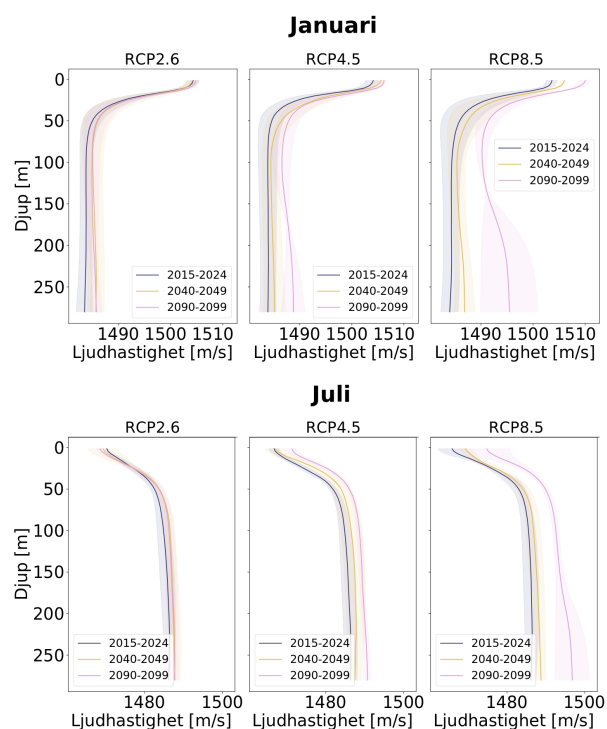


Oceanografisk klimatpåverkan på undervattensverksamhet i Östersjön och Västerhavet

Del 1

Vallot, D., Hieronymus, M. och Axell, L

I



Pärmbild.

Bilden föreställer medelvärdesbildade över januari, juli profiler av ljudhastighet vid Skagerrak plus-minus standard avvikelse för CMIP5-scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 i tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).

ISSN: 0283-7714 © SMHI

OCEANOGRAFI Nr 135, 2025

**Oceanografisk klimatpåverkan på
undervattensverksamhet i Östersjön och Västerhavet**

Del 1

Vallot, D., Hieronymus, M. och Axell, L

Granskad och Godkänd av: Sam Fredriksson

Funktion: Chef FoU Oceanografi

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

I den här rapporten undersöks hur det oceanografiska klimatet i Östersjön och Västerhavet förväntas förändras och påverka ljudhastighet i framtiden under två tidsperioder 2040-2049 och 2090-2099 jämfört med 2015-2024. Ljudhastigheten i havsvatten bestäms främst av tre fysikaliska variabler: temperatur, salthalt och tryck. Eftersom dessa variabler varierar mellan olika marina miljöer är ljudhastigheten inte homogen i havet. Dessa variablers förändringar med djupet skapar komplexa vertikala profiler för hur ljud propagerar. För att modellera temperatur och salthalt, använder vi NEMO-Nordic, en högupplöst oceanmodell för Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen, baserad på det internationellt utvecklade NEMO-systemet. Modellen drivs av atmosfäriska data från tre klimatmodeller (EC-Earth, HadGEM och MPI) under tre CMIP5-scenarier (RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5), vilket ger tre modellmedlemmar för varje scenario.

Ljudhastighetsprofilerna visar tydliga säsongsinversioner där temperaturen — och därmed ljudhastigheten — är lägst vid ytan på vintern och högst på sommaren. I alla scenarier ökar ljudhastigheten över tid, medan salthalten minskar, särskilt under RCP8.5, främst på grund av en intensifierad hydrologisk cykel, det vill säga mer sötvattentillförsel. Framtida salthalter i Östersjön är dock mycket osäkra.

Trenderna är liknande i Västerhavet och Östersjön, men för ändringarna kommer tidigare i Östersjön (från ca 2040) och blir starkare mot seklets slut, särskilt i RCP8.5.

Summary

In this report, we examine how the oceanographic climate of the Baltic Sea and the Skagerrak–Kattegat region is expected to change and impact the sound speed in the future for two time periods, 2040–2050 and 2090–2099, compared with 2015–2024. The speed of sound in seawater is primarily determined by three physical variables: temperature, salinity, and pressure. Because these parameters vary between marine environments, sound speed is not homogeneous in the ocean. Changes in these variables with depth create complex vertical profiles that influence how sound propagates.

To model temperature and salinity, we use NEMO-Nordic, a high-resolution ocean model for the Baltic Sea, the North Sea, and the English Channel, based on the internationally developed NEMO system. The model is forced with atmospheric data from three climate models (EC-Earth, HadGEM, and MPI) under three CMIP5 scenarios (RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5), resulting in three model members for each scenario.

The sound-speed profiles show clear seasonal inversions, with temperature — and thus sound speed — being lowest at the surface in winter and highest in summer. In all scenarios, sound speed increases over time, while salinity decreases, especially under RCP8.5, mainly due to an intensified hydrological cycle. However, future salinity levels in the Baltic Sea are highly uncertain.

The trends are similar in the Skagerrak–Kattegat region and the Baltic Sea, but the changes appear earlier in the Baltic Sea (from around 2040) and intensify toward the end of the century, particularly in RCP8.5.

Innehåll

1	Bakgrund	4
1.1	Egenskaper hos ljudhastighet under vatten	4
1.2	Östersjöns- och Västerhavetsegenskaper	4
1.3	Havsmodeller, klimatmodeller och scenarier	6
2	Modell och Data	8
2.1	Havsmodellen NEMO-Nordic	8
2.2	Stationer	9
2.3	Beräkning av ljudhastighet	9
3	Resultat	11
3.1	Historisk model data jämfört med observationer	11
3.2	Scenarier	14
3.2.1	Skagerrak (Å17)	15
3.2.2	Kattegatt (ANHOLT_E)	18
3.2.3	Bornholmsbassängen (BY4)	20
3.2.4	Gotlandsdjupet (BY15)	23
3.2.5	Landsortsdjupet (BY31)	26
3.2.6	Ålands hav (F64)	29
4	Slutsats	32
A	Hovmöller plots	33
A.1	Skagerrak (Å17)	33
A.2	Kattegatt (ANHOLT_E)	34
A.3	Bornholmsbassängen (BY4)	35
A.4	Gotlandsdjupet (BY15)	36
A.5	Landsortsdjupet (BY31)	37
A.6	Ålands hav (F64)	38
B	Avvikelsekartor	39
B.1	Salthalt	39
B.2	Ljudhastighet	42

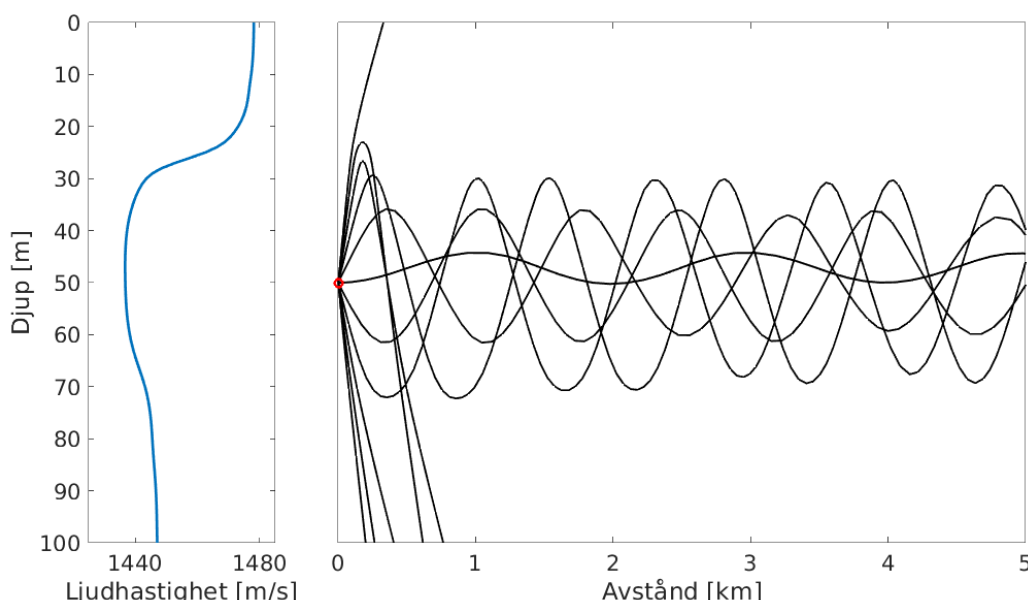
Denna sida är avsiktligt blank

1 Bakgrund

1.1 Egenskaper hos ljudhastighet under vatten

Ljudhastighet i vatten är ett mått på hur snabbt ljudvågor propagerar genom vattenmassan. Hastigheten beror huvudsakligen på temperatur, salthalt och tryck, och är därför inte homogen mellan olika marina miljöer. Variationer i ljudhastigheten påverkar hur ljud propagerar i havet.

För att undersöka hur ljudhastigheten förändras som funktion av djup måste vi beakta de vertikala profilerna för temperatur, salthalt och tryck. Vid havsytan är trycket lågt och temperaturen är det dominerande faktorn för att bestämma ljudhastigheten i havet, vilket medför att ljudhastigheten har årstidsvariationer i ytlagret. När djupet ökar minskar både temperaturen och ljudhastigheten. På stora djup blir dock det höga trycket den dominerande faktorn, och trots de låga temperaturerna ökar ljudhastigheten återigen med djupet. På måttliga djup finns en zon där både temperaturen och trycket är relativt låga, vilket resulterar i att ljudhastigheten når ett minimum. Denna zon kallas SOFAR-kanalen (Sound Fixing And Ranging) eller den djupa ljudkanalen, och utgör ett område där ljudvågor kan färdas långa sträckor med minimal energiförlust. Denna ljudkanal upptäcktes på 1940-talet och är en permanent företeelse i de djupare världshaven (Atlanten, etc.). I haven runt Sverige kan den bildas säsongvis (Fig. 1).



Figur 1: Ljudutbredning i en ljudkanal i Östersjön (data från 2017). Ljudvågor som utgår från en källa bryts mot området med lägre ljudhastighet, vilket "fångar in" ljudet i kanalen. Källan ligger på 50 meters djup.

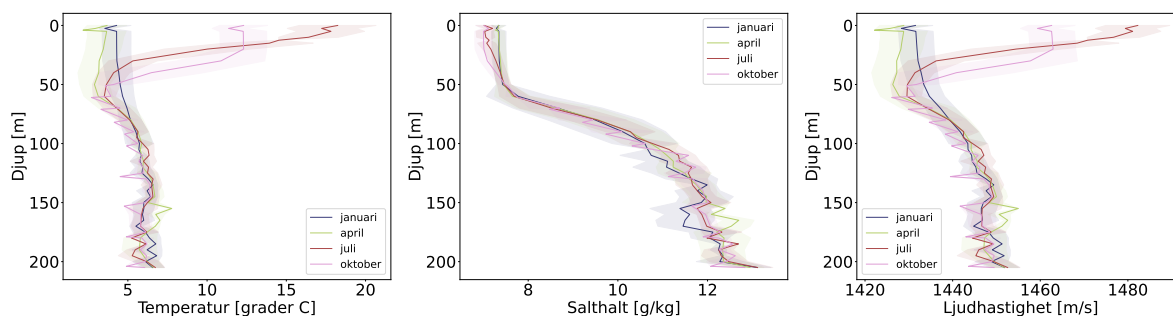
1.2 Östersjöns- och Västerhavetsegenskaper

Östersjön är ett brackvattenhav med stark densitetsskiktning som bestäms av variationer i salthalt och temperatur. Kombinationen av omfattande sötvattentillförsel (från regn och flodavrinning) och begränsat saltvatteninflöde från Nordsjön via Kattegatt skapar en permanent tvåskiktad struktur med sötare ytvatten ovanpå saltare djupvatten. Detta gör Östersjön unikt i förhållande till både sjöar, där skiktningen främst styrs av temperatur, och oceaner, där salthalten är relativt konstant.

Vattnets densitet (ρ) beror på temperatur (T), salthalt (S) och tryck (p). För sötvatten är densiteten som högst vid 4°C, men ökande salthalt sänker temperaturen för maximal densitet.

Gränsszoner mellan skikt kallas kliner: en haloklin markerar snabb förändring i salthalt och en termoklin snabb förändring i temperatur.

Den termiska skiktningen varierar säsongsmässigt (Fig. 2). Under hösten kyls ytvattnet, blir tätare och sjunker, vilket leder till vertikal omblandning tills hela ytlagret uppnår maximal densitet. På våren och sommaren värms ytan upp och en stabil termoklin etableras mellan det varma ytvattnet (0–20 m) och det kallare mellanskiktet. Temperaturen i de djupa lagren förändras långsamt och når sitt maximum först under senhösten. Vid uppvällning på sommaren kan kallt djupvatten nå ytan och snabbt sänka temperaturen lokalt.



Figur 2: Månadsmedelvärdebildade profiler av salthalt, temperatur och ljudhastighet observerat i station Gotlandsdjupet (BY15) för 1988-2017.

Östersjöns haloklin befinner sig vanligen mellan 40 och 80 m djup och utgör en effektiv barriär mot vertikal blandning. Salthalten är lägst i norr och öst (Bottenviken, Finska viken) och högst i sydväst. Tillförseln av sötvatten från floder och nederbörd samt begränsade inflöden av saltvatten genom de danska sunden styr salthaltsfördelningen. Större inflöden av salt och syrerikt vatten från Skagerrak, så kallade Major Baltic Inflows (MBI), inträffar endast vid specifika meteorologiska förhållanden och är avgörande för ventilationen av djupvattnet.

1.3 Havsmodeller, klimatmodeller och scenarier

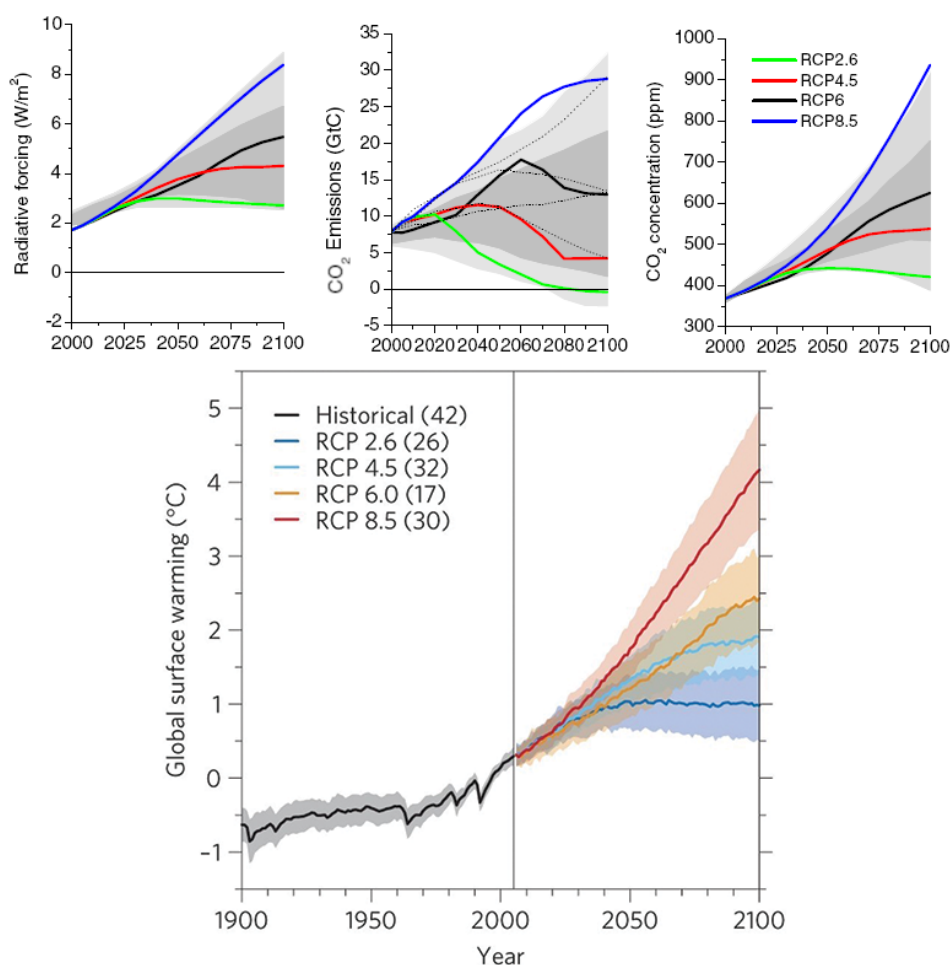
Numeriska klimatmodeller är matematiska modeller som används för att simulera samspelet mellan de viktigaste komponenterna som styr klimatet. Dessa komponenter omfattar atmosfären, haven, landytan och isen. Klimatmodeller används för att studera klimatsystemets dynamik samt för att göra projektioner av framtida klimat och klimatförändringar. För att kunna genomföra långa simuleringar av hela jordklotet används vanligtvis en grov rumslig och tidsmässig upplösning, vilket innebär att lokala effekter inte representeras på ett tillfredsställande sätt. För att kvantifiera förändringar i Östersjön kan man i stället använda en havsmodell som drivs med atmosfäriska data från en klimatmodell. Havsmodeller används för att beskriva fysikaliska variabler såsom temperatur, salthalt, strömmar och vattennivå samt deras variation i rum och tid. Dessa modeller baseras på grundläggande fysikaliska lagar, de så kallade primitiva ekvationerna, vilka beskriver bevarande av massa, rörelsemängd och energi.

För att fördjupa förståelsen av klimatförändringar har Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), sedan starten 1995, etablerat ett internationellt samarbetsramverk som utvecklats i flera faser. Ramverket syftar till att främja förbättringar av klimatmodeller och att bidra till nationella och internationella bedömningar av klimatförändringar. CMIP och den tillhörande datainfrastrukturen är en grundläggande resurs för IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) samt för andra internationella och nationella klimatbedömningar.

År 2025 förbereder sig forskarsamhället för att genomföra nya klimatsimuleringar inom fas 7 av Coupled Model Intercomparison Project (CMIP7), men modellresultaten är ännu inte tillgängliga. I denna rapport har vi i stället använt klimatdata från CMIP5.

CMIP-scenarierna utgör standardiserade framtidsscenarier som används inom CMIP ramverket för att driva klimatsimuleringar baserad på dessa och undersöka olika tänkbara utvecklingsbanor för växthusgasutsläpp, markanvändning och deras påverkan på klimatet. CMIP5-scenarierna baseras på de så kallade Representative Concentration Pathways (RCP), vilka beskriver framtida halter av växthusgaser och motsvarande strålningsdrivning. Strålningsdrivningen är skillnaden mellan mängden energi från solinstrålning som träffar jorden och hur mycket energi som jorden strålar ut till rymden igen. Denna energi mäts i enheten watt per kvadratmeter, (W/m^2). De utgör grunden för klimatprojektionerna i IPCC:s femte utvärderingsrapport (AR5).

RCP-scenarierna är uppkallade efter den beräknade mängden strålningsdrivning år 2100, exempelvis RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 och RCP8.5 (Fig. 3 visar strålningsdrivning för olika scenarier och motsvarande CO_2 utsläpp och koncentrationer). RCP2.6 är ett lågutsläppsscenario. Det är inte framtaget för att modellera Parisavtalet, men ger framtida utsläpp som är ungefär i linje med detta. RCP4.5 är ett middle-of-the-road scenario, som ger temperaturförändringar ungefär i linje med vad man kan vänta sig givet att dagens policies bibehålls. RCP8.5 är ett högutsläppsscenario, ett möjligt scenario i en värld med stark fossildriven tillväxt.



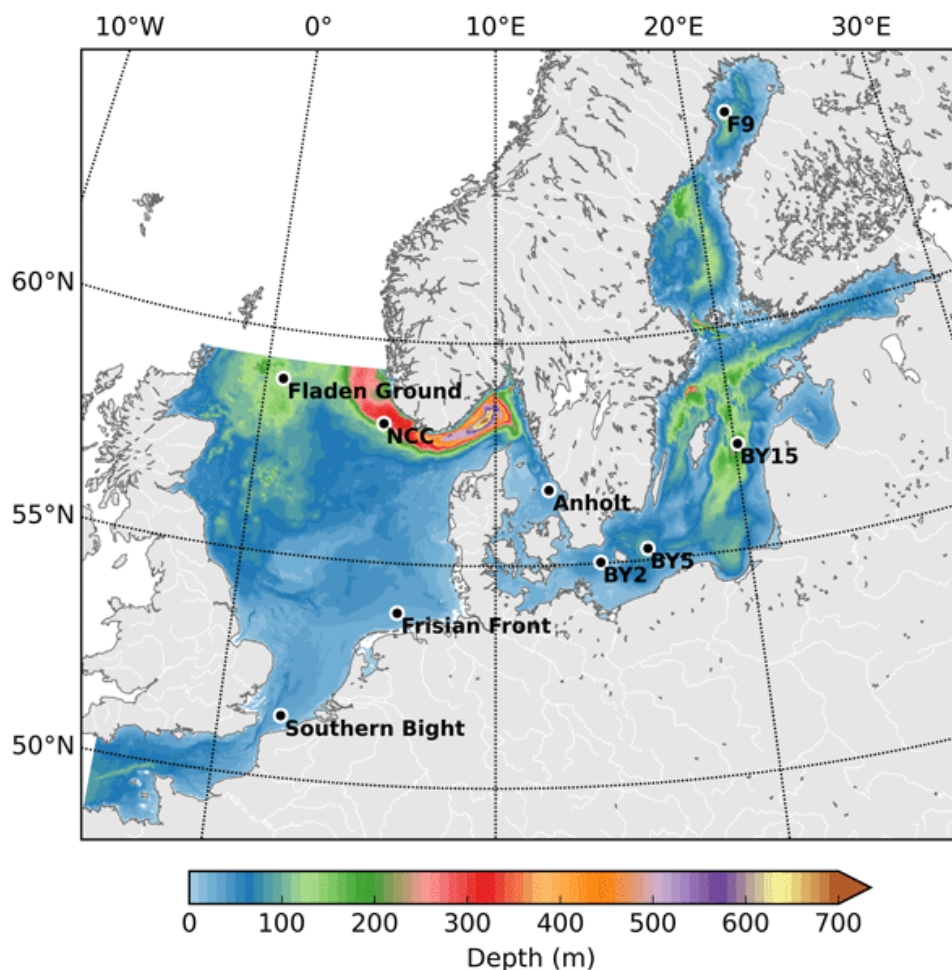
Figur 3: Övre panelen: Trender i strålningsdrivning, utsläpp av CO_2 samt trender i CO_2 -koncentrationer för olika RCP-scenarier (Van Vuuren et al., 2011). Nedre panelen: Projektioner av framtida global temperaturförändring från IPCC:s femte utvärderingsrapport (AR5, 2014). Den svarta linjen visar simulerade historiska temperaturer, medan feta linjer representerar medelvärdet av alla modeller för respektive scenario. Skuggningen anger spridningen mellan modellerna, och siffrorna i parentes anger hur många modeller som använts per scenario. Temperaturskalan visar uppvärmning i förhållande till sista kvartalet av 1900-talet.

2 Modell och Data

2.1 Havsmodellen NEMO-Nordic

NEMO-Nordic är en modellkonfiguration utvecklad för Östersjön och Nordsjön. Den baseras på "NEMO ocean engine", en uppsättning verktyg för oceanmodellering som underhålls av ett stort internationellt forskarsamhälle. Modellen utvecklas i nära samverkan med och med kontinuerlig bevakning av framstegen inom andra liknande gemenskapsbaserade oceanmodeller.

Modelldomänen för NEMO-Nordic (Fig. 4) horisontella upplösningen är ca 2 nautiska mil (ca 3.7 km) och omfattar Engelska kanalen, Nordsjön och Östersjön. I Nordsjön är modellens öppna randvillkor placerade i den västra delen av Engelska kanalen samt mellan Skottland och Norge.



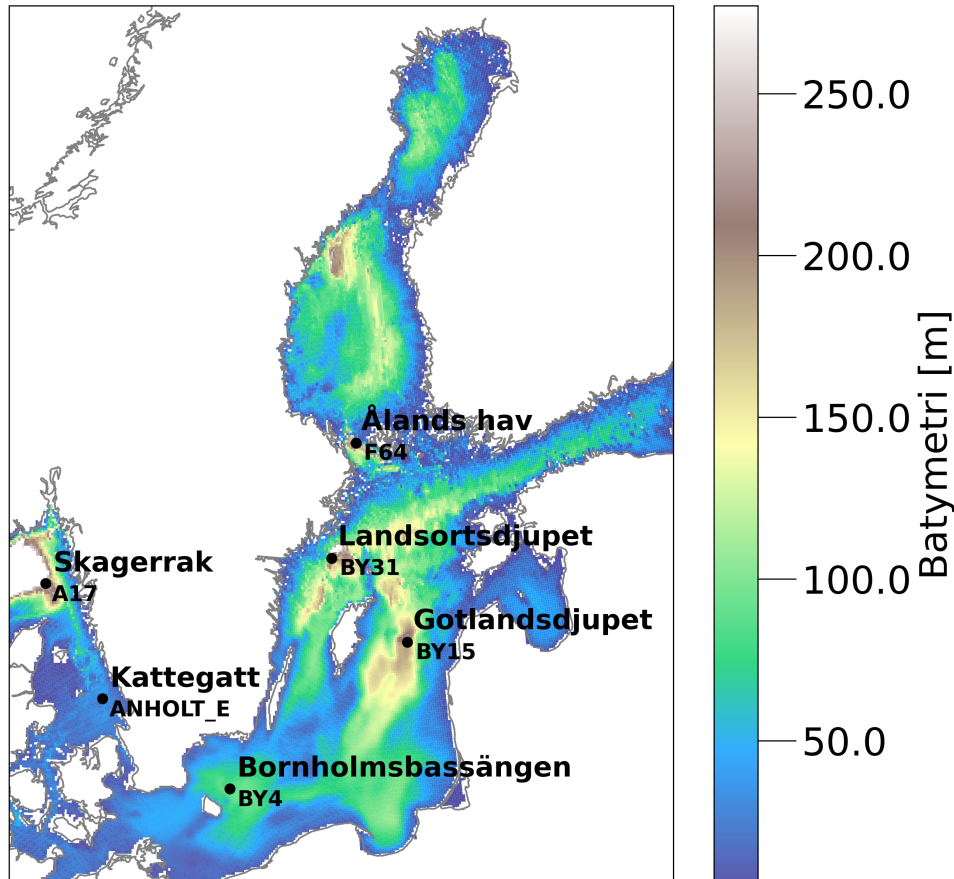
Figur 4: Modellens domän och batymetri för NEMO-Nordic (från: Hordoir et al., 2019). De fyllda cirkelarna markerar platserna för vanliga valideringsstationer av salinitet och temperatur.

I den vertikala riktningen använder modellen ett z^* -rutnät bestående av 56 nivåer av samma storlek överallt förutom den nedersta aktiva nivån (vid botten). Lagertjockleken är 3 meter vid ytan, ökar till 10 meter vid 113 meters djup och upp till 22 meter vid 700 meters djup. För den nedersta aktiva nivån används en "partial step"-formulering, vilket innebär att bottennivån anpassas till den lokala topografin snarare än att fixeras till en bestämd z -nivå. Modellens batymetri (havsbottnens topografi) är hämtad från den globala GEBCO-databasen (The GEBCO-2014 Grid, version 20150318, <http://www.gebco.net>). Temperatur och salthalt är beräknat i mitten av gridscellen.

Havsmodellen drivs med atmosfäriska data från tre olika klimatmodeller — EC-Earth, Had-GEM och MPI — som körts med tre olika scenarier från CMIP5 — RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5. Detta resulterar i tre olika medlemmar med tre olika scenarier vardera.

2.2 Stationer

I Östersjön och Västerhavet finns flera mätstationer där man kan hämta data såsom temperatur och salthalt. I den här rapporten använder vi data från de sex stationer som visas i Fig. 5.



Figur 5: Utvalda stationer för visualisering av resultatet. Bakgrunden visar havsbatymetri.

Stationerna valdes för att de ligger nära de djupaste positionerna i de olika delbassängerna. De havsområden som är av störst intresse i denna rapport är Västerhavet och egentliga Östersjön upp till Ålands hav. Av detta skäl har vi inte valt några stationer i Bottenhavet, Bottenviken, Finska viken eller Rigabukten. En sammanfattning av utvalda stationer visas i Tab 1 med latitud, longitud, djup och namn.

2.3 Beräkning av ljudhastighet

Ljudhastigheten c definieras som den partiella derivatan av in-situ densiteten $\rho(S, T, p)$ med avseende på tryck p , enligt

$$c = \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_{S, T}^{-1/2} \quad (1)$$

I denna studie beräknas ljudhastigheten i havsvatten enligt en 75 termer lång polynomutveckling för specifik volym (‘‘TEOS-10’’), formulerad som en funktion av salthalt (S), temperatur (T) och tryck (p).

Tabell 1: Stationer namn, område och modellkoordinater.

Station	Område	Latitud	Longitud
Å17	Skagerrak	58.25	10.51
ANHOLT_E	Kattegatt	56.65	12.12
BY4	Bornholmsbassängen	55.39	15.34
BY15	Gotlandsdjupet	57.32	20.06
BY31	Landsortsdjupet	58.59	18.23
F64	Ålands hav	60.19	19.12

Inom oceanografin används olika standarder och enheter för både temperatur och salthalt. För temperatur finns in-situ temperaturen, den temperatur som mäts med en termometer. Potentiell temperatur är den temperatur ett vattenpaket hade haft om det förts till ytan utan att utbyta salt och värme med sin omgivning. Det är också den temperaturvariabel som finns i oceanmodellen. Slutligen finns konservativ temperatur vilket är samma som potentiell entalpi, alltså den entalpi ett vattenpaket hade haft om det förts till ytan utan att utbyta salt och värme med sin omgivning. Konservativ temperatur är därför tryckoberoende.

För salthalt finns främst två standarder Practical Salinity Unit (PSU), vilket är en äldre standard som används i modellen, samt absolut salthalt som anger massration av salt till vatten i g/kg.

Idag är konservativ temperatur och absolut salthalt standardvariabler och de är dessa vi behöver för beräkning av ljudhastigheten. Omvandling mellan de olika standarderna sker genom funktioner i TEOS10 paketet (Roquet et al., 2015).

3 Resultat

3.1 Historisk model data jämfört med observationer

Fig. 6 visar temperatur, salthalt och ljudhastighet modellerat medel för 2008-2017, för djupen 5, 40 och 80 m.

Temperaturen vid ytan har en latitudinell gradient och är mellan 9 – 12 °C söder om Åland och mellan 5–7 °C norrut. Vertikal gradient är nästan noll i Västerhavet medan årsmedeltemperaturen är lägre på djupare vatten än grundare vatten i Östersjön. Detta beror på att djupvattnet i Östersjön normalt har sitt ursprung i ytvattnet i Kattegatt under sen höst eller vinter (då stormar, som behövs för kraftiga inflöden in i Östersjön, är vanligare än under andra årstider) och är därför relativt kallt. Temperaturen i de djupa delarna av Östersjön reflekterar därför Västerhavets yttemperaturer under den kalla delen av året. Djupvattnet i Skagerrak, däremot, har sitt ursprung i det varmare Nordsjön.

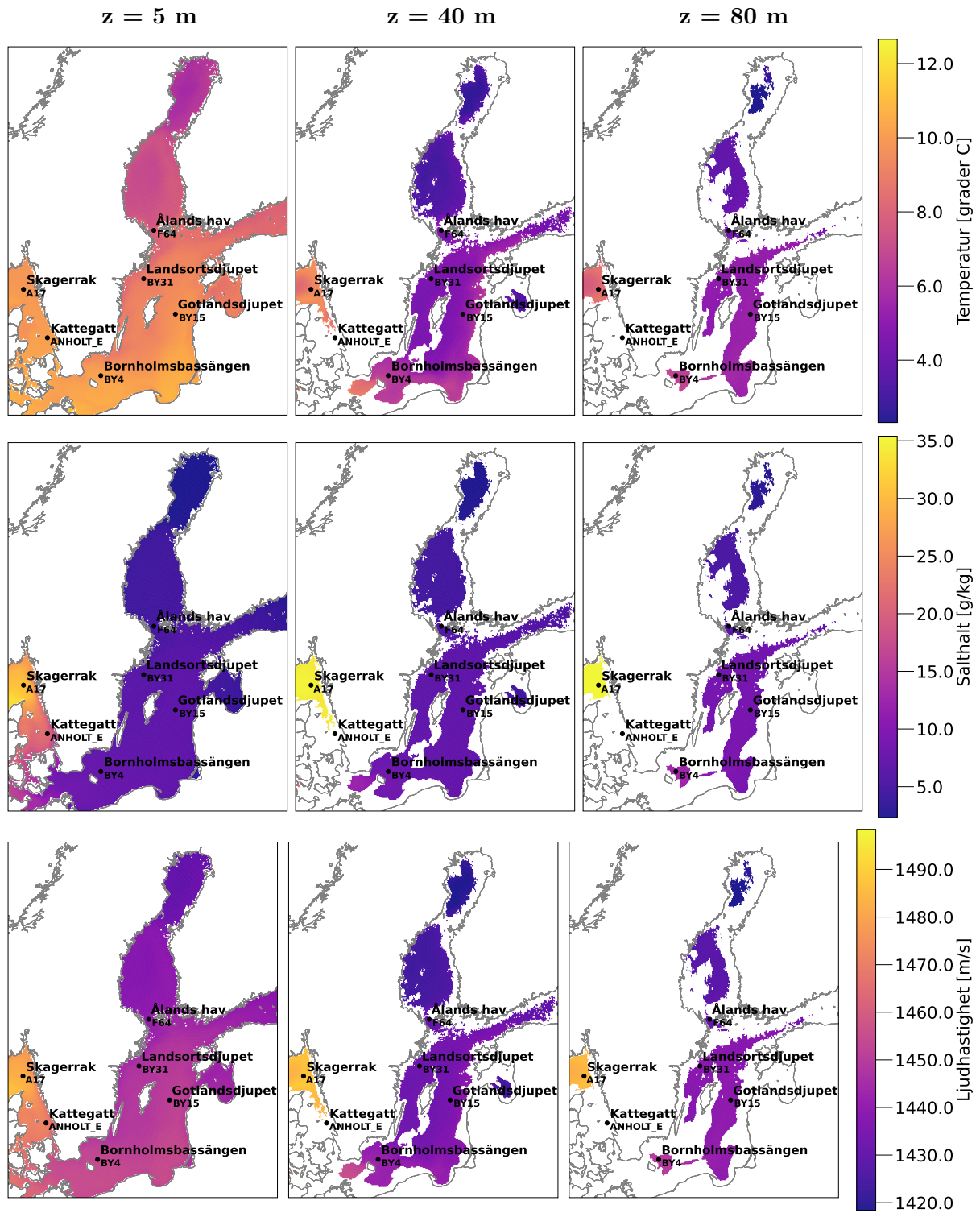
Eftersom ljudhastighet är mest beroende av temperaturen (som diskuterats i section 2.3), är ljudhastighet högre i Västerhavet än i Östersjön medan säsongsbetonade ljudhastighetskanaler är mer sannolika i Östersjön.

Salthalten är tydligt högre i Skagerrak och Kattegatt (20 – 35 g.kg⁻¹) än i Östersjön (3 – 10 g.kg⁻¹) och den vertikala salthaltsskiktningen är kraftigare i Skagerrak och Kattegatt än i Östersjön pga den Baltiska strömmen som går norrut längs den svenska Västkusten och för med sig bräckt vatten från Östersjön.

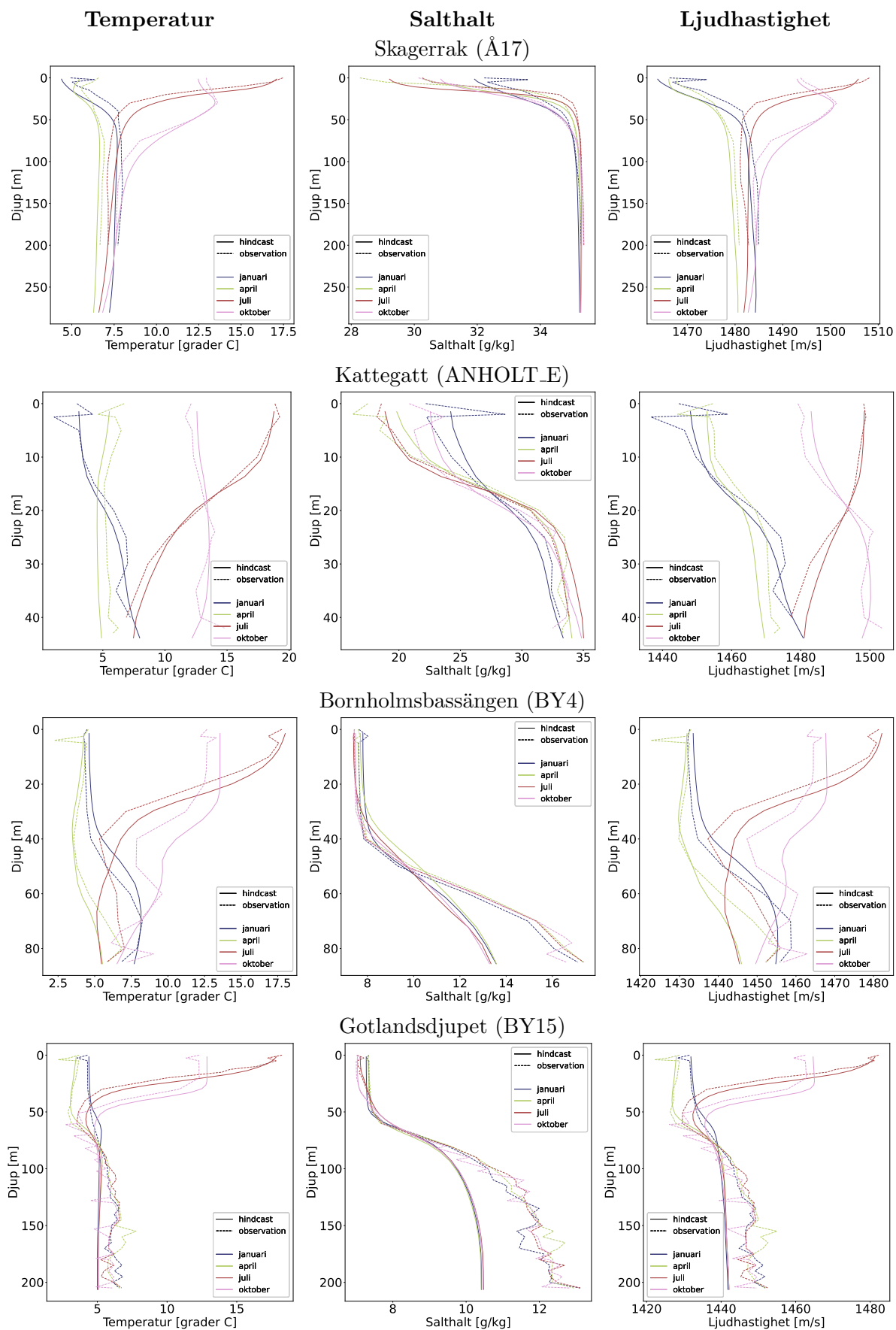
I Södra Östersjön, där utbytet med Kattegatt är som störst (när ytvatten flödar in från Kattegatt och sjunker längs botten), är salthalten och temperaturen högre än längre in i Östersjön. Detta ses tydligt för stationen Bornholmsbassängen och ger att ljudhastighet är lite högre än i andra stationer i Östersjön.

För att validera modellerad data jämförs den med observationer vid varje stationer. Fig. 7 visar bara Skagerrak (A17), Kattegatt (ANHOLT_E), Bornholmsbassängen (BY4) och Gotlandsdjupet (BY15) var tillräckligt data finns. Andra stationer har inte tillräckligt med data för att vara signifikant. Vi jämför månadsmedelvärde temperatur, salthalt och ljudhastighet över en 30års period (1988-2017). Stationsdjupen kan vara olika då mätningen görs vid stationens koordinater men inte alltid på exakt samma plats. Modellbatymetri kan avvika från observationer då den är ett medel för hela cellen och beror på horisontell upplösning.

I allmänhet kan modellen reproducera månadsmedel av temperatur och salthalt väl i både Kattegatt och Skagerrak. I Bornholmsbassängen och Gotlandsdjupet börjar den modellerade salthalten och temperaturer avvika från observationer vid ungefär 50 m, respektive 80 m djup, där modellen underskattar både salthalt och temperatur. Avvikelse ökar med djupet, med ca 2 g kg⁻¹ för salthalt ca 1 °C för temperatur, vid botten. Dessa modellfel reflekterar sannolikt tillkortakommanden i modellens representation av inflödesdynamik och blandningsprocesser men också i drivdata. Ljudhastighet är därför bra modellerad i Kattegatt och Skagerrak men underskattas med ungefär 10 m.s⁻¹ från 100 m djup i Bornholmsbassängen och i Gotlandsdjupet. Det betyder att det säsongsmässiga bildandet av en ljudkanal är underskattat i vår modell jämfört med observation.



Figur 6: Medelvärdesbildade kartor av temperatur, salthalt och ljudhastighet för djup $z = 5\text{ m}$, $z = 40\text{ m}$ samt $z = 80\text{ m}$ mellan 2008 och 2017. Utvalda stationer för visualisering av resultatet visas.



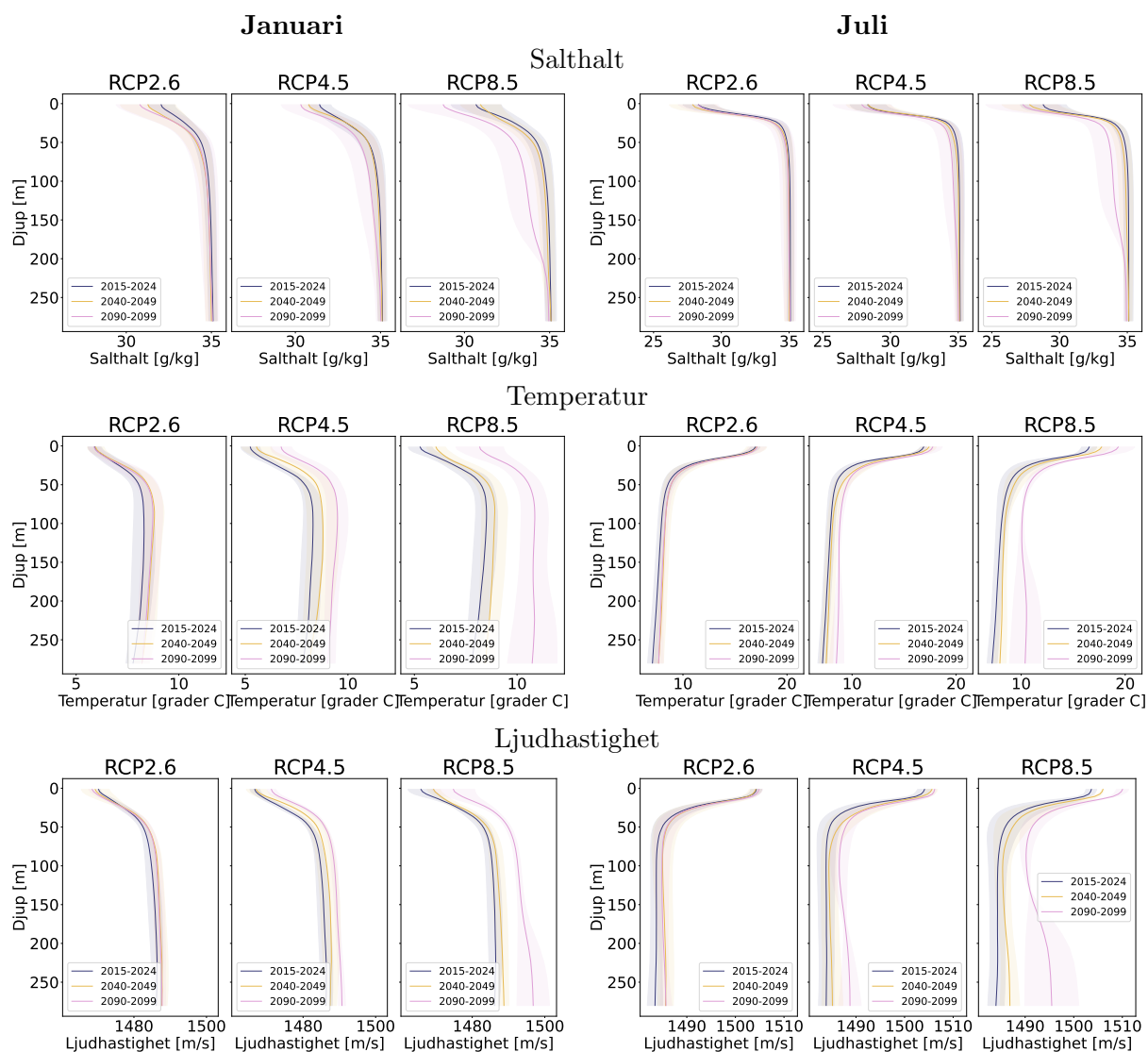
Figur 7: Månadsmedelvärdesbildade profiler för 1988-2017 av konservativ temperatur (CT), absolut salthalt (SA) och ljudhastighet (c) vid Skagerrak, Kattegatt, Bornholmsbassängen, Gotlandsdjupet.

3.2 Scenarier

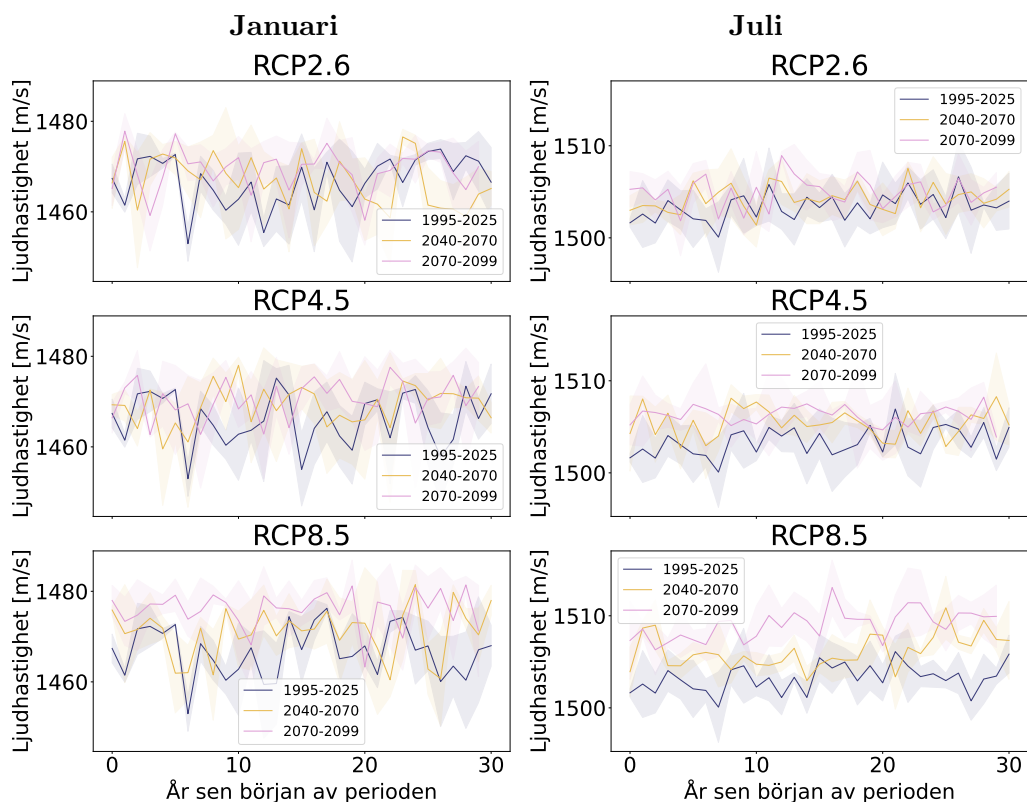
I följande sektioner går vi igenom ljudhastighetsmedelvärden (januari och juli) i klimatsprojektionerna för valda stationer för olika perioder (30 års medelvärden för hovmollerdiagram samt tidsserier och 10 års medelvärden för profiler) och olika scenarier.

3.2.1 Skagerrak (Å17)

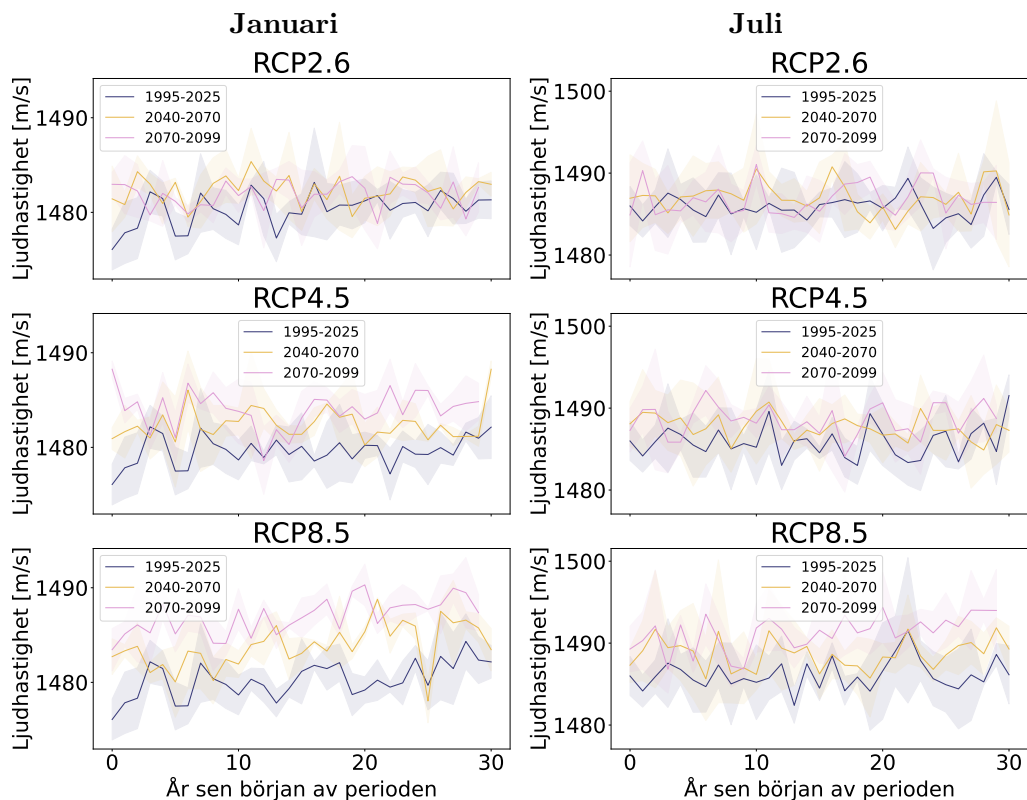
I scenarier RCP2.6 och RCP4.5 ökar ljudhastighetsprofilerna lite med tiden men vertikalgradienten är snarlik för både januari och juli förutom för sista perioden (2090-2099) i juli där ökningen ökar med djupet. På så sätt, från 150 m djup börjar ljudhastighet öka igen där den var konstant för de två första perioderna. För scenario RCP8.5 i januari- och juliprofilerna visas tydligt på högre ljudhastighet generellt med ökning vid djupare vatten. Det beror på temperaturökningen och trycket som ökar med djupet. Det gör att en säsongskanal bildats i RCP8.5 2090-2100. Salthalt minskar mest i scenario RCP8.5 för perioden 2090-2100 upp till 200 m djup och är konstant i tiden för djupare vatten.



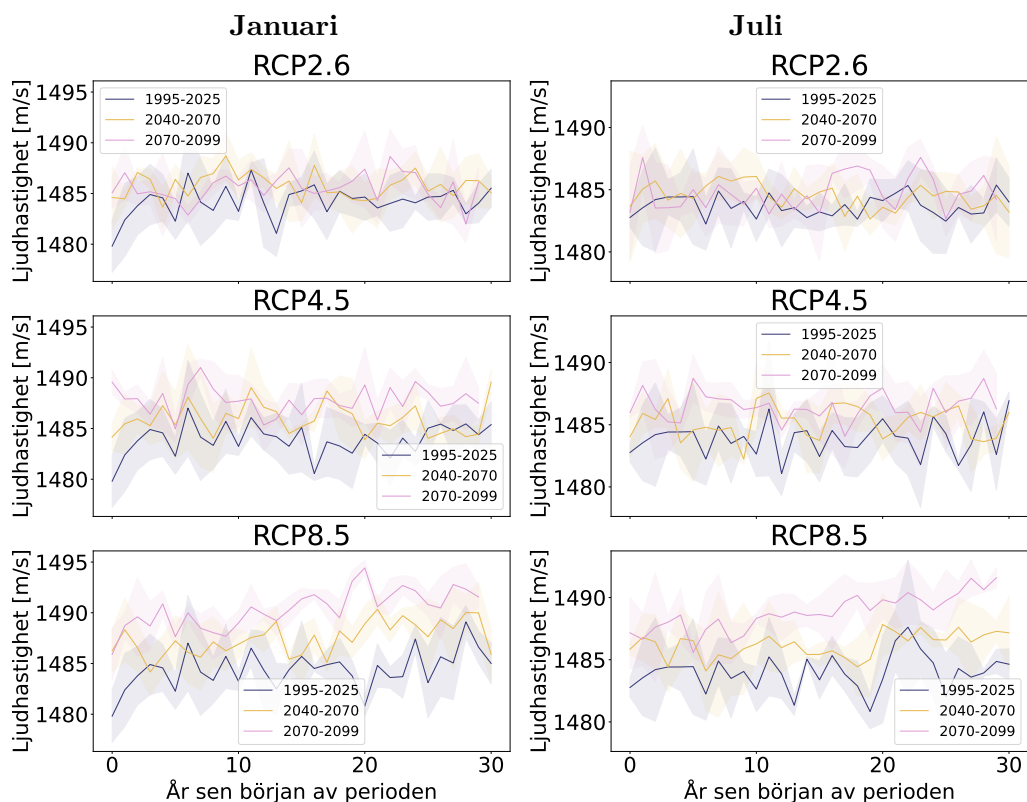
Figur 8: Medelvärdesbildade över januari, juli profiler av salthalt, temperatur, ljudhastighet vid Skagerrak (Å17) plus-minus standard avvikelse för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).



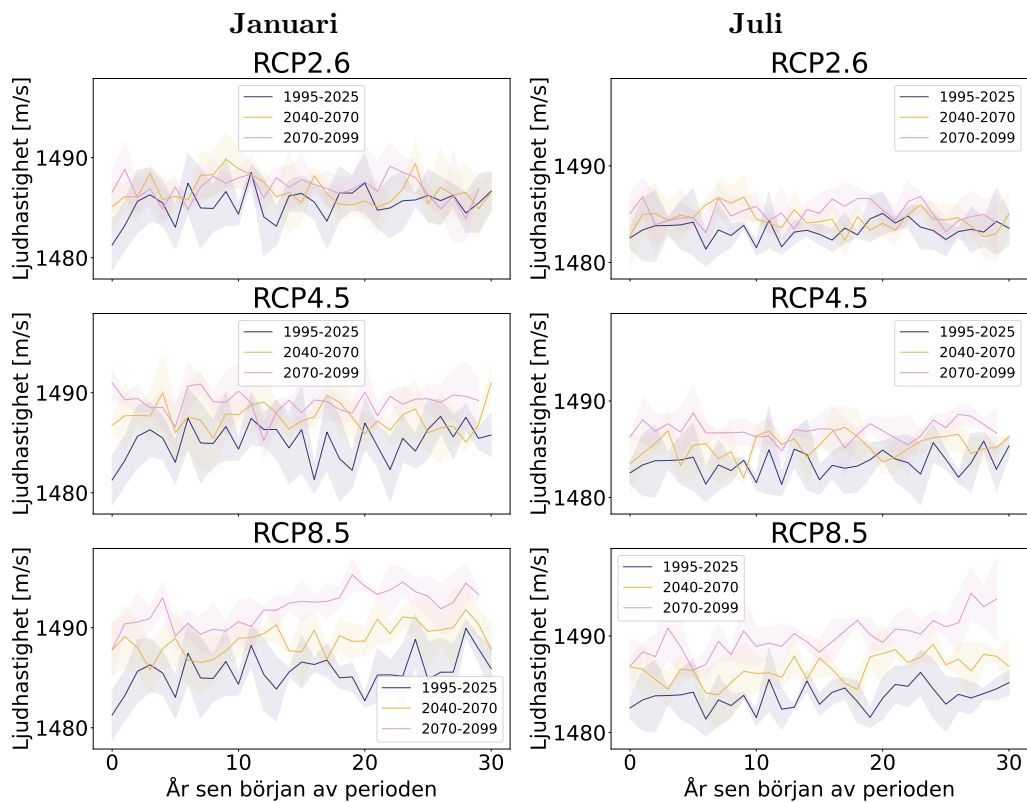
Figur 9: Tidserier av ljudhastighet vid Skagerrak (Å17) över medelvärden för januari och juli vid 5 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 10: Tidserier av ljudhastighet vid Skagerrak (Å17) över medelvärden för januari och juli vid 40 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 11: Tidserier av ljudhastighet vid Skagerrak (Å17) över medelvärden för januari och juli vid 80 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

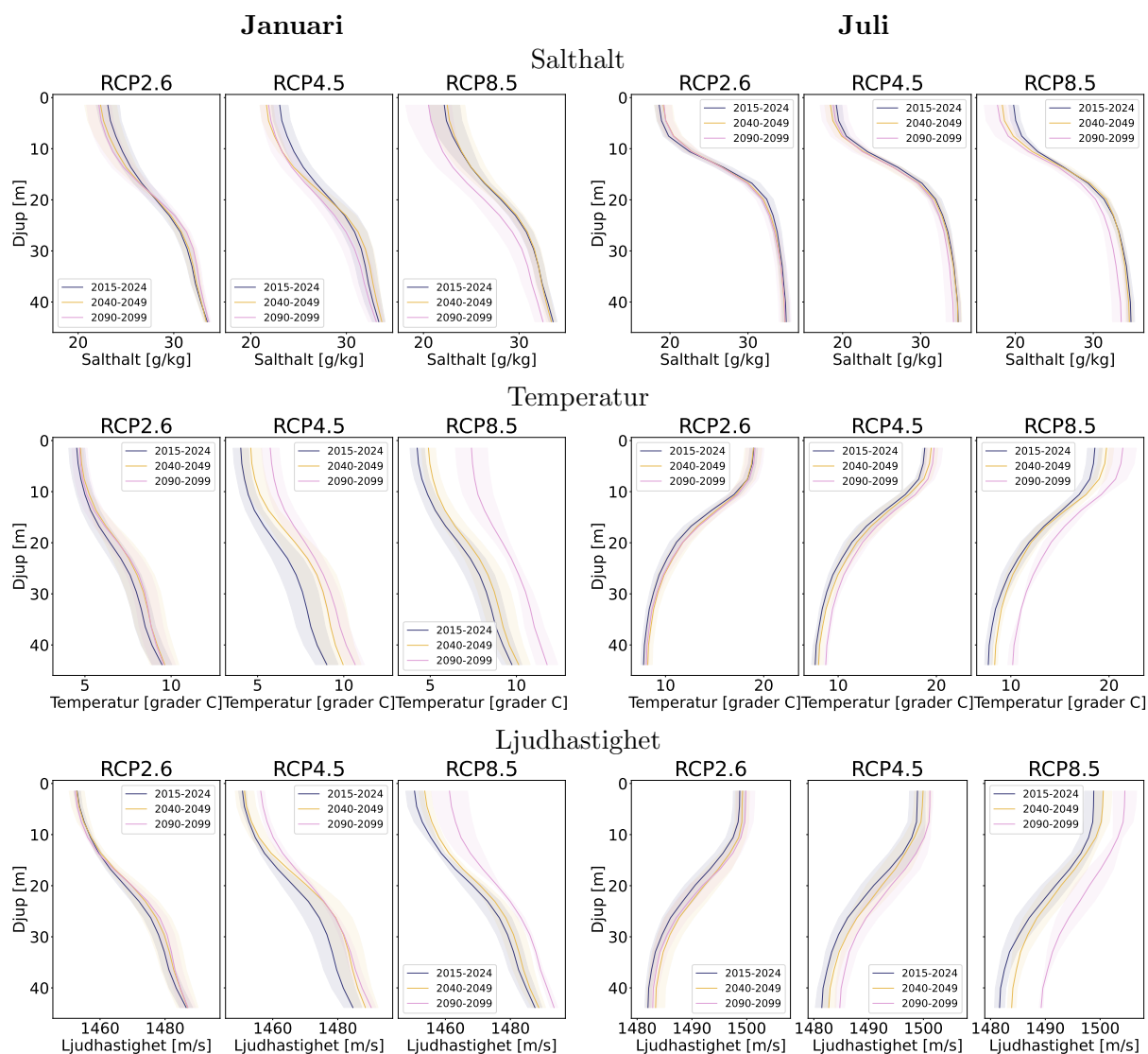


Figur 12: Tidserier av ljudhastighet vid Skagerrak (Å17) över medelvärden för januari och juli vid 150 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

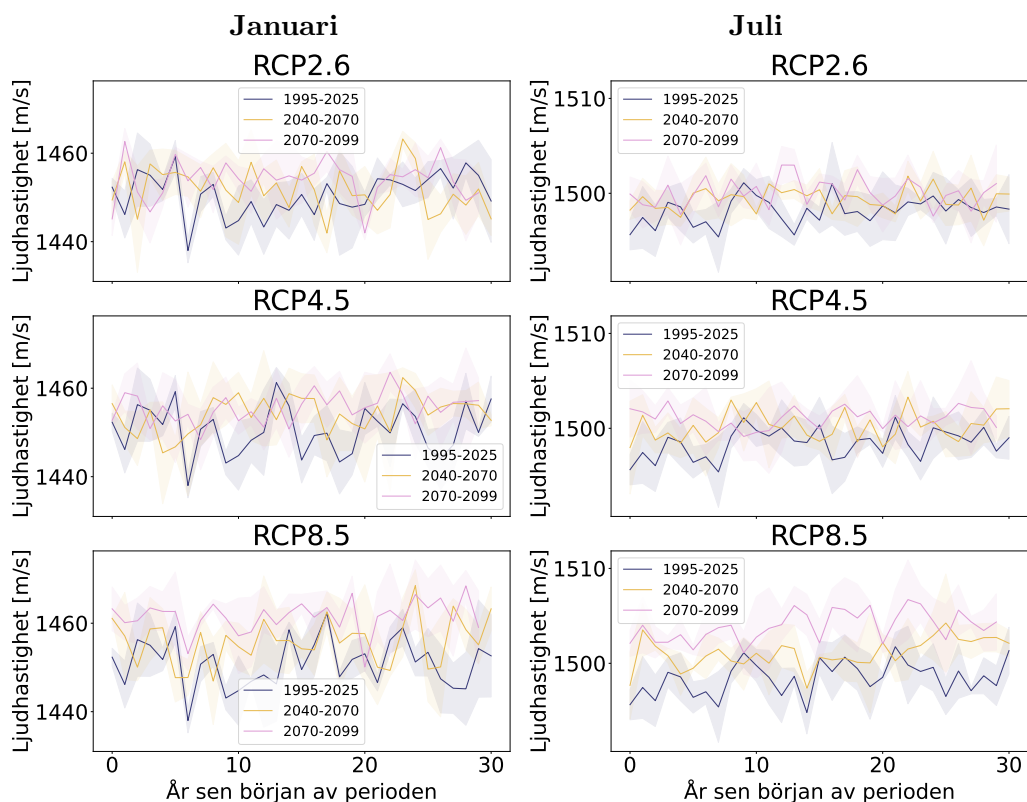
3.2.2 Kattegatt (ANHOLT_E)

Ljudhastighet i januari ökar endast lite i scenario RCP2.6 mellan de tre perioderna. Profiler för perioderna 2040-2050 och 2090-2100 ser liknande ut både för januari och juli. Scenario RCP4.5 visar högre värde längre fram i tiden men tidserierna visar inte en tydligt ökande trend mellan de två perioderna. I motsats visar scenario RCP8.5 ökande ljudhastighet speciellt de senaste 10 åren (2090-2100). Ökningen i januari, 2090-2100 är starkast på ytan och gör att vertikalgradienten svagare än historisk period vid thermoklinen.

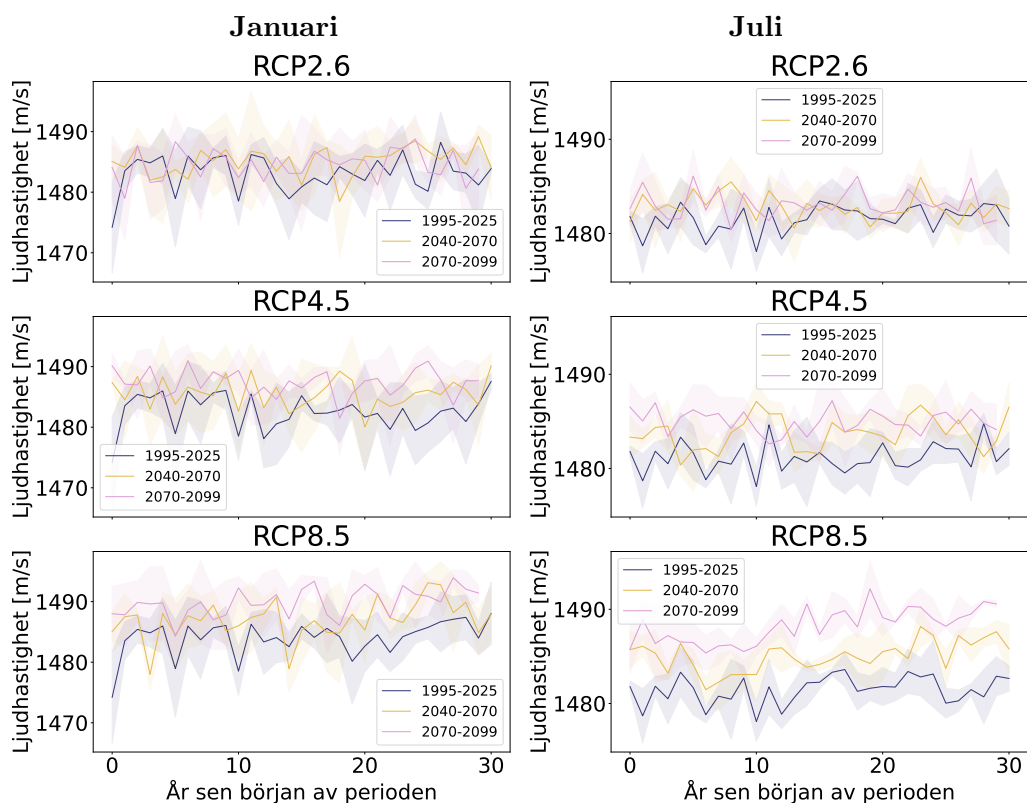
Haloklinen är starkare i januari i scenario RCP2.6 (mindre salt på ytan och mer djupare än 20 m). Tendensen är liknande för scenario RCP4.5 och perioden 2040-2050 men salthalten minskar för perioden 2090-2100. I RCP8.5 är salthaltsminskning tydlig i 2090-2100 perioden. I juli är salthalten tydligt lägre bara i RCP8.5 och perioden 2090-2100.



Figur 13: Medelvärdesbildade över januari, juli profiler av salthalt, temperatur, ljudhastighet vid Kattegatt (ANHOLT_E) plus-minus standard avvikelse för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).



Figur 14: Tidserier av ljudhastighet vid Kattegatt (ANHOLT.E) över medelvärden för januari och juli vid 5 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemeddlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

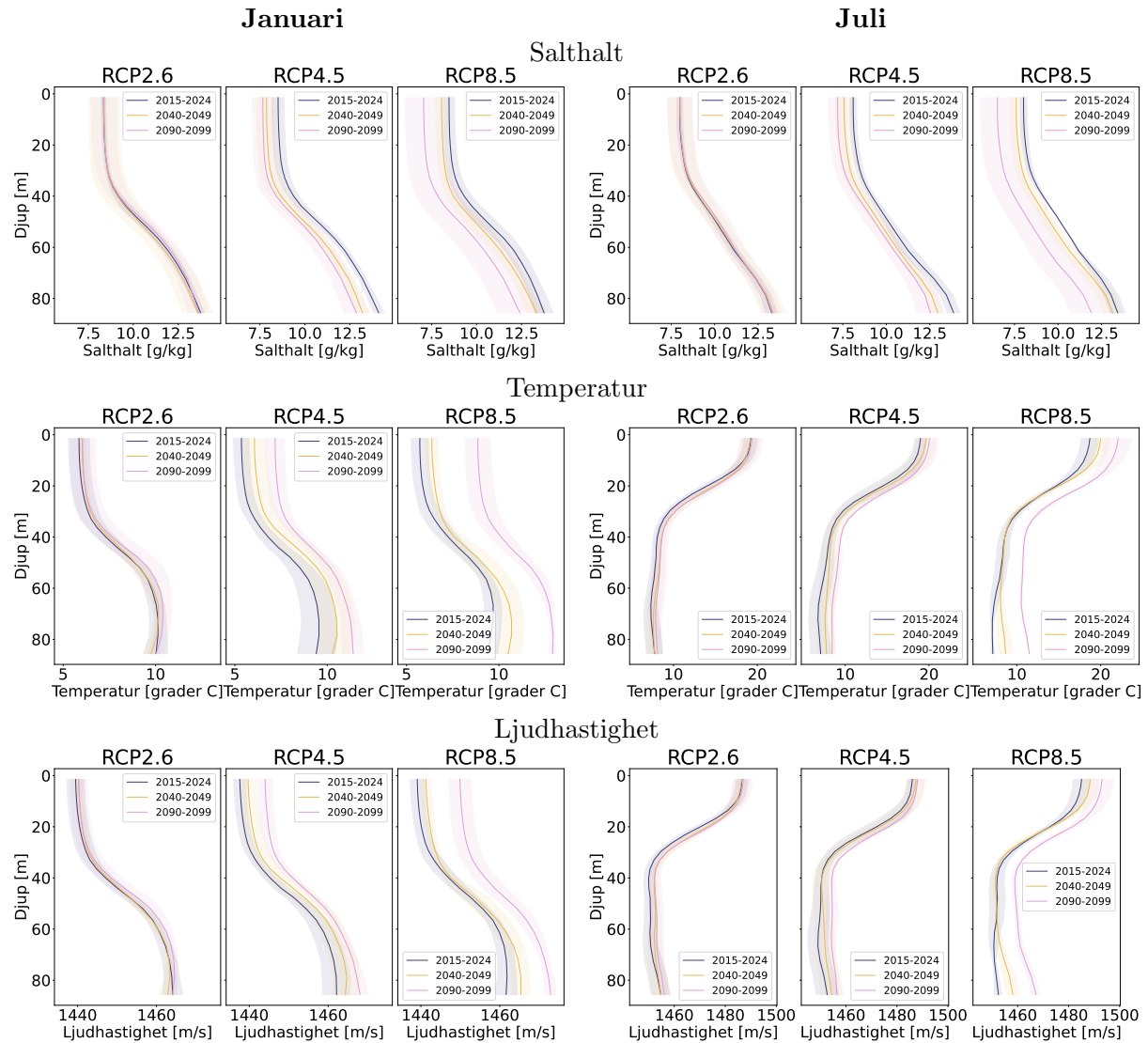


Figur 15: Tidserier av ljudhastighet vid Kattegatt (ANHOLT.E) över medelvärden för januari och juli vid 40 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemeddlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

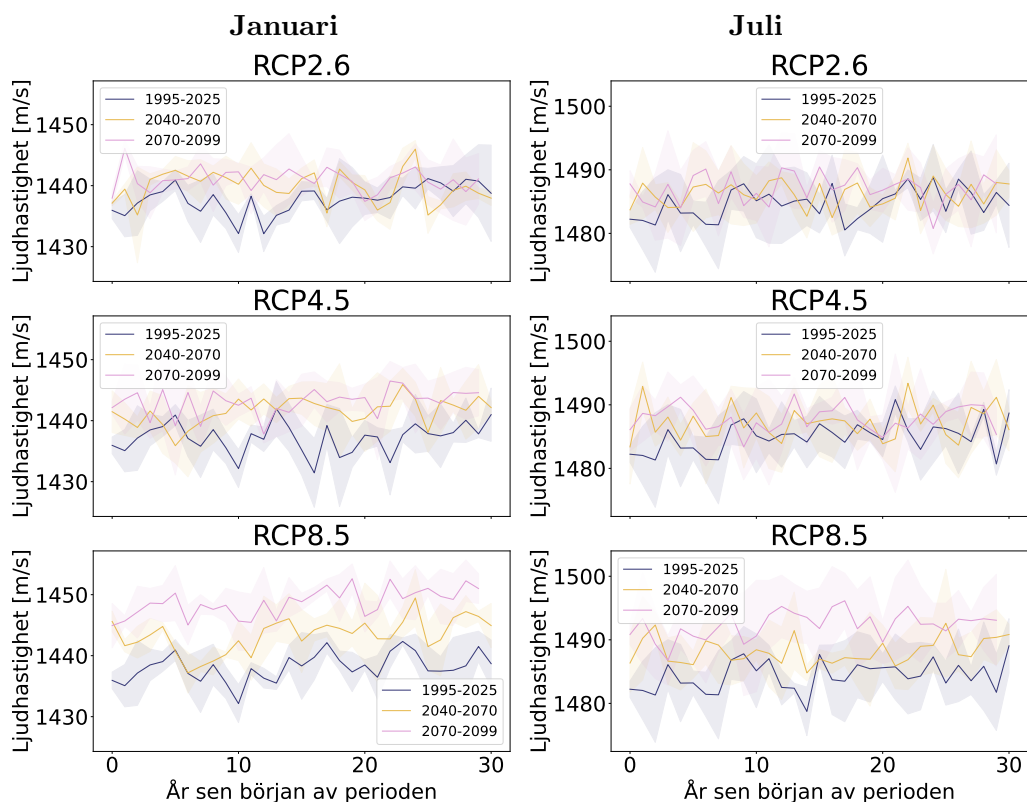
3.2.3 Bornholmsbassängen (BY4)

Bornholmsbassängen (BY4) är den första stationen i egentliga Östersjön. För scenario RCP2.6 är salthalt, temperatur och ljudhastighet nästan oförändrade för alla perioder. I motsats till vad vi ser i Västerhavet, ökar ljudhastighet dock redan i RCP4.5 för perioden 2040-2050 och fortsätter öka under nästa period (2090-2100). Skillnaden är kraftigare i januari än i juli. I RCP8.5 i båda framtidsperioderna ses en tydlig ökning av ljudhastigheten på ytan och botten, vilken uppnår (10 m.s^{-1}) för sista perioden under bägge månaderna.

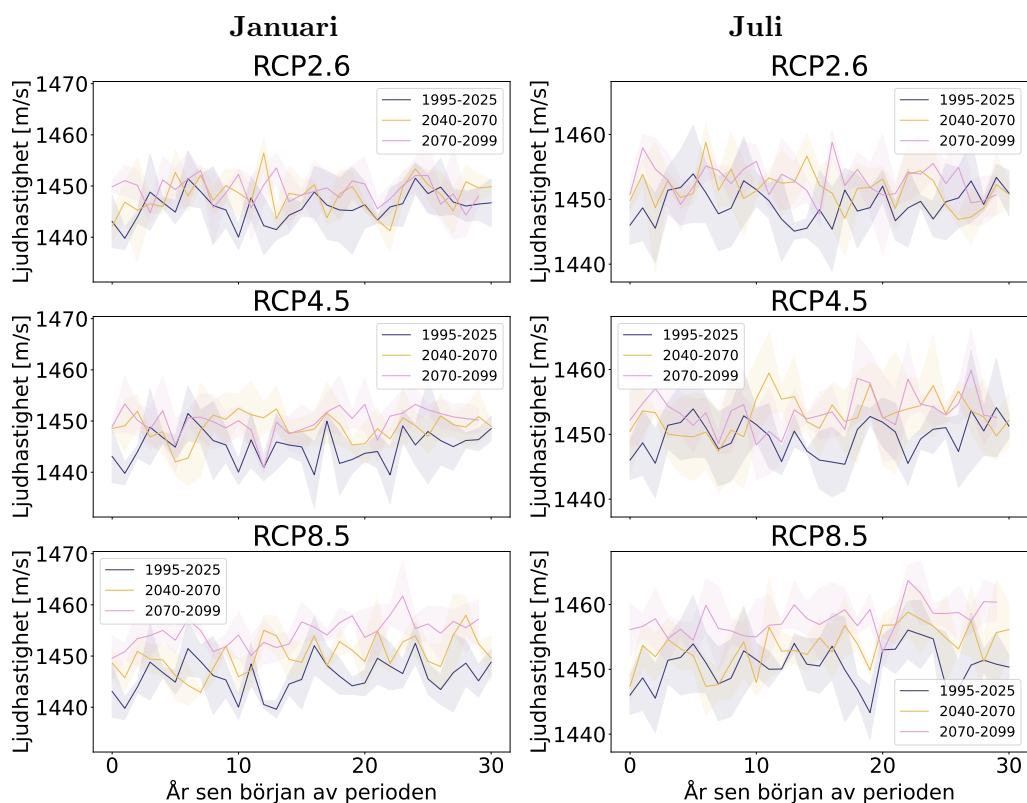
Salthalten följer motsatt trend, med 2 g.kg^{-1} minskning i scenario RCP8.5 2090-2100.



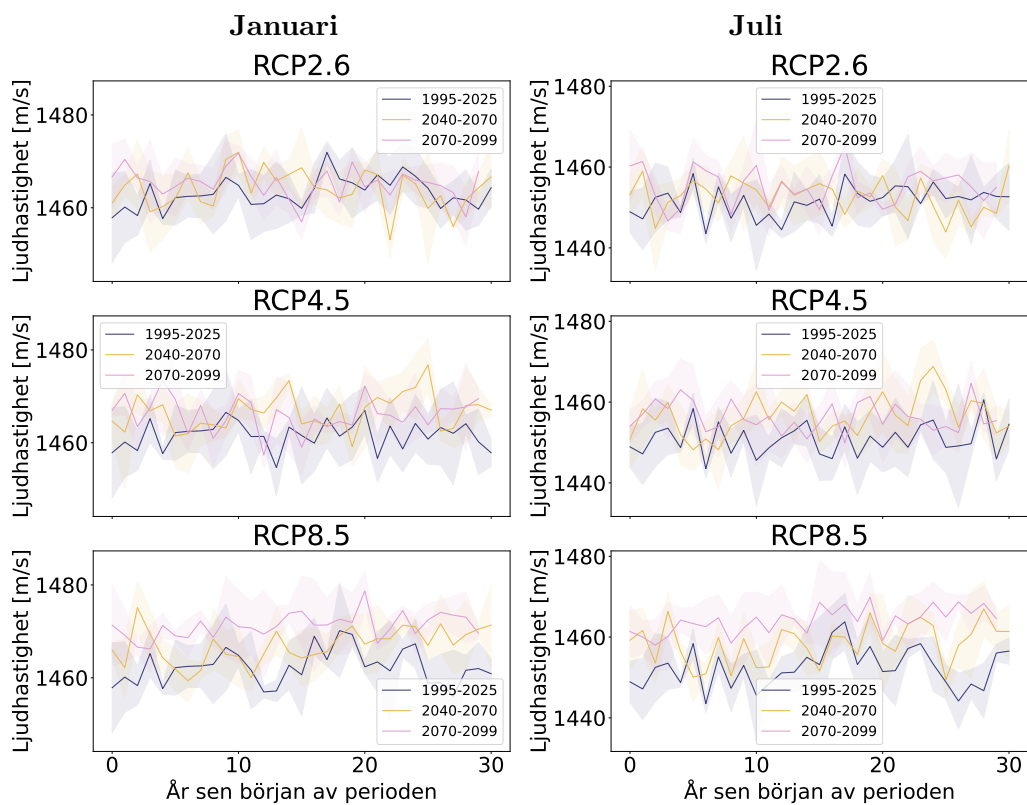
Figur 16: Medelvärdesbildade över januari, juli profiler av salthalt, temperatur, ljudhastighet vid Bornholmsbassängen (BY4) plus-minus standard avvikelse för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).



Figur 17: Tidserier av ljudhastighet vid Bornholmsbassängen (BY4) över medelvärden för januari och juli vid 5 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



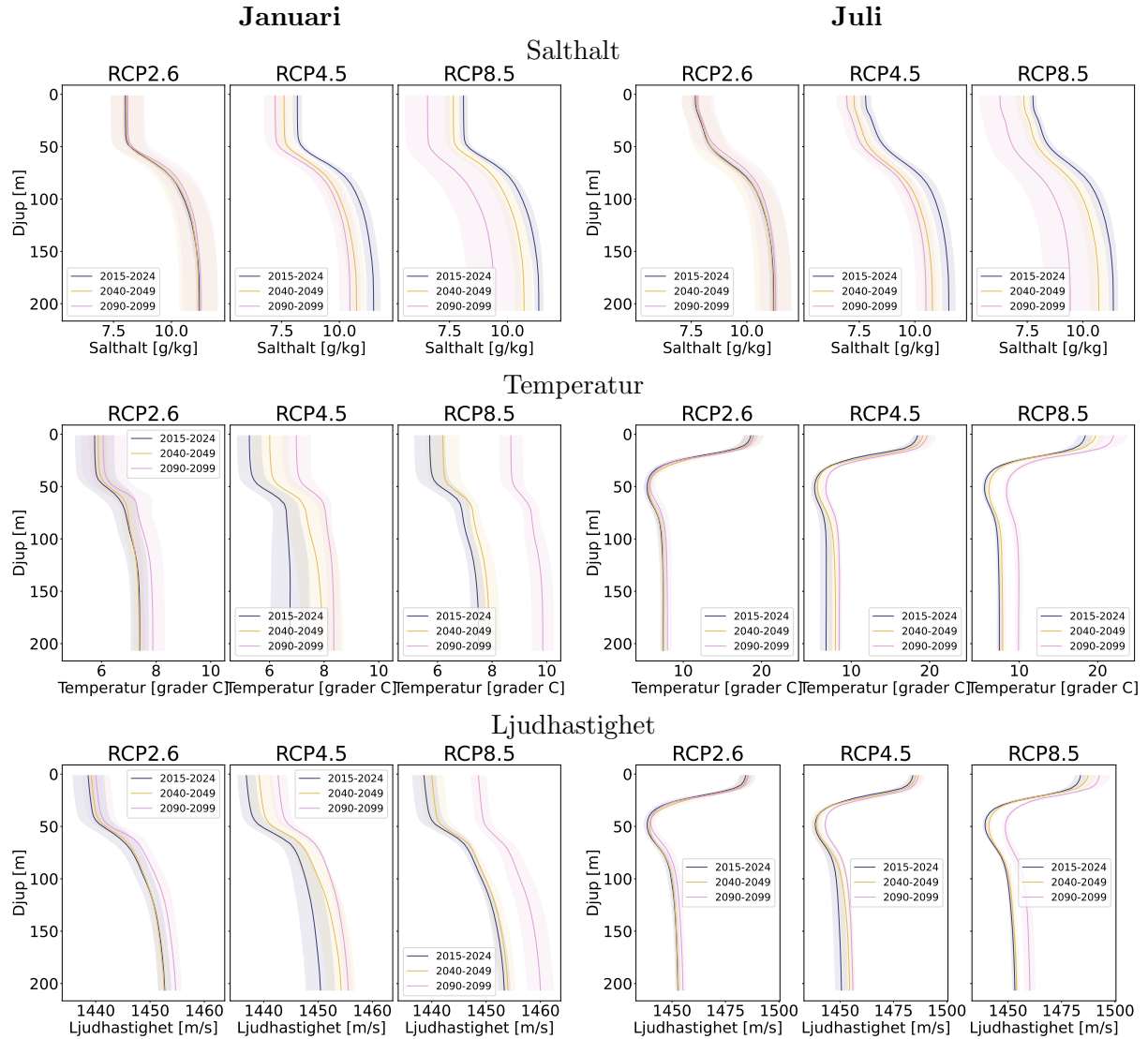
Figur 18: Tidserier av ljudhastighet vid Bornholmsbassängen (BY4) över medelvärden för januari och juli vid 40 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



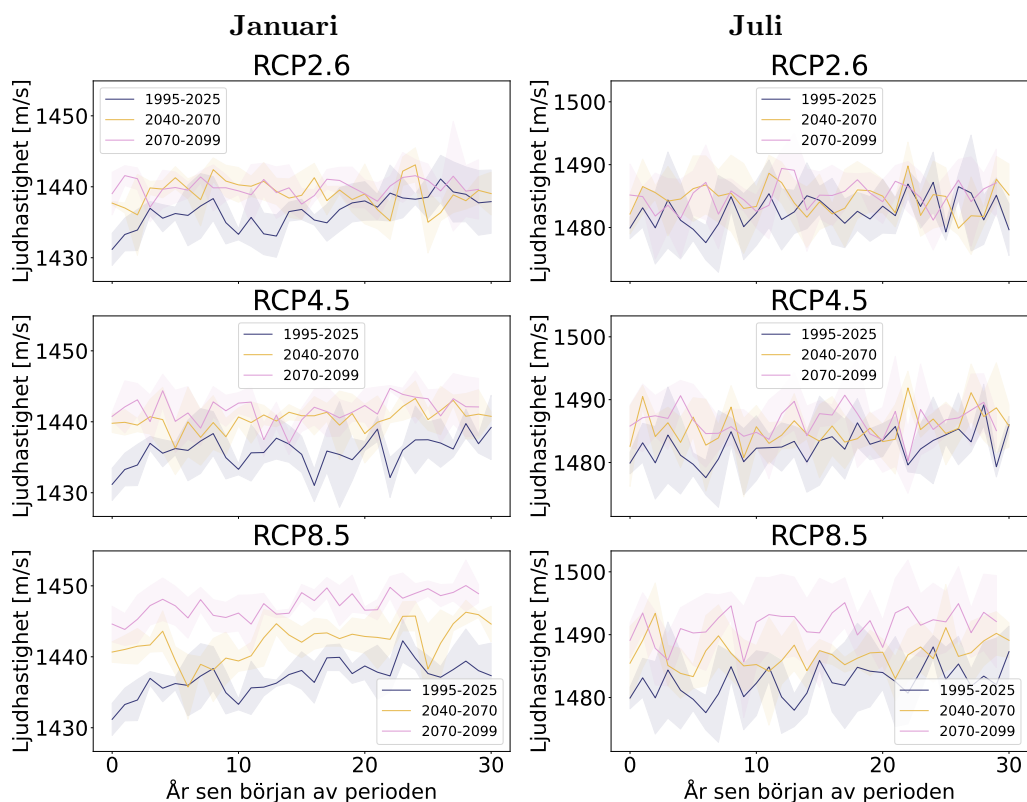
Figur 19: Tidserier av ljudhastighet vid Bornholmsbassängen (BY4) över medelvärden för januari och juli vid 80 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

3.2.4 Gotlandsdjupet (BY15)

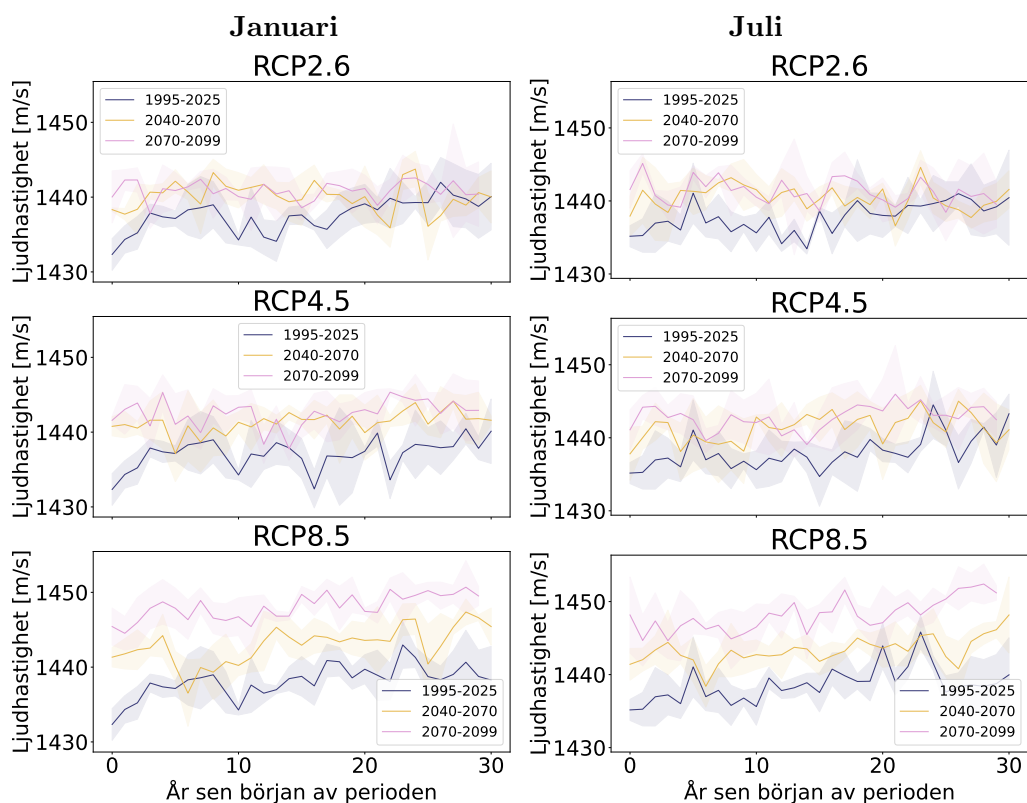
Gotlandsdjupet (BY15) följer samma trend för ljudhastighet och salthalt som Bornholmsbassängen. Under juli månad ses en säsongskanal formeras till följd av ett lokalt temperaturminimum. Denna kanal existerar för alla perioder och samtliga scenarier.



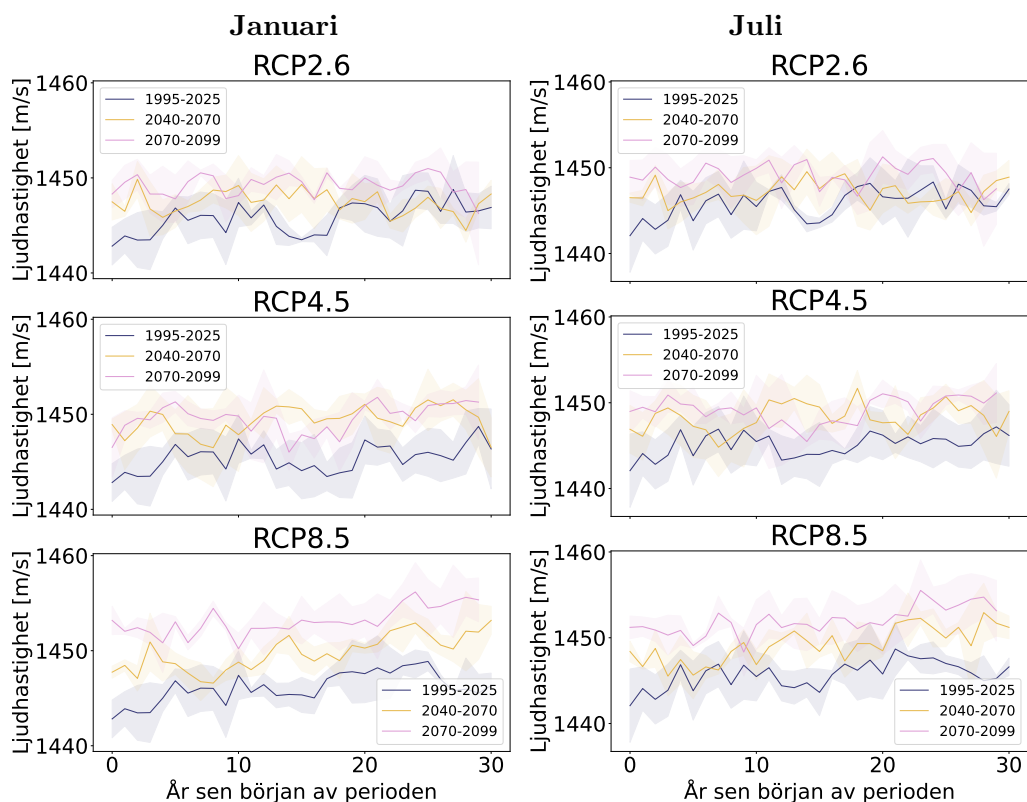
Figur 20: Medelvärdesbildade över januari, juli profiler av salthalt, temperatur, ljudhastighet vid Gotlandsdjupet (BY15) plus-minus standard avvikelse för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).



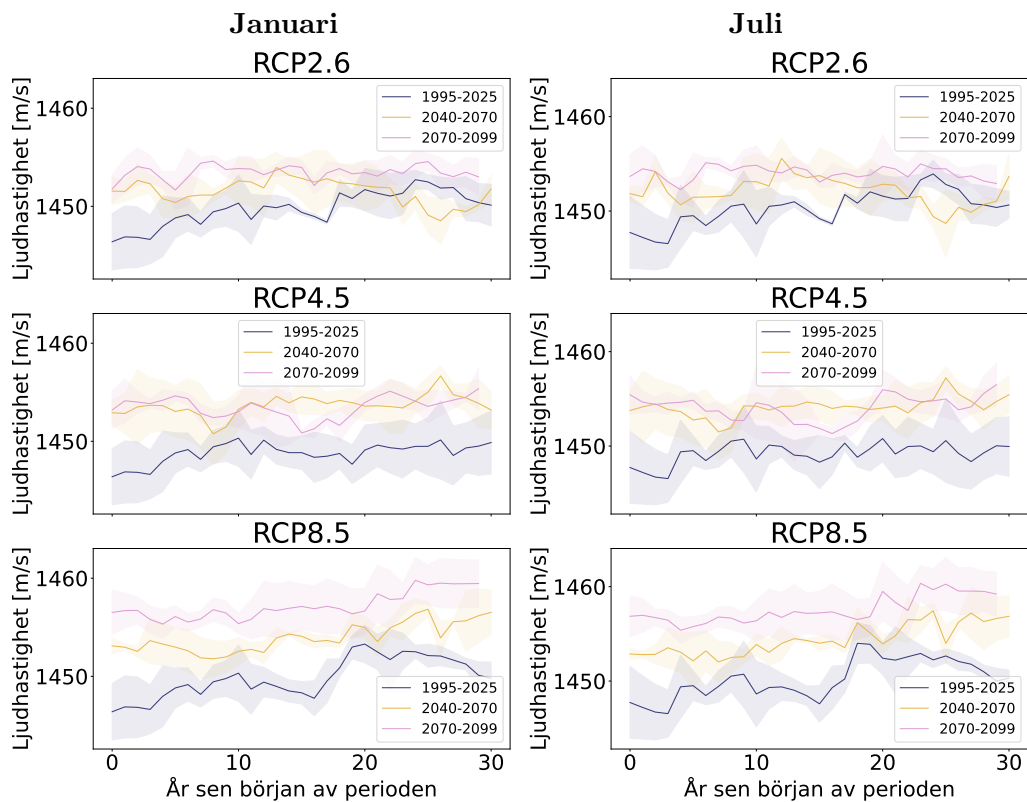
Figur 21: Tidserier av ljudhastighet vid Gotlandsdjupet (BY15) över medelvärden för januari och juli vid 5 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 22: Tidserier av ljudhastighet vid Gotlandsdjupet (BY15) över medelvärden för januari och juli vid 40 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



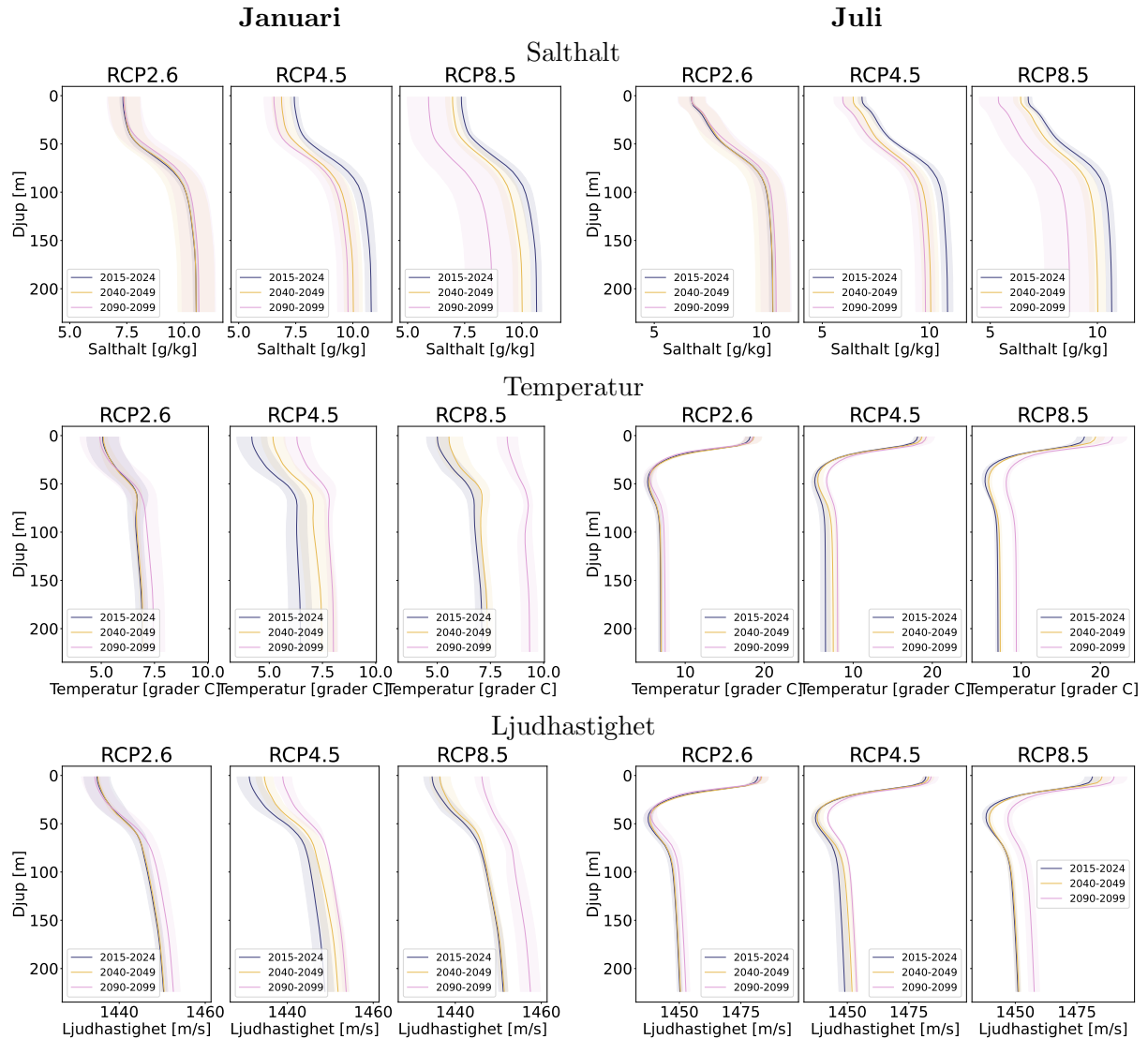
Figur 23: Tidserier av ljudhastighet vid Gotlandsdjupet (BY15) över medelvärden för januari och juli vid 80 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



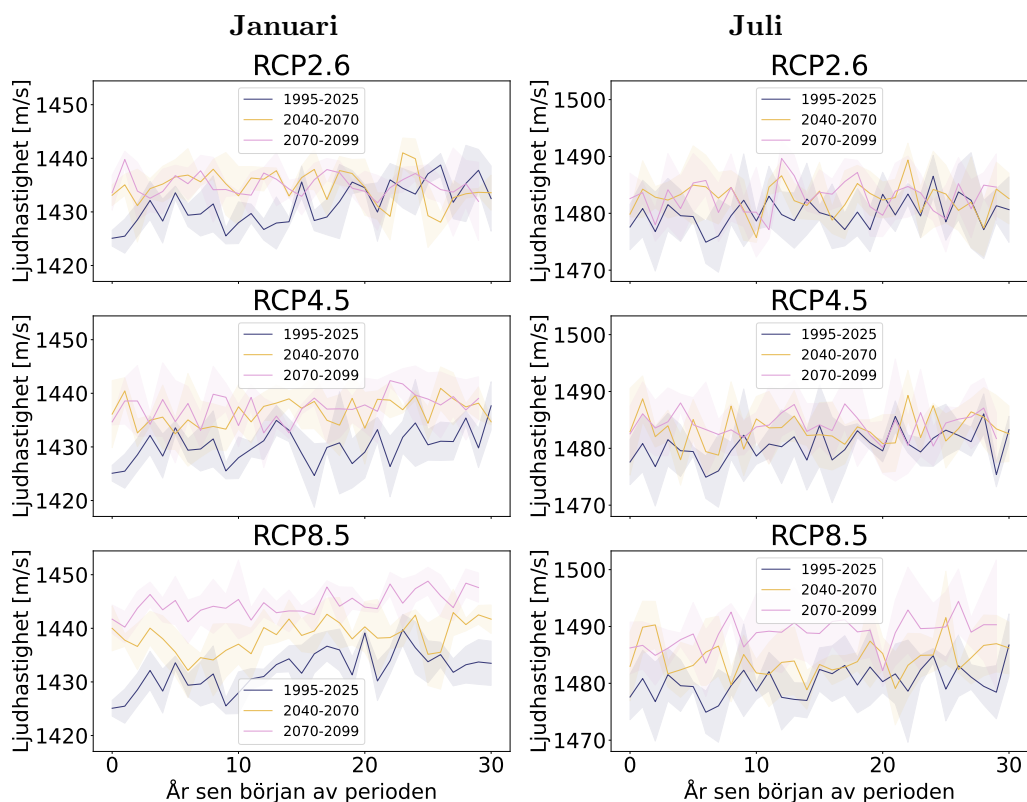
Figur 24: Tidserier av ljudhastighet vid Gotlandsdjupet (BY15) över medelvärden för januari och juli vid 150 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

3.2.5 Landsortsdjupet (BY31)

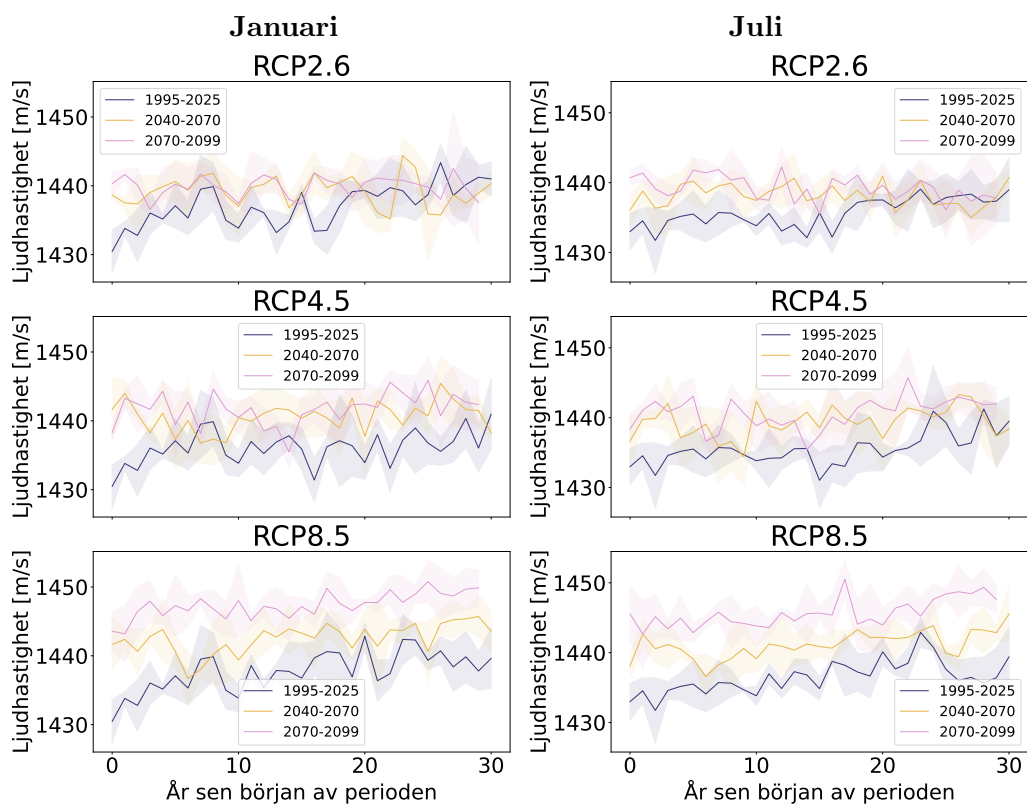
Trenden för Landsortsdjupet (BY31) följer samma trend som ovan. En tydlig säsongskanal syns i juli som följd av ett lokalt temperaturminimum. Denna kanal finns under samtliga perioder och scenarier.



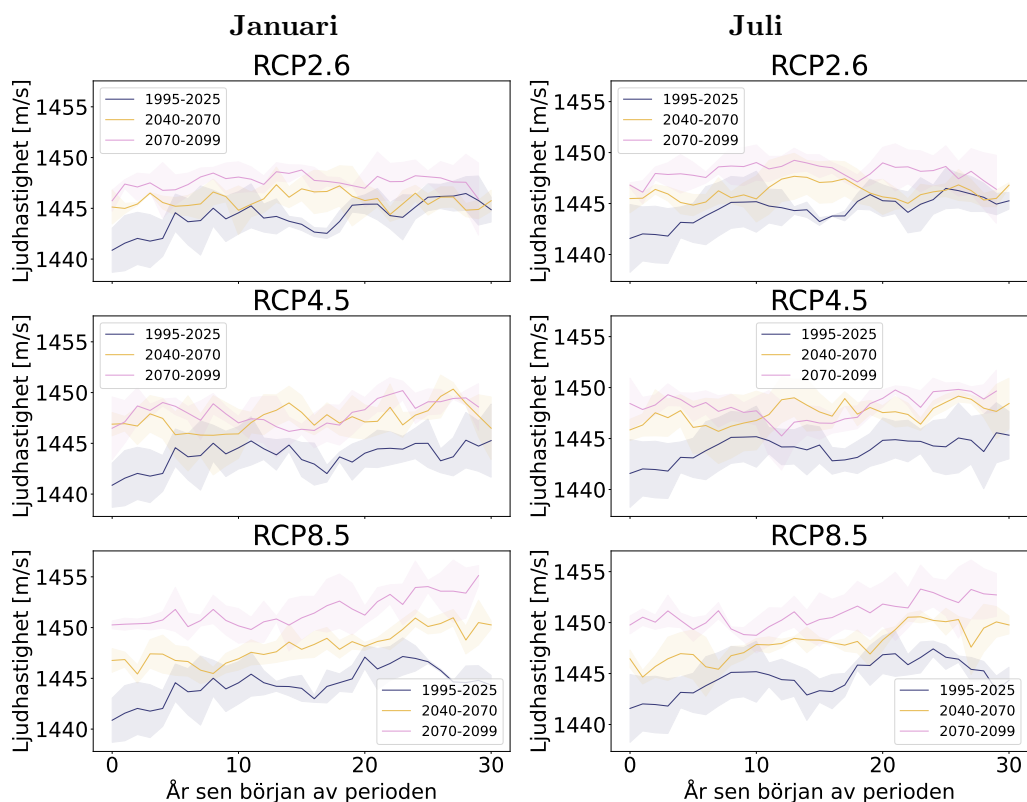
Figur 25: Medelvärdesbildade över januari, juli profiler av salthalt, temperatur, ljudhastighet vid Landsortsdjupet (BY31) plus-minus standard avvikelse för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).



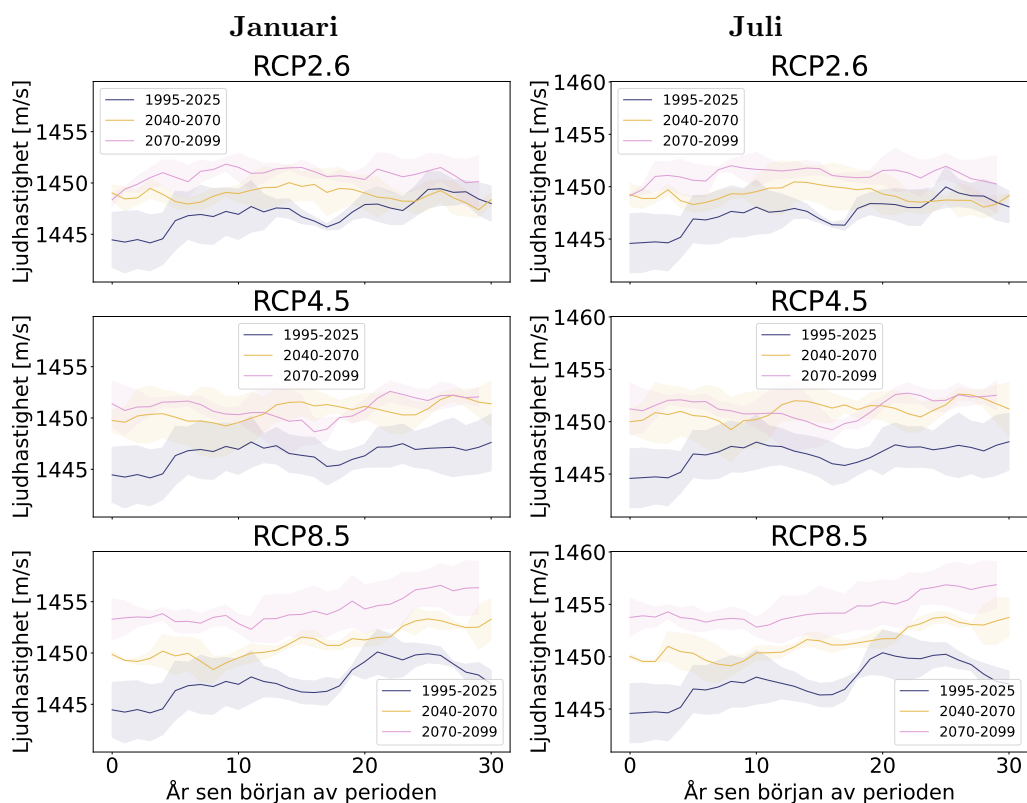
Figur 26: Tidserier av ljudhastighet vid Landsortsdjupet (BY31) över medelvärden för januari och juli vid 5 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 27: Tidserier av ljudhastighet vid Landsortsdjupet (BY31) över medelvärden för januari och juli vid 40 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



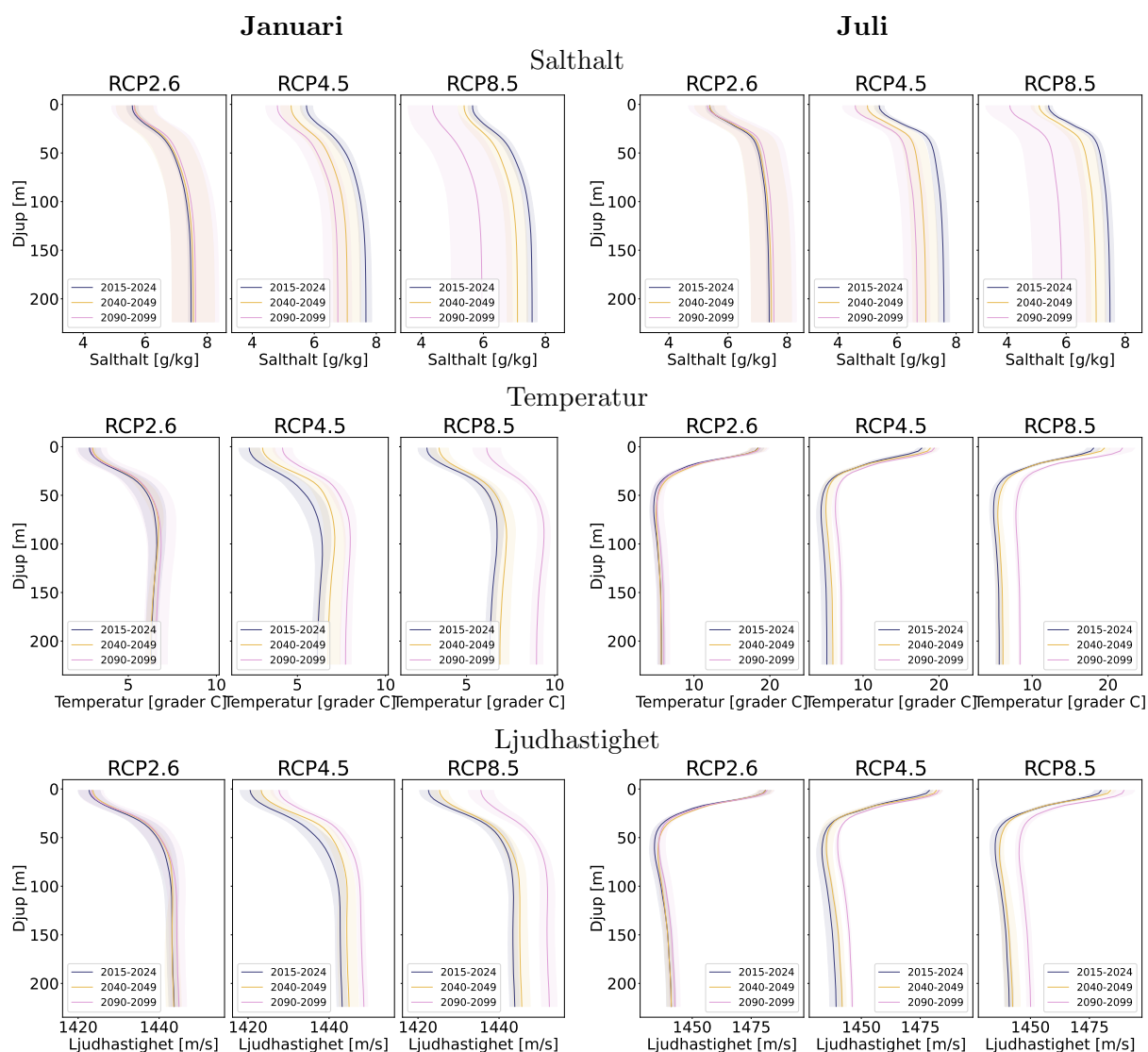
Figur 28: Tidserier av ljudhastighet vid Landsortsdjupet (BY31) över medelvärden för januari och juli vid 80 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



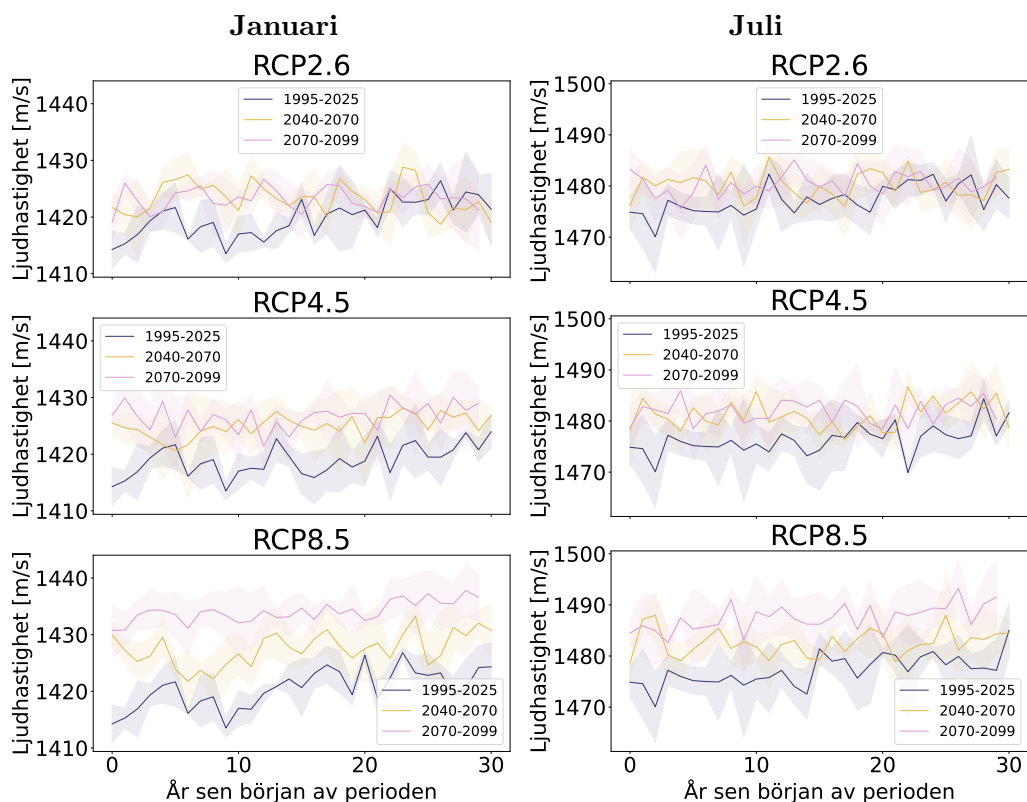
Figur 29: Tidserier av ljudhastighet vid Landsortsdjupet (BY31) över medelvärden för januari och juli vid 150 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

3.2.6 Ålands hav (F64)

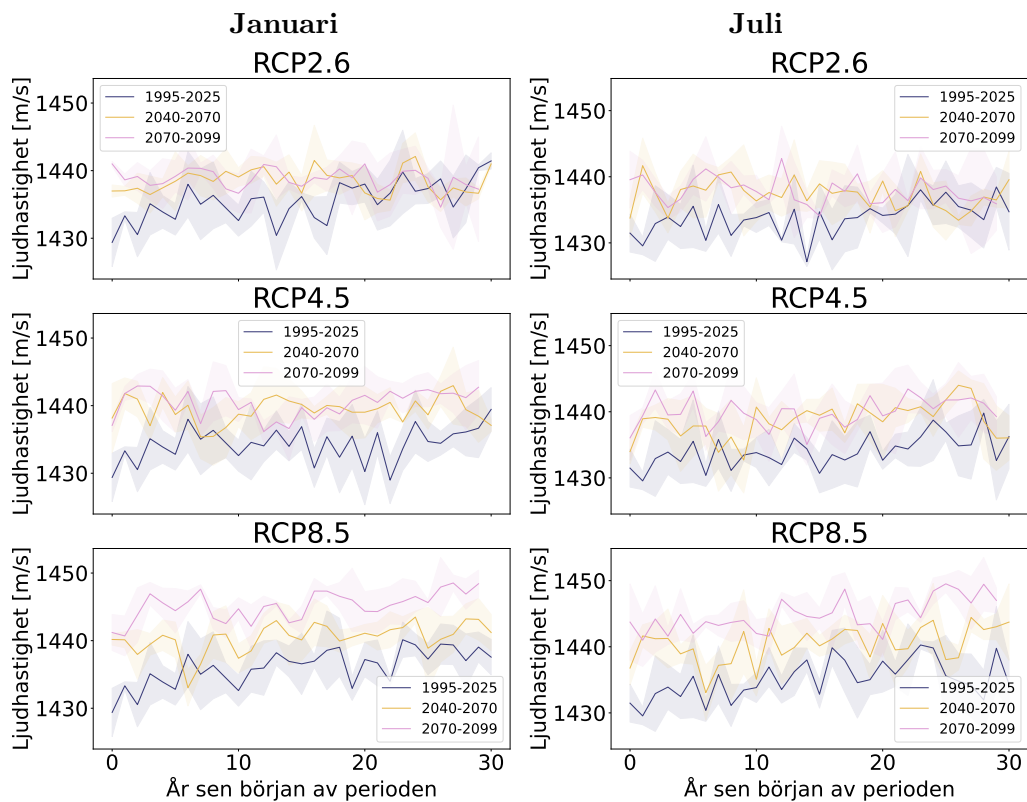
Ålands hav (F64) följer samma trend som ovan, men säsongskanalen är inte så stark till följd av ett svagt lokalt temperaturminimum.



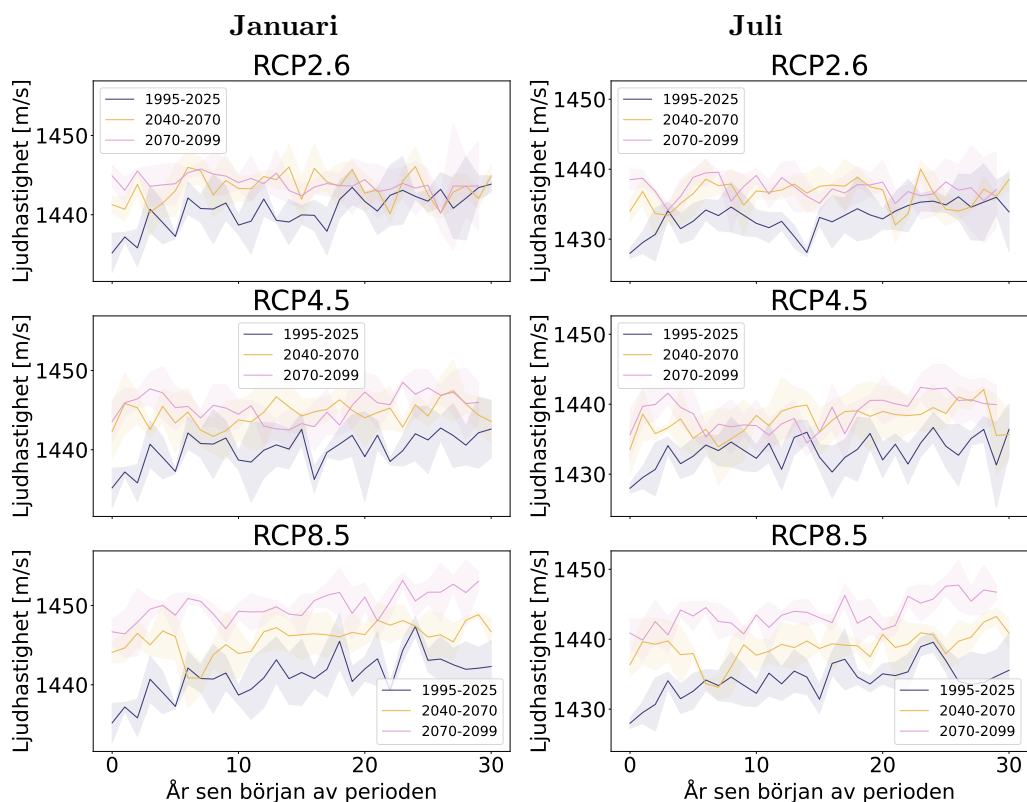
Figur 30: Medelvärdesbildade över januari, juli profiler av salthalt, temperatur, ljudhastighet vid Ålands hav (F64) plus-minus standard avvikelse för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för tre olika tidsperioder (2015-2024, 2040-2049 och 2090-2099).



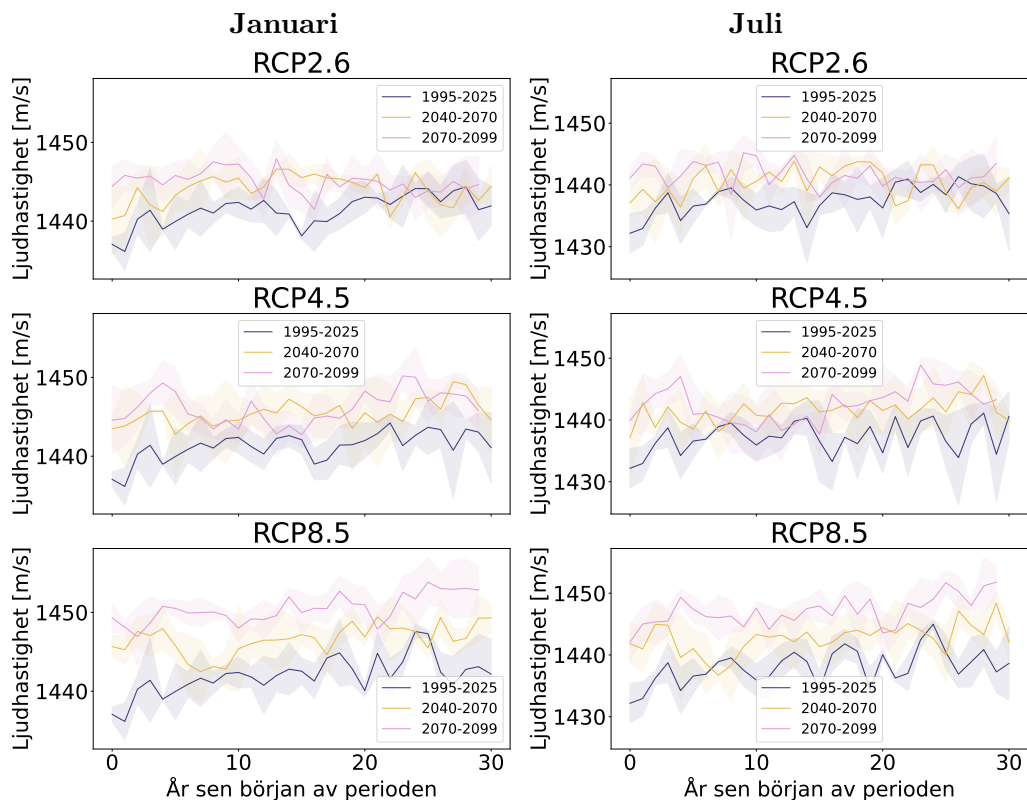
Figur 31: Tidserier av ljudhastighet vid Ålands hav (F64) över medelvärden för januari och juli vid 5 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 32: Tidserier av ljudhastighet vid Ålands hav (F64) över medelvärden för januari och juli vid 40 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 33: Tidserier av ljudhastighet vid Ålands hav (F64) över medelvärden för januari och juli vid 80 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.



Figur 34: Tidserier av ljudhastighet vid Ålands hav (F64) över medelvärden för januari och juli vid 150 m djup plus-minus standard avvikelse (ensemblemedlemmar) för tre scenarier i tre tidsperioder.

4 Slutsats

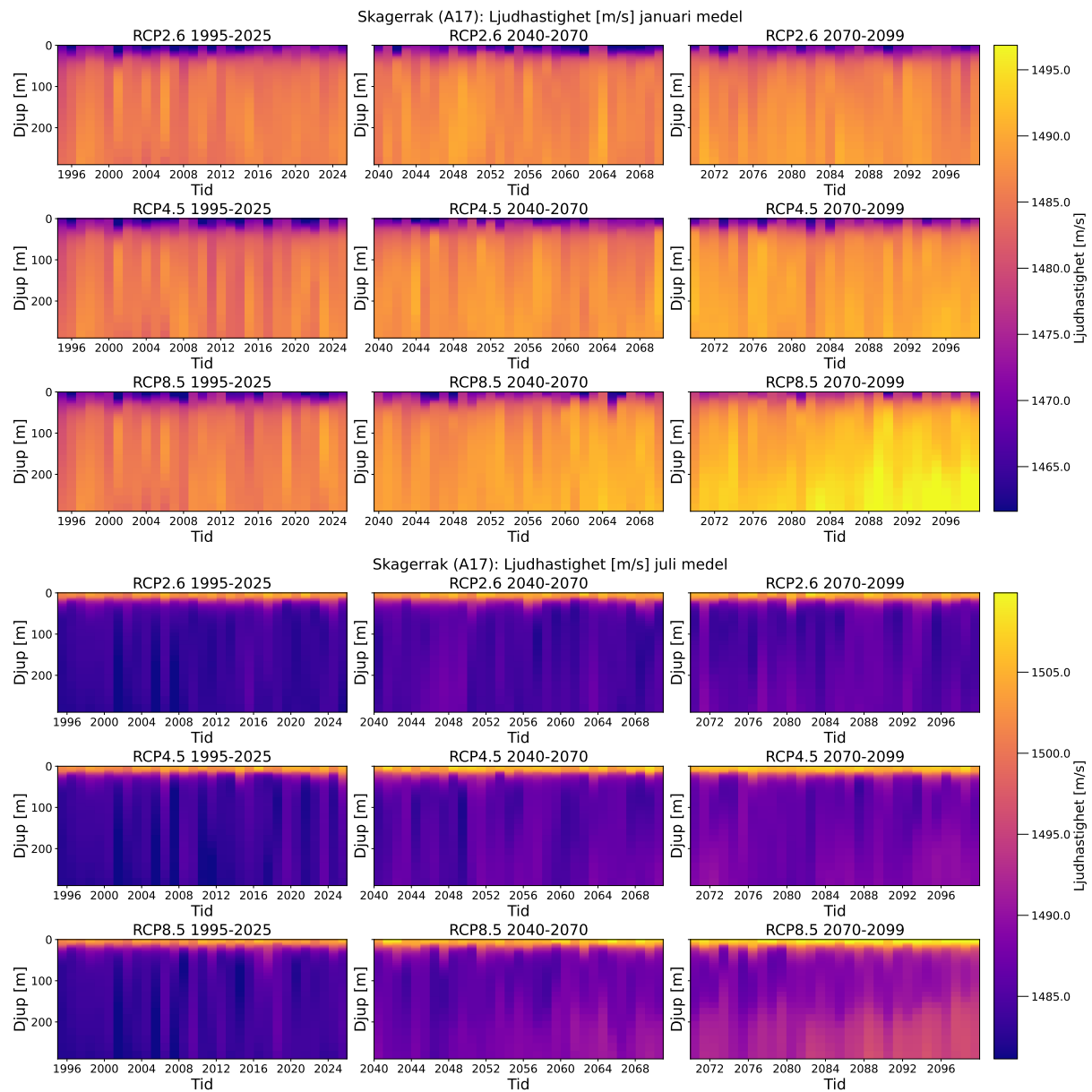
I profiler och hovmøllerdiagram (se Appendix) ses tydligt att det bildas en inversion mellan ytan och djupet i ljudhastighetssignal under somliga månader. I januari är temperaturen lägst vid ytan och högst vid botten i Juli är det tvärtom. Ljudhastigheten följer samma säsongsmönster. I tidserierna, ser man att ljudhastighet ökar med tiden oberoende av djup och månad för samtliga scenarier. Salthalten, i motsats, sjunker med tiden, speciellt i det varmaste scenariot (RCP8.5). I modellen beror detta främst på en intensifierad hydrologisk cykel. Varm luft kan bära mer vattenånga än kall luft, vilket leder till ökade regnmängder i en varmare värld. I någon mån kan detta motverkas av avdunstning, som också ökar i en varmare värld. Framtida salthalter i Östersjön är behäftade med stora osäkerheter, dels på grund av osäkerheter i den hydrologiska cykeln, men också på grund av att havsnivåstigning kan leda till att inflöden till Östersjön får en lättare passage genom sunden, en process som inte finns med i modellkörningarna denna rapport bygger på.

Temperatur, salthalt och ljudhastighet i Västerhavets stationer (Skagerrak och Kattegatt) och Östersjöns stationer följer liknande trender. Västerhavets stationer visar mest förändring för perioden 2090-2099 för RCP4.5 och RCP8.5. Förändringar i RCP2.6 är typiskt små. En säsongskanal bildas i Skagerrak i scenario RCP8.5 som inte fanns tidigare och som inte uppstår under andra scenarier. Denna kanal är en effekt av den stora temperaturökningen under RCP8.5.

I Östersjön, börjar förändringar bli påtagliga för perioden 2040-2049 medan de blir ytterligare förstärkta för perioden 2090-2099 i synnerhet i det varmaste scenariot. Salthaltsförändringarna i Östersjön är behäftade med stora osäkerheter på grund av ovan nämnda skäl. Dock är ljudhastigheten betydligt känsligare för temperaturförändringar än för salthaltsförändringar, så potentiella felkällor i salthaltsmodelleringen skulle sannolikt ge ganska modesta förändringar till ljudhastighetsprofilerna presenterade här.

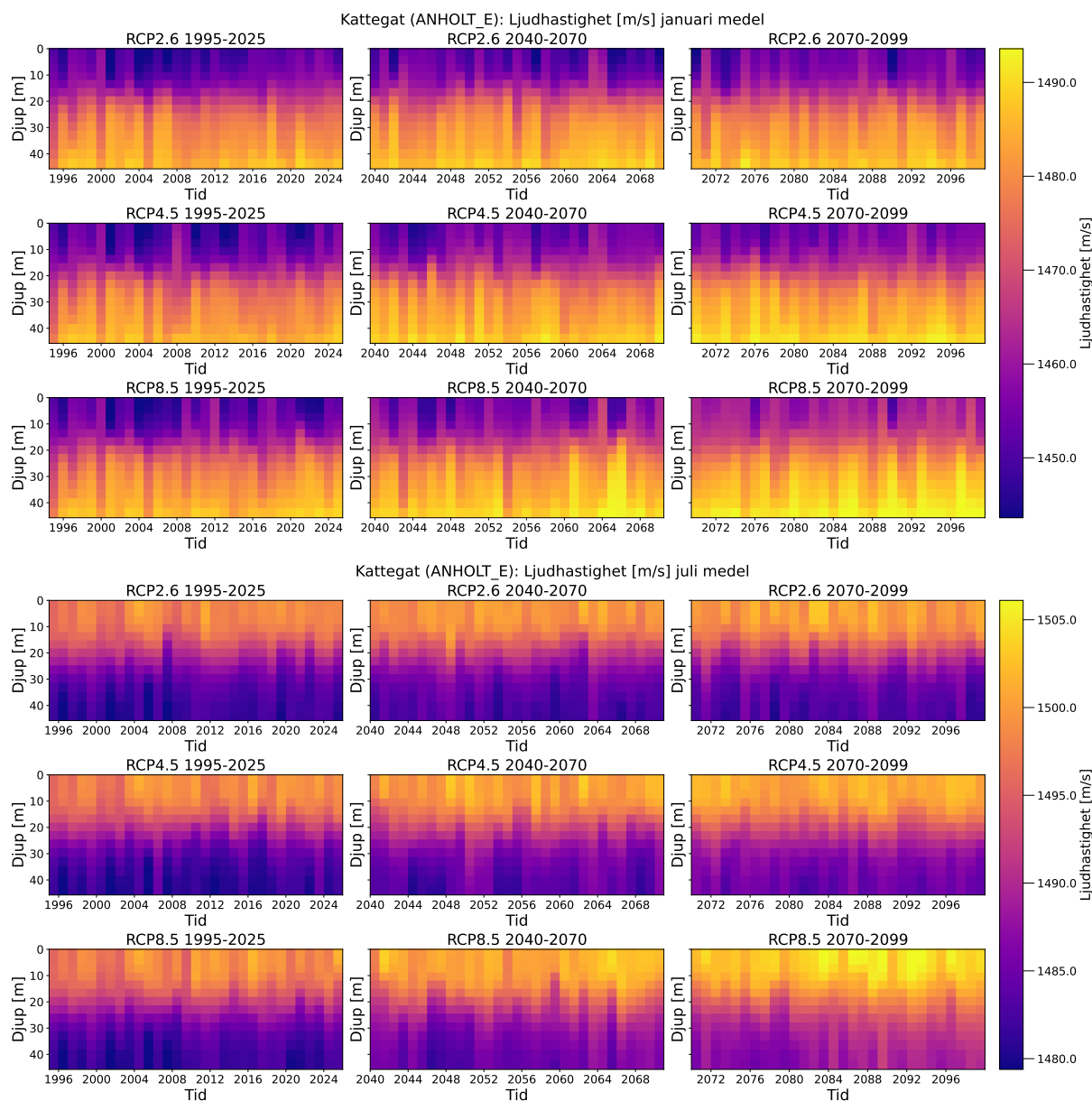
A Hovmöller plots

A.1 Skagerrak (Å17)



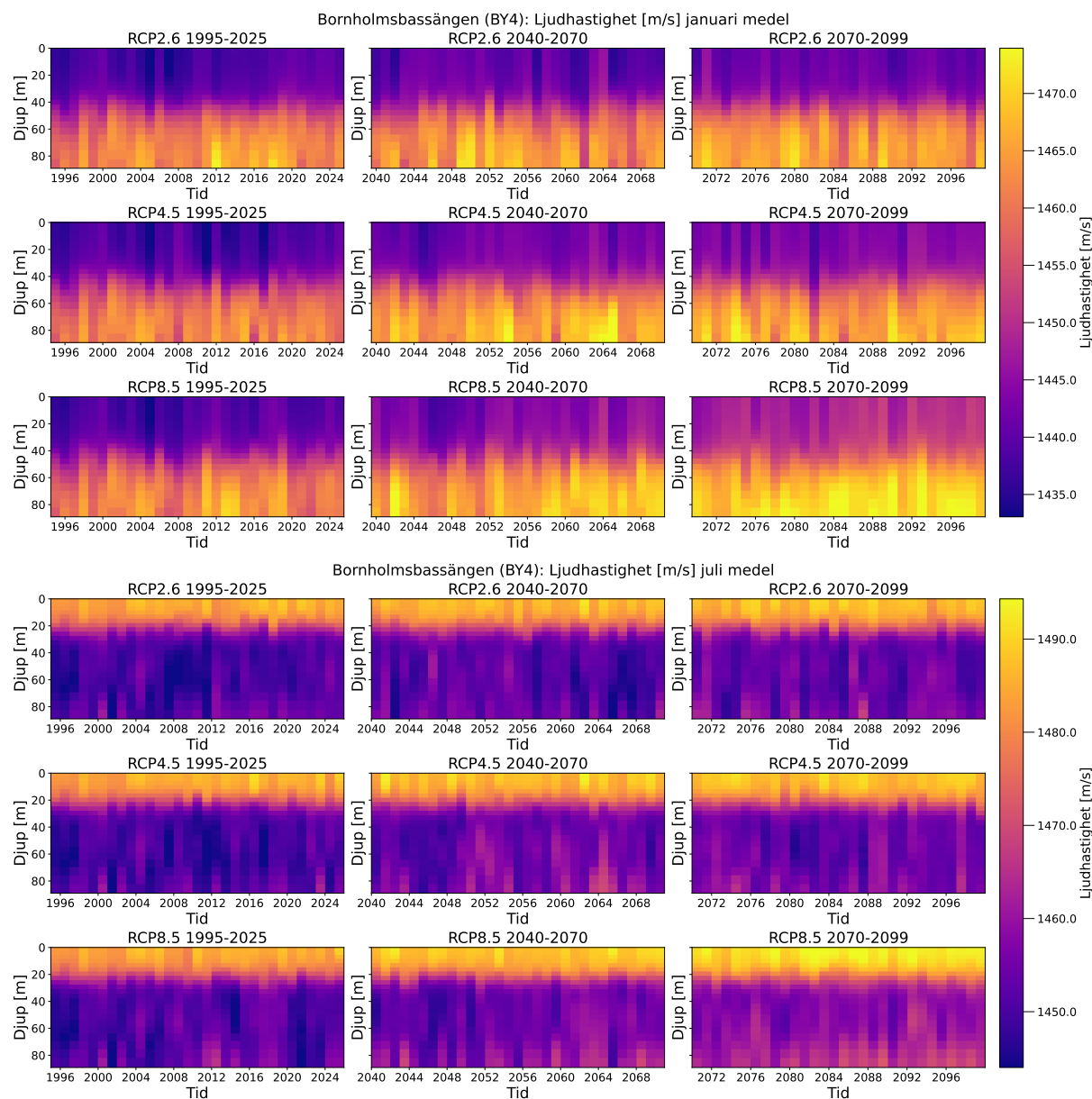
Figur 35: Hovmöllerdiagram av ljudhastighet vid Skagerrak (Å17) över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för i tre olika tidsperioder (1995-2025, 2040-2070 och 2070-2099).

A.2 Kattegatt (ANHOLT_E)



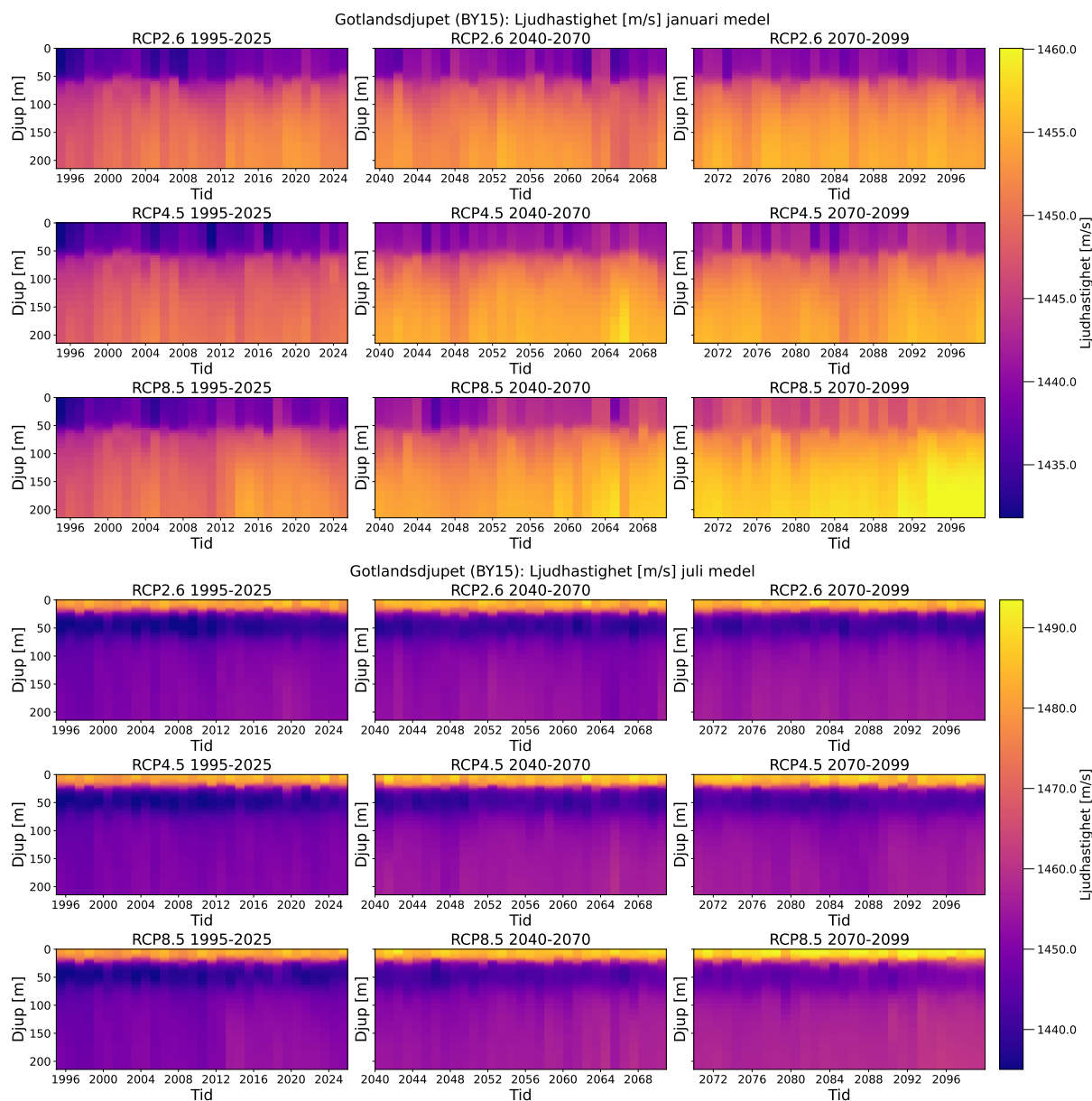
Figur 36: Hovmøllerdiagram av ljudhastighet vid Kattegatt (ANHOLT_E) över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för i tre olika tidsperioder (1995-2025, 2040-2070 och 2070-2099).

A.3 Bornholmsbassängen (BY4)



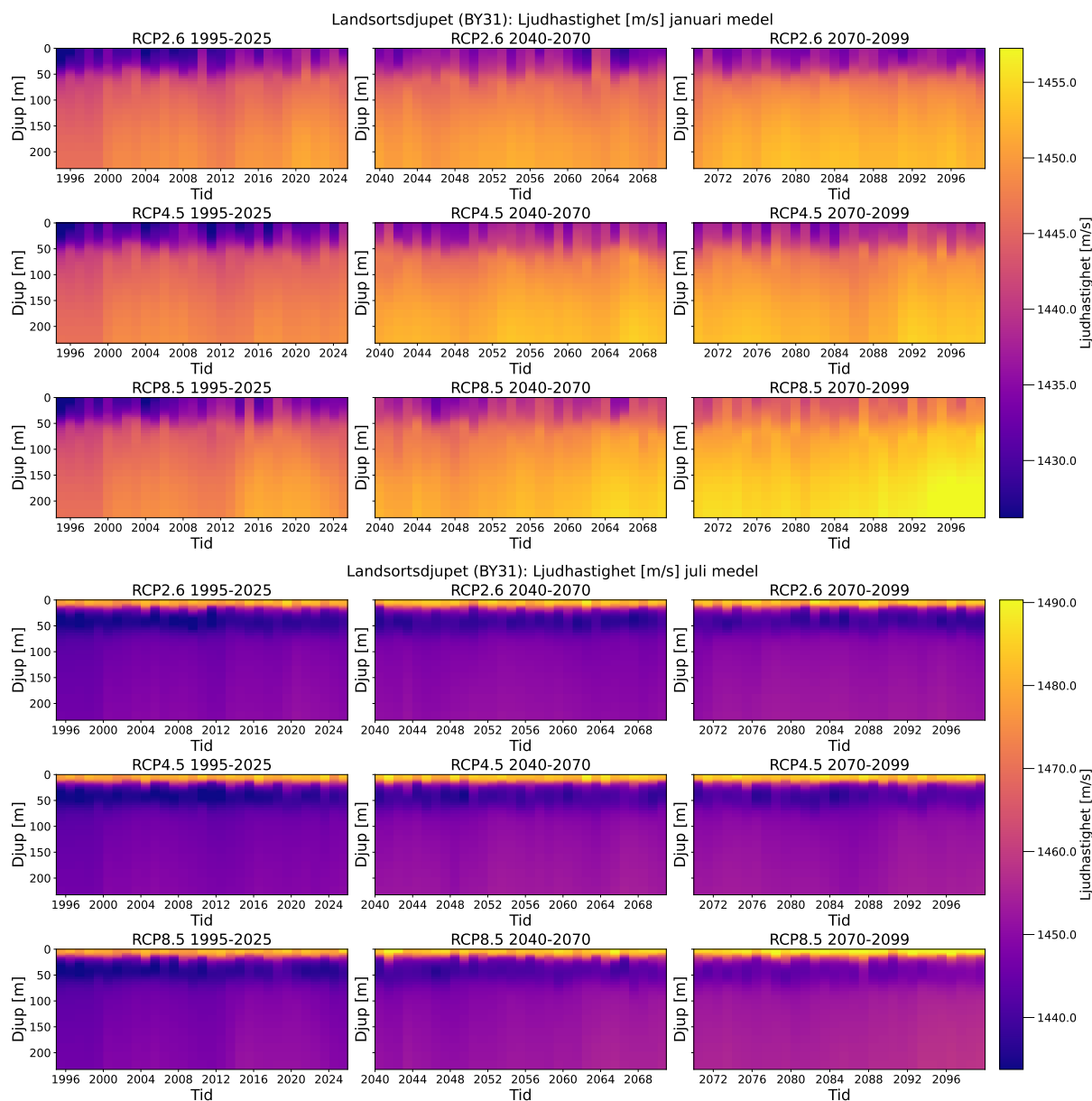
Figur 37: Hovmøllerdiagram av ljudhastighet vid Bornholmsbassängen (BY4) över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för i tre olika tidsperioder (1995-2025, 2040-2070 och 2070-2099).

A.4 Gotlandsdjupet (BY15)



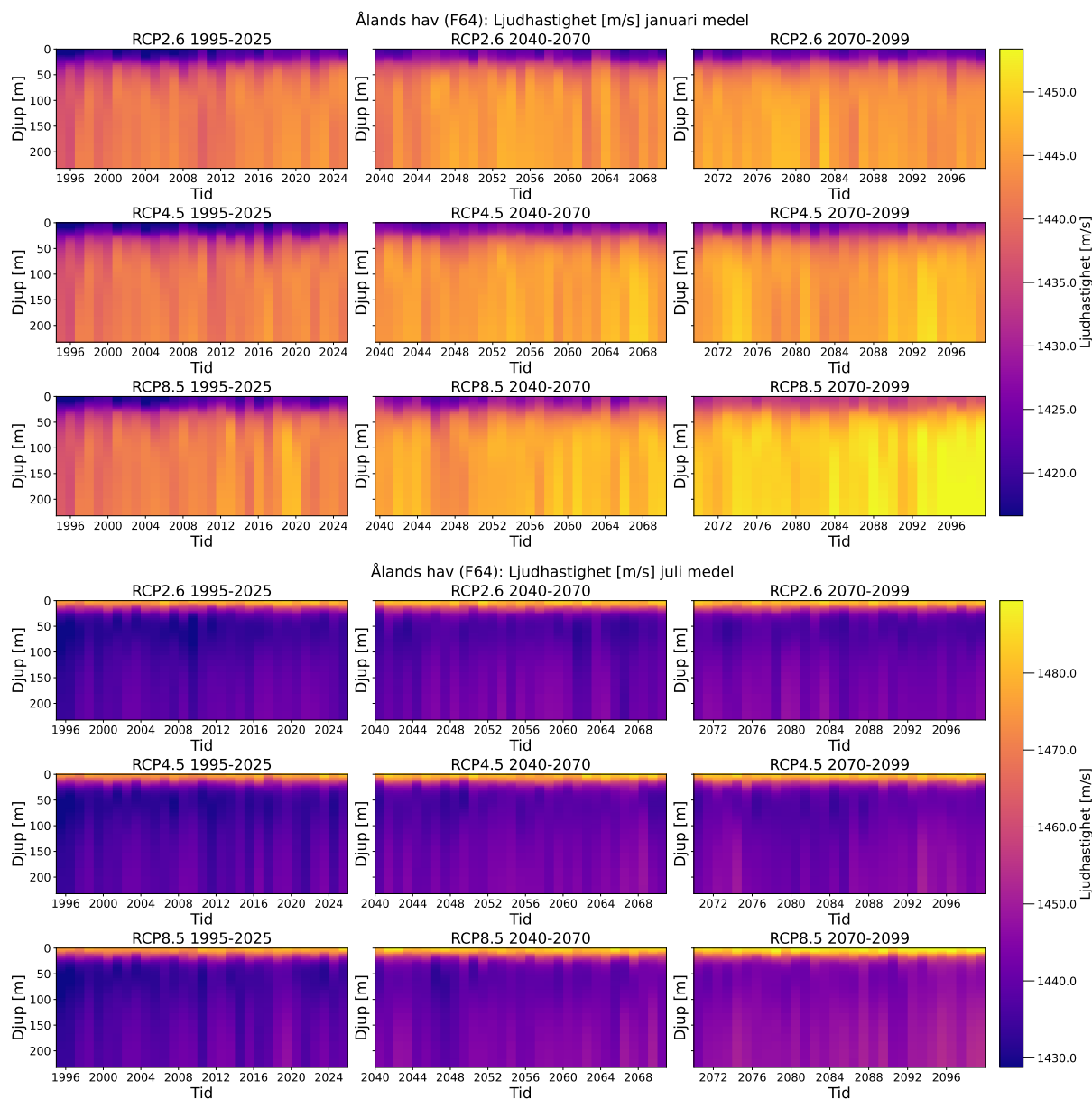
Figur 38: Hovmøllerdiagram av ljudhastighet vid Gotlandsdjupet (BY15) över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för i tre olika tidsperioder (1995-2025, 2040-2070 och 2070-2099).

A.5 Landsortsdjupet (BY31)



Figur 39: Hovmøllerdiagram av ljudhastighet vid Landsortsdjupet (BY31) över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för i tre olika tidsperioder (1995-2025, 2040-2070 och 2070-2099).

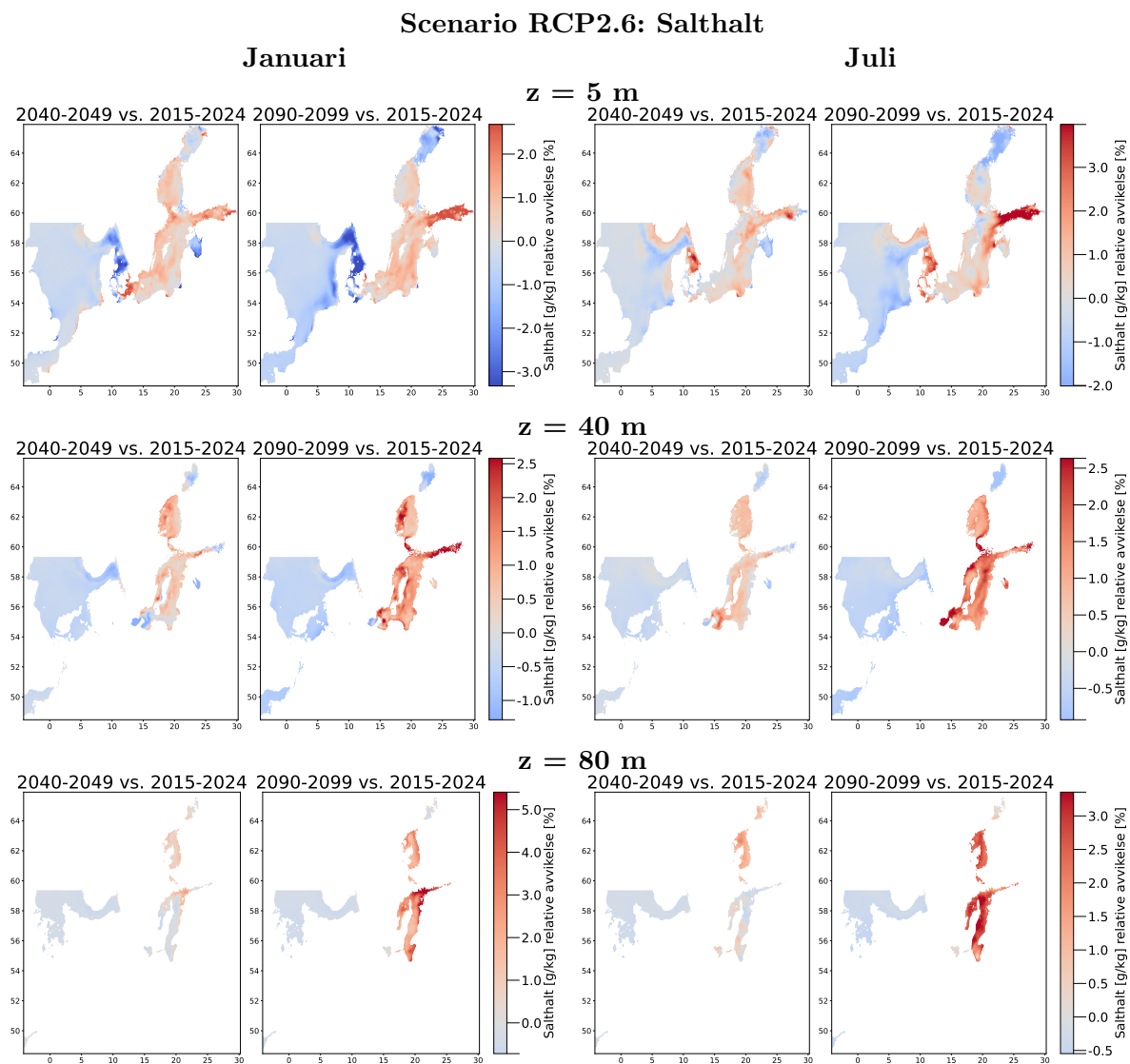
A.6 Ålands hav (F64)



Figur 40: Hovmøllerdiagram av ljudhastighet vid Ålands hav (F64) över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5 för i tre olika tidsperioder (1995-2025, 2040-2070 och 2070-2099).

B Avvikelsekartor

B.1 Salthalt

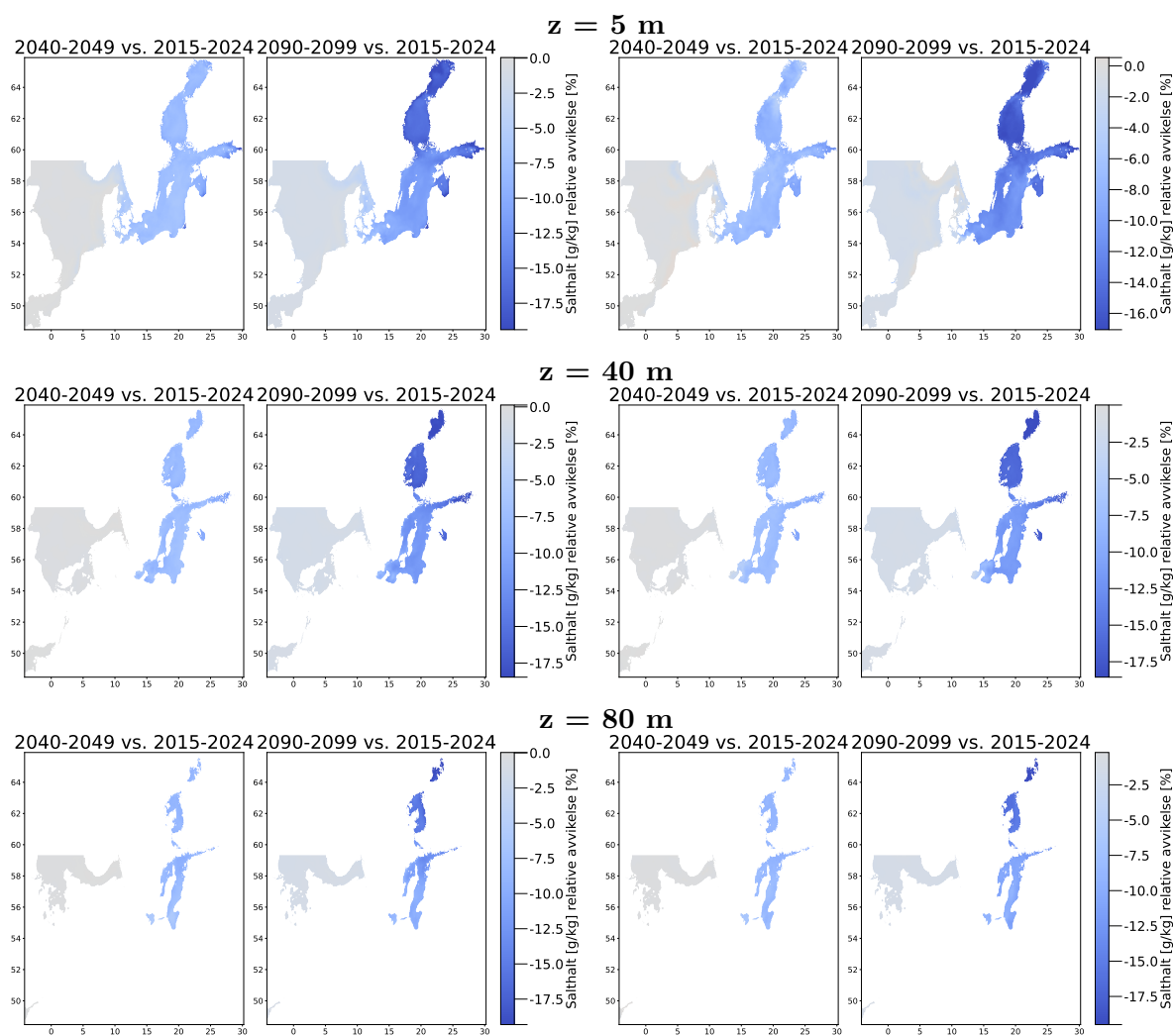


Figur 41: Medelvärdesbildade relative avvikelse (2040-2049 och 2090-2099 vs. 2015-2024) kartor av Salthalt för djup $z = 5 \text{ m}$, $z = 40 \text{ m}$ samt $z = 80 \text{ m}$ över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6.

Scenario RCP4.5: Salthalt

Januari

Juli

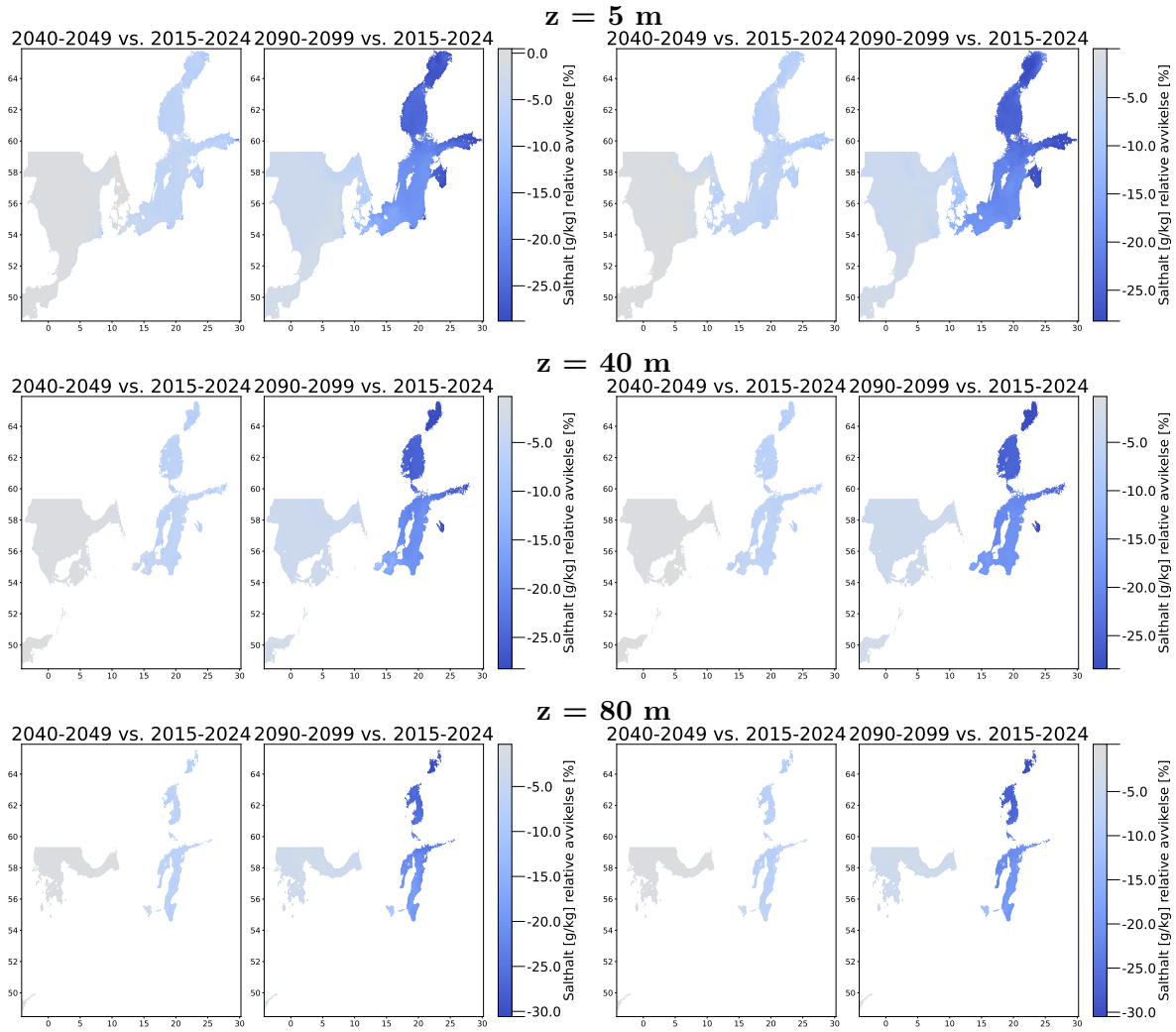


Figur 42: Medelvärdesbildade relative avvikelse (2040-2049 och 2090-2099 vs. 2015-2024) kartor av Salthalt för djup $z = 5 \text{ m}$, $z = 40 \text{ m}$ samt $z = 80 \text{ m}$ över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP4.5.

Scenario RCP8.5: Salthalt

Januari

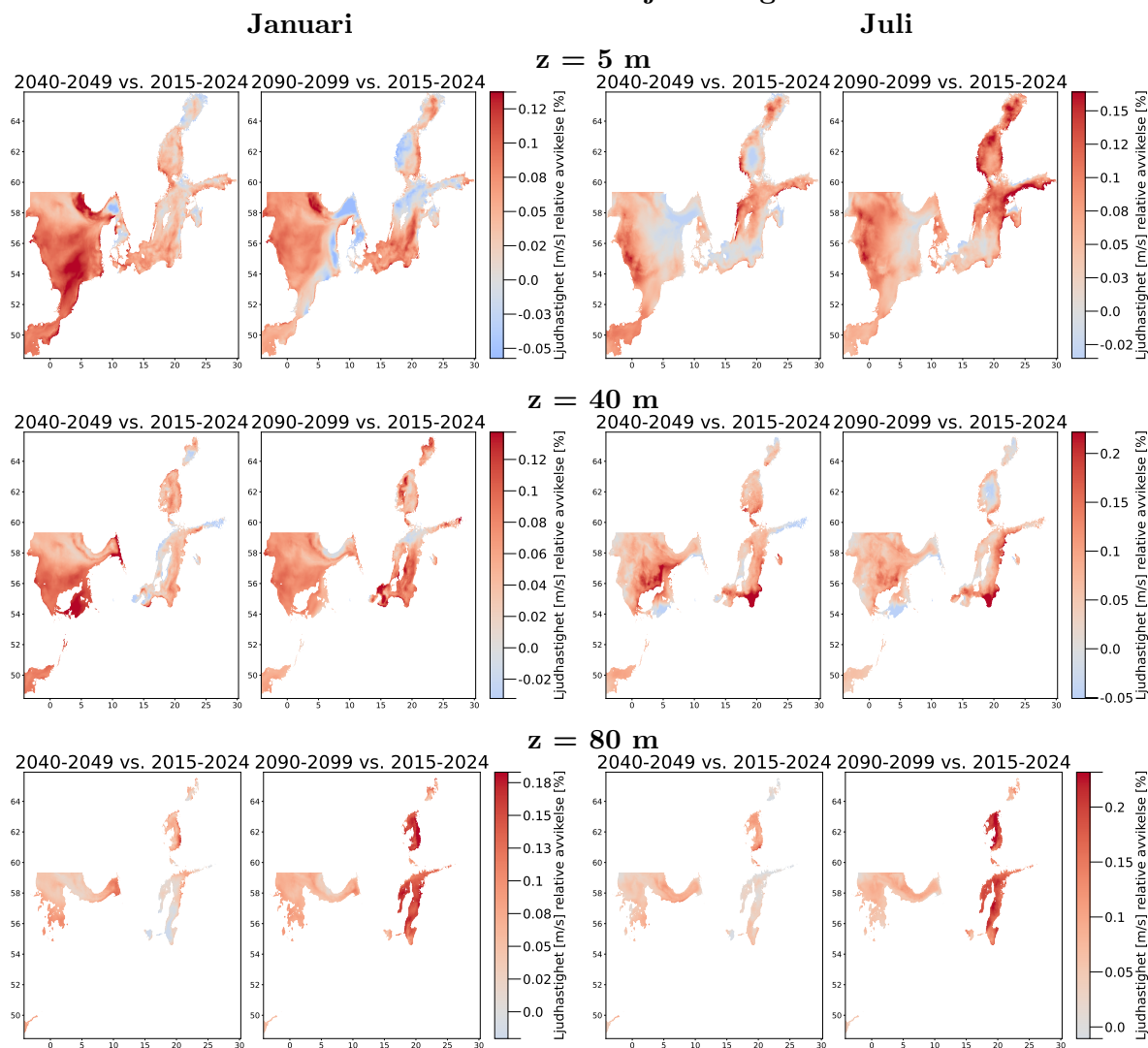
Juli



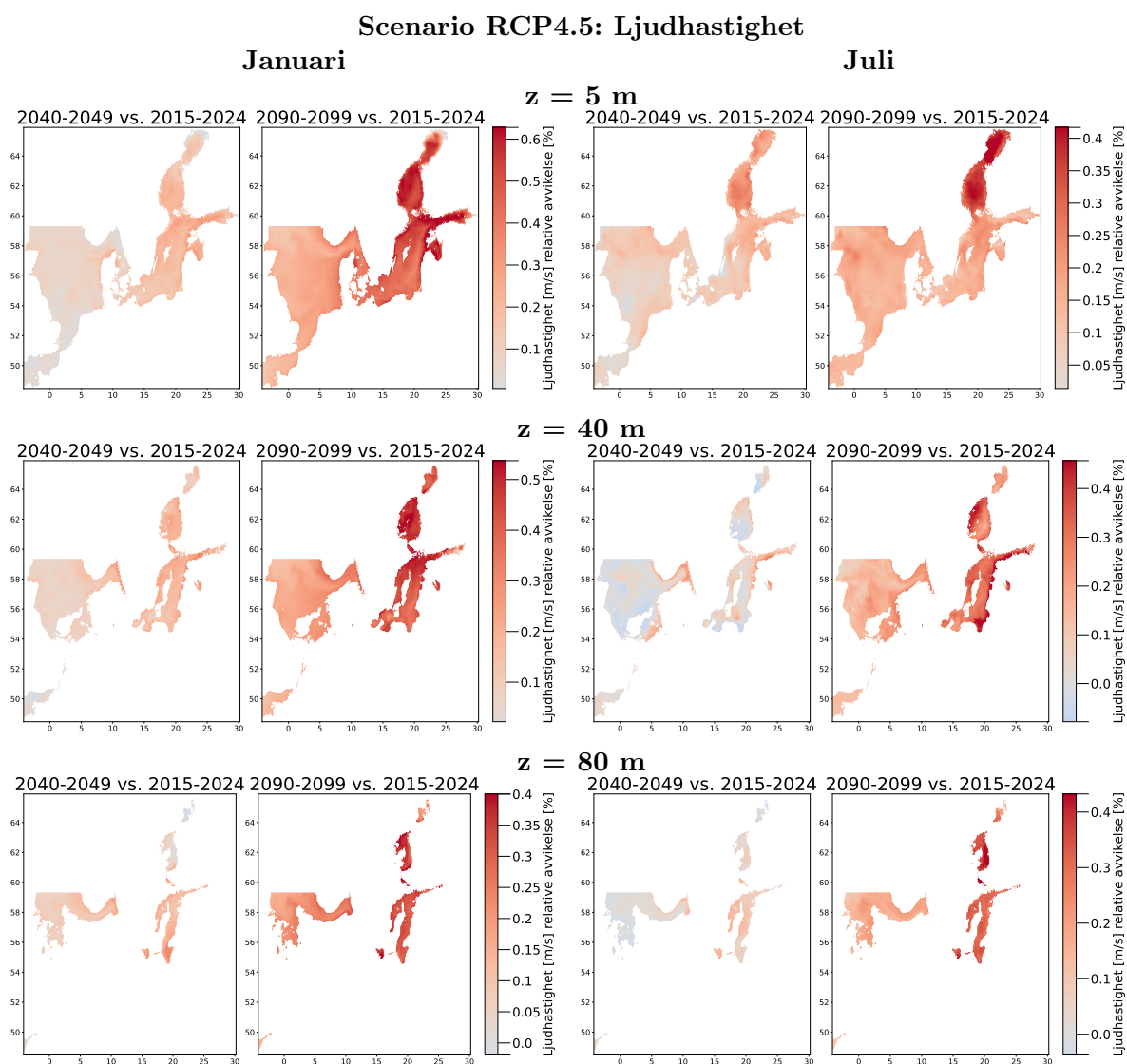
Figur 43: Medelvärdesbildade relative avvikelse (2040-2049 och 2090-2099 vs. 2015-2024) kartor av Salthalt för djup $z = 5\text{ m}$, $z = 40\text{ m}$ samt $z = 80\text{ m}$ över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP8.5.

B.2 Ljudhastighet

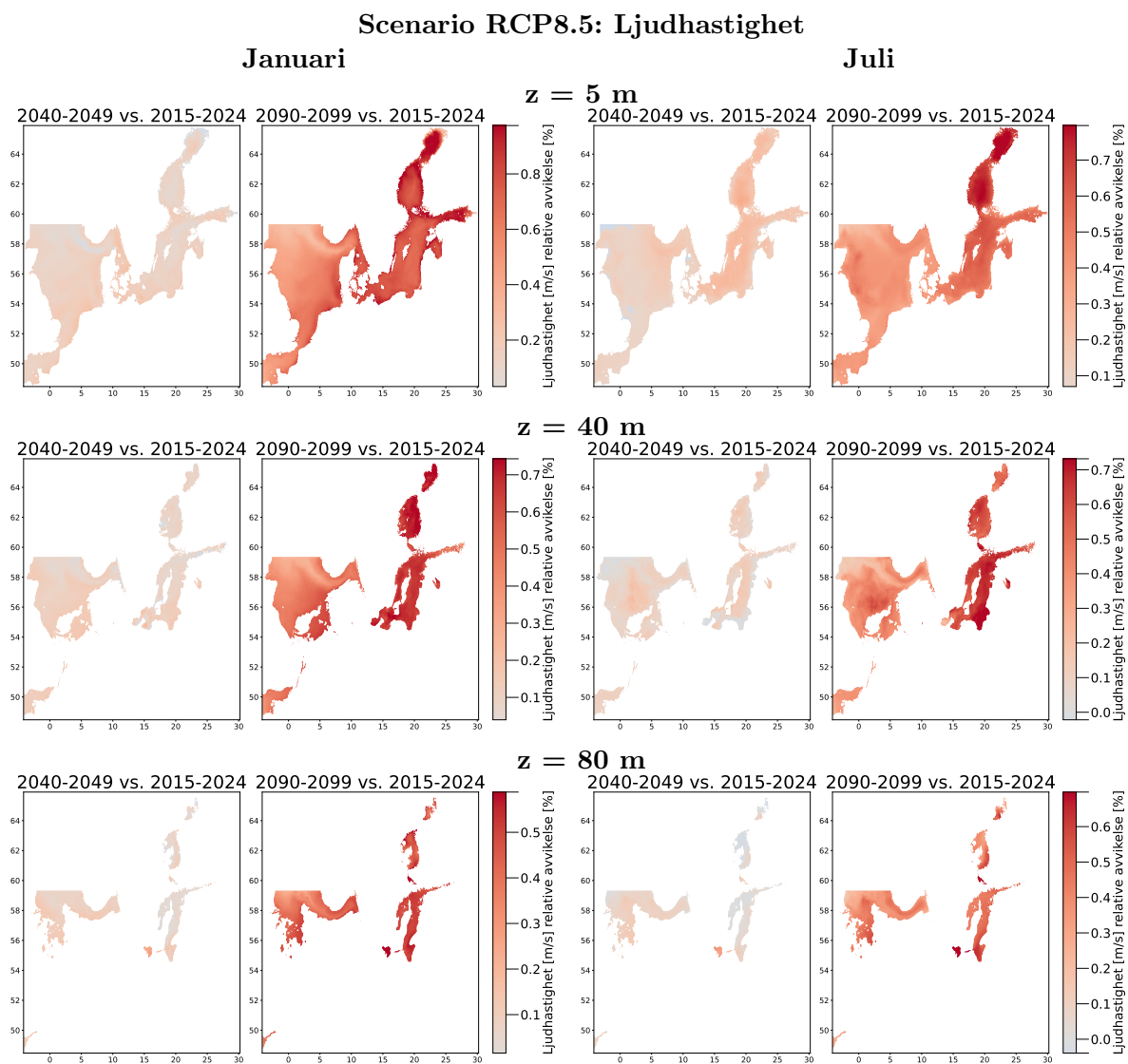
Scenario RCP2.6: Ljudhastighet



Figur 44: Medelvärdesbildade relative avvikelse (2040-2049 och 2090-2099 vs. 2015-2024) kartor av Ljudhastighet för djup $z = 5 \text{ m}$, $z = 40 \text{ m}$ samt $z = 80 \text{ m}$ över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP2.6.



Figur 45: Medelvärdesbildade relative avvikelse (2040-2049 och 2090-2099 vs. 2015-2024) kartor av Ljudhastighet för djup $z = 5 \text{ m}$, $z = 40 \text{ m}$ samt $z = 80 \text{ m}$ över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP4.5.



Figur 46: Medelvärdesbildade relative avvikelse (2040-2049 och 2090-2099 vs. 2015-2024) kartor av Ljudhastighet för djup $z = 5 \text{ m}$, $z = 40 \text{ m}$ samt $z = 80 \text{ m}$ över medelvärden för januari och juli för scenarier RCP8.5.

Referenser

- Hordoir, R., Axell, L., Höglund, A., Dieterich, C., Fransner, F., Gröger, M., Liu, Y., Pemberton, P., Schimanke, S., Andersson, H., Ljungemyr, P., Nygren, P., Falahat, S., Nord, A., Jönsson, A., Lake, I., Döös, K., Hieronymus, M., Dietze, H., Löptien, U., Kuznetsov, I., Westerlund, A., Tuomi, L., and Haapala, J. (2019). Nemo-nordic 1.0: a nemo-based ocean model for the baltic and north seas – research and operational applications. *Geoscientific Model Development*, 12(1):363–386.
- Roquet, F., Madec, G., McDougall, T. J., and Barker, P. M. (2015). Accurate polynomial expressions for the density and specific volume of seawater using the teos-10 standard. *Ocean Modelling*, 90:29–43.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., et al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1):5.

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

SMHI Publikationer

SMHI publicerar sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationella läsare och skrivs oftast på Engelska. I de övriga serierna används oftast Svenska men även Engelska.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

1. Lennart Funkquist (1985)
En hydrodynamisk modell för
spridnings- och
cirkulationsberäkningar i Östersjön
Slutrapport
2. Barry Broman och Carsten
Pettersson. (1985)
Spridningsundersökningar i yttre
fjärden Piteå
3. Cecilia Ambjörn (1986)
Utbyggnad vid Malmö hamn;
effekter för Lommabuktens
vattenutbyte
4. Jan Andersson och Robert Hillgren
(1986)
SMHIs undersökningar i
Öregrundsgrepen perioden 84/85
5. Bo Juhlin (1986)
Oceanografiska observationer utmed
svenska kusten med
kustbevakningens fartyg 1985
6. Barry Broman (1986)
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla
Värtan
7. Bo Juhlin (1986)
15 års mätningar längs svenska kusten med
kustbevakningen (1970 - 1985)
8. Jonny Svensson (1986)
Vågdata från svenska kustvatten 1985
9. Barry Broman (1986)
Oceanografiska stationsnät - Svenskt
Vattenarkiv
10. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
11. Cecilia Ambjörn (1987)
Spridning av kylvatten från Öresundsverket
12. Bo Juhlin (1987)
Oceanografiska observationer utmed
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1986

13. Jan Andersson och Robert Hillgren (1987)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1986
14. Jan-Erik Lundqvist (1987)
Impact of ice on Swedish offshore lighthouses. Ice drift conditions in the area at Sydostbrotten - ice season 1986/87
15. SMHI/SNV (1987)
Fasta förbindelser över Öresund - utredning av effekter på vattenmiljön i Östersjön
16. Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1987)
Undersökning av vattenmiljön vid utfyllnaden av Kockums varvsbassäng. Slutrapport för perioden 18 juni - 21 augusti 1987
17. Erland Bergstrand (1987)
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön
18. Stig H. Fonselius (1987)
Kattegatt - havet i väster
19. Erland Bergstrand (1987)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1986
20. Kjell Wickström (1987)
Bedömning av kylvattenrecipienten för ett kolkraftverk vid Oskarshamnsverket
21. Cecilia Ambjörn (1987)
Förstudie av ett nordiskt modellsystem för kemikaliespridning i vatten
22. Kjell Wickström (1988)
Vågdata från svenska kustvatten 1986
23. Jonny Svensson, SMHI/National Swedish Environmental Protection Board (SNV) (1988)
A permanent traffic link across the Öresund channel - A study of the hydro-environmental effects in the Baltic Sea
24. Jan Andersson och Robert Hillgren (1988)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1987
25. Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund (1988)
Kylvattnet från Ringhals 1974-86
26. Bo Juhlin (1988)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1987
27. Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1987.
28. Cecilia Ambjörn (1989)
Spridning och sedimentation av tippat lermaterial utanför Helsingborgs hamnområde
29. Robert Hillgren (1989)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1988
30. Bo Juhlin (1989)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1988
31. Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson (1989)
Samordnade kustvattenkontrollen i Östergötland 1988
32. Cecilia Ambjörn (1989)
Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i samband med kylvattenutsläpp i Trommekilen
33. 33a Cecilia Ambjörn (1990)
Oceanografiska förhållanden utanför Vendelsöfjorden i samband med kylvattenutsläpp

33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson (1990)
Numerical circulation models for the Skagerrak - Kattegat. Preparatory study
34. Kjell Wickström (1990)
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i havet - slutrapport
35. Bo Juhlin (1990)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1989
36. Bertil Håkansson och Mats Moberg (1990)
Glommaälvens spridningsområde i nord-östra Skagerrak

37. Robert Hillgren (1990)
SMHIs undersökningar utanför
Forsmark 1989
38. Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - the gateway to the North
Sea
39. Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
40. Cecilia Ambjörn och Kjell
Wickström (1990)
Spridningsundersökningar i norra
Kalmarsund för Mönsterås bruk
41. Cecilia Ambjörn (1990)
Strömningsteknisk utredning
avseende utbyggnad av gipsdeponi i
Landskrona
42. Cecilia Ambjörn, Torbjörn
Grafström och Jan Andersson (1990)
Spridningsberäkningar - Klints Bank
43. Kjell Wickström och Robert
Hillgren (1990)
Spridningsberäkningar för EKA-
NOBELs fabrik i Stockviksverken
44. Jan Andersson (1990)
Brofjordens kraftstation -
Kylvattensspridning i Hanneviken
45. Gustaf Westring och Kjell
Wickström (1990)
Spridningsberäkningar för Höganäs
kommun
46. Robert Hillgren och Jan Andersson
(1991)
SMHIs undersökningar utanför
Forsmark 1990
47. Gustaf Westring (1991)
Brofjordens kraftstation -
Kompletterande simulering och
analys av kylvattensspridning i
Trommekilen
48. Gustaf Westring (1991)
Vågmätningar utanför Kristianopel -
Slutrapport
49. Bo Juhlin (1991)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med
kustbevakningens fartyg 1990
50. 50A Robert Hillgren och Jan Andersson
(1992)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1991
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander,
Bertil Håkansson, Bertil Brusmark, Anders
Carlström, Anders Gustavsson, Eva
Cronström och Olov Fäst (1992).
BEERS -92 Final edition
51. Bo Juhlin (1992)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1991
52. Jonny Svensson och Sture Lindahl (1992)
Numerical circulation model for the
Skagerrak - Kattegatt
53. Cecilia Ambjörn (1992)
Isproppsförebyggande muddring och dess
inverkan på strömmarna i Torneälven
54. Bo Juhlin (1992)
20 års mätningar längs svenska kusten med
kustbevakningens fartyg (1970 - 1990)
55. Jan Andersson, Robert Hillgren och
Gustaf Westring (1992)
Förstudie av strömmar, tidvatten och
vattenstånd mellan Cebu och Leyte,
Filippinerna
56. Gustaf Westring, Jan Andersson,
Henrik Lindh och Robert Axelsson (1993)
Forsmark - en temperaturstudie.
Slutrapport
57. Robert Hillgren och Jan Andersson (1993)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1992
58. Bo Juhlin (1993)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1992
59. Gustaf Westring (1993)
Isförhållandena i svenska farvatten under
normalperioden 1961-90
60. Torbjörn Lindkvist (1994)
Havsområdesregister 1993
61. Jan Andersson och Robert Hillgren (1994)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1993
62. Bo Juhlin (1994)
Oceanografiska observationer runt svenska
kusten med kustbevakningens fartyg 1993

63. Gustaf Westring (1995)
Isförhållanden utmed Sveriges kust -
isstatistik från svenska farleder och
farvatten under normalperioderna
1931-60 och 1961-90
64. Jan Andersson och Robert Hillgren
(1995)
SMHIs undersökningar utanför
Forsmark 1994
65. Bo Juhlin (1995)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med
kustbevakningens fartyg 1994
66. Jan Andersson och Robert Hillgren
(1996)
SMHIs undersökningar utanför
Forsmark 1995
67. Lennart Funkquist och Patrik
Ljungemyr (1997)
Validation of HIROMB during
1995-96
68. Maja Brandt, Lars Edler och
Lars Andersson (1998)
Översvämningar längs Oder och
Wisla sommaren 1997 samt
effekterna i Östersjön
69. Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan
Olsson, Länsstyrelsen, Östergötland
(2000)
Kustzonmodell för norra
Östergötlands skärgård
70. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
71. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
72. Fourth Workshop on Baltic Sea Ice
Climate Norrköping, Sweden 22-24
May, 2002 Conference Proceedings
Editors: Anders Omstedt and Lars
Axell
73. Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert,
Jenny Andersson, Anders Gyllander
(2003)
Djupdata för havsområden 2003
74. Håkan Olsson, SMHI (2003)
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen
Östergötland
Kustzonssystemet i regional
miljöanalys
75. Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt
(2003)
Utvärdering av kustzonmodellen för norra
Östergötlands och norra Bohusläns
skärgårdar
76. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma
Lindow och Jonny Svensson, Thalassos
Computations (2004)
Integrerat kustzonssystem för Bohusläns
skärgård
77. Philip Axe, Martin Hansson och Bertil
Håkansson (2004)
The national monitoring programme in the
Kattegat and Skagerrak
78. Lars Andersson, Nils Kajrup och Björn
Sjöberg (2004)
Dimensionering av det nationella marina
pelagialprogrammet
79. Jörgen Sahlberg (2005)
Randdata från öppet hav till kustzons-
modellerna (Exemplet södra Östergötland)
80. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson (2005)
Integrerat Kustzonssystem för
Hallandskusten
81. Tobias Strömgren (2005)
Implementation of a Flux Corrected
Transport scheme in the Rossby Centre
Ocean model
82. Martin Hansson (2006)
Cyanobakterieblomningar i Östersjön,
resultat från satellitövervakning 1997-2005
83. Kari Eilola, Jörgen Sahlberg (2006)
Model assessment of the predicted
environmental consequences for OSPAR
problem areas following nutrient reductions
84. Torbjörn Lindkvist, Helma Lindow (2006)
Fyrskjeppsdata. Resultat och bearbetnings-
metoder med exempel från Svenska Björn
1883 – 1892
85. Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of
designating BWE areas in the Baltic Proper
86. Elin Almroth, Kari Eilola, M. Skogen,
H. Søiland and Ian Sehested Hansen (2007)
The year 2005. An environmental status
report of the Skagerrak, Kattegat and North
Sea

87. Eleonor Marmefelt, Jörgen Sahlberg och Marie Bergstrand (2007)
HOME Vatten i södra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
88. Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Skagerrak and the Norwegian Trench
89. Anna Edman, Jörgen Sahlberg, Niclas Hjerdt, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenvikens vatten-distrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
90. Niclas Hjerdt, Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenhavets vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
91. Elin Almroth, Morten Skogen, Ian Sehsted Hansen, Tapani Stipa, Susa Niiranen (2008)
The year 2006
An Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea
A demonstration Project
92. Pia Andersson editor and co-authors¹
Bertil Håkansson¹, Johan Håkansson¹, Elisabeth Sahlsten¹, Jonathan Havenhand², Mike Thorndyke², Sam Dupont² *Swedish Meteorological and Hydrological Institute¹ Gothenburg University, Sven Lovén, Centre of Marine Sciences²* (2008)
Marine Acidification – On effects and monitoring of marine acidification in the seas surrounding Sweden
93. Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt, Maja Brandt, Niclas Hjerdt och Karen Lundholm (2008)
HOME Vatten i norra Östersjöns vatten-distrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar.
94. David Lindstedt (2008)
Effekter av djupvattenomblandning i Östersjön – en modellstudie
95. Ingemar Cato¹, Bertil Håkansson², Ola Hallberg¹, Bernt Kjellin¹, Pia Andersson², Cecilia Erlandsson¹, Johan Nyberg¹, Philip Axe² (2008)
¹*Geological Survey of Sweden (SGU)*
²*The Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)*
A new approach to state the areas of oxygen deficits in the Baltic Sea
96. Kari Eilola, H.E. Markus Meier, Elin Almroth, Anders Höglund (2008)
Transports and budgets of oxygen and phosphorus in the Baltic Sea
97. Anders Höglund, H.E. Markus Meier, Barry Broman och Ekaterina Kriezi (2009)
Validation and correction of regionalised ERA-40 wind fields over the Baltic Sea using the Rossby Centre Atmosphere model RCA3.0
98. Jörgen Sahlberg (2009)
The Coastal Zone Model
99. Kari Eilola (2009)
On the dynamics of organic nutrients, nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea
100. Kristin I. M. Andreasson (SMHI), Johan Wikner (UMSC), Berndt Abrahamsson (SMF), Chris Melrose (NOAA), Svante Nyberg (SMF) (2009)
Primary production measurements – an intercalibration during a cruise in the Kattegat and the Baltic Sea
101. K. Eilola, B. G. Gustafson, R. Hordoir, A. Höglund, I. Kuznetsov, H.E.M. Meier T. Neumann, O. P. Savchuk (2010)
Quality assessment of state-of-the-art coupled physical-biogeochemical models in hind cast simulations 1970-2005
102. Pia Andersson (2010)
Drivers of Marine Acidification in the Seas Surrounding Sweden
103. Jörgen Sahlberg, Hanna Gustavsson (2010)
HOME Vatten i Mälaren
104. K.V Karmanov., B.V Chubarenko, D. Domnin, A. Hansson (2010)
Attitude to climate changes in everyday management practice at the level of Kaliningrad region municipalities

105. Helén C. Andersson., Patrik Wallman, Chantal Donnelly (2010) Visualization of hydrological, physical and biogeochemical modelling of the Baltic Sea using a GeoDomeTM
106. Maria Bergelo (2011) Havsvattenståndets påverkan längs Sveriges kust – enkätsvar från kommuner, räddningstjänst, länsstyrelser och hamnar
107. H.E. Markus Meier, Kari Eilola (2011) Future projections of ecological patterns in the Baltic Sea
108. Meier, H.E.M., Andersson, H., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B., Höglund, A., Hordoir, R., Schimanke, S (2011) Transient scenario simulations for the Baltic Sea Region during the 21st century
109. Ulrike Löptien, H.E. Markus Meier (2011) Simulated distribution of colored dissolved organic matter in the Baltic Sea
110. K. Eilola¹, J. Hansen⁴, H. E. M. Meier¹, K. Myrberg⁵, V. A. Ryabchenko³ and M. D. Skogen² (2011) ¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden, ² Institute of Marine Research, Norway, ³ St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia, ⁴ National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, ⁵ Finnish Environment Institute, Finland
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study Years 2001-2005
111. Semjon Schimanke, Erik Kjellström, Gustav Strandberg och Markus Meier (2011) A regional climate simulation over the Baltic Sea region for the last Millennium
112. Meier, H. E. M., K. Eilola, B. G. Gustafsson, I. Kuznetsov, T. Neumann, and O. P. Savchuk, (2012) Uncertainty assessment of projected ecological quality indicators in future climate
113. **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**
114. Domnina, Anastasia¹. Chubarenko, Boris¹ (2012) *Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia.*¹ “Discussion on the Vistula Lagoon regional development considering local consequences of climate changes Interim report on the ECOSUPPORT BONUS+project No. 08-05-92421.
115. K. Eilola¹, J.L.S. Hansen⁴, H.E.M. Meier¹, M.S. Molchanov³, V.A. Ryabchenko³ and M.D. Skogen² (2013) ¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden. ²Institute of Marine Research, Norway. ³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia. ⁴Department of Bioscience, Aarhus University, Denmark
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study. Present and future climate
116. **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**
117. Kari Eilola¹, Elin Almroth-Rosell¹, Moa Edman¹, Tatjana Eremina³, Janus Larsen⁴, Urszula Janas², Arturas Razinkovas-Basiukas⁶, Karen Timmermann⁴, Letizia Tedesco⁵, Ekaterina Voloshchuk³ (2015) ¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden. ²Institute of Oceanography, Gdansk University, Poland. ³Russian State hydrometeorological University, Sankt-Petersburg, Russia. ⁴Aarhus University, Roskilde, Denmark. ⁵Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. ⁶Coastal and Planning Research Institute, Klaipeda, Lithuania.
Model set-up at COCOA study sites
118. Helén C. Andersson, Lena Bram Eriksson, Niclas Hjerdt, Göran Lindström Ulrike Löptien och Johan Strömqvist. (2016) Översikt av beräkningsmodeller för bedömning av fiskodlingars näringsämnesbelastning på sjöar, vattendrag, magasin och kustvatten

119. Ivan Kuznetsov, Kari Eilola, Christian Dieterich, Robinson Hordoir, Lars Axell, Anders Höglund and Semjon 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
120. Johannes Johansson, Martin Hansson (2016)
Slutrapport 2015 för uppdraget ”Databaslagring av historiska fys/kemdata från Stockholm Vatten” Datavärdskapet Oceanografi och Marinbiologi
121. Arnold Andreasson, Patrik Strömberg, Maria Prager, Nils Nexelius (2016)
Automatisering av nationellt dataflöde till ICES genom skördning - en förstudie
122. Anders Höglund (2016)
Invasive species in the Baltic Sea A model study of plankton transport
123. Sofie Schöld, Sverker Hellström, Cajsa-Lisa Ivarsson, Per Kållberg, Helma Lindow, Signild Nerheim, Semjon Schimanke, Johan Södling och Lennart Wern (2017)
Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust
124. Johan Södling, Signild Nerheim (2017) Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd
125. Lasse Johansson, Walter Gyllenram, Maria Andersson och Signild Nerheim (2017) Lokala effekter på extrema havsvattenstånd
126. Josefina Algotsson, Frank Van Der Stelt and Diala Abdoush (2019)
Swedish coastal water bodies on Wikidata Combining WFD data with Wikidata
127. Josefina Algotsson, Moa Edman (2019)
Förslag till statusklassning av parameter 9.5 Sötvatteninflöde och vattenutbyte i kustvatten och vatten i övergångszon En jämförelse mellan Kustzonsmodellens naturliga och normala uppsättning
128. Moa Edman, Jörgen Sahlberg (2019)
The Swedish Coastal zone Model (SCM)
129. Per Pemberton Lisa Lind, Anette Jönsson, Lars Arneborg, Lars Axell Magnus Hieronymus (2021)
Framtida isutbredning i svenska farvatten. Analys av isförhållanden runt år 2040-2070
130. Jörgen Öberg (2022)
Cyanobakterier i Östersjön sommaren 2021
131. Anna Willstrand-Wranne, Martin Hansson, Johanna Linders, Fredrik Waldh, Karin Wesslander, Daniel Bergman-Sjöstrand, Maria Nordström, Raul Salas Labadia, Erik Udéhn, Markus Lindh
Bottenmonterade mätsystem 2020-2021
132. Jörgen Öberg, Ann-Turi Skjevik, Johannes Johansson (2022)
Cyanobakterier i Östersjön sommaren 2022
133. Kari Eiola (2023)
Klimatanalys för havsmiljöförvaltningen - Inledande bedömning 2023
134. Jörgen Öberg, Ann-Turi Skjevik, Johannes Johansson (2025)
Cyanobakterier i Östersjön sommaren 2023

Denna sida är avsiktligt blank



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 0283-7714

