al., 2010). Mätningarna bygger på passiva observationer av mikrovågsstrålning från olika delar av Arktis. Flera olika system har använts, i artiklarna används främst systemet ICESat vilket gett data sedan 80-talet.

3.2 Ubåtssonar - för tjockleksmätningar

Artikeln "Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat Records: 1958-2008" använder bl.a. data insamlad med ubåtssonar för att bedöma förändringar i isens tjocklek mellan 1958 och 2008. Den data som används i artikeln har samlats in av

Amerikanska flottan och omfattar åren 1958-2000. Datamaterialet som behandlas i artikeln täcker 2,7 miljoner kvadratkilometer vilket motsvarar 38 % av ishavets area. Materialet som samlas in av ubåtssonar och finns tillgängligt är främst från före år 2000 (Kwok and Rothrock, 2009).



Figur 3: Området som Ubåtarna samlade in mätningar från. (Kwok and Rothrock, 2009)

3.3 Fartygsmätningar

De äldre mätningar som gjorts innan satelliter började användas gjordes främst av skepp.

3.4 Drivved - för paleoperspektiv

I artikeln ” A 10,000-year record of arctic Ocean sea-ice variability-view from the beach” används insamlad drivved för att undersöka isens historiska utbredning. Drivveden samlades in längs grönlands nordkust och daterades med kol-14 metoden.

Drivvedens geografiska ursprung kunde bedömas med hjälp av vilken art det rörde sig om, lärk träd innebär en sibirisk härkomst medan gran indikerar en nordamerikansk härkomst. Förekomsten av drivved påvisar förekomsten av flerårsis då drivveden behöver flera år på sig för att transporteras till flera av fyndplatserna men i praktiken bara kan hålla sig flytande i ca ett år. Det faktum att drivveden kunnat avlagras på en strand påvisar också frånvaron av is på och nära strandkanten (Funder et al., 2011, Polyak et al., 2010)

3.5 Strandvallar - för paleoperspektiv

I artikeln ” A 10,000-year record of arctic Ocean sea-ice variability-view from the beach” används strandvallar för att indirekt studera isens utbredning. Detta fungerar eftersom strandvallar kräver öppet hav för att bildas, existensen av strandvallar indikerar således en frånvaro av havsis nära stranden under den period som

strandvallarna bildades. Strandvallar dateras på olika sätt. De kan t.ex. dateras genom att använda kol-14 metoden på mollusker som hittas i dem. Samma metod kan också användas på drivved som hittas i strandvallarna (Funder et al., 2011)

3.6 Mätstationer - för temperaturmätningar

Artikeln ”Arctic air temperature change amplification and the Atlantic multidecadal Oscillation” använder sig av data från 37 metrologiska mätstationer för att få en uppfattning av temperaturens förändringar i Arktis. Samtliga mätstationer som används i artikeln ligger mellan 64°N och 90°N. Beroende på skillnader i mätstationernas geografiska läge, hur länge data samlats in från stationerna och hur kontinuerligt mätdata samlats in, används data från stationerna för att uppskatta temperaturens förändring under olika perioder och i olika områden. (Chylek et al., 2009)

3.7 Övriga metoder

Flera av artiklarna använder sig av modelleringar för att förutsäga framtida isutbredning baserat på antaganden om framtida atmosfäriska halter av koldioxid och andra klimatpåverkande ämnen, antaganden om regionala klimatmönster, oceanströmmar och solinstrålning (Holland et al., 2010).

4 Resultat

4.1 Isens utveckling historiskt

Geologiska data indikerar att Norra Ishavets i ett klimatperspektiv har gradvis blivit kallare och kallare. I borrhålet ACEX på Lomonosovyggen i centrala ishavet kan data från ishavets Cenozoiska historia inhämtas. Borrhålsdata visar att Arktis för 50 MA under det Paleocena-Eocena termala maximum, var avsevärt mycket varmare än det är idag med sommartemperaturer som uppskattas till upp till 24 grader Celsius (Moran et al., 2006).

Efter ca 3 miljoner år, ca 47 MA, tyder förekomsten av den havsisindikerande diatoméen *Synedropsis* spp. och de första förekomsterna av sand i borrhålet på förekomsten av drivande havsis och möjligen även glaciärer i randområdena av den Arktiska bassängen. Avkylningen fortsatte och kulminerade i en drastisk minskning av temperatur mellan Eocen och Oligocen. Vid denna tid kan den första grönländska

inlandsisen ha utvecklats. En tolkning baserad förekomsten av grova sedimentklaster (IRD; Ice Rafted debris) avsatta i nordatlantens djuphavssediment för mellan 38 och 30 miljoner år sedan.

Klimatet blev därefter gradvis kyligare men med stora variationer. Ett permanent istäcke utvecklades samtidigt som den grönländska inlandsisen etablerades (Moran et al., 2006).

4.2 Isens utveckling de senaste 10000 åren

Under de senaste 10000 åren, dvs efter den senaste glacialcykeln, har Arktiska havsisen genomgått flera olika faser. Norr om Grönland kan fyra olika faser urskiljas baserat på observationer av strandvallar och insamling och datering av drivved:(i). en första period för mellan ca 10000 och ca 8500 år sedan då norra Grönland inte tog emot packis på grund av att is från grönländska glaciärer hindrade packis från att nå kusten; (ii). en period för mellan ca 8500 och 6000 år sedan under det Holocena termala maximum då den permanenta havsisens sydligaste utbredning låg 1000 km norr om sin nuvarande position; (iii). mellan för ca 6000 ka och 4500 ka då den Arktiska basängen blev gradvis mer istäckt men isens utsträckning var mindre än den är idag. Den fjärde perioden (iv) karakteriseras av stora variationer i förekomsten av drivved och frånvaro av strandvallar. Detta indikerar en period där havsisens utbredningsområde är stort, vilket hindrar skapandet av strandvallar och där det finns stora variationer i den kustnära isens utsträckning (Funder et al., 2011).

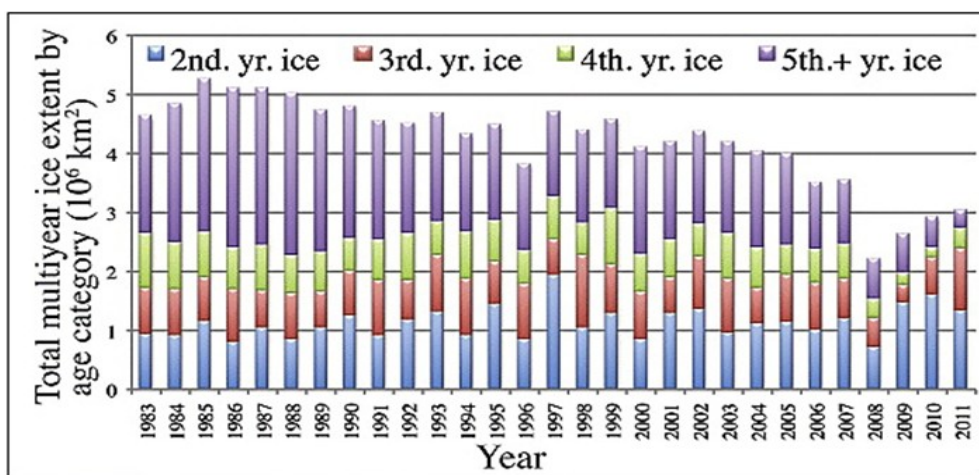
4.3 Förändringar i isens utbredning

Havsisen hade mellan 1979 och 2005 en neråtgående isutbredningstrend, tydligt dokumenterad genom satellitmätningar. Isutbredningens minskning per årtionde, räknad på isutbredning i september månad, har legat på $8,4 \pm 1,5$ % Dessa uppmättningsvärden ligger inom ett 99 %igt konfidensintervall. Mellan 1953 och 2005 låg utbredningsminskningen på $-7,7 \pm 0,6$ % per årtionde med ett 99%igt konfidensintervall (Meier et al., 2007). Havsisens utbredningsminskning har således accelererat på senare tid. Det sker emellertid hela tiden förändringar kring den generella minskningstrenden. År 2007 minskade isen mycket kraftigt och hade en

mindre oktoberutbredning än någon gång sedan mätningarna började.

4.4 Förändringar i isens ålder

Samtidigt som havsisens utbredning minskat har också den genomsnittliga åldern på isen minskat. Baserat på satellitmätningar mellan mars 1980 och mars 2011 kan det visas att andelen av istäcket som var flerårigt sjönk från 75 % i mitten av 80-talet till mindre än 45 % 2011. Dessutom minskade områden med mycket gammal is (mer än 5 år) från 50 % av isen till 10 % av isen. Områdena där isens ålder minskade omfattade också centrala ishavs och den kanadensiska arkipelagen, områden där istäcket historiskt sett har varit stabilt innan 2007 och där det därför funnits en hög sannolikhet för is att överleva i ytterligare ett år. (Maslanik et al., 2011)



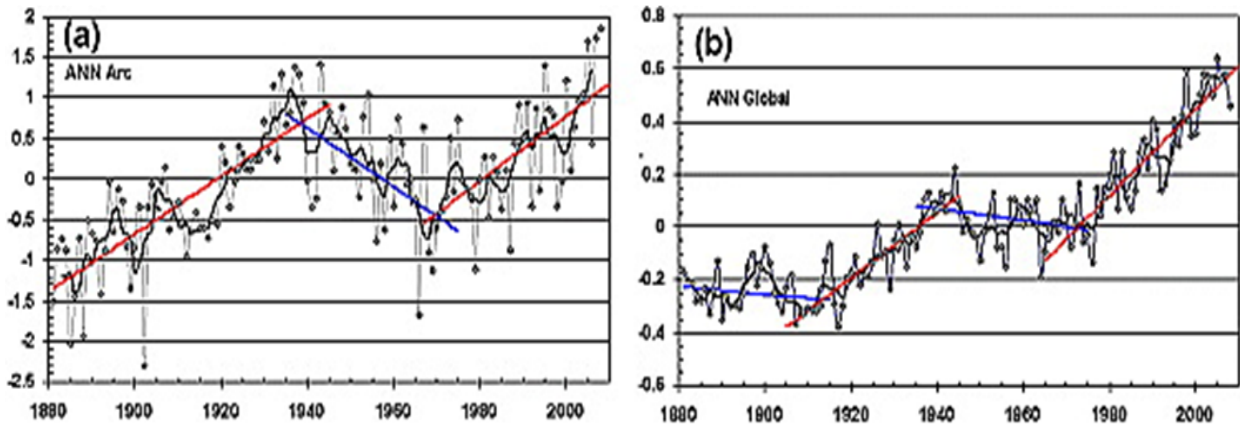
Figur 4: Fördelningen av flerårsis mellan 1983 och 2011 i miljoner kvadratkilometer. Notera den kraftiga minskningen i andelen 4 och 5+ års is. (Maslanik et al., 2011)

4.5 Förändringar i isens tjocklek

Kopplat till den mindre andelen flerårsis har isens genomsnittliga tjocklek minskat kraftigt. Baserat på mätningar med satellit och ubåt kan det visas att isens genomsnittliga vintertjocklek minskat från 3,64 m 1980 till 1,89 m vintern 2008-2009, en minskning på 1,75 meter eller 48 % i genomsnittstjocklek (Kwok and Rothrock, 2009).

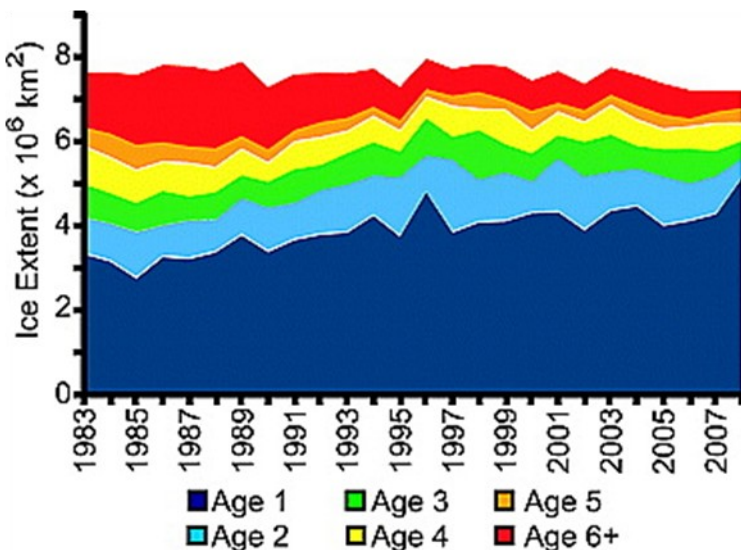
4.6 Temperaturförändringar i Arktis

Temperaturen i Arktis har ökat två till tre gånger snabbare än den globala medeltemperaturen, temperaturökningen har dock inte varit konstant. Tre olika perioder kan urskiljas, En period mellan 1910-1940 då temperaturen i de sydligare delarna av Arktis (64°N-70°N) ökade med 0,59° K per årtionde. En period mellan 1940 och 1970 då temperaturen i de sydligare delarna av Arktis sjönk med 0,36° K per årtionde och slutligen en period mellan 1970 och 2008 då tempera-



Figur 5: Arktisk (till vänster) och global (till höger) årsmedeltemperatur i förhållande till genomsnittet mellan 1880 och 2008. De raka heldragna linjerna är trendlinjerna. Notera skillnaden i temperaturskala mellan de båda graferna. (Chylek et al., 2009) .

de igen med $0,38^{\circ}$ K per årtionde. Förändringarna som kunde uppmätas berörde huvudsakligen hösten och vintern, temperaturen under sommaren förändrades inte i samma utsträckning (Chylek et al., 2009) .



Figur 6: Isutbredning per åldersgrupp i miljoner kvadratkilometer vecka 23 för ett tänkt område 1983-2008. (Drobot et al, 2008).

5 Tolkning och diskussion

5.1 Isens minskade utbredning och tjocklek

Det finns ett mycket starkt stöd för att det arktiska istäcket minskat kraftigt sedan 1950-talet. Mätningar med satellit kan med mycket hög statistisk signifikans påvisa en minskning (t.ex. (Kwok and Rothrock, 2009)). 2007 minskade Isens utbredning kraftigt till 4.28 miljoner kvadratkilometer, ett nytt rekord 23% mindre än det tidigare minimumet från 2005 (24% under den linjära trenden ,(Holland et al., 2010). Flera olika förklaringar har föreslagits till denna stora minskning. Regionala klimatsystem hade enligt (Drobot, 2007) stor påverkan . Under 2007 var de sydliga vindarna

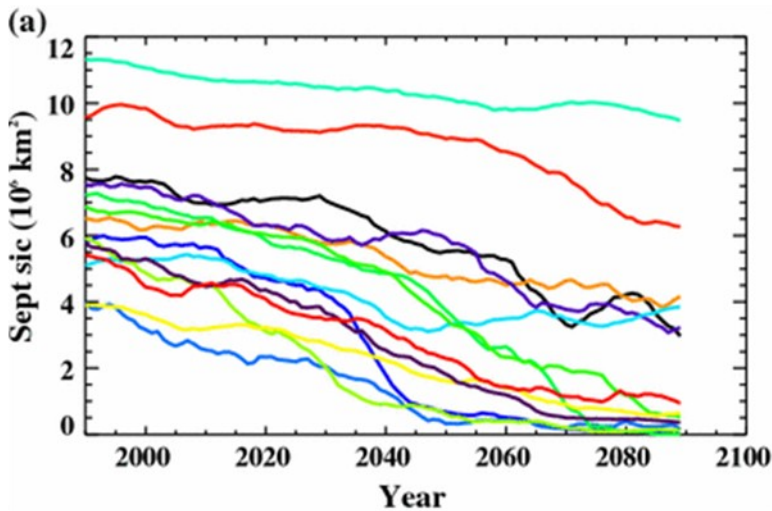
ovanligt starka vilket medförde en ökad värmetransport till Arktis (Zhang et al 2008). Det finns även studier som menar att ett molntäcke som var 16 % mindre än föregående år medförde en högre grad av solinstrålning över Arktis än vanligt, vilket skulle ha ökat isens uppsmältning (Kay et al., 2008). Den sistnämnda förklaringen motsägs dock av andra studier som ur modelleringar dragit slutsatsen att den ökade solinstrålningen hade en mycket liten påverkan på isens utveckling 2007 (Schweiger et al., 2008). Värt att notera är att isens genomsnittliga tjocklek 2007 också låg under trenden, dock inte lika mycket (16%, (Holland et al., 2010))som isens minskning i yta(Lindsay et al., 2009). Detta kan ses som ett stöd för att isens kraftiga minskning delvis berodde på en "ackumulerad" effekt av isens förtunning, vilket kan ha gjort den mer känslig för plötsliga ändringar i väderförhållandena.

5.2 Isens framtida utveckling

En sammanställning av 14 olika modeller om isens utveckling gjord 2008 visade att samtliga modeller förutsäger en minskning i isens utbredning på grund av en ökad nettosmältning (smältningen minus återbildandet av is). Modellerna följde IPCCs utsläppsscenario A1B med en koldioxidhalt på 720 ppm 2100, ett av de moderata utsläppsscenarioerna. Den ökade nettosmältningen skulle dock till viss del kompenseras av en minskad transport söderut av is. Denna undersökning visade också på en mindre minskning i area om isen var tjockare. Tjockare is har alltså en stabiliserande effekt på istäckets area enligt modellerna (Holland et al., 2010).

5.3 Faktorer som påverkar isen

Havsisen påverkas, av olika orsaker, både av temperaturförändringar och regionala klimatmönster liksom av havsströmmar. Det finns ingen tydlig trend i påverkan från vindmönster men en tydlig trend i påverkan från temperaturförändringar (Chylek). Vad som främst dri-

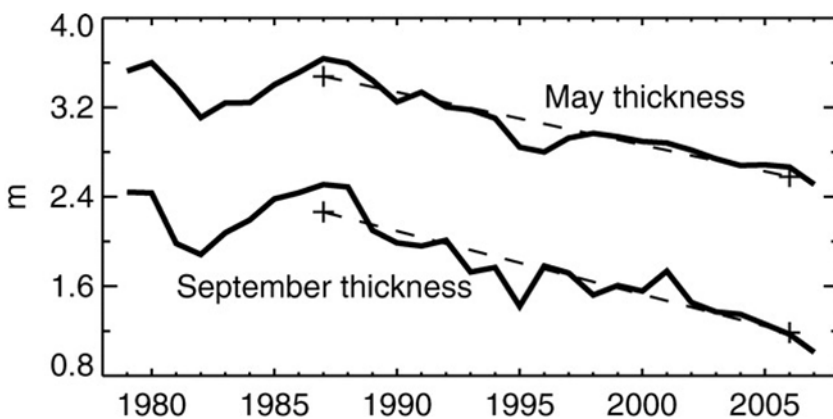


Figur 7: Resultatet av modelleringar på Istäckets utbredning i september, mellan 1950 och 2100 baserat IPCC:s 1AB scenario (Grafen visar bara resultaten från och med 1990). (Holland et al., 2010).

temperaturen är omdiskuterat (Rothrock and Zhang, 2005). Vissa skillnader kan ses beroende på om man betraktar utvecklingen över ett längre eller kortare tidsperspektiv. Till exempel kan vindmönstren ha mycket stor påverkan från år till år och temperaturhöjningen en relativt liten roll i isens minskning eller tillväxt. En viktig skillnad är dock att det finns en tydlig och långvarig trend i temperaturens utveckling något som det inte finns i t.ex. vindmönstren.

5.4 Övrigt

Samtidigt som isens minskning beror på yttre effekter, ökad temperatur och förändrade vindmönster och havsströmmar, medför isens egen minskning också ändrade förhållanden som påverkar denna. När havsrens area minskar innebär det att albedot förändras och minskar vilket skulle öka de regionala temperaturerna och ytterligare påskynda isens avsmältning. Denna



Figur 8: Utvecklingen av isens tjocklek mellan 1980 och 2007. Den streckade linjen är trenden mellan 1987-2006. (Lindsay et al., 2009)

effekt skulle dock kunna motverkas eller förstärkas av ökad molnbildning. Under tidigare delar av kvartären när stora delar av Ishavet var isfritt har tecken på en ökad nederbörds mängd kunnat observeras över Grönland. Utanför arbetets ram finns även effekter som skulle påverka isen kraftigt, t.ex. ökade utsläpp av metan, och mer vattenånga. Båda skulle förstärka den globala uppvärmningen och på så vis påverka isen.

Slutsatser

□ Havsisen i arktiska bassängen har minskat kraftigt, både i tjocklek och utbredning under de senaste decennierna; oberoende av variationer från år till år är den negativa trenden tydlig. Större avvikelser från den normala negativa trenden har förekommit (främst 2007), men dessa har varit tillfälliga och främst rört sig om ändringar i arean som täcks av is. Tjockleken på isen har också minskat kraftigt men med mindre variation från trendlinjen.

□ Det finns ett tydligt samband mellan minskad istjocklek och en onormalt snabb minskning i arean som täcks av is i september. Då tjockleken på isen fortsätter att minska kommer sannolikheten för snabba och stora minskningar av isens area att öka i framtiden.

□ Istäckets stora minskning 2007 berodde på samverkan mellan ett flertal olika faktorer som får mycket stort genomslag på grund av istäckets förtuning. Denna minskar istäckets motståndskraft mot svängningar i klimat.

□ Av de faktorer som påverkar isens area och tjocklek finns det en tydlig trend i temperaturens påverkan. Då denna förväntas öka kan också isens minskningstakt förväntas göra detta. Också andra faktorer har stor påverkan på isen och påverkar dess utbredning på årsbasis, men det finns ingen tydlig trend hos dessa faktorer

□ Det finns inga tydliga tecken på en så kallad "tippingpoint" om man med detta menar en punkt då isens utbredning eller volym mycket hastigt kommer att minska permanent. Dock finns det belegg för att isens minskningstakt har accelererat och kommer att fortsätta att accelerera i framtiden.

□ Sammantaget finns det en tydlig trend mot ett allt mindre istäcke som kommer att vara tunnare än det är idag och därför mindre stabilt. Detta kommer att innebära att händelser som den 2007 där istäckets area plötsligt minskade mycket kraftigt kommer att bli vanligare.

Tack

Jag skulle vilja tacka min handledare Per Möller för genomläsning och vägledning. Jag skulle också vilja tacka kursansvariga Vivi Vajda och alla föreläsare på kursen.

Referenser

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xq.html> hämtad: 2008-05-13

Chylek, P., Folland, C. K., Lesins, G., Dubey, M. K. & Wang, M. Y. 2009: Arctic air temperature change amplification and the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 36.

Drobot, S. D. 2007: Using remote sensing data to develop seasonal outlooks for Arctic regional sea-ice minimum extent. *Remote Sensing of Environment*, 111, 136–147.

Funder, S., Goosse, H., Jepsen, H., Kaas, E., Kjaer, K. H., Korsgaard, N. J., Larsen, N. K., Linder-son, H., Lysa, A., Moller, P., Olsen, J. & Willerslev, E. 2011: A 10,000-Year Record of Arctic Ocean Sea-Ice Variability-View from the Beach. *Science*, 333, 747–750.

Graversen, R. G. & Wang, M. H. 2009: Polar amplification in a coupled climate model with locked albedo. *Climate Dynamics*, 33, 629–643.

Holland, M. M., Serreze, M. C. & Stroeve, J. 2010: The sea ice mass budget of the Arctic and its future change as simulated by coupled climate models. *Climate Dynamics*, 34, 185–200.

Jakobsson, M., Grantz, A., Kristoffersen, Y. & Macnab, R. 2003: Physiographic provinces of the arctic ocean seafloor. *Geological Society of America Bulletin*, 115, 1443–1455.

Kay, J. E., L'ecuyer, T., Gettelman, A., Stephens, G. & O'dell, C. 2008: The contribution of cloud and radiation anomalies to the 2007 Arctic sea ice extent minimum. *Geophysical Research Letters*, 35.

Kwok, R. & Rothrock, D. A. 2009: Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958–2008. *Geophysical Research Letters*, 36.

Lindsay, R. W., Zhang, J., Schweiger, A., Steele, M. & Stern, H. 2009: Arctic Sea Ice Retreat in 2007 Follows Thinning Trend. *Journal of Climate*, 22, 165–176.

Maslanik, J., Stroeve, J., Fowler, C. & Emery, W. 2011: Distribution and trends in Arctic sea ice age through spring 2011. *Geophysical Research Letters*, 38.

Meier, W. N., Stroeve, J. & Fetterer, F. 2007: Whither Arctic sea ice? A clear signal of decline regionally, seasonally and extending beyond the satellite record. *Annals of Glaciology*, 46, 428–434.

Moran, K., Backman, J., Brinkhuis, H., Clemens, S. C., Cronin, T., Dickens, G. R., Eynaud, F., Gattacceca, J., Jakobsson, M., Jordan, R. W., Kaminski, M., King, J., Koc, N., Krylov, A., Martinez, N., Matthiessen, J., Mcinroy, D., Moore, T. C., Onodera, J., O'regan, M., Palike, H., Rea, B., Rio, D., Sakamoto, T., Smith, D. C., Stein, R., St John, K., Suto, I., Suzuki, N., Takahashi, K., Watanabe, M., Yamamoto, M., Farrell, J., Frank, M., Kubik, P., Jokat, W. & Kristoffersen, Y. 2006: The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. *Nature*, 441, 601–605.

Polyak, L., Alley, R. B., Andrews, J. T., Brigham-Grette, J., Cronin, T. M., Darby, D. A., Dyke, A. S., Fitzpatrick, J. J., Funder, S., Holland, M., Jennings, A. E., Miller, G. H., O'regan, M., Savelle, J., Serreze, M., St John, K., White, J. W. C. & Wolff, E. 2010: History of sea ice in the Arctic. *Quaternary Science Reviews*, 29, 1757–1778.

Rothrock, D. A. & Zhang, J. 2005: Arctic Ocean sea ice volume: What explains its recent depletion? *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 110.

Schweiger, A. J., Zhang, J., Lindsay, R. W. & Steele, M. 2008: Did unusually sunny skies help drive the record sea ice minimum of 2007? *Geophysical Research Letters*, 35.

Zhang, J. L., Steele, M., Lindsay, R., Schweiger, A. & Morison, J. 2008: Ensemble 1-Year predictions of Arctic sea ice for the spring and summer of 2008. *Geophysical Research Letters*, 35.

Rothrock, D. A. & Zhang, J. 2005: Arctic Ocean sea ice volume: What explains its recent depletion? *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 110.

**Tidigare skrifter i serien
"Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet":**

274. Mashramah, Yaser, 2011: Maturity of kerogen, petroleum generation and the application of fossils and organic matter for paleotemperature measurements. (45 hp)
275. Vang, Ina, 2011: Amphibolites, structures and metamorphism on Flekkerøy, south Norway. (45 hp)
276. Lindvall, Hanna, 2011: A multi-proxy study of a peat sequence on Nightingale Island, South Atlantic. (45 hp)
277. Bjerg, Benjamin, 2011: Metodik för att förhindra metanemissioner från avfallsdeponier, tillämpad vid Albäcksdeponin, Trelleborg. (30 hp)
278. Pettersson, Hanna, 2011: El Hicha – en studie av saltstämpssediment. (15 hskp)
279. Dyck, Brendan, 2011: A key fold structure within a Sveconorwegian eclogite-bearing deformation zone in Halland, southwestern Sweden: geometry and tectonic implications. (45 hp)
280. Hansson, Anton, 2011: Torvstratigrafisk studie av en trädstamshorisont i Viss mosse, centrala Skåne kring 4 000 - 3 000 cal BP med avseende på klimat- och vattenståndsförändringar. (15 hp)
281. Åkesson, Christine, 2011: Vegetationsutvecklingen i nordvästra Europa under Eem och Weichsel, samt en fallstudie av en submorän, organisk avlagring i Bellinga stenbrott, Skåne. (15 hp)
282. Silveira, Eduardo M., 2011: First precise U-Pb ages of mafic dykes from the São Francisco Craton. (45 hp)
283. Holm, Johanna, 2011: Geofysisk utvärdering av grundvattenskydd mellan väg 11 och Vombs vattenverk. (15 hp)
284. Löfgren, Anneli, 2011: Undersökning av geofysiska metoders användbarhet vid kontroll av den omättade zonen i en infiltrationsdamm vid Vombverket. (15 hp)
285. Grenholm, Mikael, 2011: Petrology of Birimian granitoids in southern Ghana - petrography and petrogenesis. (15 hp)
286. Thorbergsson, Gunnlaugur, 2011: A sedimentological study on the formation of a hummocky moraine at Törnåkra in Småland, southern Sweden. (45 hp)
287. Lindskog, Anders, 2011: A Russian record of a Middle Ordovician meteorite shower: Extraterrestrial chromite in Volkhovian-Kundan (lower Darriwilian) strata at Lynna River, St. Petersburg region. (45 hp)
288. Gren, Johan, 2011: Dental histology of Cretaceous mosasaurs (Reptilia, Squamata): incremental growth lines in dentine and implications for tooth replacement. (45 hp)
289. Cederberg, Julia, 2011: U-Pb baddelyit dateringar av basiska gångar längs Romeleåsen i Skåne och deras påverkan av plastisk deformation i Protoginzonen (15 hp)
290. Ning, Wenxing, 2011: Testing the hypothesis of a link between Earth's magnetic field and climate change: a case study from southern Sweden focusing on the 1st millennium BC. (45 hp)
291. Holm Östergaard, Sören, 2011: Hydrogeology and groundwater regime of the Stanford Aquifer, South Africa. (45 hp)
292. Tebi, Magnus Asiboh, 2011: Metamorphosed and partially molten hydrothermal alteration zones of the Akulleq glacier area, Paamiut gold province, South-West Greenland. (45 hp)
293. Lewerentz, Alexander, 2011: Experimental zircon alteration and baddeleyite formation in silica saturated systems: implications for dating hydrothermal events. (45 hp)
294. Flodhammar, Ingrid, 2011: Lövestads åsar: En isälvsavlagring bildad vid inlandsisens kant i Weichsels slutskede. (15 hp)
295. Liu, Tianzhuo, 2012: Exploring long-term trends in hypoxia (oxygen depletion) in Western Gotland Basin, the Baltic Sea. (45 hp)
296. Samer, Bou Daher, 2012: Lithofacies analysis and heterogeneity study of the subsurface Rhaetian–Pliensbachian sequence in SW Skåne and Denmark. (45 hp)
297. Riebe, My, 2012: Cosmic ray tracks in chondritic material with focus on silicate mineral inclusions in chromite. (45 hp)
298. Hjulström, Joakim, 2012: Återfyllning av borrhål i geoenergisystem: konventioner, metod och material. (15 hp)
299. Letellier, Mattias, 2012: A practical assessment of frequency electromagnetic

- inversion in a near surface geological environment. (15 hp)
300. Lindenbaum, Johan, 2012: Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi. (45 hp)
301. Andersson, Josefin, 2012: Karaktärisering av arsenikförorening i matjordsprofiler kring Klippans Läderfabrik. (45 hp)
302. Lumetzberger, Mikael, 2012: Hydrogeologisk kartläggning av infiltrationsvattentransport genom resistivitetsmätningar. (15 hp)
303. Martin, Ellinor, 2012: Fossil pigments and pigment organelles – colouration in deep time. (15 hp)
304. Rådman, Johan, 2012: Sällsynta jordartsmetaller i tungsand vid Haväng på Österlen. (15 hp)
305. Karlstedt, Filippa, 2012: Jämförande geokemisk studie med portabel XRF av obehandlade och sågade ytor, samt pulver av Karlshamnsdiabas. (15 hp)
306. Lundberg, Frans, 2012: Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och facietyper. (15 hp)
307. Thulin Olander, Henric, 2012: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Ekenäs-Kvarndammen, Jönköpings län. (15 hp)
308. Demirer, Kursad, 2012: U-Pb baddeleyite ages from mafic dyke swarms in Dharwar craton, India – links to an ancient supercontinent. (45 hp)
309. Leskelä, Jari, 2012: Loggning och återfyllning av borrhål – Praktiska försök och utveckling av täthetskontroll i fält. (15 hp)
310. Eriksson, Magnus, 2012: Stratigraphy, facies and depositional history of the Colonius Shale Trough, Skåne, southern Sweden. (45 hp)
311. Larsson, Amie, 2012: Kartläggning, beskrivning och analys av Kalmar läns regionalt viktiga vattenresurser. (15 hp)
312. Olsson, Håkan, 2012: Prediction of the degree of thermal breakdown of limestone: A case study of the Upper Ordovician Boda Limestone, Siljan district, central Sweden. (45 hp)
313. Kampmann, Tobias Christoph, 2012: U-Pb geochronology and paleomagnetism of the Westerberg sill, Kaapvaal Craton – support for a coherent Kaapvaal-Pilbara block (Vaalbara). (45 hp)
314. Eliasson, Isabelle Timms, 2012: Arsenik: förekomst, miljö och hälsoeffekter. (15 hp)
315. Badawy, Ahmed Salah, 2012: Sequence stratigraphy, palynology and biostratigraphy across the Ordovician-Silurian boundary in the Röstånga-1 core, southern Sweden. (45 hp)
316. Knut, Anna, 2012: Resistivitets- och IP-mätningar på Flishultsdeponin för lokalisering av grundvattenytor. (15 hp)
317. Nylén, Fredrik, 2012: Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ? (15 hp)
318. Younes, Hani, 2012: Carbon isotope chemostratigraphy of the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (45 hp)
319. Weibull, David, 2012: Subsurface geological setting in the Skagerrak area – suitability for storage of carbon dioxide. (15 hp)
320. Petersson, Albin, 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. (15 hp)
321. Axbom, Jonna, 2012: Klimatets och människans inverkan på tallens etablering på sydsvenska mossar under de senaste århundradena – en dendrokronologisk och torvstratigrafisk analys av tre småländska mossar. (15 hp)
322. Kumar, Pardeep, 2012: Palynological investigation of coal-bearing deposits of the Thar Coal Field Sindh, Pakistan. (45 hp)
323. Gabrielsson, Johan, 2012: Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund