

HAVSUTSIKT

OM HAVSMILJÖN OCH SVENSK HAVSFORSKNING

Nr 2 | 2014



TEMA

Hav och klimat



FOTO: TONY HOLM/AZOTE

*Pust vad varmt det är,
jag känner mig helt urlakad!*

INNEHÅLL



FOTO: MÄRTIN ALMQVIST/AZOTE

Krönika	3
Än finns det tid	4
Östersjön i en varmare framtid	6
Ett ekosystem i ständig förändring	9
Syrefria bottenar	12
Foraminiferer – klimatets historieberättar	15
Hur påverkas djuren i havet av försurning?	18
Abborren i en varmare framtid	21
Tånglake	24



Vi har fortfarande tid att bygga en bättre och mer hållbar värld. Vi har fortfarande tid att undvika de allvarligaste effekterna av klimatförändringen. Men vi har väldigt lite av den tiden.

RAJENDRA K. PACHAURI, ORDFÖRANDE IPCC

HAVSUTSIKT

HAVSUTSIKT ges ut av Stockholms universitets Östersjöcentrum och Umeå marina forskningscentrum, Umeå universitet. Fokus ligger på forskning om havet och havsmiljön, och artiklarna skrivs mestadels av forskare vid de svenska lärosätena. Havsutsikt utkommer med två nummer per år.

REDAKTIONSRÅD

Tina Elfving, Stockholms universitet
Carl Rolff, Stockholms universitet
Annika Tidlund, Stockholms universitet
Jan Albertsson, Umeå universitet
Jonas Nilsson, Linnéuniversitetet
Susanne Pihl Baden, Göteborgs universitet

REDAKTION

Kristina Viklund, huvudredaktör
Umeå marina forskningscentrum
Umeå universitet
Norrbyn, 905 71 Hörnefors
090-786 79 73
kristina.viklund@umf.umu.se

Ulrika Brenner
Stockholms universitets
Östersjöcentrum
ulrika.brenner@su.se

Nastassja Åstrand Capetillo
Stockholms universitets
Östersjöcentrum
nastassja@su.se

PRENUMERATION

Kontakta redaktionen,
havsutsikt@havet.nu, eller anmäl på
www.havet.nu/havsutsikt, gäller även
adressändring. Att prenumerera är gratis.

GRAFISK FORM & ORIGINAL:

Maria Lewander/Grön idé AB

OMSLAGSFOTO:

Vikaresäl, en isberoende art som redan är
drabbad av klimatförändringarna.
Foto: Charlotta Moraeus/Azote.

ISSN 1104-0513

TRYCK Grafiska Punkten 2014.

UPPLAGA: 12 000 ex.

PAPPER: Arctic Volume,
115 och 170 g (FSC-märkt).



Tidningen kan även läsas och laddas ner på
www.havet.nu/havsutsikt



Stockholms
universitet



Varmare hav,
det tror jag att jag klarar!



FOTO: SHUTTERSTOCK

KRÖNIKA

Jag erkänner – jag har blivit en nörd

VARJE MORGON LETAR JAG MIG FRAM till ett par hemsidor för att få en ögonblicksbild över isläget i Arktis. Det har dessvärre blivit spännande, ja nästan som en thriller. Ska isavsmältningen slå rekord i år, som 2007 eller 2012? Kanske kommer, någon sommar under min livstid, isen helt vara borta. Internet erbjuder en möjlighet att studera förändringarna, på bekvämt avstånd från verkligheten. Men där uppe i Arktis finns en underbart skön värld full av sällsamma varelser. Elfenbensvita ismåsar trip-par omkring bland isbjörnar och valrossar. Valar blåser vattenkaskader ur sina andningshål. Bergiga öar är fyllda av fåglar som fortfarande kan finna föda i de rika haven - fåglar som lever huvuddelen av sina liv svävande strax ovanför vågtopparna. Längre norrut den eviga isen. Men hur evig?

KLIMATFÖRHANDLINGARNA under Klimatkonventionen, där jag arbetade i över 12 år, erbjuder en annan utsiktspunkt där man kan blicka över den politiska verkligheten. Där måste ett internationellt samarbete kring klimatproblemet tråcklas fram under ändlösa dagars och natters arbete med texter och samtal. Det går långsamt. Det är svårt. Samtidigt stiger halten av växthusgaser i atmosfären snabbt. Finns det inga genvägar? Ja, kanske genom att välmående och ambitiösa länder som Sverige visar vägen i praktisk handling och genom väl designade styrmedel och investeringar faktiskt bringar ner sina utsläpp. Därmed kan dessa länder förhoppningsvis visa att det går att minska utsläppen och ändå ha en god ekonomisk utveckling. Bara då blir de attraktiva exempel som andra mycket större länder vill följa. Men det finns gränser för det goda exemplet. Klimatfrågan är en global fråga och enskilda länder når till slut en gräns om de står ensamma. Det blir också dyrt om alla länder väljer sin egen väg. Internationellt samarbete och en gemensam internationell reglering krävs om utsläppen ska kunna halveras inom det närmaste halvsekle. EU har hittills drivit på för ett sådant samarbete och ett starkt ledarskap från unionen kommer att behövas också i framtiden.

MEN DE INTERNATIONELLA KLIMATFÖRHANDLINGARNA ÄR TRÖGA och påverkas dessvärre av stigande internationella spänningar och en tilltagande nationalism som sprider sig över stora delar av världen. Under min tid som klimatförhandlare genomfördes flera serier av möten med miljöministrar i avlägsna ofta spektakulära delar av världen. Inför Köpenhamnsmötet tog Danmark initiativet till en process kallad Grönlandsdialogen, därför att den började och avslutades i det lilla samhället Ilulissat på Grönlands nordvästra kust. Ett av mötena hölls i Riksgränsen. Ett annat i El Calafate i Patagonien. Min erfarenhet är att något händer när människor lämnar förhandlingarnas konferenslokaler och förflyttar sig ut till de miljöer där klimatförändringarna först kan iakttas. Haven och kusterna i norr och i söder ger kanske den bästa illustrationen idag. Naturens skönhet berör och det uppstår ett nytt samtal med andra utgångspunkter än de som dikteras av delegaternas instruktioner. Låt oss hoppas att de som idag driver förhandlingarna inför det mycket viktiga mötet i Paris i december 2015 utnyttjar liknande grepp. De kommer att behövas.



Anders Turesson



FOTO: GUNNAR SELBOLD

ANDERS TURESSON var Sveriges förhandlingschef i klimatförhandlingarna under åren 2001–2011. Därefter har han bland annat arbetat som huvudsekreterare för Miljöforskningsberedningen. Privat är han en hängiven fågelskådare.

Att hejda klimatförändringarna är bara möjligt genom gemensamma insatser och ett internationellt samarbete.

R.K.PACHAURI, ORDFÖRANDE FÖR IPCC

Än finns det

I början på november publicerades den femte rapporten kring klimatförändringar som IPCC producerat. Bakom rapporterna ligger ett omfattande arbete världen över, där över 30 000 vetenskapliga arbeten syntetiserats av 830 författare från drygt 80 länder. Den femte rapporten är en syntes av tidigare rapporter, med tydliga budskap till beslutsfattare världen över.

I rapporten slås fast att klimatförändringarna är orsakade av människan, och att effekterna märks över hela jordklotet. På grund av våra utsläpp av bland annat växthusgaser har atmosfären och haven värmts upp, mängden snö och is minskat, och havsnivån höjts de senaste 60 åren.

Om ingenting görs kommer läget snabbt att förvärras. Uppvärmningen kommer att eskalera, och effekterna kommer att påverka alla delar av ekosystemet och på alla nivåer i vårt samhälle. Alla länder kommer att påverkas, men problemen blir större för de mindre utvecklade länderna, som har sämre möjligheter att hantera situationen.

Går att begränsa

Det har aldrig varit viktigare med internationellt samarbete. Men det är ingen enkel fråga att hantera när det kommer till kostsamma åtgärder, eftersom det väcker svåra frågor kring rättvisa mellan länder. De länder som drabbas hårdast är i många fall länder som bidragit allra minst till problemet.

Ett viktigt budskap från IPCC är att det fortfarande finns möjligheter att begränsa den pågående uppvärmningen till två grader. Det förutsätter att utsläppen kraftigt begränsas de närmaste decennierna. Utsläppen behöver minska med mellan 40 och 70 procent till år 2050, för att år 2100 vara i det närmaste noll.



tid



FOTO: IPCC

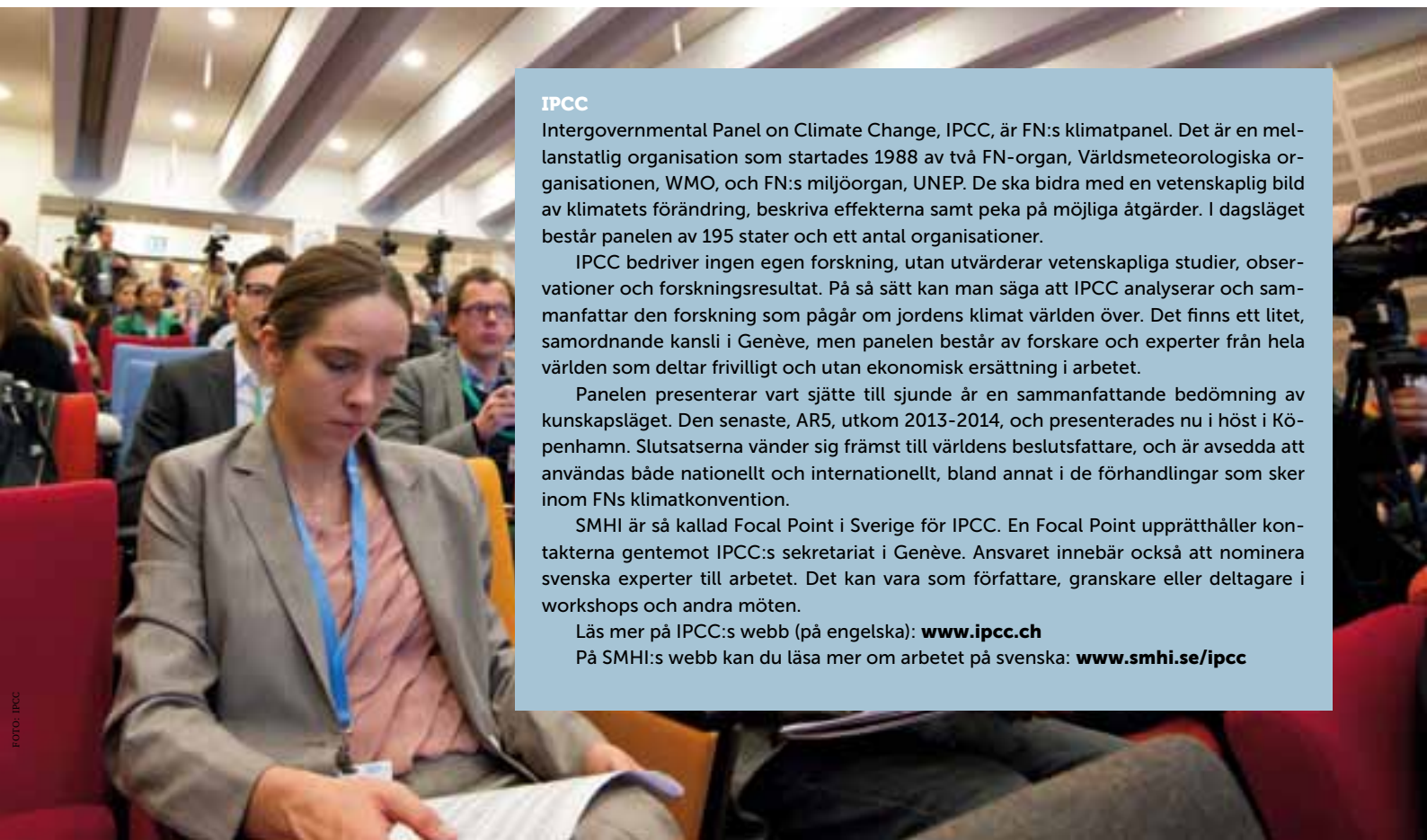
Kraftfullt samarbete krävs

Är detta omöjligt? Inte alls, enligt IPCC. Tekniken finns, kostnaderna är förhållandevis låga, och än har inte tiden runnit ut. Allt som krävs, enligt IPCC:s ordförande R.K.Pachauri, är viljan att förändra. Förhoppningsvis kommer IPCC:s rapporter att ge tillräckligt underlag för att motivera till ett kraftfullt, internationellt samarbete för att globalt hejda utvecklingen. *ℓ*

Redaktionen



FOTO: IPCC



IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, är FN:s klimatpanel. Det är en mellanstatlig organisation som startades 1988 av två FN-organ, Världsmeteorologiska organisationen, WMO, och FN:s miljöorgan, UNEP. De ska bidra med en vetenskaplig bild av klimatets förändring, beskriva effekterna samt peka på möjliga åtgärder. I dagsläget består panelen av 195 stater och ett antal organisationer.

IPCC bedriver ingen egen forskning, utan utvärderar vetenskapliga studier, observationer och forskningsresultat. På så sätt kan man säga att IPCC analyserar och sammanfattar den forskning som pågår om jordens klimat världen över. Det finns ett litet, samordnande kansli i Genève, men panelen består av forskare och experter från hela världen som deltar frivilligt och utan ekonomisk ersättning i arbetet.

Panelen presenterar vart sjätte till sjunde år en sammanfattande bedömning av kunskapsläget. Den senaste, AR5, utkom 2013-2014, och presenterades nu i höst i Köpenhamn. Slutsatserna vänder sig främst till världens beslutsfattare, och är avsedda att användas både nationellt och internationellt, bland annat i de förhandlingar som sker inom FNs klimatkonvention.

SMHI är så kallad Focal Point i Sverige för IPCC. En Focal Point upprätthåller kontakterna gentemot IPCC:s sekretariat i Genève. Ansvaret innebär också att nominera svenska experter till arbetet. Det kan vara som författare, granskare eller deltagare i workshops och andra möten.

Läs mer på IPCC:s webb (på engelska): www.ipcc.ch

På SMHI:s webb kan du läsa mer om arbetet på svenska: www.smhi.se/ipcc

FOTO: IPCC



Östersjön

i en varmare framtid

Övergödning, blågrönalgbloomningar och döda havsbottnar är omtalade problem i dagens Östersjö. Stora ansträngningar görs i samhället för att försöka åtgärda dem. Samtidigt pågår en klimatförändring. Frågan är hur den kommer att påverka algbloomningar och bottendöd?



Anabaena sp, en av de cyanobakterier som ställer till med bekymmer i Östersjön. »

Östersjön är ett relativt ungt innanhav med 85 miljoner människor boende inom dess avrinningsområde. På grund av det ringa utbytet av vatten med Nordsjön stannar det som släpps ut i Östersjön kvar där länge, 30-50 år, vilket är en av orsakerna till att Östersjön är känslig för mänsklig påverkan. Utsläpp av näringsämnen är ett av de största miljöproblemen. Det har lett till övergödning och en stor utbredning av syrefria bottenar.

Ett bräckt och skiktat vatten

I Östersjön blandas färskvatten från flera stora älvar och floder med salt vatten som härstammar ifrån Nordatlanten. Det resulterar i ett vatten som varken är salt eller sött, utan bräckt. Salthalten i ytvattnet går från nästan noll i norra Bottenhavet till 12 promille vid Öresund och de danska Bältsunden. I de stora oceanerna är salthalten ungefär 34 promille.

Färskvattnet blandas dock inte helt med saltvattnet. Eftersom vattnet är

tyngre ju saltare det är, rinner det salta vatten som kommer in från Kattegatt längs botten av Östersjön och lägger sig under det sötare ytvattnet. Detta skapar en skarp skiktning, en så kallad haloklin, som ligger på cirka 60-70 meters djup i Egentliga Östersjön. Haloklinen fungerar som en barriär mellan djupvatten och ytvattnet, vilket gör att ingen större blandning sker mellan de två vattenmassorna.

Drabbas lätt av syrebrist

När döda växter och djur sjunker ner till botten och bryts ner förbrukas syre. Om botten ligger under haloklinen kan inte nytt syre blandas ner från ytvattnet. Det enda sättet som nytt syre kan tillföras på är genom nya inflöden av salt och tungt bottenvatten från Kattegatt. Dessa inflöden sker vid speciella väderförhållanden och inträffar den senaste tiden inte så ofta, ungefär vart tionde år. Det gör att Östersjöns bottenar lätt drabbas av syrebrist.

Övergödningen förvärrar situationen

med syrebrist. Det senaste seklets ökade utsläpp av näringsämnen som kväve och fosfor har lett till en ökad tillväxt av fintrådiga alger, växtplankton och cyanobakterier, så kallade blågröna alger. Därmed sjunker allt mer döda växter och djur ner till botten och syret tar slut allt snabbare.

Tar lång tid att åtgärda

Utsläppen av näringsämnen till Östersjön har minskat sedan 1980-talet. År 2007 skrev dessutom länderna runt Östersjön under Aktionsplanen för Östersjön, Baltic Sea Action Plan. Därmed har länderna förbundit sig att förbättra Östersjöns miljöstatus till år 2021, genom att bland annat minska utsläppen ytterligare.

Trots det har utbredningen av syrefria bottenar i Östersjön inte minskat. Det beror delvis på den långa tid det tar att byta ut Östersjöns vatten, men också på naturliga processer i havet. Ett exempel är att bottenar utan syre frigör näringsämnet fosfor. Det ger i sin tur en ökad blom-

MODELLERING OCH KLIMATSCENARION – HUR FUNGERAR DET?

Modeller för atmosfären och havet används idag världen över för forskning och väderprognoser. De är baserade på en uppsättning ekvationer, som i sin tur är baserade på fysiska lagar och som beskriver rörelser hos både luft och vatten. För att modellera vad som händer i ett havsområde eller i atmosfären räknar man ut dessa ekvationer i ett tredimensionellt fält, en grid, som man lägger över det område man vill studera.

Östersjömodellen som används på SMHI har 619 gridrutor i öst-västlig riktning, 523 gridrutor i syd-nordlig riktning och 56 gridrutor i djupled. Totalt är det strax över 18 miljoner punkter man löser ekvationerna på. Vid en simulering gör man det inte bara en gång, utan ekvationerna räknas ut för var sjätte simulerad minut. Dessa beräkningar kan inte göras på en vanlig laptop eller skrivbordsdator utan måste göras på en stor dator, t.ex. ett kluster, vilket är flera hundra ihopkopplade skrivbordsdatorer.

För klimatsudier kör man modellen fram till år 2100 och undersöker hur utsläppen av koldioxid och närsalter kommer att påverka miljön i framtiden. Eftersom man inte vet exakt hur utsläppen kommer att utvecklas testar man flera olika scenarier där man varierar storleken på utsläppen.

« En blomning av cyanobakterier, blågrönalger, i Östersjön. Ett varmare klimat väntas leda till mer kraftfulla blomningar av växtplankton, särskilt av cyanobakterier som trivs i varmt vatten.

ning av cyanobakterier som så småningom sjunker ner till botten och förbrukar syre vid sin nedbrytning.

Det krävs därför mycket tålmod och många år av ytterligare minskning av utsläppen för att Östersjön ska nå en bättre miljöstatus.

Klimatmodeller kan ge svar

Frågan är hur klimatförändringen kommer att påverka dessa ansträngningar att förbättra Östersjöns miljötillstånd. Kommer en varmare värld att hjälpa oss i våra ansträngningar, eller kommer det rentav att ha en motsatt effekt? Ett sätt att försöka räkna ut det är att använda sig av klimatmodeller.

Modellsimuleringar visar att klimatuppvärmningen kan ge en förhöjning av medeltemperaturen i Östersjöns ytvatten på två till fyra grader innan 2100. Mycket tyder på att ett varmare klimat kan leda till en ökad nederbörd i norra Europa. Det gör att mer färskvatten rinner ut ur floder och älvar, vilket i sin tur gör att salthalten i Östersjön minskar med troligen en till två promille. Denna salthaltsminskning verkar bli lika stor över hela djupet, och den permanenta haloklinen kommer fortfarande att finnas kvar. Inflödena av salt och syrerikt djupvatten kommer troligen inte att förändras så mycket.

Förändringar i den fysiska miljön går inte obemärkt förbi, utan kommer även att påverka kemin och biologin i havet. Uppvärmningen förväntas leda till tidigare och mer kraftfulla blomningar av växtplankton, speciellt cyanobakterier, då de trivs i varmare vatten. Det kan förvärra syrebristen eftersom alla dessa alger så småningom dör, faller till botten och bryts ner. Ett varmare hav leder även till att mindre syre kan lösa sig i vattnet vilket ytterligare skulle förvärra syresituationen.

Tre olika scenarion

På SMHI har flera modellsimuleringar gjorts för att försöka förutsäga hur syresituationen på Östersjöns botten skulle kunna bli i denna klimatuppvärmda framtid. De framtida utsläppen av näringsämnen och den därmed följande övergödningen är i detta sammanhang av avgörande betydelse för resultaten.

I det första scenariot följs åtgärdsplanen och utsläppen av näringsämnen minskas i enlighet med överenskommelsen i Aktionsplanen för Östersjön. Tyvärr skulle effekten av ett varmare klimat motverka dessa åtgärder, och det finns en risk att utbredningen av syrefria botten ändå kommer att ligga kvar på en liknande nivå som idag.

I det andra scenariot hålls utsläppen av näringsämnen kvar på samma nivå som idag. Syresituationen skulle ändå försämrats till följd av uppvärmningen. Detta skulle ske främst i Egentliga Östersjön och Rigabukten, men även delvis i kustnära områden i Bottenhavet.

Inget önskvärt scenario

I det sista scenariot simuleras ett ökat utsläpp av näringsämnen till havet till följd av en ökande befolkning och ett intensifierat jordbruk. Det resulterar i att syrehalterna i nästintill hela Östersjöns bottenvatten minskar kraftigt.

Trots dessa ganska nedslående resultat pekar allt på att samhällets ansträngningar för att åtgärda utsläppen av näringsämnen och den därmed följande övergödningen är av stor betydelse för Östersjöns framtida miljötillstånd. En framtid där algblomningar och döda botten är ännu mer dominerande än i dag är inte önskvärd. ☹

TEXT OCH KONTAKT:

Filippa Fransner, Meteorologiska institutionen, Stockholms universitet

Markus Meier, SMHI & Meteorologiska institutionen, Stockholms universitet, filippa@misu.su.se



☞ En syrefri, död, botten i Kattegatt. Modellsimuleringar visar att vi i framtiden i bästa fall kommer att ha lika mycket syrefria botten som idag. Utan kraftfulla åtgärder kommer situationen istället att förvärras.



☞ Ett intensifierat jordbruk i Östersjöns avrinningsområde kan ge ökade utsläpp av näringsämnen.



Varmare vatten och mindre is kommer att få den viktiga vårblomningen att starta tidigare i en klimatpåverkad framtid. Det mesta tyder dock på att marina bakterier kommer att utgöra en allt större del av födovävens bas.

Ett ekosystem i ständig förändring

Östersjöns ekosystem har under ganska lång tid utsatts för övergödning, överfiske, miljögifter och främmande arter. Nu påverkats Östersjön också av ett förändrat klimat, som i många fall kommer att interagera med dessa redan befintliga miljöhot. Stora forskningsprogram har under de senaste åren arbetat med att försöka förutsäga vad som kan komma att hända. Ekosystemförändringarna kommer i hög grad att påverkas av om vi lyckas rätta till problemen eller om vi fortsätter som förut.

Klimatprognoserna säger att vattnet kan komma att bli två till fyra grader varmare inom de närmaste hundra åren. Den största ökningen förväntas ske i de norra delarna av havsområdet. Det kommer att föra med sig att istäcket minskar drastiskt, ungefär 50-80 procent. Dessutom kommer det att regna mer. Det ger mer sötvatten till havet, vilket leder till att salthalten minskar med en till två promille i stora delar av Östersjön. Nederbörden kommer också att föra med sig mer humusämnen och annat organiskt material från land till havet, framför allt i norr.

Födoväven påverkas

Dessa grundläggande fysikaliska och kemiska förändringar kan leda till en hel del förändringar. Här följer några av slutsatserna, med särskilt fokus på förändringar i Östersjöns födoväv och i ekosystemets dynamik.

I basen för födoväven finns mikroorganismer som tar upp lösta näringsämnen direkt ur vattnet genom sina ytmembran. Där finns både fotosyntetiserande växtplankton, och bakterier som

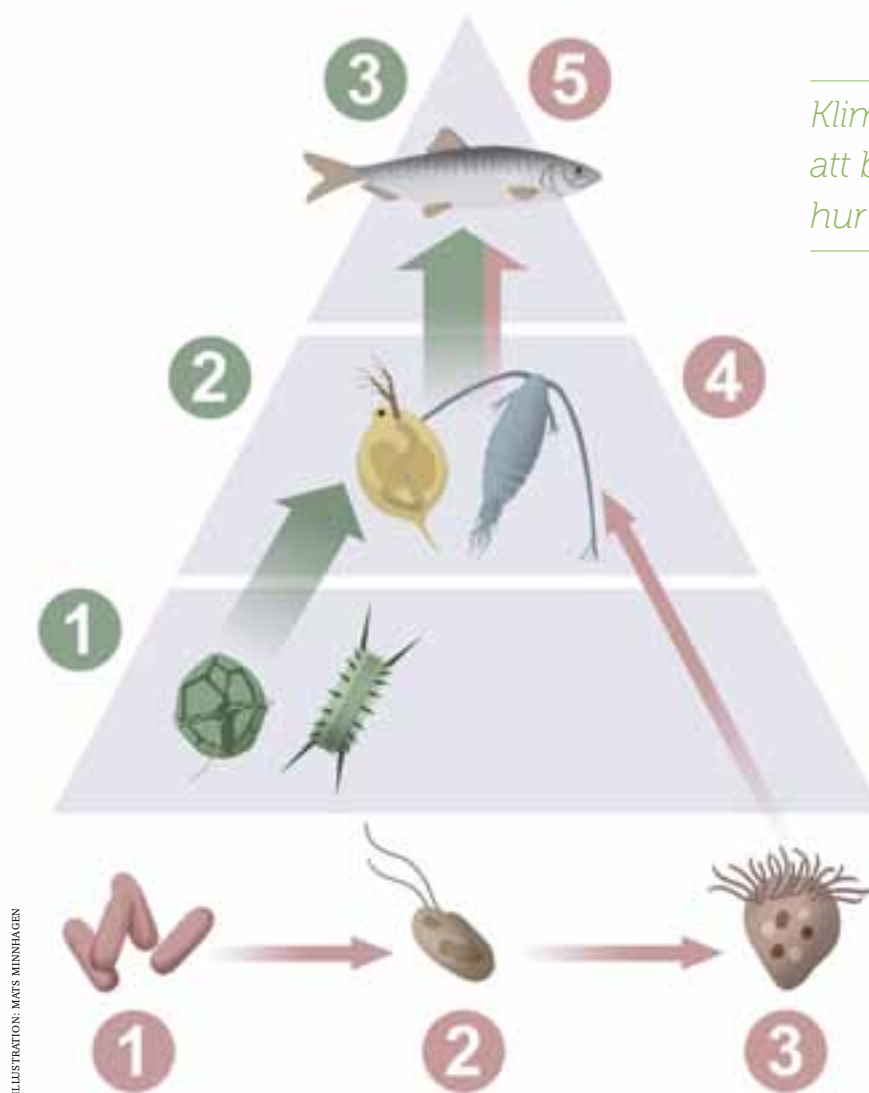


ILLUSTRATION: MATS MINNHAGEN

Klimat effekterna kommer förstås att både påverka och påverkas av hur vi hanterar vår havsmiljö.

« I figuren illustreras två olika näringskedjor. Gröna siffror och pilar visar den klassiska näringspyramiden där växtplankton (1) äts av djurplankton (2) som utgör föda för fisk (3). Bruna siffror och pilar visar den bakteriella näringskedjan, som sannolikt kommer att få allt större betydelse i ett klimatpåverkat hav. Där äts bakterier (1) och små växtplankton av flagellater (2) och ciliater (3) och först i ett fjärde steg kommer djurplankton (4) och därefter fisk (5). Eftersom en mycket stor del av energin, 70-90 procent, går förlorad vid varje trofiskt steg, kommer den bakteriella kedjan inte att producera så mycket fisk.

lever på organiskt material. Eftersom förändringar i basen brukar få konsekvenser i flera steg är det särskilt viktigt att försöka förstå vilka effekter klimatförändringarna får för dessa våra allra minsta.

Grunden för livet

Varje vår, när solen kommer åter och vattnet blir lite varmare, börjar växtplankton massföröka sig i det näringsrika vintervattnet. Denna vårblooming utgör grunden för allt liv i havet. Ett minskat istäcke innebär att solljuset når algerna tidigare på vårvintern än idag. Vårbloomingen kommer därför i framtiden att börja någon månad tidigare än idag.

Erfarenheter från miljöövervakningen säger oss dock att varma vintrar leder till en totalt sett mindre vårblooming, alltså en minskad produktion, och dessutom att kiselalger i stor utsträckning ersätts med dinoflagellater. Eftersom dinoflagellater inte sjunker till botten på samma sätt som kiselalger, så kommer djuren på botten att få mindre föda från vattenmassan.

Bakterierna vinner

Även det stora utflödet av humusämnen och organiskt material från land till Bottniska viken kommer att påverka den grundläggande produktionen. Det brunfärgade vattnet ger en skuggande effekt i havsvattnet, vilket påverkar fotosyntesen hos växtplankton negativt. Bakterierna däremot kommer att frodas eftersom det organiska materialet är en lämplig födokälla för dem.

Växtplankton och bakterier har ett komplext samspel i ekosystemet. De konkurrerar om lösta näringsämnen samtidigt som bakterier i grunden är beroende av det organiska kol som växtplankton producerar och utsöndrar. Forskning visar dock att om bakterier får tillgång till en annan kolkälla, exempelvis via ökad avrinning från land, kan de konkurrera mer framgångsrikt med växtplankton i upptaget av närsalter.

En näringskedja som grundas på bakterier istället för växtplankton innebär att en extra trofisk nivå inkluderas. Det blir mindre effektivt eftersom en stor del av energin går förlorad vid varje trofiskt

steg. Födovävens längd har därför stor betydelse för hur mycket fisk ett havsekosystem kan producera.

Mindre effektivt system

Lägre salthalt i Bottniska vikens djupvatten kan leda till ökad vertikal vattenomblandning. Det innebär att fotosyntetiserande växtplankton oftare kommer att hamna djupare än ljuset når, och att deras syreproduktion kommer att minska. Bakterierna, som troligen kommer att bli fler, är konsumenterna av syre. Detta kommer att orsaka lägre syrehalter i havsvattnet, vilket även det kommer att påverka produktionen hos bottenlevande djur negativt.

Somrarnas illa omtyckta blomningar av fotosyntetiserande cyanobakterier i Egentliga Östersjön kommer med stor sannolikhet att bli vanligare eftersom de trivs i varmt fosforrikt vatten. De bidrar genom sin kvävefixering med ett väsentligt tillskott av kväve till systemet, men är själva inte så populära som föda. Huvuddelen bryts ned av andra bakterier, vilket innebär att födovävens effektivitet

Mycket tyder på att framtidens Östersjö kommer att producera betydligt mindre fisk. Växtplankton kommer delvis att förlora sin fundamentalt viktiga roll. Bakterierna däremot kommer att frodas, framför allt i norr, eftersom den ökade avrinningen för med sig mer organiskt material från land som de kan livnära sig på. »



FOTO: TONY SVENSSON/AZOTE

ändå blir låg under sommarperioden.

Det mesta tyder således på att i Bottniska viken kommer den årliga växtplanktonproduktionen att minska, vilket i sin tur leder till minskad produktion hos bottendjur, djurplankton och i slutändan fisk. Den ökade bakterieproduktionen kommer inte att kunna kompensera för dessa förluster, eftersom näringskedjan blir längre och därmed mindre effektiv. Dessutom kommer den redan begränsade mängden syre i Egentliga Östersjöns bottenvatten sannolikt att minska ytterligare.

Stora förändringar

En minskad salthalt kommer att förändra artsammansättningen i Östersjöns ekosystem, speciellt i de norra delarna. I framtiden kommer vi att få se sötvattensarter ta mer plats än nu. Det gäller i alla grupper; bland växtplankton, bakterier och djurplankton såväl som hos fisk och bland större vattenväxter, där marina arter som ålgräs kan komma att ersättas med sötvattensarter i den kustnära zonen. Det är fortfarande osäkert om dessa

förändringar kommer att få några ytterligare konsekvenser för ekosystemet, och isåfall vilka.

Viktiga nyckelarter som blåstång och torsk förtjänar kanske lite extra uppmärksamhet i detta sammanhang. Den fleråriga blåstången kan å ena sidan komma att missgynnas av lägre salthalt, men å andra sidan gynnas av att vintrarna blir mildare och isskrapningen på klippor och stenar i grunda vatten minskar.

Däremot tyder det mesta på att torsken kommer att få det allt besvärligare. En lägre salthalt gör att problemen med torskens reproduktion kommer att förvärras. Dessutom verkar det bli mindre föda för denna bottenlevande fisk i framtiden. Utbredningen av syrefria bottenar blir större och produktionen av bottendjur minskar. Det finns en stor risk att ekonomiskt värdefull fisk kommer att minska i Östersjön.

Vi kan påverka

De här beskrivna förändringarna i ekosystemet är mycket komplexa, och då det är många variabler som interagerar

är detaljerna svåra att förutse. Klimateffekterna kommer förstås också att både påverka och påverkas av hur vi hantarer havsmiljön. Om vi kan få igenom en havsmiljöförvaltning som utgår från ekosystemet som helhet och lyckats åtgärda de allvarligaste miljöhoten så kommer vi kanske att fortsätta ha ett vackert och högproducerande hav med rik produktion av värdefull fisk. ?

TEXT OCH KONTAKT:

Agneta Andersson, Institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet
agneta.andersson@emg.umu.se

LÄS MER

EcoChange - Östersjöns ekosystemdynamik i ett klimatförändringsperspektiv
www.umf.umu.se/english/ecochange/

Syrefria bottenar

– orsakade av klimat, människa

Idag när stort fokus ligger på att lösa Östersjöns svåra miljöproblem pågår även en diskussion om hur länge vi människor påverkat vår omgivning i stor skala. Frågor har ställts om huruvida det är naturliga klimatförändringar eller mänskliga orsaker som ligger bakom utbredningen av Östersjöns syrefria bottenar i ett långt tidsperspektiv. Eftersom människan inte enbart påverkar utsläpp av näringsämnen till Östersjön utan även växthusgasutsläppen som förändrar klimatet, är det komplicerat att separera vilka symptom som orsakats av den globala uppvärmningen och vad som orsakats av utsläpp av näringsämnen.

Östersjön har alltsedan inlandsisen smälte bort påverkats av klimatets variationer. Temperaturhöjningen vid istidens slut resulterade i att inlandsisarna smälte, och enorma mängder vatten som varit bundet i dessa rann ut i havet. Detta höjde världshavens yta med cirka 120 meter. Inlandsisen hade också tryckt ner jordskorpan, och när isen smälte återhämtade sig jordskorpan från tyngden vilket märks än idag som landhöjning. Höjningen är påtaglig längs norra Östersjöns kust där nya grund dyker upp, trösklar mellan fjärdar blir grunda-



⤴ Den långa kolvlodsprovtagaren förbereds för att ta ett sedimentprov från havsbotten i Stockholms skärgård under fältsäsongen 2014.

re och vikar snörs av och isoleras från havet. I södra Östersjön däremot, längs med polska och tyska kusten, översvämmas landområden då landet här istället sjunker. Inlandsisens utbredning har både påverkat havsytans nivå och hur och var saltvatten har runnit in i Östersjönsänkan. Detta har resulterat i att Östersjön genomgått flera olika utvecklingsstadier med varierande salthalt.

Sedimenten ger svar

För att studera klimatpåverkan i ett längre tidsperspektiv behövs sediment som avlagrats på havsbotten. Man borrar och

tar upp långa sedimentkärnor som kan användas som ett geologiskt och historiskt arkiv. Sedimentet dateras med hjälp av radioaktiva isotoper, som kol-14 och bly-210, för att kunna säga när de upptäckta miljöförändringarna inträffade. Sammansättningen av olika arter av mikroskopiska kiselalger kan berätta om variationer i klimat och produktion. Ostörda, laminerade sediment, visar att syrehalten varit låg eftersom de inte rörts om av grävande botten djur. I sådana sediment kan man till och med analysera arternas säsongsvariationer och hur de förändrats mellan olika värmeter. Halten

Avsaknaden av grävande organismer på syrefria bottenar resulterar i att säsongsvariationer i sedimentationen avsätts som laminerade, randiga sediment. På bilden syns en sedimentkärna provtagen i Stockholms skärgård som varit syrefri de senaste 120 åren, minst. »

eller både och?



FOTO: ELINOR ANDRÉN

⤴ Under Medeltida klimatanomalin bevarades massiva blomningar av kiselalger som fossil i sedimenten. Artsammansättningen vid denna tid dominerades av varmvattenarten *Pseudosolenia calcar-avis* (ser ut som små sablar) och vilosporer av släktet *Chaetoceros* (påminner om små UFO:n) som visar på hög primärproduktion.

organiskt kol och biogent kisel samt stabila isotoper av kol och kväve kan berätta vilka havslevande organismer som bidragit till produktionen.

Tidigare syrefria bottenar

Syrefria bottenar kan uppstå när det finns mycket näringsämnen som ökar produktionen i havet. När allt ska brytas ned går det åt syre. Något som kan förvärra situationen är att man har en salthaltsskiktning, en haloklin, mellan saltare bottenvatten och sötare ytvatten. Detta gör att vattenmassorna inte blandar sig. I det övre lagret kan syre tillföras från luf-

ten, men i det undre krävs det nya inflöden av salt och syrerikt vatten för att tillföra syre. Kommer inga inflöden och stora mängder organiskt material ska brytas ner leder det till syrebrist i bottenvattnet.

Syrefria bottenar har funnits vid flera tillfällen i Östersjöns historia. Det är framförallt tre olika tidsperioder som kan utskiljas, vilka samtliga sammanfaller med ett varmare klimat. Det är dock delvis olika förklaringar till att dessa syrefria bottenar har kunnat uppstå.

Vid den första perioden med syrefria bottenar, för cirka 8 000-4 000 år sedan under den Holocena varmetiden, steg



FOTO: THOMAS ANDRÉN

nivån i världshaven och saltvatten strömmade in i Östersjösänkan. Ett torrare klimat med mindre mängd nederbörd som sammanföll med världshavens högsta nivå resulterade i Östersjöns saltaste stadie, det så kallade Littorinahavet, med en salthalt på troligen tolv promille i ytvattnet i centrala Östersjön, att jämföra med dagens sju. En haloklin bildades mellan det saltare bottenvattnet och det mer utsötade ytvattnet. Saltvattnet tillförde nödvändiga näringsämnen som gjorde att produktionen av alger och bakterier ökade. Det varmare klimatet gynnade förekomsten av cyanobakterier som redan vid denna tid skapade massiva blomningar. Spår av dessa finns bevarade som fossila pigment i sedimenten. Den ökade produktionen i kombination med en väl utvecklad haloklin gav upphov till syrefria bottenar.

Mänsklig påverkan?

Den andra perioden med syrefria bottenar infaller för cirka 2 000-800 år sedan, under den Romerska värmetiden och Medeltida klimat anomalien. Vissa forskare anser att utbredningen av syrefria bottenar under denna tid är nära knutet till en ökad vattentemperatur vilket resulterade i ökad cyanobakterieblomning och ökad produktion av alger. Andra hävdar att mänsklig påverkan kan ha spelat en stor roll, då befolkningens mängd under medeltiden fördubblades runt Östersjön. En större andel mark brukades och effektivare jordbruksmetoder resulterade i större tillflöden av näringsämnen till havet. Klimatmodeller visar att vattnet vid denna tid var varmare och mindre salt vilket orsakats av en ökad avrinning från land och starka västvindar som minskade saltvatteninflödena till Östersjösänkan. Eftersom en minskad salthalt borde leda till bättre syresättning av bottenarna istället för syrebrist, på grund av en försvagad haloklin, är det fortfarande oklart hur systemet fungerade vid denna tid.

De senaste tvåhundra åren fram till idag kallas den moderna värmeperioden. De syrefria bottenar som bildas under denna tid, och idag, sammanfaller med industrialiseringen, den globala uppvärmningen, en förändrad markanvändning, kraftig befolkningsökning och införande av konstgödsel efter andra världskriget. Det finns en stark koppling mellan mänsklig påverkan och Östersjöns problem med övergödning som resulterar i syrefria bottenar.

ÖSTERSJÖNS UTVECKLING

Ett förstadium till den Östersjö vi känner idag, Baltiska issjön, utvecklades för cirka 16 000 år sedan. Ett allt varmare klimat gjorde att den senaste inlandsisen började smälta, och en smältvattensjö bildades i södra Östersjön. Baltiska issjön som hade ett tidigt utlopp genom Öresund blev uppdämd när landhöjningen höjde marken ovanför vattenytan och issjöns yta började stiga. När inlandsisen smälte och lämnade norra spetsen av berget Billingen i Västergötland för 11 700 år sedan öppnades en passage över södra Mellansverige mellan Östersjösänkan och Västerhavet. En vattenmängd motsvarande en tredjedel av dagens Östersjön rann ut och sänkte issjöns yta med 25 meter på bara något år.

Smältvatten strömmade ut från Östersjösänkan i trehundra år men sedan trängde saltvatten från världshaven in, tillsammans med djur som röding, vikaresäl och skorv. Detta stadium i Östersjöns utveckling kallas Yoldiahavet efter en ishavsmussla vars skal man kan hitta i sedimenten från denna tid, *Yoldia arctica* (numer omdöpt till *Portlandia arctica*).

Den fortsatta landhöjningen gör att passagen västerut blir allt grundare och för 10 700 år sedan börjar vattenytan i Östersjösänkan att stiga eftersom inget vatten längre kan rinna ut. Eftersom heller inget saltvatten kan rinna in får vi ett nytt sötvattensstadium, Ancylussjön. Namnet kommer från en sötvattenssnäcka som var vanlig då, flodhättesnäckan *Ancylus fluviatilis*. Ancylussjöns yta fortsatte att stiga till för 10 300 år sedan när sjön sökte sig ett nytt utlopp i södra Östersjön via de tyska och danska sunden.

För 10 000 år sedan är Ancylussjöns yta i nivå med världshaven och bara några hundra år senare syns spåren i sedimenten av de första, svaga inflödena av saltvatten och nästa stadium av utveckling börjar.

Hela Östersjöbassängen är fylld med bräckt (blandning av sött och salt) vatten för ungefär 8 000 år sedan och detta stadium, Littorinahavet, har fått sitt namn från en strandssnäcka, *Littorina littorea*. Salthalten i Littorinahavet fortsatte att öka för att nå ett maximum för 6 000 år sedan och detta sammanfaller med den varmaste tiden och de högsta nivåerna i världshaven efter att inlandsisen smält bort. Efter denna tidpunkt börjar salthalten i Östersjön att minska. Littorinastadiet tog slut för 3 000 år sedan.

De senaste 1 000 åren av Östersjöns historia kallas ibland för Myahavet efter den nordamerikanska sandmusslan, *Mya arenaria*, som i larvstadiet följt med vikingaskeppens slagvatten. Den är därför inte bara ett bevis på tidig mänsklig påverkan på Östersjöns ekosystem utan också ett bevis på att de nordiska vikingarna var i Amerika långt före Columbus.

Ny forskning behövs

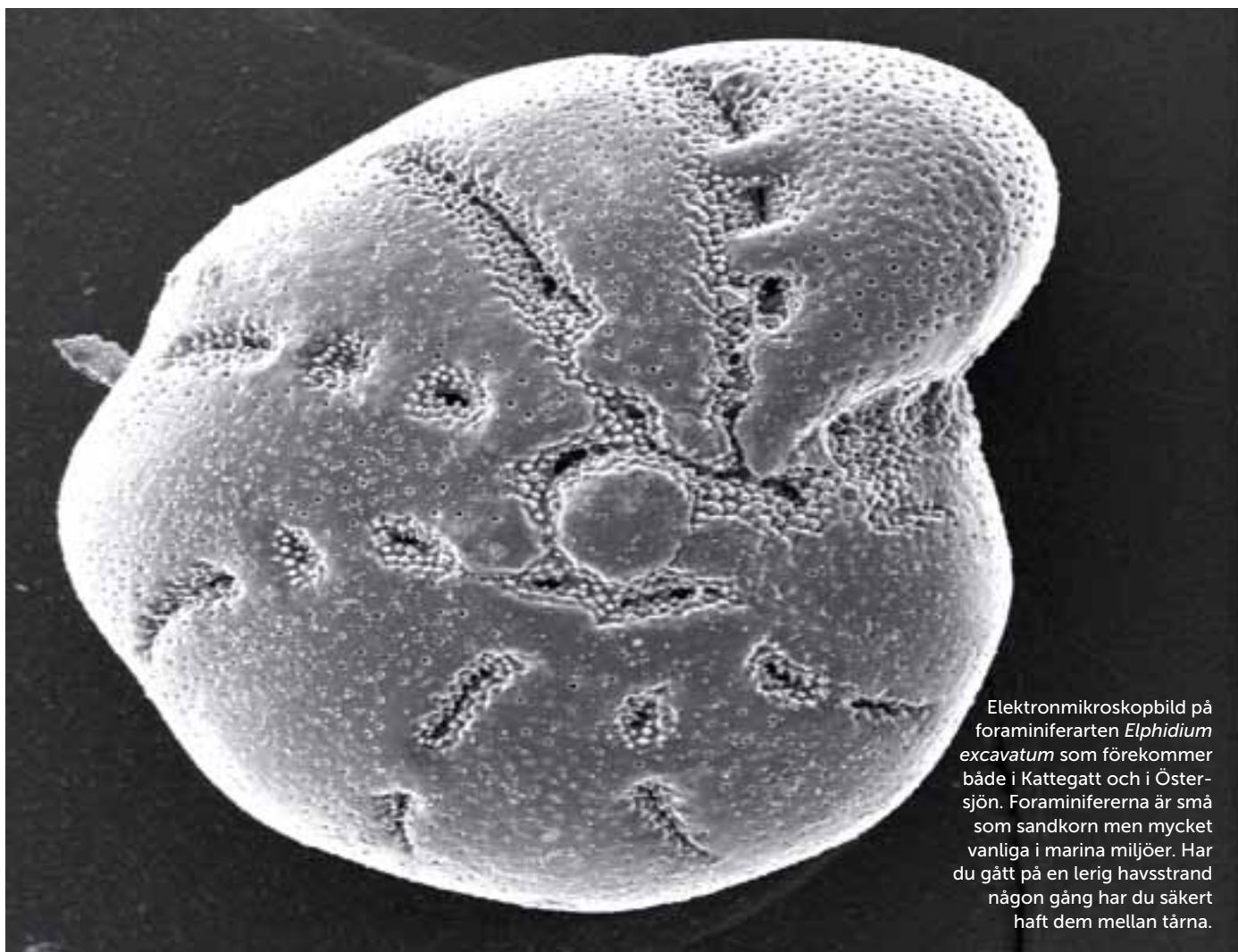
Modelleringar har visat att det varma klimatet under medeltiden inte till fullo kan förklara utbredningen av syrefria bottenar i Östersjön vid denna tid. I vår forskning ska vi nu studera kustnära områden där tecken på ändrad användning av marken kan förväntas synas först.

Den svenska sidan av Östersjökusten har goda förhållanden för sedimentavlagring, och ett antal fjärdar från Norrköping till Stockholm har provtagits. Sedimentet analyseras för att kunna påvisa när och i vilken grad effekten av mänsklig påverkan syns, och om möjligt särskilja denna från effekten av klimatpåverkan. Fjärdarnas laminerade sediment är tydliga spår av låga syrehalter under lång tid. Det som förutom näringsutflödet är viktigt för att syrefria bottenar ska uppstå i kustområdet är vattenomsättningen. Den styrs delvis av hur havsbotten ser ut i de enskilda fjärdarna och av hur vattendjupen förändras med den pågående landhöjningen. Som komplement till sedimentstudierna kommer vi även att titta på den historiska markanvändningen, bland annat genom studier av vegetationsutveckling och historiska kartor.

Jämförelser med öppna Östersjön kommer att göras för att studera om tidpunkten för den första miljöpåverkan skiljer sig mellan kust och hav. En världsunik borring som utfördes inom forskningsprogrammet IODP hösten 2013 gav oss en mer än hundra meter lång sedimentkärna från Östersjöns djupaste del, Landsortsdjupet. Den kommer att användas som bakgrund för hur öppna Östersjön har fungerat i ett föränderligt klimat. Förhoppningsvis kommer detta att ge svar på frågan om hur länge vi människor påverkat Östersjön i stor skala, och på hur stor del av syrebristen som orsakats av förändrat klimat och hur stor del som kan hänföras till mänsklig verksamhet ?

TEXT OCH KONTAKT

Elinor Andrén och Thomas Andrén, Institutionen för naturvetenskap, miljö och teknik, Södertörns högskola
elinor.andren@sh.se



Elektronmikroskopbild på foraminiferarten *Elphidium excavatum* som förekommer både i Kattegatt och i Östersjön. Foraminifererna är små som sandkorn men mycket vanliga i marina miljöer. Har du gått på en lerig havsstrand någon gång har du säkert haft dem mellan tårna.

FOTO: H. AUSTIN

Foraminiferer

– klimatets historieberättare

Det är nog många som har stått vid en havsstrand och tittat ut över havet, imponerats av mäktigheten och känslan av oändlighet. Det är svårare att tänka sig att det finns en hel värld där under havsytan, med djup som är djupare än vad Himalaya är högt. Här hittar vi också vårt viktigaste miljöarkiv. I havsbottens sediment, i leran på botten, finns en mängd olika mikrofossil som kan berätta om forna tiders klimat och havsmiljöer.

Marina sediment på havsbotten innehåller bland annat lera och sand, men även olika slags plankton och kalkskaliga mikroorganismer. Tillsammans utgör de ett viktigt och spännande miljöarkiv. Ett arkiv som kan berätta mycket om hur jordens klimat och olika havsmiljöer har varierat över hundratusentals år. Genom att borra långa sedimentkärnor tar vi upp en "mapp" från arkivet. Ju längre ner vi borrar, desto äldre blir kunskapen. När vi tittar i mappen hittar vi bland annat små, encelliga mikroorganismer, så kallade foraminiferer. De är ungefär lika stora som sandkorn. Det finns både planktoniska, som lever nära ytan, och bottenlevande foraminiferer. Det är deras skal, som ofta är av kalk, som gör att de bevaras i bottensedimenten när de dör. Hundratal efter hundratal år ligger de där, och de-

ras skal kan berätta hur haven har mått genom tiderna.

Kan berätta om havsmiljön

Havsvatten innehåller en rad olika grundämnen, alla i olika mängd. Grundämnena finns dessutom i olika former, så kallade isotoper. En del grundämnen, som syre, kalcium och magnesium och deras isotoper, byggs in i kalkskalerna när foraminifererna växer. Förhållandet mellan olika ämnen och deras isotoper varierar i skalen, bland annat beroende på vattnets temperatur och salthalt när de bildades. Genom att studera dessa ämnen och olika isotoper kan vi återskapa vattentemperaturer och salthalt hundratusentals år bakåt i tiden. Foraminiferer från olika havsområden har därmed lärt oss mycket om hur jordens klimat och olika havsmiljöer har varierat.

Hundratals efter hundratals år ligger de där, och deras skal kan berätta hur haven har mått genom tiderna.

I vår forskning vill vi nu förbättra vår kunskap om dessa viktiga historieberättare och bli bättre på att tolka dem. Genom att i detalj studera hur olika ämnen och deras isotoper byggs in i skalet på levande foraminiferer från Skagerrak och Östersjöområdet kan vi med större noggrannhet och exakthet säga hur exempelvis temperaturen har varierat. Vi kan även ta fram regionalt anpassade kalibreringskurvor som kan användas för att i detalj studera hur havsmiljön i Kattegatt och Östersjön har varierat.

Komplicerad forskning

Vi har nu provtagit bottenlevande foraminiferer på flera ställen i Kattegatt och Östersjön och analyserat vilka olika isotoper och ämnen de innehåller. Men ute i havet kan vi, av naturliga skäl, inte kontrollera omgivningen, utan miljöförhållandena blir vad de är när vi var ute till sjöss. Därför gör vi också experiment

inne på laboratoriet. Men att utföra dessa experiment under kontrollerade förhållanden är komplicerat. Det krävs specialdesignade odlingskammare för foraminiferer och rejält med tålmod och ut hållighet. Utrustningen finns än så länge inte i Sverige utan vi får flyga över med våra foraminiferer i kylväskor till University of St Andrews i Skottland. Där har vi odlat foraminiferer från Kattegatt och Östersjön vid tre olika salthalter och samma temperatur. Våra skotska odlingskammare har två inflöden och två utflöden och är kopplade till en stor reservoar med havsvatten så att vi får cirkulationen på vattnet. Vi stoppar vattenflödet regelbundet för att mata foraminifererna med mikro- och guldalger.

Hittills har vi genomfört två halvårslånga experiment där salthalterna har varierat mellan 16 och 33 promille. Efter det första experimentet 2013 kunde vi se att alla olika foraminiferarter hade



⌘ Artikelförfattaren tillsammans med en av sina medarbetare från University of St Andrews, David McCarthy.

växt till vid alla salthalter men att bara en enda art hade reproducerats sig. Det var individer från Östersjön med sin låga salthalt på 15 promille som hade blivit placerade i en odlingskammare med ungefär samma salthalt som finns i Kattegatts bottenvatten, 31 promille. Resultatet blev en rejäl babyboom och vi kunde notera över 2 600 individer i en kammare där det från början funnits runt 100 individer av olika arter. Vi tror att det här beror på positiv stress. Dessa foraminiferer i Östersjön lever precis på marginalen på grund av den låga salthalten och nu hamnade de plötsligt i en mycket mer gynnsam miljö med högre salthalt. Detta startade troligen den omfattande reproduktionen. Efter det andra experimentet 2014 har vi hittills hunnit noterat skaltillväxt av flera olika arter vid flera olika salthalter. Nu återstår det tidsödande arbetet med att analysera olika ämnen och isotoper i alla dessa foraminiferer.

Ny kunskap tas fram

Under 2013 genomfördes en stor havsexpedition i Östersjön inom ett internationellt forskningsprogram (ECORD/IODP). De borrade sedimentkärnor på nio olika stationer runt om i Östersjön och Kattegatt, och sammanlagt togs det upp över 1,6 kilometer med sedimentkärnor. Sediment som delvis innehåller foraminiferer och som i delar sträcker sig upp emot hundratusen år tillbaka i tiden. Nu arbetar forskare runt om i världen med att studera olika mikrofossil och andra sedimentvariabler som har återfunnits i dessa sedimentkärnor och bland annat analyserar vi i min grupp foraminiferer och deras skalsammansättning med avseende på stabila syre- och kolisotoper och olika ämneskvoter såsom magnesium/calcium.

Vi kommer här att kunna utnyttja de kunskaper vi har fått fram inom vår forskning för att i detalj studera hur havsmiljön i Kattegatt och Östersjön har

varierat, från att inlandsisen låg tjock över Skandinavien till att isen smälte av landet höjdes, den globala havsnivån höjdes och vi så småningom fick de hav som vi har till runt Sverige idag. Inom de närmsta åren kommer ny och mer detaljerad kunskap tas fram, kunskap som vi kan tacka de små historieberättarna foraminiferer för. 🐚

TEXT OCH KONTAKT

Helena L. Filipsson,
Geologiska institutionen, Lunds universitet
helena.filipsson@geol.lu.se

Följ Helena på twitter: [@helenafilipsson](https://twitter.com/helenafilipsson)



FOTO H. AUSTIN.

⤴ Tre odlingskammare med inflöden och utflöden, kopplade till en stor havsvattenreservoar. Här odlar vi de små kalkskaliga mikroorganismerna foraminiferer.

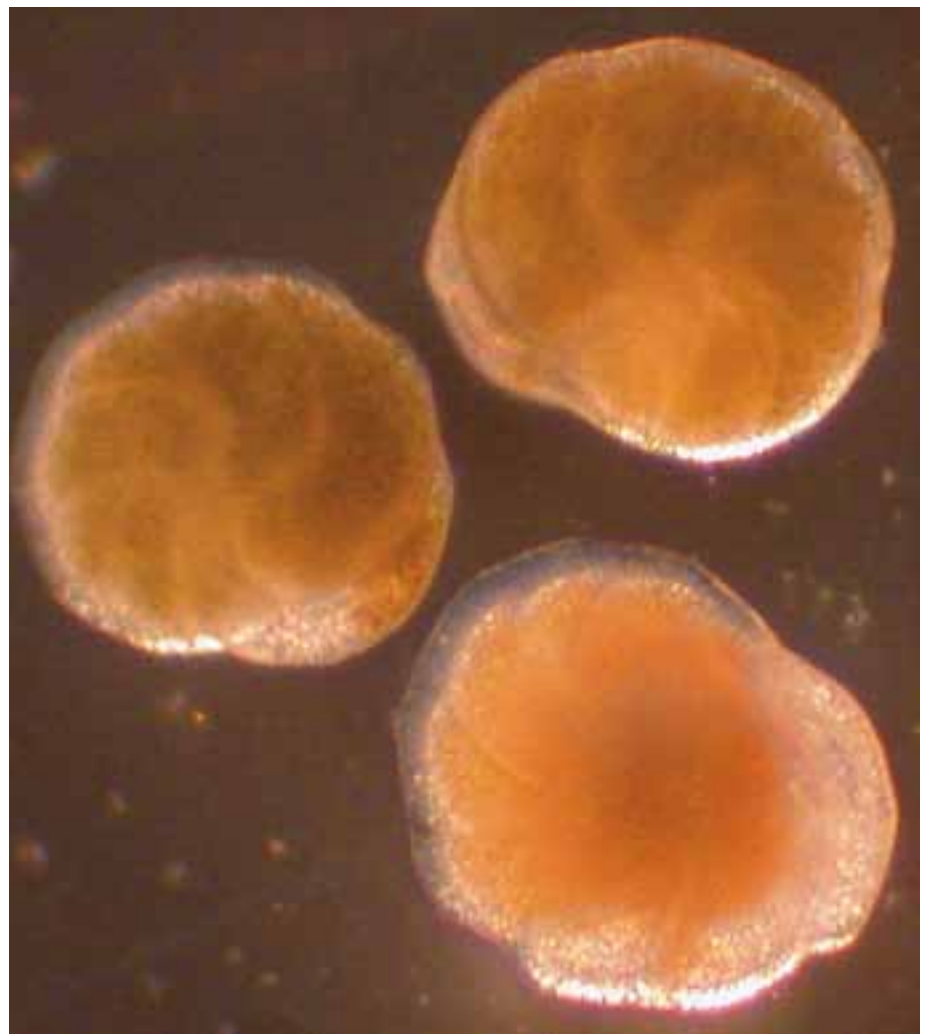


FOTO H. FILIPSSON

⤴ Här ser vi tre stycken *Cassidulina laevigata*, vilket är en bottenlevande foraminifer som är vanlig i Kattegatt men som inte finns i Östersjön. De här är från laboratoriet och har precis ätit guldalger, därav den bruna färgen.

En två millimeter lång hona av hoppkräftan *Pseudocalanus acuspes* med ägg. Våra studier visar att både ämnesomsättningen och äggproduktionen minskade hos hoppkräftor som utsattes för försurade miljöer.

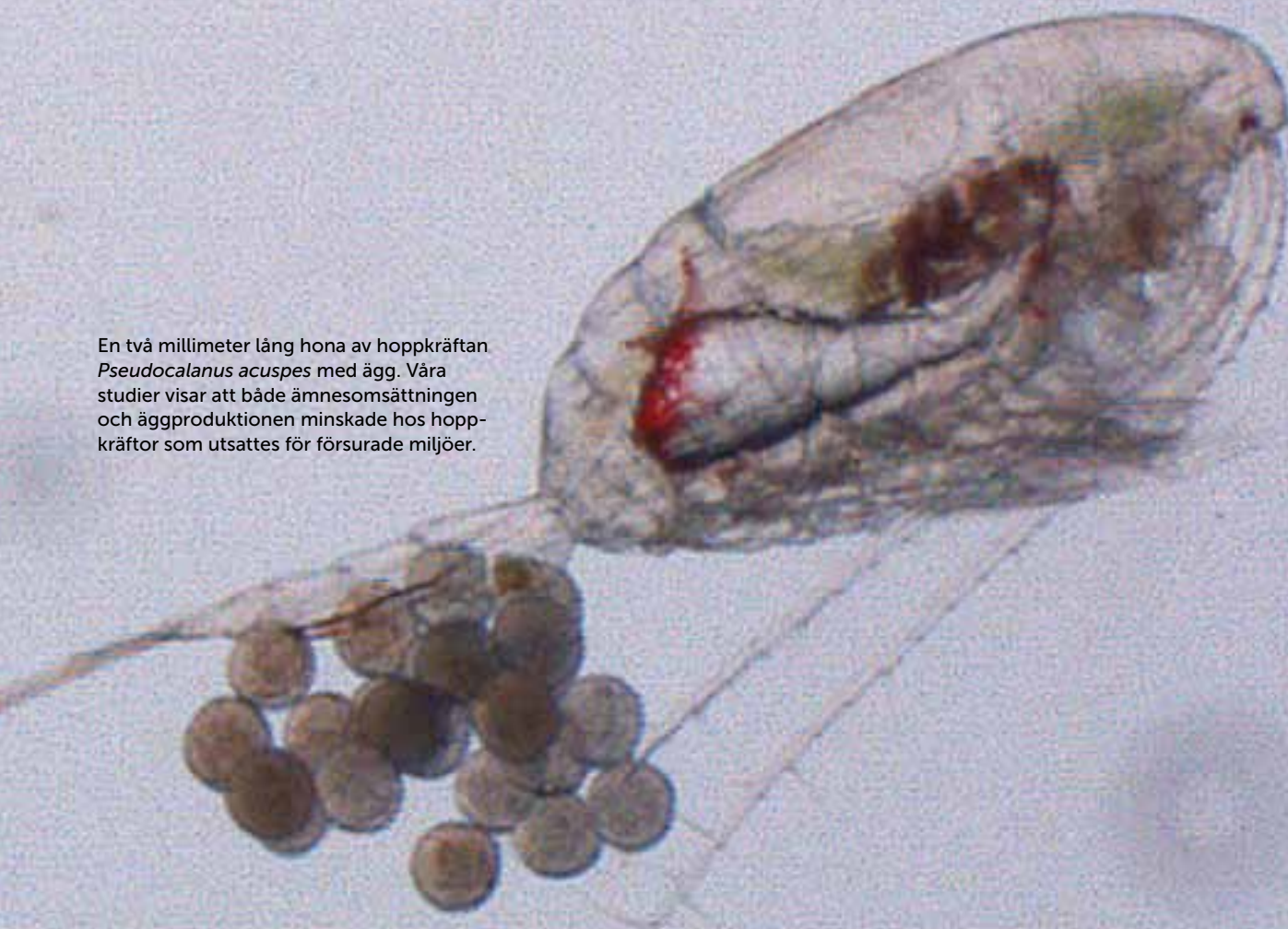


FOTO: PETER THOR, NORSK POLARINSTITUTT

Hur påverkas djuren i havet av försurning?

Våra utsläpp av koldioxid ökar i en oroväckande takt. Vi vet att en konsekvens är global uppvärmning, men det som antagligen är mindre känt är vad marina kemister kallar "det andra koldioxidproblemet". En tredjedel av den koldioxid som släpps ut absorberas av världens hav. I havet reagerar den med kalcium och vatten och bildar kolsyra. Detta gör att pH i oceanerna sjunker, och vi får en försurning.



FOTO: TOBIAS DAHLIN/AZOTE

« Ormstjärnor är viktiga som föda för många bottenlevande fiskar. Dessvärre är deras larver mycket känsliga för försurning, och dör efter bara några dagar i sura miljöer.

Under de senaste trehundra miljoner åren har pH-värdet i havets ytvatten varit någorlunda stabilt, med ett genomsnitt på cirka 8,2. Idag är det runt 8,1, en minskning som motsvarar en ökning i surhet med 25 procent under de senaste två århundradena. Oceanerna absorberar för närvarande cirka 22 miljoner ton koldioxid per dag. Prognoser baserade på dessa siffror visar att i slutet av detta århundrade kommer fortsatta utsläpp att ha minskat havets pH med ytterligare 0,5 enheter, vilket är mer än en fördubbling av surhet. Det finns en växande oro att denna havsförsurning kommer att påverka livet i havet på ett sätt som vi ännu inte kan förutse.

Många marina arter påverkas

Under de senaste decennierna har det blivit större fokus på detta globala problem. Många studier har visat skadliga

effekter, och vi vet nu att många marina arter påverkas när de utsätts för sänkt pH.

Vissa koraller överlever försurning och reproducerar sig, men kan inte underhålla sina skelett. Detta hotar i förlängningen själva korallreven och de ekosystem som de bildar basen för. Ormstjärnor, som utgör mat för många bottenlevande fiskarter, kan utrotas inom några årtionden eftersom deras larver dör efter bara några dagar i sura miljöer.

Den massdöd man sett hos vilda ostronpopulationer och i ostronkläckerier längs USA:s västkust tros bero på den pågående havsförsurning. Små kräftdjur, som hoppkräftor, har visat minskad överlevnad och tillväxt, samt en försvagad larvutveckling vid lågt pH. Hoppkräftor är en mycket viktig födokälla för majoriteten av fisklarver.

Kunskapsluckor

Havsförsurning studeras intensivt över hela världen. Allt eftersom vår kunskap om biologiska effekter har ökat har vi blivit medvetna om en del kritiska kunskapsluckor. För det första har det visat sig mycket svårt att fastställa allmänna regler för effekterna av försurning. Vi har upptäckt att närstående arter kan reagera väldigt olika på sjunkande pH, och det kan finnas skillnader även mellan geografiskt olika populationer av samma art. Dessutom vet vi nästan ingenting om hur marina populationer kan anpassa sig till försurning i framtiden.

På grund av den långsamma takt med vilken havsförsurning fortskrider i förhållande till de flesta djurarters generationstid, finns det ett visst utrymme för att naturlig selektion kan förekomma. Den kommer att gynna mer motståndskraftiga individer, och genom dessa kommer en ökad motståndskraft mot för-

urning att fortplantas till följande generationer.

Experiment på hoppkräftor

I vår forskning har vi tittat på en hoppkräftart, *Pseudocalanus acuspes*, som finns i stort antal i Nordatlanten, inklusive Skagerrak. I våra studier kunde vi se att både ämnesomsättningen och äggproduktionen minskade hos hoppkräftor som utsattes för försurade miljöer. Resultaten visade att äggproduktionen kan minska med 30 procent när hoppkräftorna utsätts för måttlig försurning, och upp till 60 procent när de utsätts för den pH-nivå som förutspåts till år 2100. Det finns alltså en stor risk att havsförsurningen kommer att påverka populationsstorlekarna av denna hoppkräfta negativt.

Tidigare studier har visat att effekter på djur längre ner i näringskedjan påverkar djur högre upp. I Östersjön har vi sett att förekomsten av en syskonart, hoppkräftan *Pseudocalanus elongatus*, har minskat på grund av klimatförändringar. Denna art är ett mycket viktigt byte för strömmingen, och på grund av denna nedgång har strömmingen tvingats att gå över till mindre gynnsamma hoppkräftarter som bytesdjur, vilket har begränsat dess tillväxt och därmed minskat strömmingsfisket i dessa vatten.

Kan marina djur anpassa sig?

Frågan är om hoppkräftor kommer att kunna anpassa sig till framtida havsförsurningsnivåer. Vi har riktat en del av vårt arbete mot denna fråga. Våra studier visar att populationer kan utveckla en viss motståndskraft mot försurning. Hoppkräftorna uppvisade bara en hälften så stor nedgång i äggproduktion när de under två generationer hade blivit tvungna att anpassa sig till den pH-nivå som förväntas år 2100.

En stor del av havsförsurningsforskningen riktas nu mot att öka vår kunskap om anpassningsförmågan i marina populationer. Vi vet att marina havsborstmaskar kan anpassa sig till sänkt pH i områden där vulkanisk koldioxid läcker ut från havsbotten, och observationer från Östersjön tyder på att musslor kan anpassa sig till mycket låga pH-nivåer. Men om anpassningen kommer att helt kunna skydda havets djurpopulationer från havsförsurningseffekter är fortfarande okänt. 🐞

TEXT OCH KONTAKT:

Peter Thor, Norsk Polarinstitut

Sam Dupont, Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet,
peter.thor@npolar.no

Små kräftdjur, som hoppkräftor, har visat minskad överlevnad och tillväxt, samt en försvagade larvutveckling vid lågt pH.

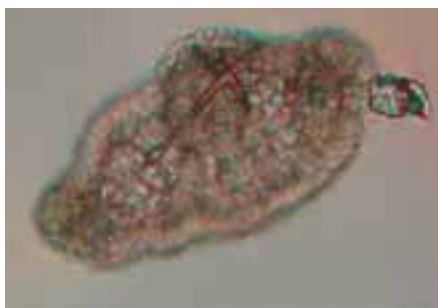


FOTO: SAM DUPONT

⚡ Effekter av havsförsurning på ormstjärnelarver. Ovan en frisk ormstjärnelarv och nedan en som utsatts för en försurad havsmiljö.



FOTO: PETER THOR

⚡ Havsförsurningsexperiment vid Sven Lovén centrum för marina vetenskaper, Kristineberg.



Abborren i en varmare framtid

– kan den anpassa sig?

FOTO: STEFAN BESKOW/AZOTE

Jorden med dess hav och sjöar håller på att bli varmare som en följd av den pågående klimatförändringen, men hur växelvarma djur som fisk kommer att svara på dessa förändringar är till stora delar okänt idag. I ett nystartat forskningsprojekt vid den uppvärmda Biotestsjön utanför Forsmarks kärnkraftverk undersöker nu forskare vad som händer med abborrens fysiologi när den lever i en konstant uppvärmd miljö.

I dag är de flesta forskare eniga om att jordens medeltemperatur redan har ökat som en följd av utsläpp av växthusgaser. Temperaturen kommer sannolikt att fortsätta stiga framöver, även om vi radikalt lyckas minska utsläppen. Under senare år har klimatforskare dessutom allt mer börjat inse att det inte bara är medeltemperaturen som ökar. Även extrema väderförhållanden, såsom kraftiga värmeböljor, kommer att bli allt vanligare. En mycket stor fråga som har väckts i och med dessa förändringar på jorden är hur djur och växter kommer att påverkas av de förändrade temperaturförhållandena. Kan de anpassa sig till detta och i så fall hur, eller kommer en del arter helt enkelt dö ut? En av de största utmaningarna för de forskare som försöker studera detta experimentellt är dock att den globala uppvärmningen trots allt är en ganska långsam process som sker gradvis och över flera generationer. Det är därför ofta svårt att efterlikna dessa skeenden i laboratoriet på ett realistiskt sätt, eftersom det tar så lång tid.

Forskning i en uppvärmd sjö

I ett nystartat fiskforskningsprojekt försöker vi nu komma runt dessa problem genom att använda oss av ett unikt experimentsystem som kallas för Biotestsjön. Sjön är belägen i skärgården utanför Forsmarks kärnkraftverk i norra Roslagen. Sedan tidigt åttiotal har uppvärmt kylvatten från två av kärnkraftverkets reaktorer pumpats in i Biotestsjön, vilket gör att temperaturen alltid är fem till tio grader varmare där än i den omkringliggande skärgården. Detta erbjuder forskare en unik möjlighet att studera vattenlevande djur som levt i ett uppvärmt ekosystem under lång tid. Därmed kan vi öka vår förståelse för hur olika organismer kan komma att påverkas och eventuellt anpassa sig till en varmare framtid.

Ökad kroppstemperatur

Vår egen kroppstemperatur ligger stadigt runt 37 grader, om vi inte har feber vill säga. De flesta fiskar däremot är växelvarma, vilket skiljer dem från däggdjur och fåglar som har en konstant kroppstemperatur. Fiskens kroppstemperatur varierar istället med det omgivande vatt-



nets temperatur. När vattnet blir varmare stiger även fiskens kroppstemperatur. I början gör en ökad kroppstemperatur att många processer går snabbare. Bland annat ökar ämnesomsättningen vilket betyder att fisken måste äta mer för att upprätthålla sin energibalans. För att kunna omvandla födan till energi som kroppens celler kan använda i sina olika energikrävande processer krävs dock syre, så när temperaturen stiger måste de även öka andningen och upptaget av syre från vattnet via gälarna. Väl i kroppen transporteras sedan det mesta av syret bundet till blodets hemoglobin. Detta innebär att också hjärtat måste arbeta hårdare för att pumpa runt en större mängd syresatt blod till de syretörstande cellerna. Med ökande temperatur stiger därför belastningen på fiskens andnings- och cirkulationssystem.

Tidigare forskning har påvisat att detta kan leda till att fisken får en minskad möjlighet att utföra andra aktiviteter som kräver en ökad syreförsörjning, som exempelvis att simma eller fånga föda. Men dessa principer gäller alltså främst vid snabba temperaturförändringar. Vid mer långvarig uppvärmning, som kan förväntas av den pågående klimatförändringen, tror man istället att många organismer kan ha förmåga att anpassa sig till

den nya temperaturen och ställa om olika processer i kroppen. Tyvärr är förvånansvärt lite känt om detta idag. Därför är fokus för vårt projekt vid Biotestsjön att undersöka hur mycket, och med vilka mekanismer, djur kan anpassa sin kropp till ett liv i varmare vatten.

Abborra i Biotestsjön verkar inte ha några större problem med den högre temperaturen. Däremot har vi upptäckt flera dramatiska anpassningar.

Dramatiska anpassningar

Vi har huvudsakligen studerat abborre, som är en av de mest välkända och vanligt förekommande fiskarterna i svenska vatten. Abborren är egentligen en sötvattenart, men den förekommer även längs med hela östersjökusten där vattnet är en blandning av salt- och sötvatten.

Abborrarna i Biotestsjön verkar inte ha några större problem med den högre temperaturen. Däremot har vi upptäckt flera dramatiska anpassningar. Bland an-

nat har Biotestsjöns abborrar mindre hjärtan och en sänkt hjärtfrekvens. Det senare beror både på förändringar i de celler i hjärtat som bestämmer hjärtats rytm, de så kallade pacemaker-cellerna, men även på en förändrad aktivitet i de nerver som reglerar hjärtats arbete. Sammantaget tros dessa förändringar kompensera för den ökning i hjärtfrekvens som temperaturökningen i sig ger. Även ämnesomsättningen är nedsatt i Biotestsjöns abborrar när man jämför dem med abborrar från skärgården utanför, men de bakomliggande mekanismerna och vilka konsekvenser detta får för fisken i stort är ännu för tidigt att säga.

En sak som abborren dock inte verkar kunna kompensera för fullt ut är den övre maximala temperaturtoleransen. Man skulle därför kunna tänka sig att fiskar kommer bli allt känsligare för tillfälliga extrema värmeböljor i framtiden när medeltemperaturen stiger, eftersom de helt enkelt kommer leva farligt nära sin övre maximala temperaturgräns.

Vad är orsaken?

En stor fråga som vi är mycket intresserade av, och som vi hoppas kunna åtminstone börja svara på under de kommande åren, är vad den bakomliggande orsaken till skillnaderna i fysiologi och värme-

«« En abborre fiskas upp från det kallare referensområdet utanför Biotestsjön.

« Laboratoriebåthuset med fisktankarna på sidan där försöken med abborrar gjordes. Både abborrar från den varma Biotestsjön och från det kallare referensområdet utanför användes.

Abborren, *Perca fluviatilis*, är en av Sveriges vanligaste fiskarter i sötvatten och förekommer även längs med hela Östersjökusten. I Biotestsjön lever abborre under konstant uppvärmda förhållanden. Genom att jämföra dessa med abborrar som lever vid normala temperaturer i skärgården utanför kan forskarna lära sig mer om hur växelvarma djur som fisk svarar på global uppvärmning och den pågående klimatförändringen. »



FOTO: TONY HOLM/AZOTE

FOTO (BÅDA): FREDRIK JUTFELT

tolerans är. Beror de endast på förändringar på individnivå som inte är ärftliga, eller har abborrarna i Biotestsjön kanske evolverat och förändrats genetiskt för att bättre klara av den höga temperaturen under de dryga trettio år som anläggningen varit igång? Om det senare skulle visa sig vara fallet är detta åtminstone en liten tröst och en indikation på att abborren och andra fiskarter kanske har en viss förmåga att anpassa sig genom evolution när vi går mot en varmare framtid. ?

TEXT OCH KONTAKT:

Erik Sandblom, Andreas Ekström och Fredrik Jutfelt, Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet
erik.sandblom@bioenv.gu.se

MER OM PROJEKTET:

Projektet leds av forskare från Göteborgs universitet, i samarbete med forskare från Sveriges lantbruksuniversitet. Läs mer och se bilder på projektets webb: <https://sites.google.com/site/tmtblab/>

BIOTESTSJÖN UTANFÖR FORSMARK



Biotestsjön är ett cirka 90 hektar stort invallat område i skärgården utanför Forsmarks kärnkraftverk. Uppvärmrt reaktorkylvatten leds in i anläggningen vilket gör att temperaturen är fem till tio grader varmare än den omkringliggande skärgården året runt. Den utgör därmed ett intressant storskaligt system för att studera effekter av långvarig uppvärmning på vattenlevande organismer.

FOTO: GÖRAN HANSSON

Biotestsjön är egentligen inte en sjö utan ett cirka 90 hektar stort invallat område i skärgården utanför Forsmarks kärnkraftverk. Invallningen, med hela det befintliga naturliga ekosystemet på plats, stod klar 1977. Temperaturen i Biotestsjön ökade först 1982 då både reaktor ett och två hade färdigställts och kylvatten från dessa kunde börja pumpas genom sjön. Byggnationen finansierades av kraftindustrin och från början var syftet främst att studera de biologiska effekterna av lokala varmvattenutsläpp orsakade av kärnkraftsindustrin. Denna forskning har nu avtagit sedan flera år tillbaka och anläggningen är nu upplåten till SLU med det primära syftet att bedriva omgivningskontroll på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB. Det finns dessutom möjligheter att under ledning av Institutionen för akvatiska resurser vid SLU bedriva grundforskning kopplat till detta vilket utgör en fantastisk möjlighet för att studera hur långvarig uppvärmning, lik den som den pågående klimatförändringen kan resultera i, påverkar vattenlevande organismer som fisk.

Vattenflödet genom anläggningen uppgår till cirka 90 kubikmeter per sekund, vilket höjer vattentemperaturen med cirka fem till tio grader beroende på årstid och driftläge på reaktorerna. Biotestsjön är till stor del relativt grund med ett maxdjup på ungefär fem meter, vilket i kombination med det höga vattenflödet gör att vattnets omloppstid i anläggningen bara är mellan tre till sex timmar. Temperaturförhållandena är också relativt jämna i hela vattenmassan. I anläggningens ursprungliga utförande satt det ett galler i utloppet som hindrade fisk större än cirka tio centimeter att passera, men från och med 2004 är gallret borttaget på grund av det betydande underhållsarbete som det krävde. Idag är därmed systemet närmast att betrakta som ett halvslutet system där visst utbyte av fisk med den omkringliggande skärgården sker.

ART I FOKUS

Tånglake

TÅNGLAKE (*Zoarces viviparus*) är allmänt förekommande längs med hela den svenska kusten, ända från Skagerack till Bottniska viken. Arten är bottenlevande och påträffas oftast på relativt grunt vatten. På sommaren lever tånglaken på lite djupare vatten, men då temperaturen sjunker på senhösten kommer den in på de grundare områdena. Under vintern är det inte ovanligt att man hittar den i hålrum under stenar. Tånglaken trivs i kallt vatten, och är en av de arter som missgynnas av klimatförändringar.

EN VUXEN TÅNGLAKE är vanligtvis mellan 25 och 30 centimeter lång, men den kan bli upp till 50 centimeter och väga 0,6 kilo. För gemene man är tånglaken en ganska obekant art som ibland misstas för att vara en ål. Det är troligen därför den även kallas för ålkusa eller ålakusa. Tånglaken fiskas inte kommersiellt, men fås som bifångst i ryssjor och liknande redskap. Födan består huvudsakligen av min-

dre ryggradslösa djur som kräftdjur, musslor, snäckor, men den äter även andra fiskars ägg och yngel.

SOM ARTENS VETENSKAPLIGA namn antyder är tånglaken vivipar, vilket innebär att den föder levande yngel. Tånglaken blir könsmogen efter cirka två år vid en längd strax under två decimeter. Leken sker vanligtvis under sensommaren och hösten. Under leken sker en inre befruktning, och efter cirka 20–30 dygn kläcks äggen. Därefter befinner sig ynglen sig i yngelkammaren i ytterligare cirka tre till fyra månader innan de cirka fem centimeter långa ynglen föds. Varje hona släpper ut mellan 20 och 400 yngel. Utseendemässigt är de som små kopior av de vuxna fiskarna.

TÅNGLAKE HAR ANVÄNTS som indikatorart sedan slutet av 1980-talet i den nationella miljöövervakningen. Den uppehåller sig inom ett ganska begränsat kustområde under hela livet. Detta gör att tånglakens

hälsotillstånd speglar miljötillståndet i geografiskt avskilda kustområden. Man har bland annat kunnat konstatera att ynglen får missbildningar och att könsfördelning bland ynglen blir ojämn vid exponering för miljögifter. Artdatabanken klassar arten som Nära Hotad, och grundar denna klassning på en minskning av fångsterna i de nationella provfiskena med nästan 30 procent de senaste 20 åren.

UNDER VÅREN 2014 påträffades hundratals döda och sjuka tånglakar längs med Ölands ostkust. Tester visar att tånglakarna bär på ett Rhabdovirus och samtidigt en bakterieinfektion. Båda dessa är i sig sjukdomsframkallande, och den höga dödligheten berodde sannolikt på en sammanlagd effekt av de två sjukdomarna.

TEXT OCH KONTAKT:

Jonas Nilsson, institutionen för biologi och miljö, Linnéuniversitetet
jonas.nilsson@lnu.se



FOTO: TOBIAS DAHLIN/AZOTE