

# ACTA ACADEMIAE STROMSTADIENSIS

**Gunnar Kullenberg**



**Effekter av  
klimatrelaterade  
förändringar i havet**

# Effekter av klimatrelaterade förändringar i havet

Gunnar Kullenberg

Denna artikel är baserad på en presentation vid Strömstad akademis möte juni 2019

## Abstrakt

Den pågående klimatförändringen sker snabbare än de naturliga klimatvariationer vi haft under de senaste tusen åren: den varma perioden omkring 800-1200 och den kalla Lilla Istiden omkring 1300-1850. Medeltemperaturen var omkring två-tre grader varmare respektive kallare relativt normalen. Den naturliga temperaturökningen efter Lilla Istiden började omkring 1850- 1870, möjligen tidigare i Sverige med referens till mätserien i Stockholm. Detta följdes av något kallare decennier 1930-1950 (se Bonniers Uppslagsbok). Gradvis under 1900-talet medför den ökning av främst koldioxiden i atmosfären från vårt användande av billig energi från fossila bränslen en av samhället driven temperaturökning. Klimatpanelen etablerad av FN 1988 bekräftar i sina rapporter att denna klimatändring är påvisad sedan omkring 1950. Ändringen sker något snabbare än den naturliga, vilket kan medföra allvarigare effekter på miljö, ekosystem och vårt samhälle. De tidigare naturliga variationerna hade dock också markanta effekter. Dessa återspeglas mest markant genom återkommande verkliga istider (se Arrhenius 1991, vari också omtalas många svenska banbrytande bidrag till forskningen kring dessa problem). Många av de effekter vi nu upplever eller förväntar oss, kommer från havet som tar upp det mesta av värmeöverskottet och från 40 till nu omkring 25- 30 % av koldioxiden vi släpper ut. Samtidigt påverkar havet luftens sammansättning genom avdunstning, vattenånga vår viktigaste och naturliga växthusgas, syre som vi andas, kvävedioxid, dimetylsulfid och sulfatpartiklar. Havet har mycket stor värmekapacitet och anomalier i havet överlever mycket längre än i atmosfären. Havsströmmarna fördelar värmestillskottet och omblandningen driver värmen mot djupet (Ocean Circulation, The Open University, Pergamon Press, 1989; Stocker 2015). Observationer över tid visar att uppvärmningen nått omkring 3000 m; under 1900-talet steg temperaturen i ytlagret omkring 0,8 grader globalt. I regioner av Södra Oceanen är ökningen nu upp till 1 grad, i regionala hav mera, i Östersjön upp till 1,4; upp till 1 grad i Nordsjön; snabbare ökning noteras på högre latituder med omkring 0,6 grader över 25 år. Havets inverkan på klimatvariationer är väl känt genom El Nino i Stilla Havet som drivs av ändringar i skillnaden i lufttryck mellan Australien och Sydamerika, monsunen i Indiska Oceanen, och variationer i lufttryckskillnaden mellan Island och Azorerna, som har en ökande trend sedan 1960-talet. Detta framkallar variationer i cirkulationen i Nordatlanten. Östersjöns värmekapacitet påverkar starkt vårt klimat. Genom uppvärmningen ändras det hydrologiska kretsloppet, nederbördens fördelning, intensitet och mängd ändras, liksom salthalten i havet uppvisar ändringar. Delar av haven i subpolära områden blir mindre salta, medan subtropiska områden blir mera salta; Medelhavet har blivit mera salt. Allt detta påverkar cirkulationen i havet globalt. I den Arktiska bassängen avtar istäcket omkring 3 % per decennium sedan 1970-80 talen, och 7-8% under sommarperioden. Under sista istiden blev inflödet av salt, varmt vatten till norra Nordatlanten och den Arktiska bassängen nästan helt avkopplat, fronterna i havet och atmosfären pressades mot syd och Nordatlantiska strömmen fick en sydligare sträckning i riktning mot Portugal. Golfströmmen finns men kan variera i intensitet. Havets biokemi har ändrats. Koldioxiden i saltvattnet omvandlas till kolsyra, havet blir surare. Detta har mycket stora effekter på korallreven, som också påverkas av uppvärmningen, och skaldjur som krabbor, kräftor med flera. Ett varmare hav tar upp mindre koldioxid, och upptaget varierar med latitud; tropiska områden avger koldioxid, Nordatlanten tar upp, medan Södra Oceanen är den dominerande sänkan. Uppvärmningen leder också till större skillnad i täthet mellan ytlagret och djupvattnet, en ökad skiktning, som hämmar det vertikala utbytet. Detta medför mindre näringsämnen i ytlagret och mindre organisk produktion och föda till fisk. Tiden på året när vårbloomingen sker kan också förskjutas, vilket

medför ändringar i plankton systemet, algblomningar och tillgång till föda för högre delar av ekosystemet. Ett varmare hav har också mindre syre och förbränningen av organiskt material sker snabbare. Om inte vattenutbytet ändras leder detta till syrebrist och möjligen helt syrefritt vatten i vissa områden. Detta är påvisat i Östersjön, men kartläggningar visar att syrefattiga områden har ökat starkt i antal och utbredning sedan 1960-talet (Diaz och Rosenberg 2008). Observationer över tid visar att havet blir syrefattigare globalt. (Referenser: Gustaf Arrhenius, Svenska djuphavsexpeditionen med Albatross - ett retrospektiv, sid. 8-34, Oceanerna, Svenska Sällskapet för Antropologi och Geografi, Ymer 1991; New York Times (international) 18 februari 2019; DN, Klimat året 2016, översikt, 28 december 2016; G. Kullenberg, Hälsan och Havet, sid. 79-91 i Hälsa och miljö, Bergqvist, Gustavsson red., Strömstad akademi, 2018, ISBN 978-91-86607-48-7; UNESCO-IOC 2018, Declining oxygen in the World's Ocean and Coastal waters; UNESCO-IOC 2016; Field et al 2002).

### **English abstract: Climate related ocean changes and effects on society**

*Climate change is with us. The warm period around 800-1250 led to developments in Iceland and southern Greenland. It was followed by a cold period, Little Ice Age, about 1300-1850 which caused much calamity in Europe. The current warming period started around 1850-1870. The sediment cores from the Swedish Albatross expedition 1947-48 could indicate next ice age in time scale of 10000 years; surprises may still emerge in the climate system. Presently it is, however, the increased rate of change since about 1950, due to our release of greenhouse gases that leads to serious consequences for environment, ecosystem, biodiversity, resources and human society. Many effects are due to changes in the ocean with its large heat capacity, taking up about 90 % of the additional heat caused by our release of greenhouse gases. The water conserves heat input long, and carries it over basin-wide scales. We know the ocean is getting warmer. The influence of the Baltic on the climate of bordering states provides an example. During 1900 the surface temperature rose about 0.8 degrees, in areas of the Southern Ocean up to 1 degree. In the Baltic it has risen 1.4, and in high latitudes 0.6 to 1 degree over 25 years. The heat input has reached at least 3000 meters. The warming leads to more evaporation, changes in precipitation and the hydrological cycle, resulting in changes of salinity. High latitudes get less salty, tropical and sub-tropical more. The ocean circulation is changing. The warmer inflow to the Arctic influences the ice coverage from below. The ice decreases about 3 % per decade, and 7-8 % in summer periods since 1970-80. In some areas the Antarctic ice is also eroded from below by warmer upwelling water. The ocean has absorbed 35-40 % of the carbon dioxide released from our society. The uptake leads to acidification. The warmer ocean takes up less, presently in the range 25-30 %. This mirrors the development of uptake of forests. The ocean uptake varies with latitude: the Southern Ocean is the main sink, the tropical and sub-tropical areas release carbon dioxide (out-gassing), and northern ocean areas are sinks. Acidification is serious for the ecosystem, in particular for coral reefs and shell-formation by crustaceans. The warmer ocean has less oxygen, and oxidation of organic material in deep and bottom water goes faster, in combination with weakened vertical exchange leading to a de-oxygenation of the ocean. Areas with low or no oxygen are increasing in number and size, as in the Baltic. The ocean expands due to warming and increasing runoff from melting glaciers and the continental ice over Greenland and Antarctica. Sea level rise was about 20 cm during 1900; the rate has later increased and is now in the range 3-4 mm, in some areas more, per year; we could expect at least one meter rise during this century. The rise has very serious consequences for coastal areas, leading to increased erosion, more flooding and storm floods, losses of land areas and ecosystem services, implying needs for more protection at great costs.*

*Combined effects on our society are profound. Intensity, amount and distribution in time and space of precipitation with augmented or reduced flows, influence water supply, ground water levels, irrigation, river flows, flooding, river transport, dams, floods and land runoff, all with great implications for uses, security and management. Low flows and shallower rivers make transport and irrigation difficult and lead to oxygen depletion in more stagnant water resulting in changed production and fish kills. This is happening in Europe, Asia, America and Australia. The opposite with increased flooding occurs as well. Sea food production, fisheries and aquaculture is affected by changed fish migration, primary and secondary production due to warmer water, seasonal changes, altered nutrient supplies, more persistent algal blooms with changing composition and possibly more toxicity, as is the case in the Baltic. The biodiversity is changed, some species disappearing, replaced by invasive and new species. The coastal land area is about 10 % of the total but home to 50-75 % of the population, in some countries up to 100 %. The effect on these areas is very large, on industrial uses, tourism and recreation by the local population, their health, food supply and quality of life. The changing flows and stronger winds lead to more pollution and debris with consequences for food security and other uses of the water, for instance desalination to obtain fresh water. In particular coastal megacities are at risk, including about 800 million people. Fisheries employ about 55 million people and provide protein for up to 3 billion, but 90 % of fish stocks are depleted or close to. There is strong need for actions to achieve a more sustainable fisheries and use of coastal areas. Several of the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda will address these problems, and the UN Ocean Science Decade 2021-2030 aims to provide further scientific and technological motivations for actions including hopefully some acceptable science-based solutions.*

## **Innehåll**

Hur påverkas miljö, ekosystem och vårt samhälle	4
Klimatförändringar i modern tid och dess effekter	6
Klimatrelaterade ändringar i havet	7
Ändringar med stor konsekvens för ekosystem	8
Effekter av dessa förändringar på vårt samhälle	9
Referenser	12

## **Hur påverkas miljö, ekosystem och vårt samhälle**

Några Prioriteter: Färskvatten är en bristvara i många områden, och detta problem växer 25-30 % av jordens befolkning är i riskzonen för vatten brist. Den i tid, rum och mängd förändrade nederbörden, som i hög grad styrs genom avdunstning från havet, har stora effekter på vattentillgången, jordens upptag av vatten, grundvattennivån, jordbruksproduktion, djur, floder och deras ekosystem, flodtransporter, dammanläggningar, deras förvaltning och användning och även elproduktionen. Vid utbredd torka blir vattennivån i floder för låg för flodtransporter, för fisken som påverkas av låg syrehalt, djur som beror av flodvattnet, bevattning för jordbruk. Dessa problem har vuxit på alla kontinenter, detta kan också ses av en ökande avsaltning för att få färskvatten. Omvänt kan nederbörden bli mycket större än vad som förväntas, vilket medför översvämningar, ras och andra problem för flodtransporter och jordbruk. Katastrofal inverkan på befolkningen i vissa områden är också väl demonstrerad. Flodmynningarna och deras ekosystem påverkas genom ändrat flöde och tillförsel av näringsämnen och annat material från land, skräp och mikropartiklar, vilket medför förorening och ändringar i plankton förekomster och algblomningar, inklusive

växter på grunda botten som till exempel ålgräs. Detta ekosystem påverkas även av temperaturändringar och förskjutningar i tiden för vårens inträffande. Den marina produktionen av föda för både fisk och befolkning blir gradvis mindre, fisken migrerar med temperaturen till andra områden. Vissa arter som lax och ål, men också till exempel valar, verkar styras av minne och tidsförskjutning av produktion kan ha stora effekter eftersom födan inte finns när valarna anländer till sin vanliga plats. Förskjutning i fiskeområden kan också leda till konflikter mellan konkurrerande nationer. Den biologiska mångfalden ändras vilket också påverkar tillgång av fisk och skaldjur. Produktionen har gått ner i vissa områden, till exempel Östersjön och Nordsjön, men även Stilla Havet (Kullenberg et al 2008). Fisket globalt sysselsätter omkring 55 miljoner, är den viktigaste protein källan till omkring 3 miljarder, men 90 % av bestånden är överbelastade. Det illegala, icke rapporterade fisket är ett stort problem. (Referenser: United Nations Association-UK 2015; NYT 23-24 mars 2019 av T.J. Kelley (översvämningar); NYT 20 januari 2019 av H. Fountain, glaciärer smälter i Asien, vattenbrist; NYT sommar 2019, förorening av stränder genom mycket kraftig nederbörd med avrinning; NYT 7 november 2018, av F. Schultze, långvarig torka, grunda floder, problem med flodtransporter; Bloomberg Businessweek 7 januari 2019, illegalt fiske; DN 31 mars 2019, artikel av Jannike Kihlberg, låga grundvattennivåer i nästan hela Sverige).

**Stigande Hav:** Uppvärmning och ändrad avrinning från land medför att havsnivån stiger, under 1900-talet globalt medel omkring 20 cm. Osäkerheten visas av värdet på omkring 10 cm stigning under perioden 1880-1980 angivet av Nyberg (1991, Ymer 1991, se ovan, också med referens till Bolin och Döös 1986). Havsnivån stiger nu snabbare på grund av ökande avsmältning och uppvärmning med 3-4 mm per år (senaste referens Economist juni 2019). Detta medför större erosion av kusterna och större risk för översvämningar och storm floder. Vi ser stora effekter av detta globalt, med höga kostnader för skydd av land, bostäder, infrastruktur. Speciellt de stora städerna vid kusterna med tiotals miljoner invånare är utsatta. Det har uppskattats att 800 miljoner är i riskzon och Miami sätter av omkring 400 miljoner dollar för att bygga skyddsmurar (NYT, december 2018 artikel av Ban Ki-moon och F. Suarez). Göteborg har gjort planer för byggande av skyddsmurar, och i delar av våra södra kuster föregår strandfodring med sand från Kattegatt. Både effekter och kostnader kommer att öka. Vi måste räkna med kraftigare, mera frekventa stormar och häftigare regn, medförande mera översvämningar (se World Meteorological Organization rapport 2019, presenterad i DN 29 mars 2019 av Jannike Kihlberg och IPCC rapporter 2014 och 2018; WCRP 2006).

**Kusten:** rikt utsatt område med konflikt risker. Globalt utgör kustområdena omkring 10 % av landmassan, med nu omkring 50- 75% av befolkningen och många lågt liggande stora land områden är i stor risk. Infrastruktur, bostäder, befolkning är utsatta, hälsan och säkerheten påverkas. Belastning på transporter, vatten, landområden, produktion av föda och hälsa ökar. Kusten påverkas också av ändringar i vattenutbyte, algbloomingar, föroreningar från land och hav, delvis framkallade av klimatändringen. Livskvaliteten försämras sannolikt och konfliktrisen ökar. Som en slutsats kan man konstatera att vi måste satsa på anpassning till ändrade förhållanden. Samtidigt måste det framhållas att vi löst många problem och kan lösa också dessa med samarbete, kunskap, ny teknologi och vilja. Det krävs god, anpassningsbar, balanserad förvaltning och styrning, på lokalt, nationellt, regionalt och globalt plan. Allt detta belyses i de av FN antagna Hållbarhetsmålen för Agenda 2030, vilka förväntas hjälpa att också lösa problemen. Den av FN antagna Dekaden för Ocean Forskning bör tillföra nya rön och förhoppningsvis ange vetenskapligt underbyggda lösningar, men det återstår sedan att uppnå allmänt erkännande av resultaten av befolkning och politiker, samt handling av de senare. (Referenser: E. Mann Borgese The Oceanic Circle, UNU Press, 1998; United Nations 2015, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015,70/1, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development; V. Ryabinin et.al. 31 juli 2019, The UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development, Frontiers in Marine Science, section Ocean Observation; G. Kullenberg et al 2008).

## Klimatförändringar i modern tid och dess effekter

**Markanta Temperaturändringar:** Klimatförändring pågår och ändringarna sker snabbare än vad naturen är van vid. Klimatet började bli varmare för omkring 150 år sedan vid naturlig förändring från den kalla lilla Istiden som härskade från omkring 1350 fram till omkring 1850-1870. Århundradena tidigare 800-1250 hade vi den varma medeltidsperioden. Då kunde Island och södra Grönland bosättas med odlingar och boskap, vikingarna levde väl under den perioden, floderna var tillgängliga för transport. Temperaturändringarna var i medeltal 2-3 grader, med något högre skillnader mellan perioderna på högre latituder. Detta sker också nu under denna förändring av klimatet, det blir relativt varmare på högre latituder. Lilla Istiden präglades i Europa av kalla vintrar med temperaturer 3-4 grader mindre än under den varma perioden. Odlingen gav markant sämre skördar än under värmeperioden vilket medförde hungersnöd, krig om tillgångar, sjukdomar, delvis framkallade av klimatet, och inte bara av olika religioner. Hungersnöden härjade periodvis framför allt markant i större städer, med uppror i bl.a. Stockholm, Paris, London. Den mest kända konsekvensen är ju den Franska revolutionen 1789, men denna är inte alls den enda. Det var inte mycket som behövdes för att skifta över samfundet till kaos och laglöshet: ett kraftigt vulkanutbrott på Island under 1780-talet anses ha bidraget till dåliga skördar på kontinenten, med utbredd hungersnöd som följd, vilket triggade den Franska revolutionen, och möjligen kraftiga utbrott av missnöje i Stockholm. Vulkanutbrotten har påvisats genom is borrhningar på Grönland. I Sverige var förhållandena under 1700-talet mycket svåra, inte bara framkallade av krigen. Klimatet hade också en stor inverkan genom kyla, dåliga skördar och allmän svaghet framkallad av hungersnöd. Problemen markeras av den stora utvandringen under slutet av 1700 talet och 1800 talet. Övergången till varmare klimat började i mitten av 1800-talet. Denna naturligt framkallade långsamma uppvärmning pågår också nu men den kan inte förklara den totala uppvärmningen. Den är till stor del framkallad av vår civilisation, det globala samhället, främst genom utsläppen av koldioxid, men även andra växthusgaser. Det är värt att påpeka att industrialiseringen och vårt samhälles snabba förändring med mycket välstånd under de senaste hundra åren till stor del beror på den billiga energin från de fossila källorna. Det är den relativt snabba, större förändringen av klimatet som framkallar effekter med allvarliga och mest negativa konsekvenser för vårt samhälle: har ekosystemet och samhället tid att anpassa sig. Många av effekterna kommer från havet.

**Havet: Värmekapacitet och Minne:** Vattnet har som vi vet mycket stor värmekapacitet och har långt minne i förhållande till atmosfären och luften. Havet minns ett värmestillskott längre än atmosfären med en faktor av omkring tusen. Således kan havet minnas och transportera ett värmestillskott över globala skalor. Vi kan högst förutsäga vädret två veckor, men havet minns mycket längre, vilket har påvisats genom att stora anomalier i Nordatlanten har kunnat följas i flera år. De mest kända och med global inverkan är El Nino-Southern Oscillation i Stilla Havet och Monsunen i Indiska Oceanen och Asien, men också variationerna i Nordatlantiska cirkulationen kopplade till variationer i tryckdifferensen mellan Azorerna och Island, den Nordatlantiska Oscillationen, är märkbara för vårt klimat. El Nino och Monsunen kan numera förutsägas med en säkerhet som gör förutsägelsen användbar till exempel vad gäller jordbruk, vattenförsörjning, transporter på land, fiskeri, storm floder, översvämningar. Detta är möjligt genom kombination av regelbundna observationer i havet, inklusive på djupet, med rapportering genom satelliter och användande av data i dynamiska kopplade modeller. Andra, mera närstående exempel på havets långa minne är vissa algbloomningar som kan följas länge även om den primära blomningen passerat när näringsämnen i ytlagret förbrukats. Algbloomningarna kan fortsätta genom den högre temperaturen och bakteriella funktioner. Ett annat regionalt exempel på havets inverkan på klimatet är Östersjön, vars höga värmekapacitet påverkar vårt klimat speciellt under vinterperioden. Detta kommer att märkas mer genom den varmare Östersjön under pågående klimatändring. Betydelsen av Golfströmmen och dess förlängning i Nordatlantiska Strömmen bör väl också nämnas, där havets minne verkligen betyder mycket för vårt klimat. Det flödet kunde dock inte rädda oss från Lilla Istiden och dess effekter. Nu har vi i stället för

de effekterna perioder med torka, och koncentrerad nederbörd, skyfall, hög värme, skogsbränder, vissa missväxter och sämre skördar; detta är påvisat i Australien, delar av Nordamerika, Afrika, och kommer även hit. (Referenser: HELCOM 2013; Field, Hempel and Summerhayes 2002).

## Klimatrelaterade ändringar i havet

Ett Varmare Hav: Vi vet att havet blivit varmare med omkring 0.01 grad per dekad över 3000 meter under sista hälften av 1900-talet, och något mera nu; under 1900-talet steg temperaturen i ytlagret omkring 0.8 grader globalt, i Södra Oceanen upp till 1 grad; i många regionala hav steg temperaturen betydligt mer, i Östersjön 1.3 till 1.4 grader. Förhållandevis snabb uppvärmning noteras i flera andra medel till högre latituder, med omkring 0.6 grader över 25 år, med upp till 1 grad i Nordsjön, vid Newfoundland, i Svarta Havet, Ost Kinesiska Sjön, som exempel på ökning över 25 år. Detta ger omkring 0.4 grader per decennium. Det hydrologiska kretsloppet, vattenflödet, har också ändrats, med mer vattenånga i atmosfären; vissa delar av havet blir härmed mindre salt, främst subpolära områden, andra delar mera salt, främst subtropiska områden. Effekter av klimatrelaterade ändringar i stora regionala hav som Medelhavet har också fastlagts. I Nordatlanten har djupintervallet 900-1200 meter blivit mera salt genom att utflödet från Medelhavet över Gibraltartröskeln, som inlagras på den nivån, har blivit saltare. Medelhavet har blivit saltare, och detta påverkar cirkulationen och livet i havet. I Arktis minskar istäcket omkring 3-4% per decennium sedan 1970-80 talen, och under sommaren är minskningen ungefär dubbel, 7-8% per decennium. Dessa ändringar är kopplade till cirkulationen i havet. Det varmare och saltare vattnet som flödar in från Atlanten inlagras i Arktis något högre upp än tidigare vilket medför en uppvärmning av isen också underifrån. En likartad process uppstår vid Antarktis i Weddelhavet där uppvällningen av djupare vatten vid iskanten blivit något varmare vilket alltså påverkar isen underifrån och kan öka en avsmältning. Salthaltsändringarna i havet speglar ändringen och ökningen i det hydrologiska flödet som också kan förväntas av uppvärmningen i hav och atmosfär. Värmeökningen har observerats vara speciellt märkbar under Golfströmmen och den Nordatlantiska Strömmen vid 40 graders nordlig bredd. Under Golfströmmen löper en motström vars vatten blivit varmare. Detta synes vara i överensstämmelse med en tendens av högre tryckskillnad mellan Azorerna och Island under några av de senaste decennierna, den Nord Atlantiska Oscillationen. En parallell kan möjligen göras med förhållandena under senaste istiden, vilka har någorlunda klarlagts genom paleontologisk forskning. Det varma salta inflödet mot Arktis från Nordatlanten blev då nästan helt avkopplat, och de motsvarande fronterna i havet och atmosfären pressades mot lägre latituder, och Golfströmmen samt dess fortsättning, den Nordatlantiska Strömmen, fick en något sydligare bana mot nuvarande Portugal. Den markanta variationen i den Nordatlantiska cirkulationen under de senaste decennierna är kopplad till variationer i den Nordatlantiska Oscillation i atmosfären, som i sin tur sannolikt är kopplad till den pågående klimatändringen. (Referenser: Strömstad Akademi 2016: Barnbarnens århundrade - berättelser om en ny framtid, kapitel 8, sid. 128-157; Novus Förlag, Oslo; Kullenberg et al 2015; Field et al 2002; UNESCO-IOC 2016).

De tropiska haven har stor inverkan på klimatet och dess variationer, genom El-Nino i Stilla Havet och Monsunen i Indiska Oceanen. El Nino drivs av tryckdifferensen mellan Australien, Darwin och Sydamerika, Lima i Peru. Normalt strömmar vatten längs ekvatorn från öst mot väst drivet av passadvinden. Vattnet blir gradvis varmare och detta driver en konvektion i de västra delarna. Dess intensitet växer och passaden blir gradvis svagare eller helt avstannad. Det varma vattnet vänder då tillbaka mot öster längs ekvatorn i en Kelvin våg. Fenomenet har döpts till El Nino eftersom det normalt når Sydamerika omkring jultid. Kopplade dynamiska modeller indikerar att med växande yt- temperatur kan frekvensen av El Nino öka, med tillhörande extrema väderlekssituationer, som kraftig nederbörd, översvämningar, dåligt fiske utanför Chile-Peru, värme böljor. Modellerna är beroende av regelbundna observationer

över djupintervallet från ytan till omkring 2 till 3000 m med drivande oscillerande bojar som sänder data via satellit till givna mottagarstationer. I Indiska Oceanen varierar monsunen också med tryckdifferenser mellan kontinenterna. Detta användes tillsammans med observationer av samma slag som dem i Stilla Havet till att ge förutsägelser om monsunens tid och styrka. Monsunen är ett livsvillkor för Indien och andra delar av Sydöst Asien, för vatten försörjningen, jordbruket och elproduktion. Variationerna har mycket stora effekter på samhället. Effekterna av både El Nino och monsunen har global räckvidd, med påverkan av nederbörd, stormar, cykloner, och temperatur. (Referenser se föregående avsnitt).

## Ändringar med stor konsekvens för ekosystem

Havets biokemi har ändrats markant. Havet upptar nu omkring 25-30 % av den koldioxid vi släpper ut, i början upptogs omkring 42 %. Varmare vatten tar upp mindre än kallare. Således förväntas upptaget bli gradvis mindre, i likhet med vad som sker med skogens, främst den tropiska skogens, upptag. Sannolikt har havets upptag minskat från 42 plus/minus 7 % under 1750-1994, till 37plus/minus 7 % under 1980-2005. Ökningen av koldioxiden i atmosfären kommer till omkring 75 % från vårt fossila användande. Upptaget i havet varierar med temperaturen och därmed latituden: den tropiska oceanen ger ifrån sig koldioxid, medan norra halvklotets hav utanför tropiska latituder har ett netto upptag av koldioxid, och den Södra Oceanen är den dominerande sänkan. En varmare ocean resulterar i ökning av koldioxid i atmosfären. Uppvärmningen av havet leder också till en ökande täthets skillnad mellan ytvattnet och de djupare lagren, vilket medför en minskning av det vertikala utbytet. Detta i sin tur innebär att mindre mängd näringsämnen som nitrat, fosfat, silikat, järn, tillförs ytlagret där fotosyntesen föregår. Detta innebär mindre växt plankton som föda till djur plankton och fisk larver, i slutändan mindre fisk produktion.

Cirkulationen i havet påverkar kustområdena liksom randhaven, genom vattenutbyte och tillförling av näringsämnen för primärproduktionen, med omblandning och vertikalt utbyte genom uppvällning och nedsjunkande vatten, och avsevärd frontbildning när kustvattnet når öppet hav. Dessa processer påverkas av topografin och angränsande landområden och avrinning från dessa, och drivs av tidvatten som kan vara mer eller mindre starkt, av vindar och lufttrycks variationer. Alla dessa processer påverkar havets ekosystem som också är starkt beroende av klimatet och dess variationer, likartat som på land. Havets ekosystem påverkar också i hög grad atmosfärens gassammansättning genom tillförel av syre, som vi beror av, kväveoxid, dimetylsulfid och sulfatpartiklar. Många återkopplingar finns och processernas fulla inverkan och samverkan är inte klarlagd. Här kan man nog förvänta sig överraskningar vad gäller resultatet. Således innebär den globala tillförlingen av sulfatpartiklar att den globala uppvärmningen, medeltemperaturen, blir och är lägre än vad man kunde förväntat genom ökningen av växthusgaserna.

Havets upptagning av koldioxid medför en försurning av vattnet. Detta är en mycket allvarlig effekt för ekosystemet, främst korallreven, och produktion av skaldjur, kräftor, krabbor. Detta beror av att koldioxiden omvandlas till kolsyra och pH värdet minskar något från medelvärdet av omkring 8. Detta har observerats. Det bör påpekas att försurningen inte direkt beror av klimatändringen. Uppvärmningen medför också mindre syre i vattnet och en snabbare förbränning av organiskt material tillfört genom primärproduktion, från atmosfären och genom avrinning från land, vilket också kan generera mer primärproduktion. Detta medför att de naturligt förekommande syrefattiga områdena i havet blir både mer syrefattiga och större, och att områden med lågt syreinhåll ökar i omfång och antal. Detta har observerats globalt och i våra närliggande områden, fjordar, vikar med begränsat vattenutbyte, och i Östersjöns djup- och bottenvatten. Havet blir syrefattigare vilket har stora konsekvenser för ekosystemet och sannolikt även vårt samhälle och vår livskvalitet. (Referenser: Securing the Oceans, kapitlet 5,6,7,8: Food from the Ocean: will it be enough; Other Ocean Resources; Weather, Climate, Forecasting and Climate Change; The Coast and Beyond: Multiple Use, Conflicts



and Management Challenges. Chua, T.-E, G. Kullenberg och D. Bonga editors, 2008; ISBN 978-972-812-022-4; Field et al 2002; UNESCO 2016; Plymouth Marine Laboratory 2017).

## Effekter av dessa förändringar på vårt samhälle

Hur påverkar dessa ändringar oss, samhället, vår närmiljö, hälsa och livskvalitet? Jag tänker på inverkan på infrastruktur, förhållanden vid kusterna, de stora städerna där, transport systemen, produktion av föda, vatten försörjning, el försörjning genom floder och dammar, vår hälsa och fysiska säkerhet, den biologiska mångfalden, väderleken, livskvalitet i sin helhet, och de ekonomiska förhållandena. Några av dessa är berörda i ovanstående avsnitt och jag vill peka på några ytterligare exempel.

**Nederbördsfördelning och färskvatten:** Genom uppvärmningen av hav, land, atmosfär tillförs atmosfären mer vattenånga och kan också ha procentuellt mer vattenånga än kall luft. Den latitudberoende uppvärmningen innebär att nederbördsförhållandena ändras, det hydrologiska kretsloppet ändras och därmed nederbörden i tid, rum och intensitet. Vattenångan kommer övervägande på våra latituder från havet. Den förändrade nederbördsfördelningen och mängden innebär att vattenbalansen på land och i floder ändras. Detta har stora effekter på flodernas förhållanden och dess användning i samhällets tjänst, för transporter på kontinenterna fisken och ekosystemet, dammanläggningar och dessas styrning och bevakning mot överbelastning. Floderna kan torka ut men också svämma över. Översvämningar blir vanligare och kraftigare, vilket vi också upplevt i vårt närområde, och under flera år på kontinenten. Detta beror också på att nederbörden och avrinningen från marken och landet är förskjutet i tid och sannolikt blir mer så; kraftig nederbörd med motsvarande flöde kan komma tidigare under perioden när marken kan vara frusen eller helt uttorkad och inte tar upp vattnet som då rinner direkt till åar, floder och dammanläggningar, vilka kan bli överbelastade medförande öppningar och oväntade flöden med möjliga översvämningar av närliggande land. Den hydroelektriska produktionen, vattenförsörjningen och bevattningen kan alla påverkas, liksom grundvattnets nivå. Detta har konstaterats i delar av de stora flodområdena i Asien och Nordamerika och i Europa. En omvänd effekt uppkommer under förlängda torkperioder då vattendjupet och flödet i floderna blir mycket lägre än normalt. Detta medför stora problem för godstransporten på floderna, till exempel i Tyskland, Frankrike i Europa, men även på andra kontinenter, och är ett väsentligt socioekonomiskt problem för stora delar av länderna som beror av flodtransporten, berörande jordbruk och flera industrier.

**Effekter på produktion och ekosystem:** En biologisk effekt av det mindre flödet och vattendjupet och det varmare vattnet är mindre syre för ekosystemet som påverkar fisken i floderna, som kan medföra att de dör och flyter upp. Jag har sett detta i Hiroshima under lång och varm torkperiod. Det har också nyligen påvisats i flodområden i östra Australien, under den senaste långa och varma torkperioden där. Här har vi en liknande effekt i Östersjön där uppvärmningen och förskjutningen i tid av vårblomningen medför ett ändrat planktonsamhälle med ökad mängd av blågröna alger, cyanobakterier, och förlängd algbloomning. Denna drivs också av i hög grad avrinningen från land genom floderna med förhöjt innehåll av vissa näringsämnen som förskjuter balansen mellan de viktigaste näringssalterna, kväve, fosfat och silikat. Detta påverkar hela ekosystemet genom mer och hastigare syreförbrukning med växande utbredning av de syrefattiga områdena i djup och bottenvatten, med döda botten som möjlig följd. Detta beror också på hur lång vattnets uppehållstid är, vilket visas helt klart i Östersjöns djuphålor såväl som i vissa tröskelfjordar, till exempel i Bohuslän. Hela vattenpelaren påverkas även genom att skiktningen ändras på grund av temperatur och salthaltsändringarna, vilket påverkar den vertikala omblandningen och syretillgången under ytlagret. Näringskedjan förändras likaså genom att andra djurplankton tillkommer, som påverkar fiskens förutsättningar. I vissa stora randhav till

exempel Gula Havet och delar av Japanska Sjön har detta drivit fram enorma mängder av mycket stora maneter. Överlevnad av fiskyngel påverkas och fiskproduktionen blir mindre, vilket kan ha stora konsekvenser för närliggande samhällen och för den regionala produktionen. Tillgången av marin föda påverkas också av fiskens vandring, sökande efter det temperaturintervall den är van vid. Det nya området kan visa sig mindre passande för reproduktion, till exempel genom andra djupförhållanden, topografi och hydrografi. Fisken har även minne vilket vi ju vet från ålens och laxens vandringar. Men detta gäller också valar. Dessa söker sig genom sedvaliga vandringar till områden där krillen, små kräftdjur, regelbundet förekommer i stor mängd efter vårblomningen av växtplankton. När hela denna process genom klimatändringen förskjuts i tid kommer valarna vid fel tid då krillen inte är där (Referenser: artikel i DN 27 februari 2019; och GP 27 februari 2019; Economist 2 mars 2019; IPCC special report on impacts 2018, och IPCC global report 2014; Kullenberg and Huber 2011; UNA-UK 2015; Arico, editor 2015).

Konsekvenser för födan från havet: Fiskens vandring medför att traditionella fiskeområden förskjuts. Detta kan leda till konflikter mellan fiskerionationerna. Vi ser nu indikationer på detta i Nordamerika- Kanada, i Asien och möjligen delar av Nordatlanten, och kan nog förvänta oss mera av detta. Globalt sysselsätter fiskeriet omkring 55 miljoner, ger protein till omkring 3 miljarder och har lett till att omkring 90 % av fiskebestånden är överfiskade. Ett stort problem utgör det illegala, odokumenterade och inte rapporterade fisket, som uppskattas motsvara omkring 20 % av alla landningar, med en omsättning av 16-36 miljarder dollar, Denna verksamhet bedrivs av ledande fiske nationer, i Syd kinesiska Sjön, Bengaliska Bukten och vid Patagonien (Bloomberg Business week 7 januari 2019). Internationellt och nationellt måste mera göras för att ett hållbart fiske skall uppnås. Det är återigen ett globalt problem som kräver en global lösning. Fisken påverkas även av alla andra belastningar vi lägger på havet förutom klimat ändringen, såsom förorening, fartygstrafik, turism, fritidsfiske, landreklamation , kustutnyttjande. Det är viktigt att tillse att föda från havet bevaras eftersom den utgör en enskild proteinkälla för många fattiga länder, för vår hälsa och vår hjärnas utveckling. Kontroll av fisket sker nu genom att fartygen kan följas, genom att hamnmyndigheterna har kontrollmöjligheter genom Port State Control konventionen. Men denna täcker inte många mindre hamnar i flera länder. (Referenser: Securing the Oceans chapter 4, Transportation across the sea and chapter 5, Food from the ocean; Azimi et al 2002; Rudd 2014).

Den biologiska mångfalden påverkas och ändras också av migrationen i havet. Denna framkallas inte bara av klimatet utan även av fartygstransporter, kanaler som Suez och Panama med flera. Vi har ju även här i Bohuslän upplevt många historiskt betydande perioder med hög tillgång av just sill från Nordsjön, liksom i Östersjön med växlingar mellan sill och torsk dominans. Dessa växlingar har även påverkats av klimatets fluktuationer. Nu kommer vandrare också på havsbotten och globalt genom transport med våra fartyg. Invaderande nya arter är ett växande problem trots att mycket gjorts internationellt vad gäller fartygstransporten och ballastvattnet. Problemet med invaderande arter blir sannolikt större med temperaturökningen och genom att nya transportleder öppnas, till exempel genom Arktis, tack vare ett varmare klimat. Det ändrade klimatet medför också att årstidernas inträffande förskjuts vilket innebär en ändring av tiden för vårblomning med produktion av växtplankton som primärföda för djurplankton och fisklarver. Detta kan påverka hela beståndet genom att tillgången av föda för vandrare fisk är ändrad i tid. Betydelsen av detta har nyligen påvisats vad gäller vandrare valar vid Amerikas västkust. Dessa går efter minnet och tiden när krillen normalt förväntas blomma. Koordinationen i systemet är viktig och den förskjutning som nu indikeras kan få allvarliga konsekvenser för vårt samhälle. Den ändrade vertikala skitningen med mindre näringsämnen till ytlagret i öppna havet har medfört en mindre primärproduktion vilket också leder till mindre eller annorlunda produktion högre upp i kedjan. Uppvärmningen i havet har alltså många möjliga konsekvenser för oss människor, för säkerheten, födan, infrastrukturen, transportsystemet och vår miljö. Detta märks kanske mest direkt på förhållandena vid kusterna. Vi svarar för förorening och nedskräpning, och havet tar igen genom att utvidga sig. Uppvärmningen och den ökade

avrinningen från smältande glaciärer leder till ett stigande hav (Referens UN 2016; UNA-UK 2015).

**Havsnivån och kustproblem:** Under 1900-talet steg havsnivån i medel globalt omkring 20 cm, alltså 2 mm per år; 1.8 mm fram till 1940, sedan 3.1 mm, nu 3.5-4 mm per år. Under värmeperioden för 130 tusen år sedan var polarområdena varmare än nu och havsnivån 4-6 meter högre. Vi bör förvänta oss, vara beredda på, i varje fall 1 meter under 2000-talet, och kanske mera. Detta kan bero på avsmältningen av inlandsisarna på Grönland och Antarktis (Referenser: IPCC med flera 2007; Economist, juni 2019; DN 3 juli 2019; WCRP 2006).

Ett stigande hav medför en märkbar inverkan på många kustområden, främst genom mera erosion, kraftigare översvämningar och stormfloder. Detta förstärks av kraftigare och sannolikt mer ihållande stormar och cykloner. Riskerna för flera omfattande lågt liggande landområden och önationer främst i Stilla Havet är stora. Vi ser redan markanta effekter av detta globalt, i Nordamerika, Afrika, Asien, i Stilla Havet, Europa och här i Sverige längs våra sydligare kuster. Från mellan-Sverige och norröver kompenseras fortfarande landhöjningen det stigande havet. Stora kostnader för kustskydd kan förväntas; 400 miljoner dollar har använts för att bygga skyddsmurar i Miami, Florida; flytande huskonstruktioner är invigda i Nederländerna, och i Göteborg har man tagit fram planer för skyddsmurar som man räknar med kommer att behövas. Globalt hotas många lågt liggande områden, till stor del i fattiga länder. Ett växande problem är de stora megastäderna vid kusterna som hotas av översvämningar och stormfloder (UNA-UK 2015). Det har uppskattats att omkring 800 miljoner människor kommer att påverkas. Vi vet att vi inte med nuvarande insatser kan skydda våra kuster tillräckligt. Detta gäller speciellt de stora kuststäderna genom nivåändringar både av stigande hav och sjunkande land, extrema väder situationer med kraftiga stormar. Samtidigt växer städernas befolkning, också här i våra länder. Städerna hotas av miljön och av den sociala utvecklingen. Vi måste planera för kraftigare, mer frekventa och ihållande stormar från väster, och genombrott av planetariska vågor från polar områden. Vi ser möjligen detta redan nu under de senaste åren, också i år. Detta styrs i hög grad från havet som påverkas av tryckdifferensen mellan Island och Azorerna. Den relativt högre uppvärmningen i norr kan medföra en ökning av skillnaden i lufttryck, den Nordatlantiska Oscillationen, som också visar en ökande tendens med variationer sedan 1960-talet, med stora variationer. (Referens Kullenberg et al 2015).

Kustområdet utgör omkring 10 % av landområdet men har 50-75 % av jordens befolkning. Kusterna utsätts för växande tryck från havet genom klimatändringen, men också från land genom ökande nederbörd, avrinning och extrem väderlek. Växande befolkning innebär också större uttag av marin föda, mer transport vid kusten, mer turism och rekreation, mer total belastning på ekosystemet. Det kustnära ekosystemet gör stora tjänster för oss förutom marin föda, rensning av vattnet, skydd mot översvämningar och vågor viktigt för erosion och infrastruktur: Vi använder också närområdet i havet för generering av vind och vågkraft och för akvakultur. Denna produktion växer även i Sverige, och ses som en möjlighet att tillgodose det växande behovet av marin föda, och möjligen kompensera för mindre produktion på land (Plymouth Marine Laboratory 2017). Men detta kräver rent vatten, inga föroreningar eller skräp, och omsorgsfull planering för områdets många olika aktiviteter och tjänster, med en styrning som är integrerad och anpassningsbar. Detta har visats av erfarenheter från omkring 1980-talet. Tillgången på marin föda, fisk och skaldjur påverkas av alla användningar och förstöring av kusternas ekosystem. Mest slående exempel på denna integrerade process är betydelsen av korallreven, som utgör ett av planetens viktigaste ekosystem. De påverkas av temperaturökningen, försurningen, nivåökningen, fiskeri, turism och nedskräpning. Stora korall områden är döende och vi riskerar att förlora alla korallrev. Betydelsen av detta globalt kan ännu inte anges. Vi vet emellertid att den biologiska mångfalden påverkas starkt och att många arter är utrotade eller hotas av utrotning. Detta har man tidigare observerat innan klimatändringens inverkan var främsta intresset, och försökt mota bland annat genom konventionen mot handel med utrotningshotade arter. I kustområdena kommer vår hälsa och livskvalitet att påverkas också genom algbloomningar,

möjliga mer giftiga eller hälsovådliga alger, som underhålls genom avrinning från land av skräp, gödsel, partiklar med en försämring av vattenkvaliteten, som inte bara påverkar oss utan även annat utnyttjande såsom akvakultur och avsaltning för färskvattenproduktion. Försurningen av havet ger en ytterligare negativ faktor för den marina produktionen också i kustområdena, av skaldjur och fisk. (Referenser: Securing the Oceans, kapitel 8; Coral reefs, artikel i NYT 12 juni 2019 av P. Tullis; flodproblem med för mycket eller för lite vatten: artiklar i NYT 12 juni 2019 och NYT 17 maj 2019; PEMSEA 2006).

**Finns hopp och hjälp:** Ja det finns bådadera, men aktion krävs på individuellt såväl som politiskt plan. Den bästa hjälpen är att vårt livsbeteende ändras, bland annat att vi nöjer oss med det vi verkligen behöver och inte alltid vill ha mer. Detta ligger i definitionen av hållbar utveckling, som säger att vi inte skall ta ut mer än vi behöver och se till att där finns tillräckligt för kommande generationer. Men ännu använder vi alltid mer än vi behöver. Andra aktiviteter som bör hjälpa är att de globala och regionala konventioner som vunnit laga kraft verkligen genomdrivs, implementeras. Detta gäller från Havsrättskonventionen till Östersjö eller Helsingforskonventionen och fiskeri konventioner. Det gäller också de Hållbarhetsmål som uppsatts för Agenda 2030. De flesta av dessa berör de problem som kort diskuterats här. Slutligen bör nämnas den betydelse för havet som den nya Havsforskningsdekaden 2021-2030 som deklarerats av FN förhoppningsvis får vad gäller mer vetenskaplig insikt och vetenskapligt baserade lösningar. Men även dylika måste för genomförande accepteras av regeringar och allmänhet. Mera satsning på anpassning till annat klimat behövs; ändringen sker snabbt och vi bör fråga oss om vi har tillräcklig tid för anpassning; tecken tyder på att detta inte är säkert (Science våren 2019, Berkeley Earth forskar grupp, NYT december 2018, visar snabbare uppvärmning än IPCC 2014).

## Referenser

Arico, S. Editor: Ocean Sustainability in the 21<sup>st</sup> Century. Cambridge University Press, Cambridge and UNESCO, Paris; 296 pp.

Asian Development Bank: The Economics of Climate Change in Southeast Asia: A Regional Review, April 2009;

Azimi, N., M. Fuller, H. Nakayama Sea and Human Security, Proceedings of an International Conference, Hiroshima, March 2002, LBJ School of Public Affairs, The University of Texas at Austin, 145 pp

Field, J.G., G. Hempel, C.P. Summerhayes, editors 2002 Oceans 2020: science, trends and challenge of sustainability. Island Press, Washington DC;

Helsinki Commission, HELCOM 2013 Climate Change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment un 2013. Baltic Sea Environment Proceedings No 137.

Intergovernmental Oceanographic Commission, International (UN) Decade of Ocean Science for Sustainable Development "Towards the Ocean we need for the Future we want", IOC/INF-1341, 23 January 2017.

Intergovernmental Oceanographic Commission Biennial Report 2014-2015, UNESCO 2016, (IOC/2016/AR/19)

Intergovernmental Panel of Climate Change 2007, och tidigare rapporter. Projected sea level rise for the twenty-first century.

Kullenberg, G. J-R. Mendler de Suarez, K. Wowk, K. McCole, B. Cicin-Sain 2008 Policy Brief on Climate, Oceans and Security, Global Oceans Conference 2008, by Global Forum on Oceans, Coasts and Islands.

Kullenberg, G. Human empowerment: Opportunities from ocean governance. *Ocean and Coastal Management* 53, 2010, pp 405-420.

Kullenberg, G. and M. E. Huber 2011, Final Evaluation Report of UNDP/GEF Project on Reducing Environmental Stress in The Yellow Sea Large Marine Ecosystem. UNDP/GEF/Yellow Sea.

Kullenberg, G., E. Carmack and K. Denman 2015 Physical and Chemical Changes in the ocean over basin-wide zones and decadal or longer time-scales: perspectives on current and future conditions; in Arico, editor 2015.

PEMSEA 2006. Terminal Evaluation Report; GEF/UNDP/IMO; ISBN 978-971-812-015-6.

Plymouth Marine Laboratory, Marine Science for People, Annual Review 2017, [www.pml.ac.uk](http://www.pml.ac.uk)

Ryabinin, V. Kullenberg G., med flera The UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development, *Frontiers Science*, section oceans, 31 July 2019

Rudd, M.A. 2014, Scientists' perspectives on global ocean research priorities. *Mar. Sci.* <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2014.00036>.

Stocker, T.F. 2015 The silent services of the world ocean. *Science*, 350; [doi.org/10.1126/science.aac8720](http://doi.org/10.1126/science.aac8720).

United Nations Association-UK 2015 *Climate 2020, Facing the Future* Witan Media Ltd, London, [www.witanmedia.com](http://www.witanmedia.com);

United Nations 2012 *The Future we want. Outcome document adopted at the UN Conference on Sustainable Development (Rio+10)*

United Nations: "Transforming our world: the v2030 Agenda for Sustainable Development", finalized text for adoption (1 August 2015)

United Nations 2016, *World Ocean Assessment 1: Summary of the First Global Integrated Marine Assessment*, 48 pp.

World Climate Research Programme 2006 *Understanding Sea-level Rise and Variability*, published by WMO/UNESCO/ICSU.