

Golfströmmen är trög

Det finns inga vetenskapliga belägg för att den så kallade Golfströmmen kommer att stanna av på grund av en ökad växthuseffekt. Strömmen ingår i den globala termohalina cirkulationen, som till sin natur är ett trögt system.

TEXT Anders Stigebrandt

På grund av djupvattenbildningen i norra Nordatlanten transporterar Golfströmmen värme till höga latituder och detta värmetillskott anses allmänt vara huvudorsaken till att Nordvästeuropa har ett mycket mildare klimat än Alaska. I höstas larmade massmedia om att Golfströmmen hade stoppat under tio dagar. Ja, under de senaste tio till 15 åren har det då och då kommit larm om att Golfströmmen håller på att stanna av. Men Förenta Nationernas internationella kommitté för klimatförändring, IPCC, anser i sin senaste rapport att det inte finns belägg för att Golfströmmen håller på att stanna av. (I exempelvis Al Gores film om klimatförändringar, stoppar Golfströmmen, vilket i filmen leder till att Europa klimatmässigt förvandlas till ett nytt Sibirien.) IPCC anser att detta scenario är realistiskt, men anser det däremot sannolikt att Golfströmmen kan försvagas med 25 procent under innevarande sekel vilket är medelvärdet av simuleringar med olika modeller. I denna artikel förklaras hur Golfströmmen fungerar och vad som kan få Golfströmmens transport att ändras. Allmänt ökad kunskap om Golfströmmen bör leda till att bland annat massmedia, för att inte riskera sin trovärdighet, måste kontrollera rimligheten av olika scenarier innan de publiceras.

I vetenskapliga sammanhang är Golfströmmen den nordgående delen av en mäktig horisontell cirkulationscell i Nordatlanten. Den östgående delen av cirkulationscellen kallas Nordatlantiska driften, den sydgående Kanarieströmmen och den västgående Norra Ekvatorialströmmen (Fig. 1). Likartade ström-system, vilka drivs av västvindar på högre latituder och östliga passadvindar på lägre latituder, finns exempelvis i norra Stilla Havet där Kuroshio motsvarar Golfströmmen. Men till skillnad från Kuroshio är Golfströmmen också en länk i en världsomspännande vertikal cirkulationscell, den så kallade termohalina cirkulationen, vilken karakteriseras av djupvattenbildning främst i norra Nordatlanten. Det nybildade djupvattnet förs med strömmar i djuphavet till övriga oceaner där det genom blandning med lättare ytvatten sakta bringas uppåt mot havsytan. I djupvattnet kommer energin till blandning huvudsakligen från tidvattnet och är därför relativt oberoende av eventuella klimatförändringar. Ett transportband (eng. *conveyor belt*) är en ofta använd metafor för den globala vertikalcirkulationen. En världsomspännande returström av ytvatten mot norra Nordatlanten sluter den termohalina cirkulationen (Fig. 2). Södra Ekvatorialströmmen avlänkar en gren till Nordatlanten vilken svarar för returströmmen av ytvatten från Sydatlanten (Fig.1). Golfströmmens totala transport bestäms till största delen av vindarna över Nordatlanten men den termohalina cirkulationen ger ett väsentligt tillskott.



Fig. 1 Översiktlig beskrivning av de storskaliga ytströmmarna i Atlanten. Nordatlantiska Strömmen skickar ut en gren mot höga latituder vilken i vardagligt tal kallas för "Golfströmmen" även om Golfströmmen egentligen i vetenskapliga sammanhang är hela den mäktiga nordgående horisontella cirkulationscellen i Nordatlanten. Notera att Södra Ekvatorialströmmen skickar en gren från Sydatlanten till Nordatlanten. Transporten i denna bör vara lika stor som exporten av djupvatten från Nordatlanten. (Från J. Bartholomew, *Advanced Atlas of Modern Geography*, McGraw-Hill, 3d ed., 1957)

nen (Fig. 2). Södra Ekvatorialströmmen avlänkar en gren till Nordatlanten vilken svarar för returströmmen av ytvatten från Sydatlanten (Fig.1). Golfströmmens totala transport bestäms till största delen av vindarna över Nordatlanten men den termohalina cirkulationen ger ett väsentligt tillskott.



Fig. 2. En förenklad bild av den storskaliga termohalina cirkulationen vilken kan liknats vid ett transportband. Djupvatten (blått) bildas i Nordatlanten och sprider sig med djuphavsströmmar till övriga oceaner där det genom inblandning med lättare ytvatten stiger sakta uppåt vilket bildar en returström av ytvatten (orange) mot Nordatlanten. Illustration: Kungl. Vetenskapsakademien.

Råvattnet för djupvattenbildningen i norra Nordatlanten kommer närmast från den Nordatlantiska driftströmmen från vilken en gren avlänkas norrut. Det är denna gren som ofta kallas "Golfströmmen" i vardagligt tal, vilket alltså inte stämmer med benämningen som används i vetenskapliga sammanhang (Fig. 1), men eftersom den är väl etablerad bland allmänheten i Sverige väljer jag att använda den i denna artikel. Genom så kallade termohalina processer som verkar vid havsytan ökar vattnets densitet i "Golfströmmen" mot högre latituder vilket leder till att vattnet slutligen får så hög densitet att det sjunker ner i djuphavet. Nedsjunkning sker för närvarande både norr och söder om undervattensryggen mellan Skottland–Island–Grönland.

Avkylning, avdunstning och isbildning är de så kallade termohalina processer vid havsytan som ger ytvattnet ökad densitet medan uppvärmning, nederbörd och ismältning ger minskad densitet. För att "Golfströmmen" vatten skall få ökande densitet på sin väg norrut, så att det så småningom kan sjunka ner i djuphavet, krävs att densitetsökningen på grund av avkylning är större än densitetsminskningen på grund av utsötning. Så är fallet för närvarande. Flera klimatforskare har varnat för att en höjning av den globala temperaturen leder till ökad nederbörd på högre latituder och ökad avsmältning av inlandsisen på Grönland. De menar att den ökade färskvattentillförseln kan leda till att det bildas ett ytskikt med relativt låg densitet (salthalt), vilket effektivt skulle sätta stopp för fortsatt djupvattenbildning. Utflödet av djupvatten från norra Nordatlanten skulle ersättas av ett utflöde av ytvatten med reducerad densitet (så kallad estuarin cirkulation). "Golfströmmen" skulle då dyka under ytskiktet och delta i den estuarina cirkulationen men sannolikt med betydligt reducerad transport jämfört med den nutida.

Variationer under istider

Det har argumenterats för att klimatvariationer i Nordatlanten under senaste istiden förstärktes av variationer i den termohalina cirkulationen i Norra Nordatlanten. Externa processer som reglerar tillflödet av färskvatten och is från omgivande kontinenter har antagits kunna initiera sådana variationer. Så kallade Dansgaard/Oeschger-episoder (D/O) karakteriseras av snabb uppvärmning och därefter långsamt fallande temperatur. Det har föreslagits att D/O episoder orsakas av variationer i färskvattentillförseln till Nordatlanten vilka skulle leda till att tyngdpunkten för djupvattenbildningen växlar mellan ett område söder om Island och de nordiska haven.

Så kallade Heinrich-episoder förknippas med stora utflöden av vatten under relativt kort tid från inlandsisar (bland annat i form av isberg). Heinrich-episoderna är kalla vilket har förklarats med att stora utflöden av färskvatten under relativt kort tid från kontinenterna tillfälligtvis skulle kunna etablera ett ytskikt med låg salthalt vilket skulle stoppa den termohalina cirkulationen i norra Nordatlanten.

Varför bildas djupvattnet huvudsakligen i norra Nordatlanten?

För att förstå i vilka områden av havet som djupvatten kan bildas måste man förstå den horisontella salthaltsfördelningen. Denna hänger samman med horisontella transporter av färskvatten i atmosfären och havet. Generellt transporteras vattenånga i atmosfären från subtropiska till subpolara områden. Avdunstningen är större än nederbörden i subtropiska medan det omvända gäller i subpolara områden varför ytsalthalten är högre i subtropiska än i subpolara områden. I en ocean som består av en enda bassäng produceras ett varmt och salt ytvatten i subtropiska områden. Detta rör sig mot högre latituder och på sin väg dit avkyls vattnet samtidigt som det utsötas. Under stationära förhållanden bildas djupvatten i en sådan omfattning att det av atmosfären till högre latituder transporterade sötvattnet kommer att transporteras till-

baka till subtropiska områden av djupvattnet. Det finns sannolikt stora områden av havsytan som har alltför utsötat vatten för djupvattenbildning. Om den atmosfäriska transporten av färskvatten skulle öka så ökar samtidigt salthalten i de subtropiska områdena. Den ökade vattentransporten i atmosfären ger omedelbart upphov till en sjunkande salthalt i subpolära områden medan det tar en viss tid innan det saltare subtropiska vattnet når dessa områden. Svängningar kan därför uppstå i systemet men dessa kan bara tillfälligt störa djupvattenbildningen.

Ytsalthalten i Stilla Havet är cirka 34 gram salt per kilo havsvatten mot cirka 35 i Nordatlanten. Salthaltsdifferensen upprätthålls av en nettotransport av vattenånga i atmosfären från Atlanten (och från Indiska Oceanen) till Stilla Havet. Detta interoceaniska atmosfäriska flöde överlagras på det inomöceaniska. Det atmosfäriska flödet av färskvatten från Nordatlanten till Stilla Havet är cirka 200 000 kubikmeter per sekund.

Bara en ocean som dels når höga latituder, vilket krävs för avkylning till låga temperaturer, och dels har hög ytsalthalt kan bilda djupvatten för världshavet. Om salthalten är alltför låg får vattnet inte tillräckligt hög densitet vid avkylning. De interoceaniska atmosfärtransporterna av vatten ger Atlanten högst salthalt. Eftersom Atlanten sträcker sig upp till höga latituder kan ingen av de andra oceanerna konkurrera om att producera djupvatten till världshavet. De interoceaniska atmosfäriska vattentransporterna bestäms av produkten av den storskaliga atmosfärcirkulationen och höjden av de storskaliga bergskedjorna. Den senare ändras bara på mycket långa tidsskalor (storleksordning 100 miljoner år). Den storskaliga atmosfärcirkulationen med västvindsbälten och passadvindar finns i alla oceaner och påverkas inte nämnvärt av klimatförändringar. Detta är två grundläggande omständigheter som gör att Atlanten kommer att fortsätta att producera djupvatten till Världshavet även om storleken av de atmosfäriska transporterna av vatten kan förändras något vid klimatförändringar. Djupvattenbildningen i Nordatlanten kan inte stängas av, inte ens under kortare tid, eftersom det inte finns stora mängder av färskvatten på kontinenterna som skulle kunna bilda lock om de strömmade ut i havet.

Vilka variationer i djupvattenbildningen kan förväntas i norra Nordatlanten vid klimatförändringar?

Det finns alltså ingen anledning att förmoda att Nordatlanten inte kommer att fortsätta att producera djupvatten för Världshavet även vid ändrade klimatförhållanden. Tidsskalan för den termohalina cirkulationen är cirka 1 000 år. Det betyder att det tar hundratals år innan förändringar i de interoceaniska atmosfärtransporterna av vatten får effekt på salthaltsfördelningen mellan oceanerna och därmed på den termohalina cirkulationen. Tidsskalan för ändringar av salthaltsskillnaden mellan subtropiska och subpolära områden kan vara mycket kortare och kan ge ändringar av salthalten på nybildat djupvatten. Om en snabb klimatförändring inträder, säg en uppvärmning, så bör

den atmosfäriska transporten av vatten från subtropiska till subpolära områden öka omedelbart och det blir mer nederbörd i de subpolära områdena där ytvattnet blir något mindre salt. Samtidigt blir vattnet i subtropiska områden saltare men det tar relativt lång tid för detta vatten att nå de subpolära områdena. Djupvattnet kommer då att först bli något färskare än tidigare men så småningom ökar "Golfströmmens" salthalt och djupvattnets salthalt ökar igen. Denna typ av variationer i "Golfströmmens" salthalt är väl kända.

Vilken betydelse har ett extra färskvattentillskott från en smältande inlandsis på Grönlands? Den extra tillförseln av färskvatten måste ställas i relation till den totala tillförseln av färskvatten till regionen, som är av storleksordningen 200 000 kubikmeter per sekund, medan den extra tillförseln av färskvatten från den smältande Grönlandsisen har uppskattats till cirka 5 000 kubikmeter per sekund. Eftersom allt färskvatten blandas in i djupvattnet betyder det att salthalten på nytt djupvatten sjunker från cirka 34.92 till 34.91 promille. (Enligt de senaste uppskattningarna minskar dock inte Grönlandsisen utan den växer vilket innebär en negativ färskvattenbalans för isen.) Smältvattnet från Grönland motverkar effekten av det interoceaniska flödet av färskvatten från Nordatlanten till Stilla Havet. Men så länge avsmältningstakten är mycket mindre än denna transport (cirka 200 000 kubikmeter per sekund) blir effekten av avsmältningen obetydlig.

Avslutande kommentarer

Den världsomspännande vertikala meridionala cirkulationen kallas ofta för den termohalina cirkulationen för att markera att den kräver att tyngre vatten skapas av termohalina processer vid havsytan. Cirkulationen drivs dock inte av djupvattenbildningen utan av den vertikala blandningen som bringar upp djupvattnet till ytskiktet. Blandningen i djuphavet drivs av turbulens som till största delen får sin energi från interna vågor som bildas då tidvattnet sveper över ryggar och trösklar i havsbotten. Vertikal cirkulationens storlek därför vara oberoende av klimatförändringar. Ökande transport av färskvatten i atmosfären mot högre latituder kan ge reducerad salthalt av djupvattnet. Men djupvattenbildningen upphör inte, möjligen flyttas den till ett annat område. Den huvudsakligen tidvattdrivna blandningen i djuphavet sörjer för att hålla igång den termohalina cirkulationen (och förbrukningen av djupvatten). Transporten av färskvatten mellan oceanerna orsakar avsevärda salthaltsskillnader i oceanernas ytvatten. Oceanen med högst salthalt får monopol på djupvattenbildning. (För överskådlig tid: Atlanten) Systemet har en stor inneboende tröghet. För att djupvattenbildningen skall flytta från Atlanten till exempelvis Stilla Havet måste de atmosfäriska medelflödena av vatten mellan oceanerna byta riktning. Detta skulle kräva en annan atmosfärcirkulation än den vi känner.

ANDERS STIGEBRANDT är professor i oceanografi, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet.