

Kari Eilola 2023-05-24

Appendix 2: Eilola 2020, Observationsdata och modellresultat

Metodbeskrivning

Metoden för mätningar av pH i Östersjöns bräckta vatten skiljer sig från mätningar i saltare oceanvatten. Därför har man t.ex. hos SMHI använt NBS-buffer bräckvattenmetod med glaselektrod för pH mätningar enligt NBS skalan vilken skiljer sig från pH total skalan som används t.ex. i Norges försurningsprogram (Jones et al., 2019). Jämförelser mellan dessa värden måste därför behandlas med försiktighet. Andersson et al. (2008) diskuterar det svenska mät programmet för försurning och senaste publikationen av data och trender från haven runt Sverige kan ses i SMHI:s senaste årsrapport för den marina miljöövervakningen (Wesslander et al., 2020). SMHI har nyligen beslutat att i framtiden gå över till att mäta pH med spektrofotometrisk metod, som anses vara den mest noggranna metoden att mäta pH med idag. Muller och Reder (2018) presenterade hur man kan använda metoden även för salthalter som är relevanta för Östersjön (5–20 psu). Tidigare fanns beskrivning endast för användning i färskvatten och saltvatten 20–40 psu. Alkalinitet har mätts under lång tid och trender för Östersjön har tidigare analyserats och diskuterats av t.ex. Muller et al. (2016).

Observationerna från Kosterfjorden och det så kallade Å-snittet i Skagerrak har hämtats från Svenskt HavsARKiv (SHARK) på SMHI. I Kosterfjorden valdes stationer ut med bottendjup större än 120 meter. Länk: <https://www.smhi.se/data/oceanografi/datavardskap-oceanografi-och-marinbiologi/marina-miljoovervakningsdata>.

Observationer från Station Lista i Norge hämtades från Havsforskningsinstituttet i Bergen. Länk: <http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/index.html>

Observationsdata norr om Kosterfjorden för en representativ station i Oslofjorden N59.1 E10.75 erhöles av Jon Albretsen, Forsker oseanografi / Scientist oceanography, Havsforskningsinstituttet / Institute of Marine Research, Bergen, Norge.

Eftersom mätdata från djup mellan ytan (0–30) och botten i Kosterfjorden inte finns för de senaste tio åren använder vi resultat från SMHI:s Kustzonsmodell som stöd för vissa diskussioner. Data från modellresultat i Kosterfjorden har hämtats från SMHI Vattenwebb. Länk: <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb>

Transportmönster i västerhavet visas med resultat från en högupplöst (3.7 km (2nm) upplösning) kopplad hydrodynamisk och biogeokemisk numerisk modell (Nemo-Nordic SCOBI) över Nordsjön och Östersjön. Modellen användes av Kuznetsov et al. (2016) för att studera effekter i västerhavet av åtgärder mot övergödning samt av Eilola och Kuznetsov (2016) i den svenska OSPAR utvärderingen av övergödning i Skagerrak, Kattegatt och Öresund (Wesslander et al. 2016).

Nedanstående analys är avsedd att ge en översiktlig bild av faktorer som kan påverka förhållanden i Kosterhavet och dess omgivning med relation till reven med kallvattenskoraller i vattnen under 75–100 meters djup. Underlaget kan användas för att t.ex. definiera fortsatt arbete med fördjupade studier kring valda delar. Trender och signifikansnivå för tidsserier har beräknats med enkel linjär regression.

Trenden anses signifikant skild ifrån noll på 95% nivå om p-value <0,05. Trenderna är beräknade för perioder med god datatäckning men är inte säsongsupplad för att visa upp samtliga tillgängliga data. Detta påverkar t.ex. trendberäkning i ytvatten där stor säsongsvariation minskar möjligheten att få signifikanta trender. För analysen av pH på 100 meters djup har vi i denna rapport även avstått från att separera temperatureffekter från pH värdet.

Kosterfjorden

Skagerrak och Kattegatt befinner sig i en övergångszon mellan det bräckta vattnet med låg salthalt i Östersjön och det mer världshavspåverkade salta vattnet i Nordsjön (t.ex. Rodhe et al., 2006). I det nordöstra hörnet av Skagerrak vid den svenska västkusten ligger Kosterfjorden som präglas av en djup ränna (max ca 247m) i nord-sydlig riktning mellan svenska kusten och Kosteröarna med trösklar mot Skagerrak i norr på ca 115 meters djup och i söder på ca 60–70 meters djup (uppskattat från sjökort). Den största floden i området Glomma rinner ut vid gränsen mellan Sverige och Norge och påverkar tidvis även Kosterfjorden.

Temperatur, syre och siktdjup

För temperaturanalysen används mätningar baserat på flaskdata före 2010-07-06 varefter mätningarna görs med CTD (Fig.1). Temperaturobservationerna i ytan från 1966 och framåt har en ökande linjär trend men är för få då variationerna under året är för stora för att en signifikant trend skall erhållas. Den signifikanta linjära trenden (p-värde <0,05) i observationer (1994–2020) från botten ökar dock med 0,35 °C per 10 år. Man kan notera att den årliga maximala observerade botten temperaturen inte ökar under de sista åren utan håller sig relativt stabilt strax över ca 8 °C.

Observationer från de intermediära djupen i Kosterfjorden saknas under de sista tio åren och på t.ex. 100 meters djup är mängden data före 1990 för spritt i tiden för att en jämförbar statistik på trender i tidserien skall kunna undersökas. Statistik på modelldata (Fig.2) för perioden 2004–2019 visar att de kraftiga säsongsbaserade variationerna i temperatur är störst på djup mindre än 20 meter och att temperaturvariationerna minskar med djupet ner till 100 meters djup. Detta stämmer väl med temperaturobservationer (1967–1990) från norra Kosterfjorden området som presenterades av Wishakk et al. (2005). Påverkan av en trend i temperatur relativt de naturliga temperaturvariationerna blir därför större i de djupare delarna av Kosterfjorden. Bottenytan på djup större än 100 meter upptar mindre än ca 2% av Kosterfjordens hela yta i Kustzonsmodellen. Syret i den relativt lilla volymen av vatten under 100 meters djup (Fig.2) visar ingen signifikant trend i observationerna (1994–2020) utan bottenvattnet i Kosterfjorden hålls syresatt med värden (på 230-246m djup) varierande kring ca 5 ml/l (min 2,8 ml/l och max 6,8 ml/l). De maximala syrevärdena observerade under våren motsvarar ofta de värden som observeras på 100 meters djup ute i Skagerrak på station Å17. Percentil för 95% av observationerna för Kosterdata (2000–2020) är 6,3 ml/l och för Å17 data 6,6 ml/l. Detta indikerar att fjorden är relativt välventilerad. Dock kan man notera att syreförbrukningen under resten av året i bottenvattnet ofta drar ner minimumkoncentrationerna till lägre halter än vid Å17. Percentil för 5% av observationerna för Kosterdata (2000–2020) är 4,0 ml/l och för Å17 data 5,2 ml/l.

Tendenser till brunifiering av ytvattnet borde yttra sig i ökad grumlighet och sämre siktförhållanden i vattnet. Siktdjupet sett från data under sommarmånaderna (Fig. 2) har dock en ökande tendens under perioden 1986–2020 vilket inte stödjer en hypotes om ökad brunifiering även om trenden i en enstaka månad inte är signifikanta. I juni månads data kan man t.ex. se återkommande värden ner mot 4 meters siktdjup fram till och med 2014 men ingen tendens till försämring. En liknande test av data från vårmånaderna visar inte heller på någon tendens mot minskat siktdjup.

pH och alkalinitet

Långa trendanalyser av pH i SMHI:s årsrapport (Wesslander et al., 2020) från i Skagerrak station Å17 i det svenska nationella marina övervakningsprogrammet kunde inte göras på grund av för dålig datatäckning. Metoden som använts för pH mätningar är mest användbar i färskare vattenmassor har brister i de salta förhållandena på västkusten. Data måste därför användas med försiktighet enligt Wesslander et al. (2020). I Kattegatt noterades en avtagande trend i ytvattnet på vintern med 0,03 pH enheter per 10 år sedan 1960-talet vilket ligger nära den minskande trenden på 0,024 pH enheter per 10 år i Nordost Atlantens ytvatten (Olafsson et al., 2009). Trenden i Atlanten har orsakats av ökat partialtryck av koldioxid i atmosfären. Att försurningen i västerhavet följer förändringarna i Atlanten indikerar enligt Wesslander et al. (2020) att även denna minskning i pH kan ha orsakats av ökande CO₂ i atmosfären.

I Fig.3 kan vi se pH data från 100 meters djup på station Å17 för perioden 2007–2019. Datatäckningen under denna period är god och indikerar en signifikant minskade trend på 0,077 pH enheter per 10 år. En visuell granskning indikerar att det verkar ske en förändring mellan åren 2011–2015. Medelvärde (standardavvikelsen) för perioden 2007–2010 är 8,136 (0,042) och för perioden 2016–2019 är 8,062 (0,039) vilket är en minskning på 0,074 pH enheter eller 0,91% vilket är i paritet med den beräknade linjära trenden för en tioårs period. Man kan notera att variationerna (standardavvikelse) är av ungefär samma storlek mellan perioderna. Man bör ha en viss försiktighet med pH data så som påpekats ovan men resultaten indikerar att förändringen i försurning på detta djup skiljer sig markant från trenderna som observerats i ytvatten och djupvatten från Skagerrak eller Kattegatt enligt figurerna i Wesslander et al. (2020). Det finns ett antal mätningar från millenium skiftet (Fig.3) som också visar ett högre medelvärde på 8,108 pH enheter med en standardavvikelse på 0,042 pH enheter i paritet med perioden 2007–2010 vilka stödjer hypotesen att perioden efter 2015 skiljer sig från perioden innan 2011.

Alkaliniteten i hela vattenmassan mellan yta (lägsta värden) och djupvatten (högsta värden) på station Å17 under perioden 1999–2019 varierar mellan 1,911 och 2,461 mmol kg⁻¹ medan utvecklingen på 100 meters djup varierar mellan 2,282 och 2,353 (standardavvikelse 0,0128) mmol kg⁻¹ (Fig.3). Det finns en linjär ökande trend i alkalinitet på 100 meter som motsvarar ca 0,00475 mmol kg⁻¹ per tio år. En ökning av alkalinitet ökar vattnets buffringsförmåga för ökad försurning vilket är positivt. Den svaga trend som nämns här (ca 7% av standardavvikelsen på 100m) är dock relativt sett liten i sammanhanget eftersom vattnet redan är välbuffrat med avseende på alkalinitet. Omstedt et al. (2010) skriver t.ex. att en minskning på ca 0,425 mmol kg⁻¹ vid en alkalinitet på ca 2 mmol kg⁻¹ motsvarar en minskning på ca 0,1 pH enheter. Trenden i alkalinitet per 10 år på 100 meters djup är endast ca en hundra del av detta. Detta kan alltså motsvara en ökad buffringskapacitet för pH av storleksordningen 0,001 pH enheter på 10 år. Det är i samma storleksordning som den atmosfärsdrivna trenden men endast lite drygt 1% av den observerade trenden på 100 meters djup..

Transporter

Som det beskrivs t.ex. i OSPAR rapporten (Wesslander, 2016) karakteriseras transportererna av olika vattenmassor i Skagerrak av en cyklonal (moturs) cirkulation där lättare (mindre salt) utströmmande vatten från Kattegatt tillsammans med landavrinning från västkusten transporteras i ytan vidare mot Atlanten längs med den svenska och norska kusten. Skagerrak har ett djupvatten som formas av inströmmande saltvatten från Nordost Atlanten. Atlantvattnet rinner över tröskeln till Skagerrak på ca 270 meters djup och fyller de intermediära och djupaste delarna som är upp till ca 700 meter djupa. En blandning av olika vattenmassor med lägre salthalter från Nordsjön tränger in i Skagerrak huvudsakligen som ytvatten längs Jutlands nordkust (Jutlandsströmmen). Som en illustration av strömfälten visas vertikalintegrerade värden av transportmönster från en numerisk modell (Fig.4). Vid Kosterfjorden och gränsen mot Norge samt närmast land uppträder mer ostrukturerade cirkulationsmönster och även anticyklonala strömmönster. Håkansson (1990) noterade från satellitbilder under första halvåret 1989 att det grumliga Glommavattnet kunde observeras vid två tillfällen i Kosterfjorden. Håkansson (1990) noterade också att utbredningen av den Baltiska strömmen varierade från ca 20 km till 50 km utanför den svenska kusten. Även om den generella cirkulationen i

Skagerrak är cyklonal påverkas den speciellt i ytan av tillfälliga variationer i vindar som påverkar t.ex. strömmarna längs kusten (t.ex. Gustafsson, 1999; Christensen et al., 2018).

Vattenmassor

Vattenutbytet i de västsvenska fjordarna påverkas mycket av vattnets vertikala fluktuationer som orsakas t.ex. av varierande vindar vid kusten (t.ex. Gustafsson och Stigebrandt, 1996). Variationerna i densitet orsakar flöden mellan fjordarna och kustvattnet t.ex. då saltare tyngre vatten från djupare lager lyfts närmare ytan kan det tränga in i fjordarna och byta ut vattnet i de intermediära och djupare liggande lagren (t.ex. Arneborg, 2004). Vattenmassorna karakteriseras av deras salthalt och temperatur som tillsammans med kunskap om transportmönster kan ge stöd till en diskussion om eventuella samband mellan vattenmassor i olika områden. Salthalterna i Kosterfjordens djupvatten varierar mellan ca 33,8 psu och 35,1 psu under perioden 1994–2020. Temperaturvariationerna håller sig mellan ca 4,7 °C och 8,3 °C (Fig.5). En studie från stationerna Å13 och Å17 visar att dessa egenskaper ofta kan hittas på djup större än ca 20–30 meter i Skagerrak söder om Kosterfjorden (visas ej). Denna information tillsammans med det generella transportmönstret som illustrerats i Fig.4 indikerar att den svenska västkusten och därmed även Kosterfjorden kan påverkas av de vattenmassor som strömmar in från Nordsjön och Kattegatt. Det finns en signifikant temperaturtrend med ökande salthalt (Fig.5) i Kosterfjordens djupvatten som indikerar att botten temperaturen är högre när vattnet är saltare. Denna typ av relation syns inte i data från 100 meters djup vid station Å17 eller Lista (visas ej). Säsongscykeln för temperatur (Fig.5) visar att det är under vintern man finner de högsta temperaturerna i botten vattnet. En möjlig förklaring till temperaturens beroende av salthalt kan vara att utbyte med nytt vatten ofta sker på vårvintern (Fig.1) när vattnet är kallt och mindre salt t.ex. vid den norra tröskeln i Skagerrak på grund av påverkan vårflo den från Glomma. Man kan se detta t.ex. 2015, 2016, 2017 då salthalt och temperatur snabbt faller från högre värden på vintern till lägre värden på våren. En snabb test av densitet indikerar att temperaturförändringen t.ex. på våren 2015 inte kompenserar för densiteten utan vattnet efter utbytet är lite lättare än vintervattnet som bytts ut. Temperaturen faller från 8,1 °C till 6,1 °C och salthalten från 35,0 psu till 34,53 psu mellan mätningarna från mars till april. Det är dock svårt att från tillgängliga data avgöra vilken betydelse som inflöden från den södra randen har på vattenutbytet i Kosterfjordens djupvatten. Iakttagelsen att det mindre salta vattnet byter ut ett saltare tyngre botten vatten indikerar att utbytet i detta fall sannolikt är drivet även av andra processer än upplyft av djupare liggande saltare vatten.

Det finns skillnader i skiktning mellan Å-snittet i södra och Lista i norra Skagerrak som påverkar hur djupt ner i havet det varma ytvattnet kan påverka. Guihen et al. (2012) beskriver t.ex. effekten av temperaturschocker på kallvattenkoraller med temperaturer som överstiger 12 °C vid den norra tröskeln till Kosterfjorden. Varken den historiska tidsserien från Å17 på 100 m djup (Fig.6) eller botten vattnet i Kosterfjorden (Fig.1 och Fig.2) visar på temperaturer över 12 grader. Den historiska tidsserien från Lista (Fig.6) visar däremot att temperaturer över 12 °C är vanligt förekommande på 100 meters djup under perioden efter 1960 men vi ser också att från 70-talet och framåt visas tillfällen med ökande maxtemperaturer, till och med upp emot och över 14 grader börjar dyka upp under mitten på 90-talet. En möjlig orsak till fördjupad skiktning kan vara vindar som trycker upp vatten mot kusterna vilket orsakar att densitetsgränsen mellan ytvatten och djupvatten kan tryckas djupare ner, så kallad ”downwelling” (t.ex. Gustafsson och Stigebrandt, 1996). Data på 100 meters djup från en station norr om Kosterfjorden (Fig.7) indikerar att temperaturer kring 14 °C har observerats där ända sen 1950-talet men data från före 90-talet är begränsat. Om det är representativt för situationen vid Kosterfjordens norra rand är det kanske inte onormalt med temperaturer över 12 °C på dessa djup. Dock har de höga temperaturerna inte trängt in till Kosterfjordens botten vatten utan temperaturer överstigande 12 °C har bara observerats över ca 90 meters djup i kustzonsmodellens tidsserie (se linje för maxvärden i Fig.2). Man bör dock ha i åtanke att observationerna gjorts i bästa fall månadsvis så tillfällen med höga temperaturer i de djupare lagren kan ha missats. På liknande sätt har kustzonsmodellen begränsningar eftersom data från lika glea observationer används för att producera randvillkor till det öppna havet.

Diskussion

Trendanalyser i SMHI:s årsrapport (Wesslander et al., 2020) från det svenska nationella marina övervakningsprogrammet av pelagialen, den fria vattenmassan i Skagerrak station Å17 (och Kattegatt station Anholt E) visar på ökande temperaturtrend i vinterbottenvattnet på ca 0,23 (0,24) °C per 10 år under perioden 1960 till 2019. Motsvarande linjära temperaturökning i ytan var 0,36 (0,36) °C per 10 år på vintern och 0,29 (0,50) °C per 10 år på sommaren. Under en kortare period från 1994 och framåt ökar botten temperaturen snabbare med ca 0,37 (0,59) °C per 10 år där ökningen i Skagerrak motsvarar den temperaturtrend vi såg i Kosterfjordens bottenvatten data. Förflyttar man sig närmare kusten och studerar temperaturtrenden på 75 meters djup nära botten av station Å13 (Fig.8) ökar temperaturen med 0,69 °C per 10 år vilket överstiger trenden i Kattegatt. Man kan även notera att temperaturer överstigande 15 °C kan observeras under tre av de fyra sista åren i tidsserien från Å13 medan den endast översteg 15 °C en gång tidigare (år 2009) under perioden 2000–2016. Det kan inte förklaras av systematisk förändring i mätfrekvens under perioden.

En intressant observation är en kraftig sänkning 2017 av pH till 7,92 pH enheter på 100 meters djup på station Å17 i Skagerrak (Fig.3). Den tillfälliga sänkningen i pH kan noteras även i observationen på 125 meters djup (7,96 pH enheter) men inte på 150 meters djup eller djupare vilket kan noteras i statistik för vertikala profilen (Fig.3). Dessa låga värden motsvarar försurningsnivåer som kan observeras i Skagerraks djupvatten under ca 600 meters djup (7,95 pH enheter) i januari 2019 enligt data mellan Hirtshals och Torungen i den norska försurningsrapporten av Jones et al. (2019). Det låga pH är sannolikt orsakat av mineralisering av organiskt material enligt rapporten. Data från 2010–2019 visar att trenden i djupvattnet på 600 meters djup påverkas mycket av vattenutbytet med Atlanten. Man beräknade en minskande linjär trend på 0,08 pH enheter per 10 år på 600 meters djup vilket motsvarar den trend som noterades på 100 meters djup vid Å17 som påverkades av förändringen mellan åren 2011–2015. Jones et al. (2019) noterade också lågt pH (7,93 pH enheter) i ytvattnet på sommaren (Juni-Juli) vid Arendals mätstation men den orsakades av färskvatten med reducerad alkalinitet och den säsongsbaserade ökningen i temperatur enligt rapporten. Det finns dock ingen motsvarande tillfällig anomali synlig i temperatur från 100 meters djup på Å17 eller på den norska stationen Lista som skulle kunna indikera påverkan från temperaturberoende processer (Fig.6). Trenderna på 100 meters djup för perioden 2000–2020 från Å17 och Lista är inte signifikanta enligt p-värdet som är >0,05. Däremot finns det en långsiktig trend (1960–2019) på station Lista (Fig.6) som indikerar temperaturökning på ca 0,26 °C per 10 år vilket motsvarar den långa trend på ca 0,23 °C per 10 år som beräknades för bottenvattnet på station Å17 i SMHI:s årsrapport (Wesslander et al., 2020).

Man kan notera att temperaturökningen på 0,69 °C per 10 år som vi observerade på 75 meters djup på station Å13 (Fig.8) är ungefär 2,7–3 gånger så snabb som de långa temperaturtrenderna från Lista och bottenvattnet i Å17. Detta kan vara en indikation på att temperaturutvecklingen i grundare områden som Kattegatt och danska sunden skiljer sig från djupare havsområden i Skagerrak som påverkas mer av djupa inflöden från Nordsjön och Nordostatlantens. Vi kan även notera att trenden på ca 0,08 i pH på 100 meters djup på Å17 är ca 4 ggr starkare än den atmosfärsdrivna trenden i Nordost Atlantens ytvatten (Olafsson et al., 2009). Det indikerar att denna ökning av den lokala trenden relativt den storskaliga trenden sannolikt kan bero även på andra processer. Potentiellt skulle det kunna bero på t.ex. ökad mineralisering orsakad av eutrofiering som kan påverka säsongvariationerna i pH (t.ex. Omstedt et al. 2012). Denna process skulle eventuellt också kunna förklara en kraftig tillfällig dipp i pH som syntes år 2017. Tyvärr har vi inte observationer från Kosterfjorden som skulle kunna stödja fortsatt diskussion kring försurning just i det området. I kommande arbeten vore också bra att titta vidare på algblomningar (Fig.9), syre, närsalter och biologiska faktorer för att utvärdera förändringar i primär produktionen tillsammans med kompletterande mätningar på löst oorganiskt kol (DIC), koldioxidtryck (pCO₂) och mättnadsgrad av pCO₂ och syre.

Tack

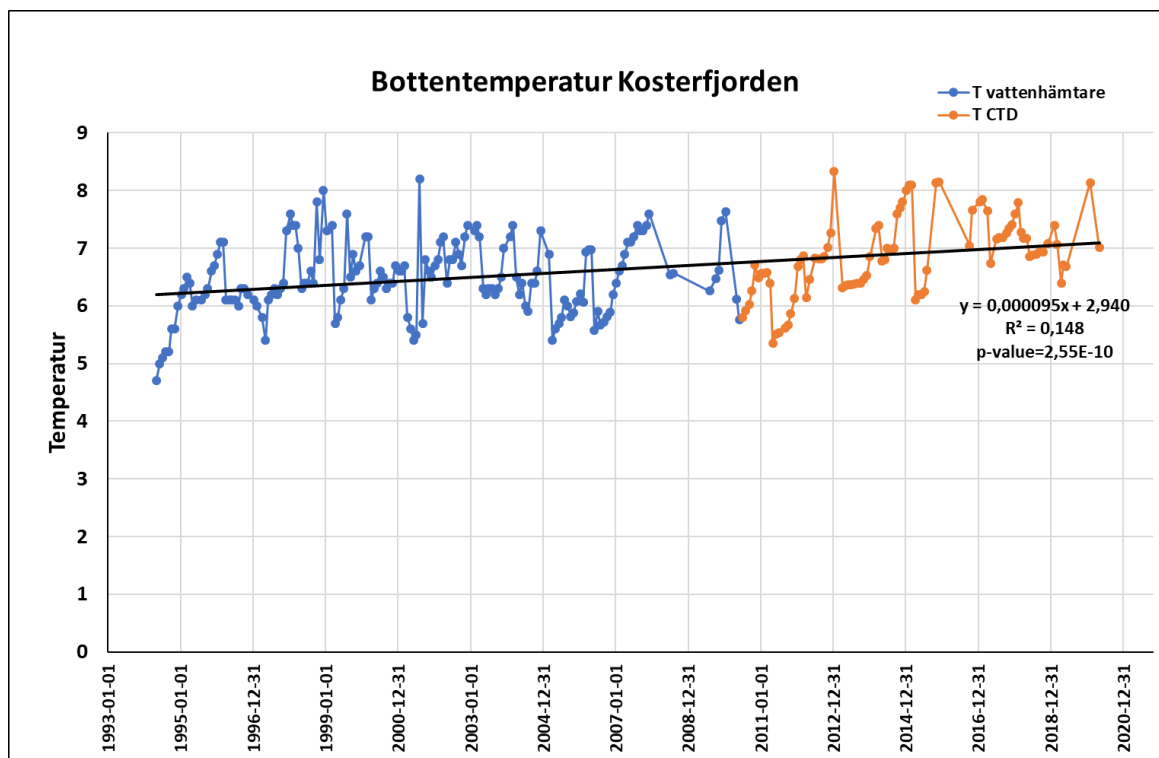
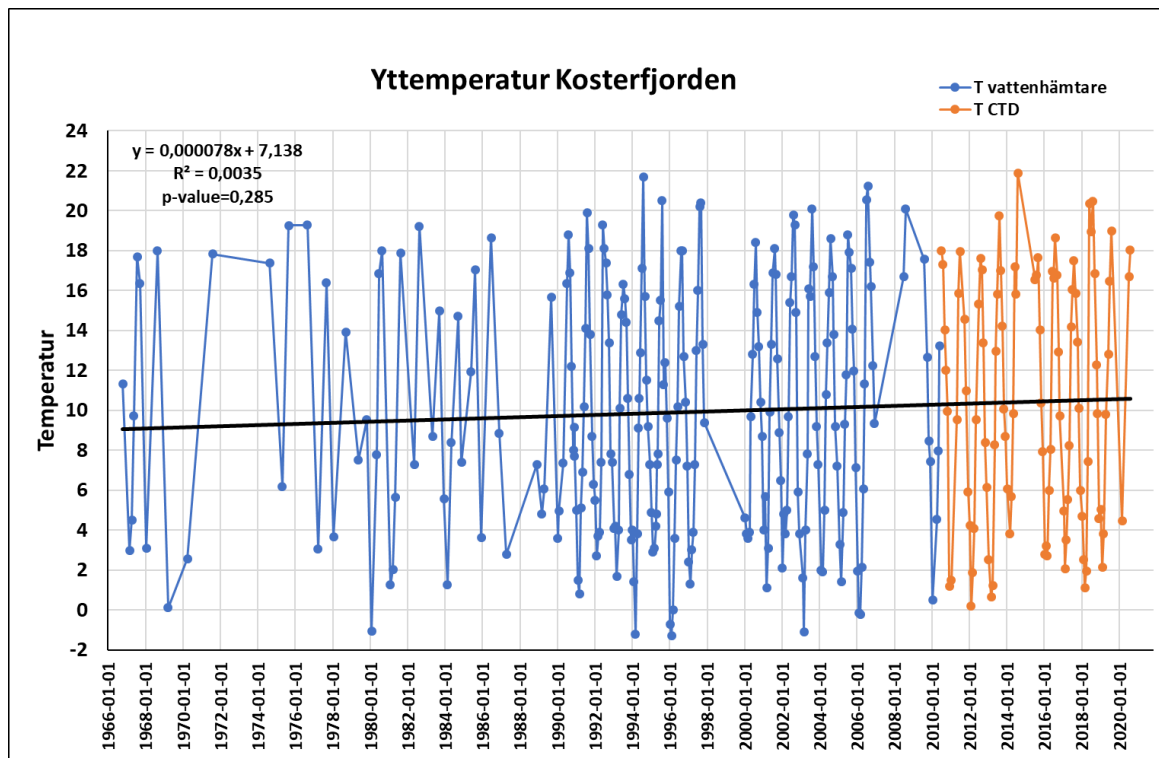
Tack till personalen på samhälle och säkerhet samt oceanografisk forskning på SMHI:s havsforskningslaboratorium i Göteborg som stöttat i efterforskningen av relevant data och litteratur, Peter Thor på SLU Aqua i Lysekil för stöd med försurningsdata, Moa Edman på SMHI oceanografisk forskning för stöd med modelldata för kustzonsmodellen, Jon Albretsen på Havforskningsinstituttet i Norge för data och litteratur om hydrografi vid Norska sydkusten, Melissa Chierici på Havforskningsinstituttet i Norge för litteratur om det Norska försurningsprogrammet, Bertil Håkansson för rapport om satellitövervakning vid Kosterfjorden, Tomas Lundälv för litteratur om Kosterhavets koraller.

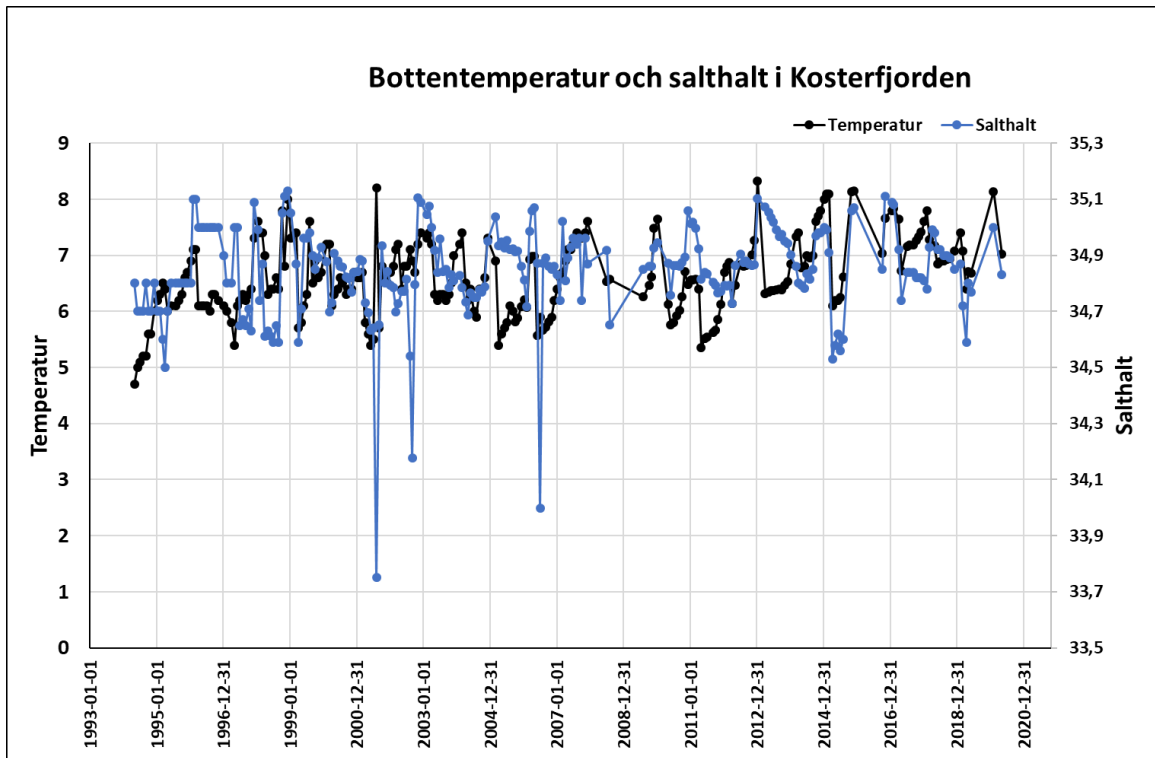
Referenser

- Anderson, P. (Ed.), Håkansson, B., Håkansson, J., Sahlsten, E., Havenhand, J., Thorndyke, M., and Dupont, S. (Co-authors), 2008. Marine acidification—on effects and monitoring of marine acidification in the seas surrounding Sweden. SMHI Oceanography 92, 61pp. SMHI, Norrköping, Sweden. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A947579&dswid=-2185>.
- Arneborg, L., 2004. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord, Continental Shelf Research, Volume 24, Issues 4–5, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2003.12.005>.
- Christensen, K. H., A. K. Sperrevik, and G. Broström, 2018: On the Variability in the Onset of the Norwegian Coastal Current. J. Phys. Oceanogr., 48, 723–738, DOI: <https://doi.org/10.1175/JPO-D-17-0117.1>.
- Guihen, D., White, M., & Lundälv, T., 2012. Temperature shocks and ecological implications at a cold-water coral reef. Marine Biodiversity Records, 5, E68. doi:10.1017/S1755267212000413.
- Gustafsson, B., 1999. High frequency variability of the surface layers in the Skagerrak during SKAGEX, Continental Shelf Research, Volume 19, Issue 8. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(99\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(99)00008-4).
- Gustafsson, B., A. Stigebrandt, 1996. Dynamics of the freshwater-influenced surface layers in the Skagerrak, Journal of Sea Research, Volume 35, Issues 1–3, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(96\)90733-9](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(96)90733-9).
- Håkansson, B., 1990. Glomma älvens spridningsområde i NO Skagerrak. Rapport Oceanografi No. 36. SMHI Norrköping Sweden.
- Jones, E., M. Chierici, I. Skjelvan, M. Norli, H. Frigstad, K.Y. Børsheim, H.H. Lødemel, T. Kutti, .L. King, K. Sørensen, S. K. Lauvset, K. Jackson-Misje, L.B. Apelthun, T. de Lange, T. Johannessen, C. Mourgues og R. Bellerby. 2019. Monitoring ocean acidification in Norwegian seas in 2019, Rapport, Miljødirektoratet, M-1735|2020.
- Kuznetsov, I., K. Eilola, C. Dieterich, R. Hordoir, L. Axell, A. Höglund, S. Schimanke, 2016. Model study on the variability of ecosystem parameters in the Skagerrak - Kattegat area, effect of load reduction in the North Sea and possible effect of BSAP on Skagerrak - Kattegat area, Rapport Oceanografi No. 119. SMHI Norrköping Sweden. Länk: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.103301!/oceanografi_119.pdf.

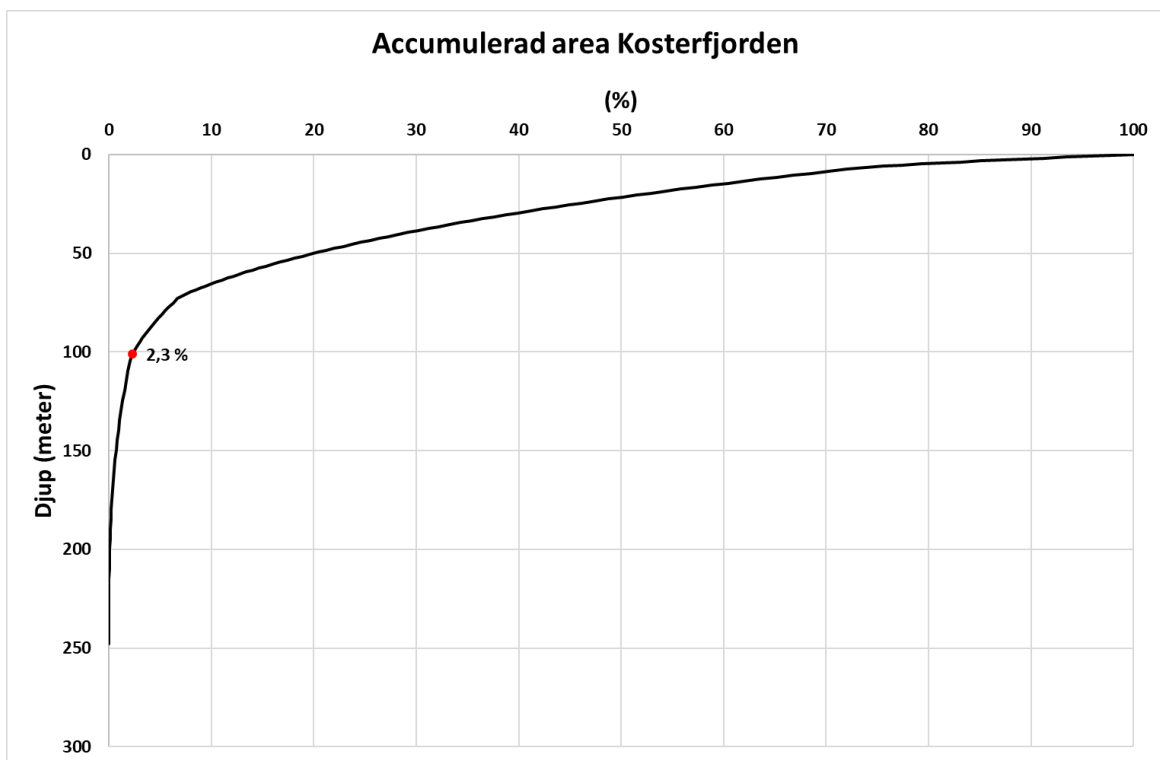
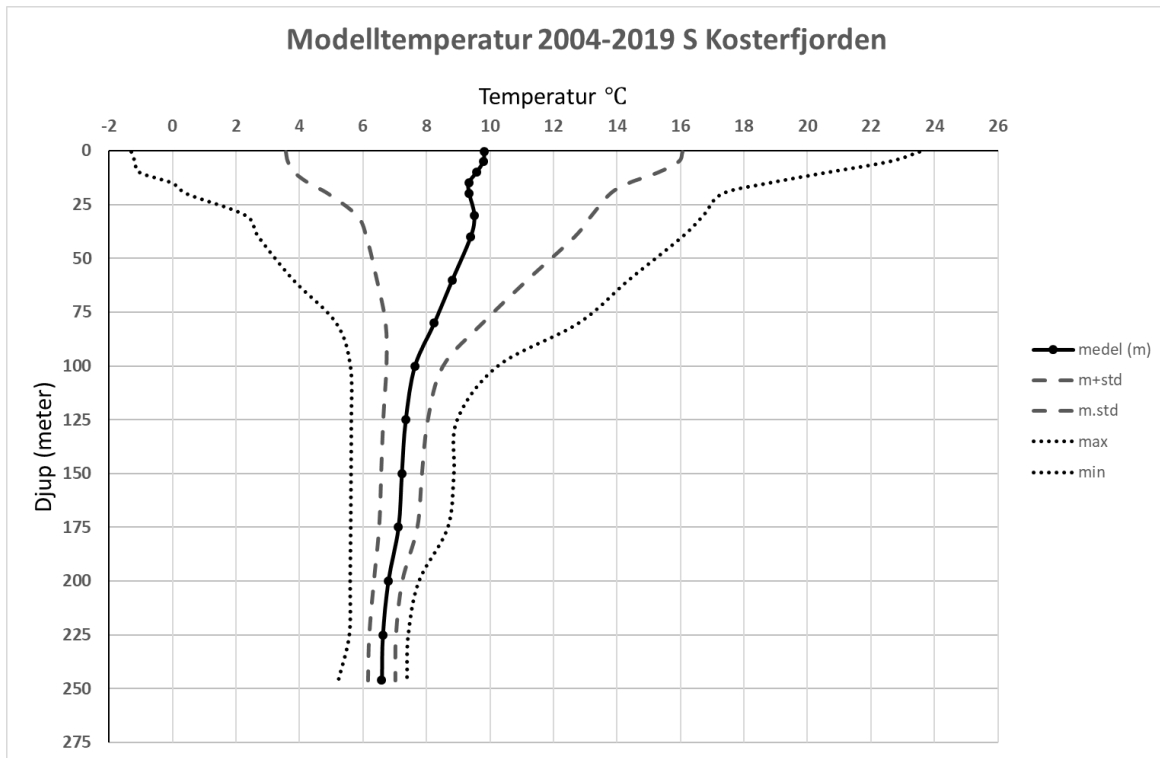
- Müller, J. D., Schneider, B., and Rehder, G., 2016. Long-term alkalinity trends in the Baltic Sea and their implications for CO₂-induced acidification, *Limnol. Oceanogr.*, 61, 1984–2002, doi:10.1002/lno.10349.
- Müller JD and Rehder G (2018) Metrology of pH Measurements in Brackish Waters—Part 2: Experimental Characterization of Purified meta-Cresol Purple for Spectrophotometric pH Measurements. *Front. Mar. Sci.* 5:177. doi: 10.3389/fmars.2018.00177.
- Olafsson, J., S.R. Olafsdottir, A. Benoit-Cattin, M. Danielsen, T.S. Arnarson, and T. Takahashi, 2009. Rate of Iceland Sea acidification from time series measurements. *Biogeosciences*, 6(11), 2661-2668.
- Omstedt, A., M. Edman, B. Claremar, P. Frodin, E. Gustafsson, C. Humborg, H. Hägg, M. Mörth, A. Rutgersson, G. Schurgers, B. Smith, T. Wällstedt, A. Yurova, 2012. Future changes in the Baltic Sea acid–base (pH) and oxygen balances, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 64:1, DOI: 10.3402/tellusb.v64i0.19586.
- Omstedt, A., M. Edman, L. Anderson, H. Laudon, 2010. Factors influencing the acid–base (pH) balance in the Baltic Sea: a sensitivity analysis, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 62:4, 280-295, DOI: 10.1111/j.1600-0889.2010.00463.x.
- Rodhe J, Tett P, Wulff F., 2006. The Baltic and North Seas: a regional review of some important physical-chemicalbiological interaction processes. In: Robinson AR, Brink KH (eds) *The sea*, Vol 14B. Harvard University Press, Cambridge, MA, p 1033–1075.
- Wesslander, K., L. Andersson, P. Axe, J. Johansson, J. Linders, N. Nexelius, A.T. Skjevik, 2016. Swedish National Report on Eutrophication Status in the Skagerrak, Kattegat and the Sound. OSPAR assessment 2016. Report Oceanography No, 54, SMHI Norrköping Sweden. Länk: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.145493!/RO_54c.pdf.
- Wesslander, K., L. Viktorsson, P. Thor, M. Nilsson, A.T. Skjevik, 2020. The Swedish National Marine Monitoring Programme 2019. Report Oceanography No.69, SMHI Norrköping Sweden. Länk: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.162761!/RO_69.pdf.

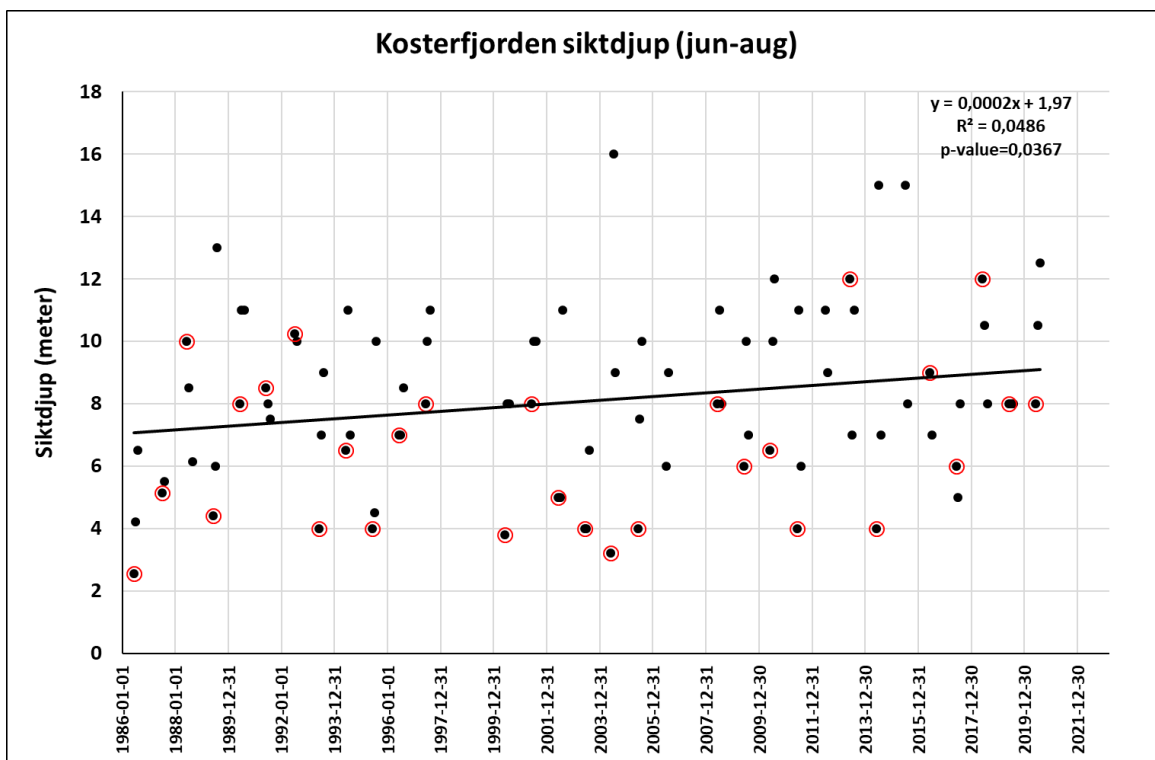
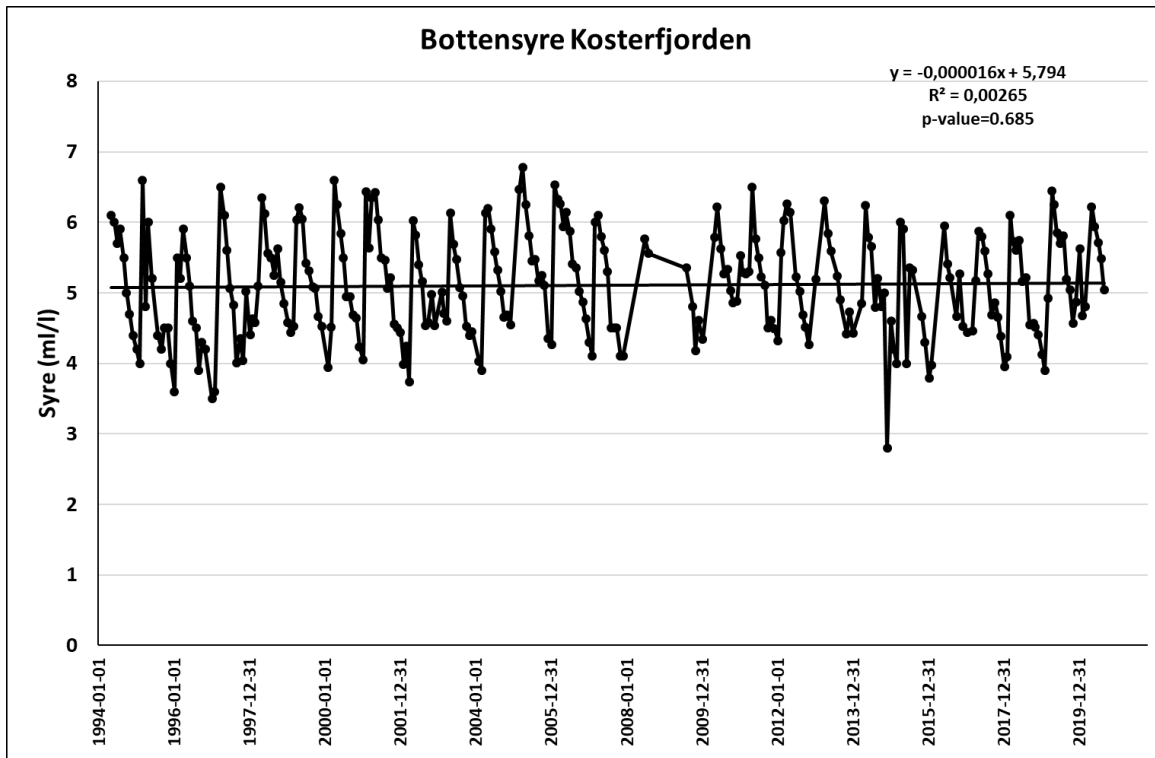
Figurer



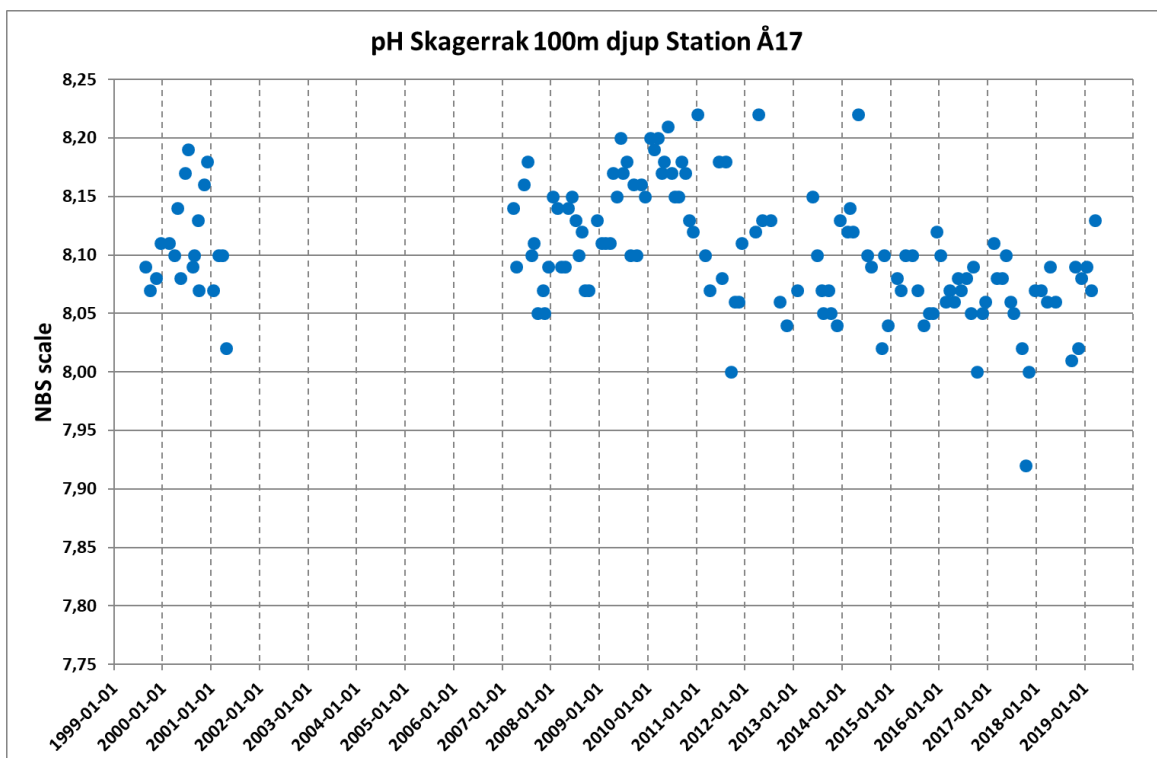
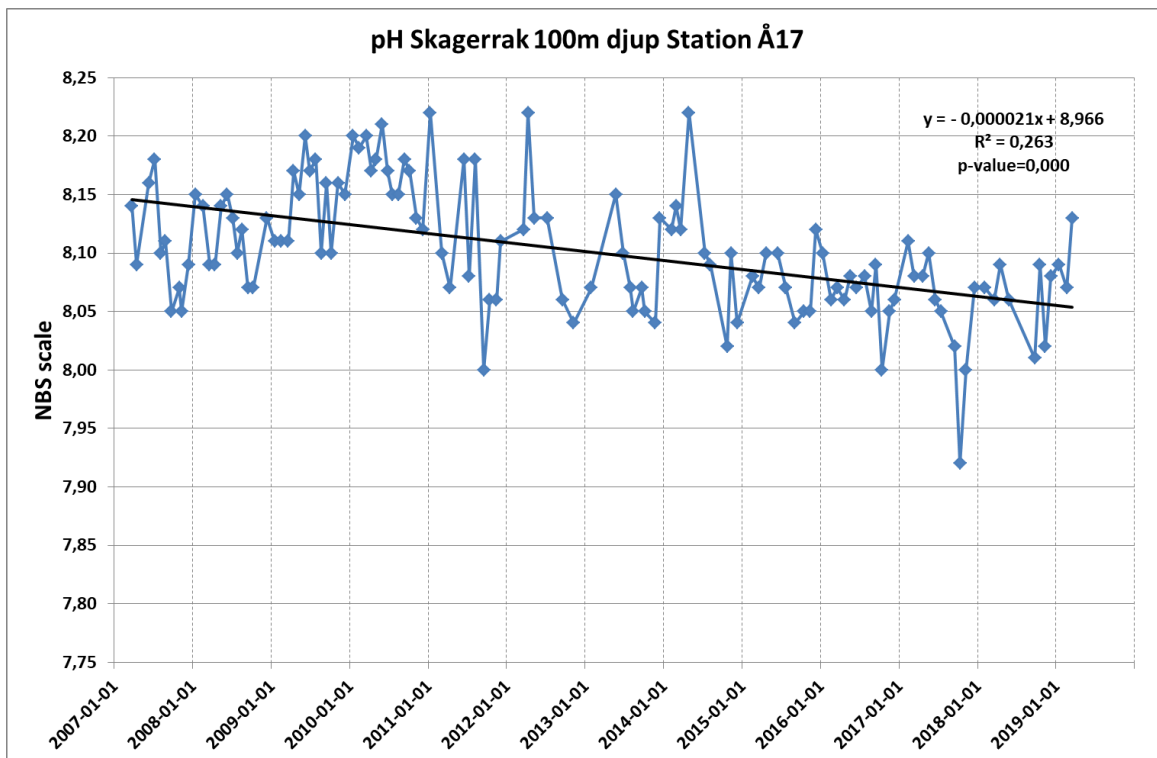


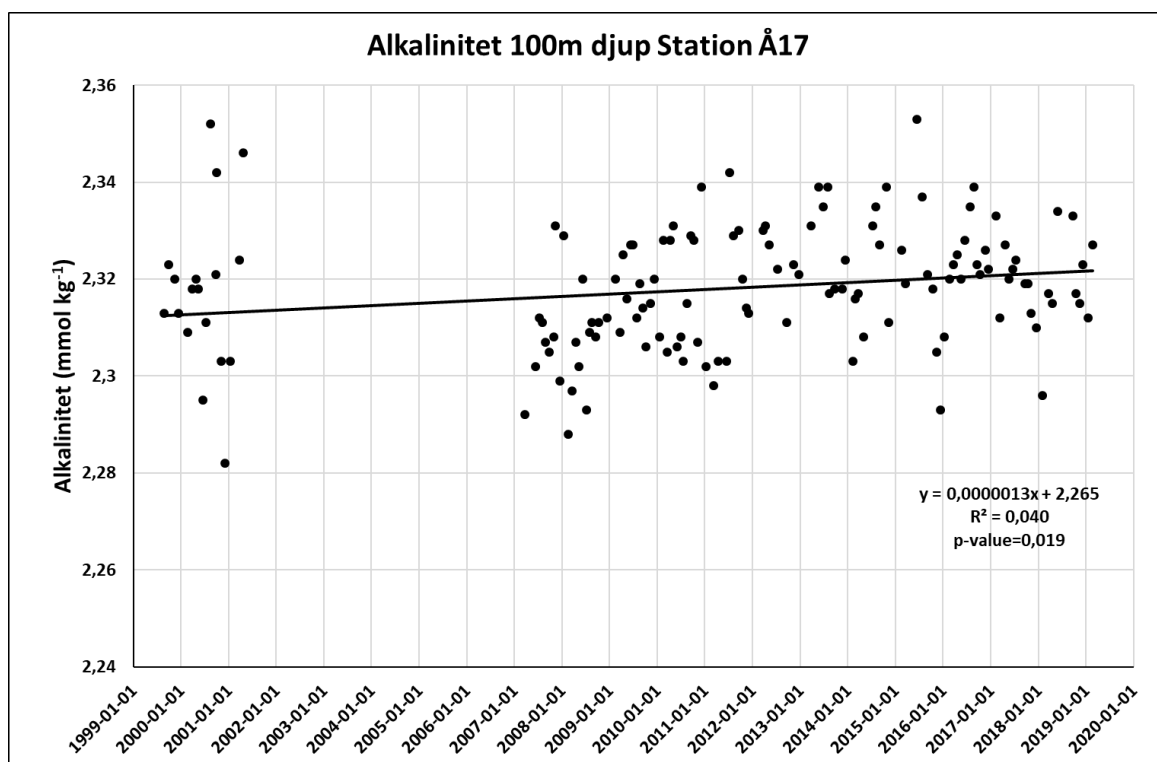
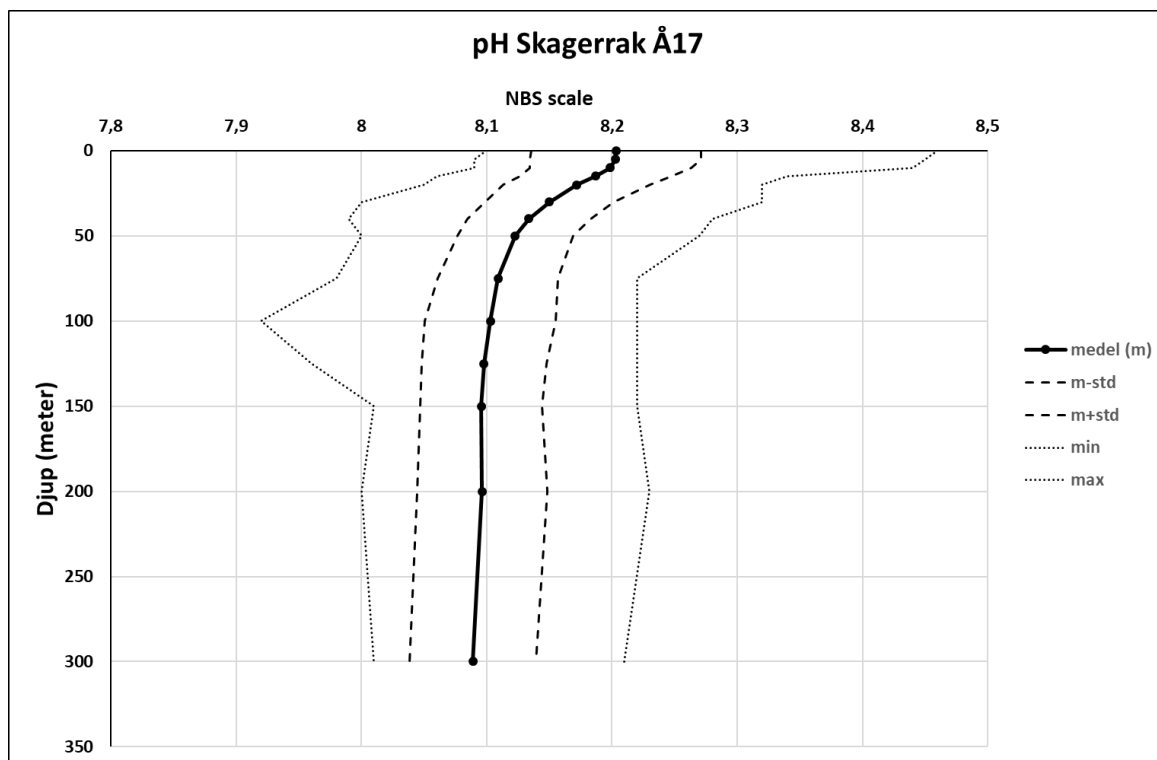
Figur 1. Observationer från Kosterfjorden (N58 52.1 E11 06.2) av yttemperatur °C (över) (1966–2020) och bottentemperatur °C (mitten) för perioden 1994–2020. Underst visas tidserie på temperatur och salthalt från bottenvattnet i Kosterfjorden. Linje och ekvation för linjära regressionen samt p-värde för lutningen visas för yt- och bottentemperatur.





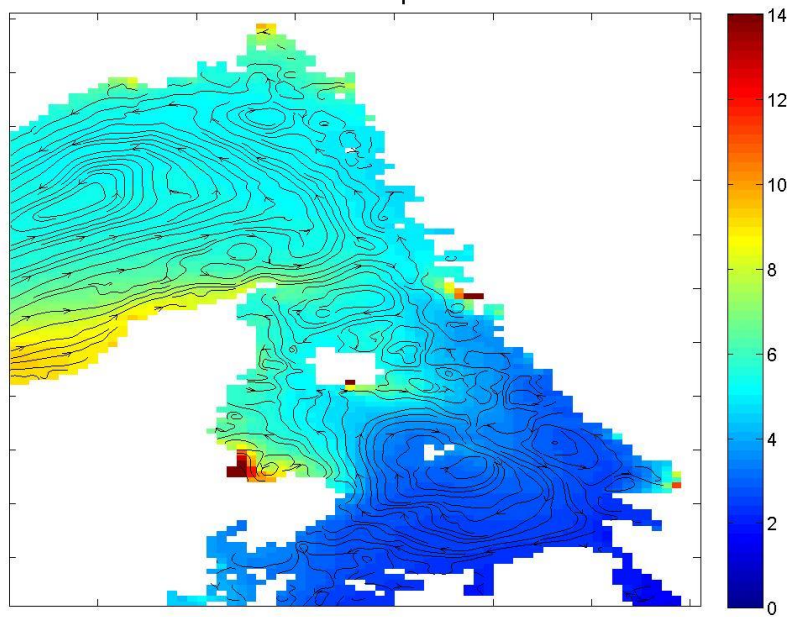
Figur 2. Modellresultat från S Kosterfjorden (överst) av temperatur °C statistik av dagliga värden för vertikal profil för perioden 2004 till slutet av 2019 (medelvärde, svart linje med punkter; medelvärde ± 1 standardavvikelse, streckad linje; max och min värden, punktade linjer). Ackumulerad area (näst överst) från botten till ytan (fördelning i procent %) i Kosterfjorden beräknad från Kustzonsmodellens hypsografi, summa för Södra och Norra Kosterfjorden. Areal under 100 meters djup är mindre än 2,3 % (röd punkt) av den totala arean av Kosterfjorden. Näst underst visas Kosterfjordens bottensyrekoncentrationer från observationsdata (230-246m). Underst visas Kosterfjordens data för siktdjup under månaderna juni, juli och augusti (1986–2020). Juni månads data omringade med röd cirkel. Linje och ekvation för linjära regressionen samt p-värde för lutningen visas.



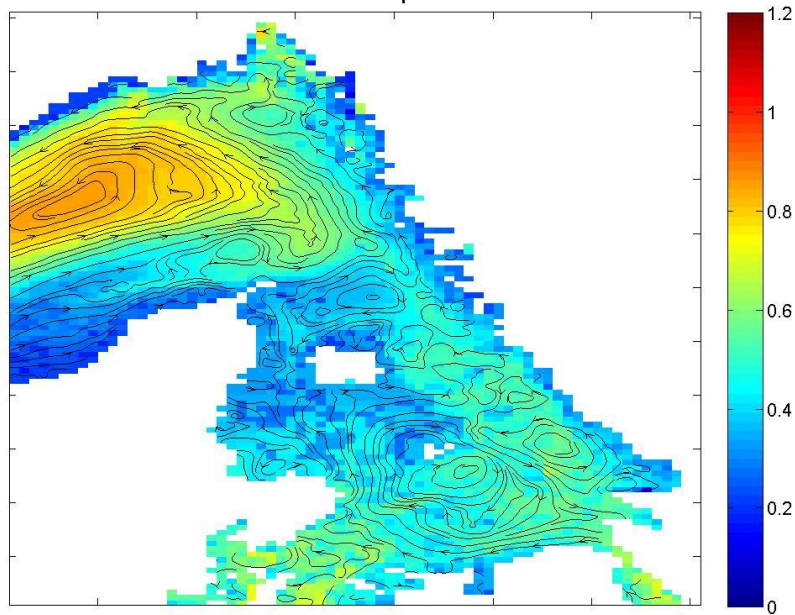


Figur 3. Observationer från SHARK under perioden 2007–2020 (rad 1) och 1999–2020 (rad 2) av pH (NBS Scale) på 100 meters djup vid station Å17 (N58 17.1 E10 30.3). Linje och ekvation för linjär regressionen samt p-värde för lutningen visas för övre figuren. Statistik för vertikal profil (rad 3) (medelvärde, svart linje med punkter; medelvärde ±1 standardavvikelse, streckad linje; max och min värden, punktade linjer) under 1999–2020. Underst (rad 4) visas alkalinitet på 100 meters djup vid station Å17.

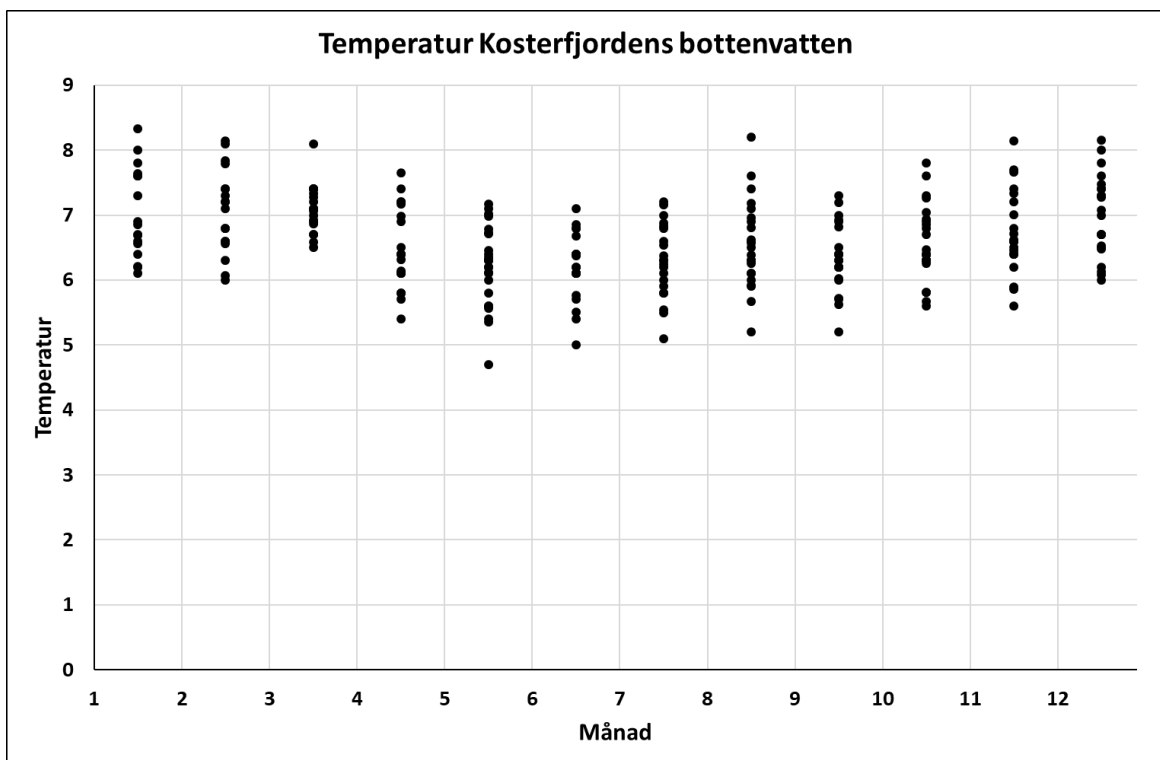
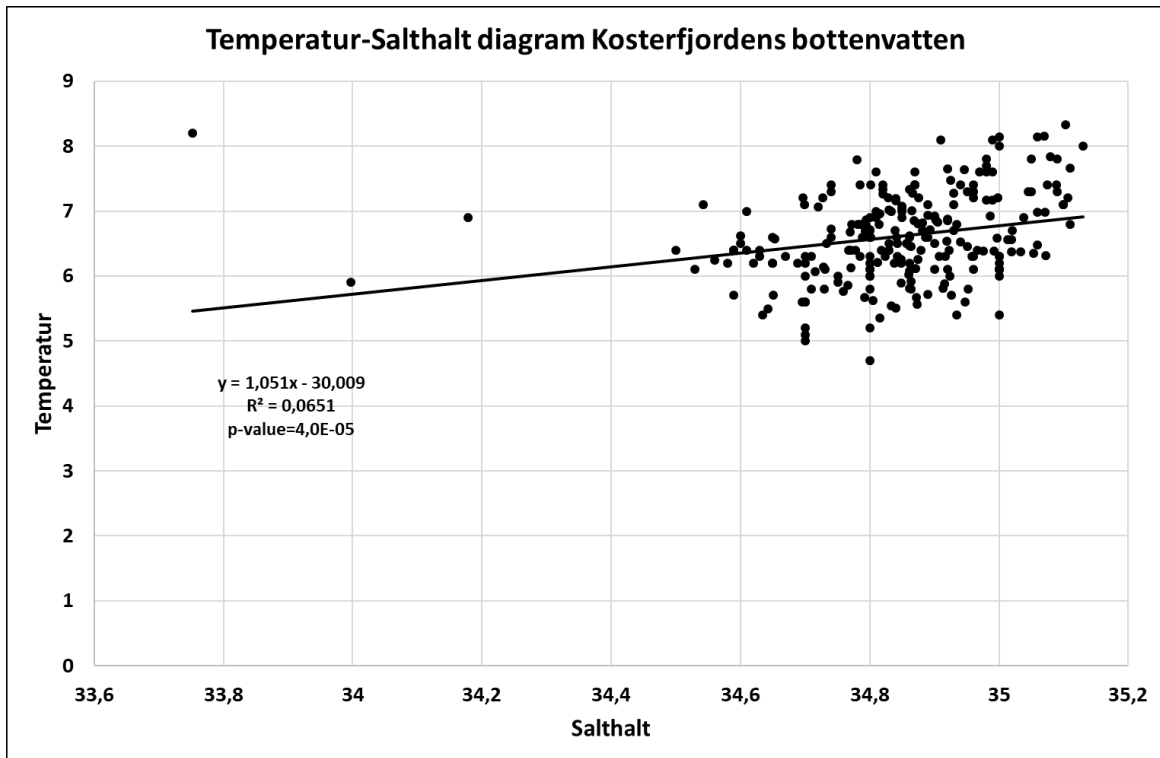
Annual vertical means of nitrate concentrations (mmolm^{-3})
and stream lines of transports 2007-2011



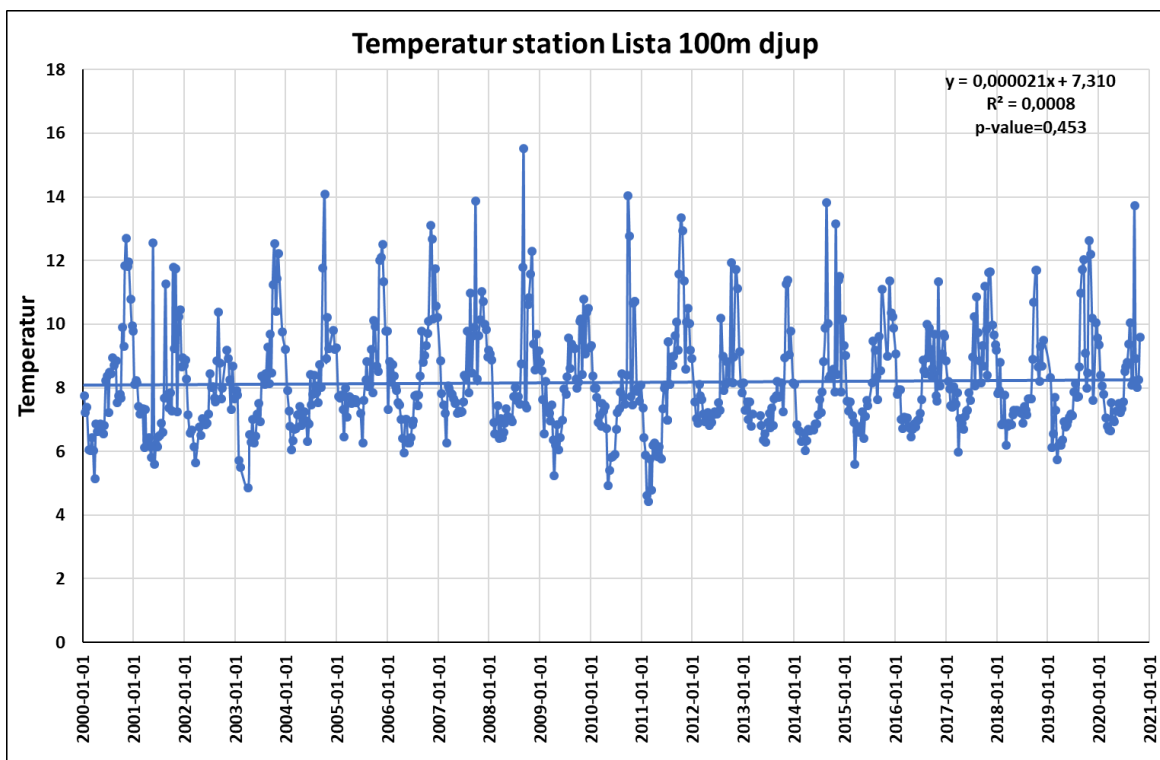
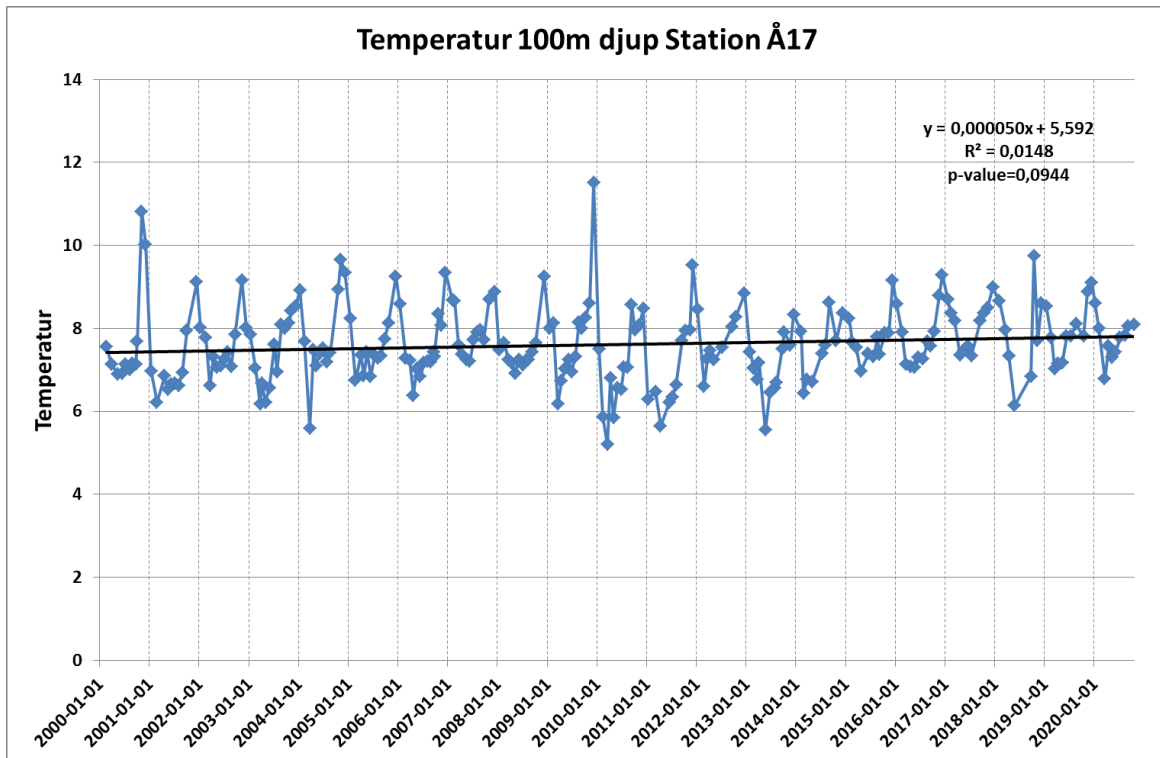
Annual vertical means of phosphate concentrations (mmolm^{-3})
and stream lines of transports 2007-2011

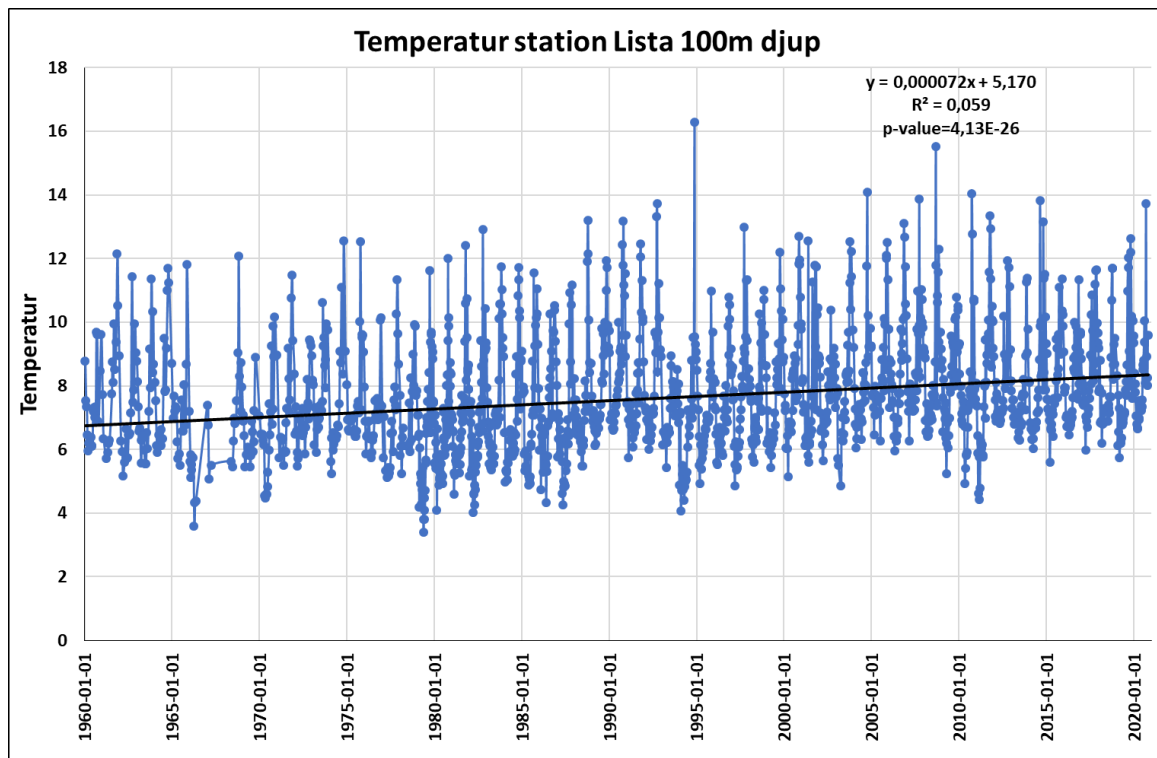


Figur 4. Medelvärden av fosfat och nitrat (mmol m^{-3}) under perioden 2007–2011 beräknade med en högupplöst kopplad hydrodynamisk och biogeokemisk numerisk modell över Nordsjön och Östersjön. Figurerna visar medelkoncentrationer och transportmönster (strömlinjer) vertikalt integrerade från botten till ytan i varje horisontell gridcell. Transporten av vattenmassor följer strömlinjer och pilarna indikerar vilken riktning transporten har i medeltal under den studerade perioden.

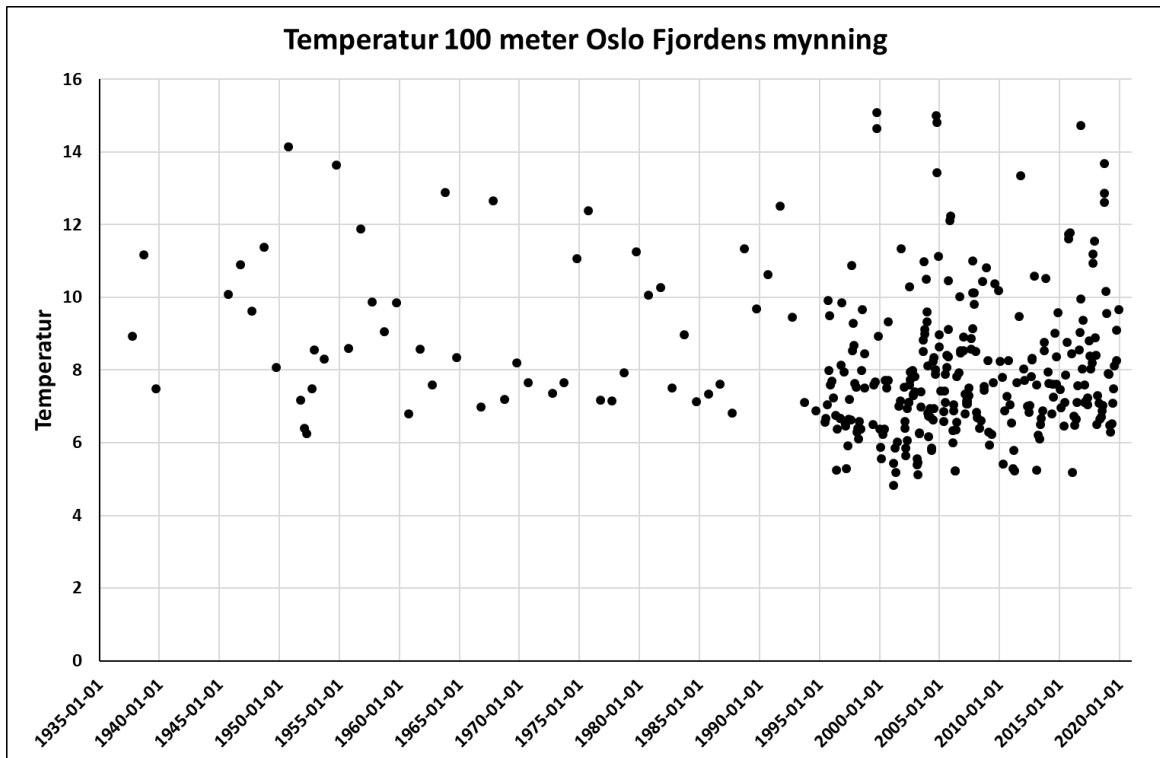


Figur 5. Temperatur-salthalt (TS-diagram) överst för Kosterfjordens bottenvatten (230-246m djup). Linje och ekvation för linjära regressionen samt p-värde för lutningen visas. Säsongsvariationen Jan-Dec för temperaturobservationerna visas i den nedre figuren.

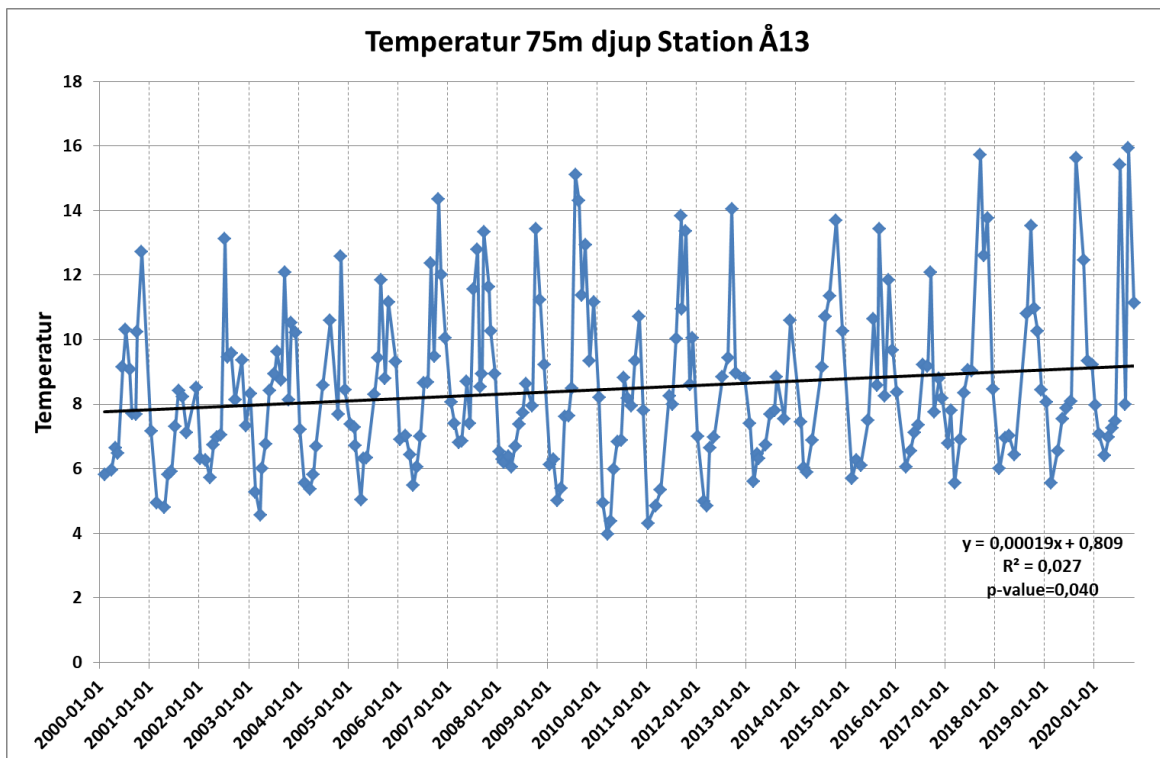




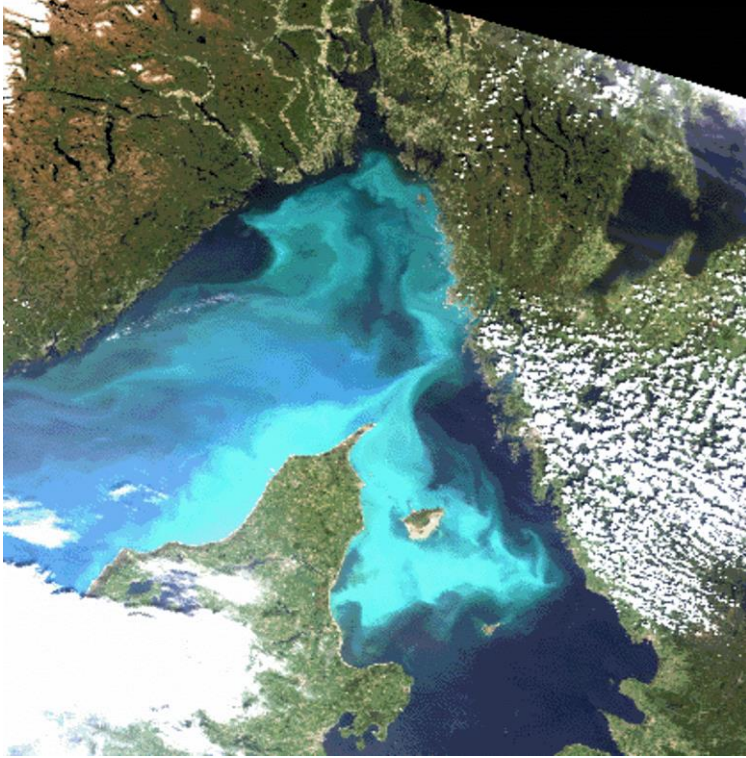
Figur 6. Observationer från SHARK vid station Å17 (N58 17.1 E10 30.3) (över) och station Lista vid Norges sydvästra kust (mitten) under perioden 2000–2020 av temperatur °C på 100 meters djup. Underst visas en längre tidsserie (1960–2020) från 100 meters djup på station Lista. Linje och ekvation för linjära regressionen samt p-värde för lutningen visas.



Figur 7. Temperatur på 100 meters djup från en station norr om Kosterfjorden N59.1° E10.75° vid Oslofjordens mynning (1937-2019).



Figur 8. Observationer från SHARK under perioden 2000–2020 temperatur °C på 75 meters djup vid station Å13 i östra Skagerrak (N58 20.4 E11 01.7). Linje och ekvation för linjära regressionen samt p-värde för lutningen visas.



Figur 9. Satellitbild av coccolithophorideblomningen i slutet av maj 2004. Detta år var blomningen extra kraftig och vattnet längs den svenska kusten färgades turkost. Källa: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/alger/algblomningar-i-vasterhavet-1.6013>