

## **Framtida isutbredning i svenska farvatten**

Analys av isförhållandena runt år 2040 och 2070

Per Pemberton, Lisa Lind, Anette Jönsson, Lars Arneborg, Lars Axell, Magnus Hieronymus



Pärbild.

Bilden föreställer isbrytaren Atle i isfältet i Bottenviken en solig dag i februari 2017. Foto taget av Isabella Grönfeldt, SMHI.

ISSN: 0283-7714 © SMHI

**OCEANOGRAPHI Nr. 129, 2021**

## **Framtida isutbredning i svenska farvatten**

Analys av isförhållandena runt år 2040 och 2070

Per Pemberton, Lisa Lind, Anette Jönsson, Lars Arneborg, Lars Axell, Magnus Hieronymus

Granskad och Godkänd av: Bodil Aarhus Andrae

Funktion: Avdelningschef Samhälle och säkerhet

Denna sida är avsiktligt blank

## Sammanfattning

SMHI har analyserat hur havsisens utbredning och beskaffenhet i Bottenviken, Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön kan komma att förändras i ett perspektiv på 20 respektive 50 år, vilket motsvarar runt år 2040 och 2070. Analyserna utgår från sju indikatorer som beskriver olika aspekter av havsisens förändring. Indikatorerna är framtagna i samråd med Sjöfartsverket och valda både utifrån tillgång till data och med syfte att vara relevanta ur isbrytningsperspektiv.

Som underlag för analyserna ligger historiska observationer från SMHI, det Finska Meteorologiska Institutet (FMI) och Sjöfartsverket, samt klimatscenarier framtagna i tidigare projekt.

Klimatscenarier som representerar två olika utsläppsscenarier (RCP4,5 och RCP8,5) har analyserats från totalt tio olika klimatmodellsimuleringar. Klimatscenarier baserade på det lägre utsläppsscenariet (RCP2,6) saknas i underlaget eftersom befintliga klimatmodellsimuleringar för detta scenario bedömdes ha för låg kvalitet. Tidsramen för denna utredning medgav inte heller framtagande av nya klimatscenarier.

Resultatet av analyserna visar att framtidens isvintrar blir lindrigare med avseende på havsisens maximala utbredning jämfört med kontrollperioden (1975–2004). Issäsongens längd blir också kortare, med störst förändring i de södra delområdena. Inget scenario indikerar dock helt isfria vintrar, och åtminstone Bottenviken väntas i medel bli helt istäckt även i framtiden. I södra Bottenviken kommer is tjockare än 10 cm dock att försvinna för RCP8,5. På 20 års sikt är förändringen av den maximala isutbredningen mindre tydlig på grund av en fortsatt stor naturligt förekommande väderdriven mellanårsvariation. På 50 års sikt däremot är signalen tydligare och visar minskad isutbredning och en något mindre mellanårsvariabilitet.

Istäcket förväntas bli tunnare i medel i samtliga delområden och utbredningen av tjock deformationerad is förväntas minska. Modellerna saknar dock förmågan att simulera så kallade stampisvallar. Dessa vallar bildas då tunnare is pressas upp mot en landfast iskant eller land vid kraftiga vind- och vågförhållanden, och kan utgöra ett problem för sjöfarten även under lindriga isvintrar. Tunnare och glesare is kommer även att leda till ökade isdriftshastigheter i Bottenviken och Bottenhavet.

Antalet dagar med utfärdade isrestriktioner till svenska hamnar förväntas minska i takt med att issäsongen blir kortare och isförhållandena lindrigare. Fördelningen av isrestriktioner förändras också, främst i Bottenviken där de högre isklasserna (1A/B) minskar till fördel för de lägre isklasserna (1C/II) som istället ökar.

Förändringar i isutbredning, issäsongens längd och jämnisens medeltjocklek bedöms ha en låg osäkerhet eftersom resultatet styrks av både observationer bakåt i tiden och modellsimuleringarna som ligger förhållandevis nära observationerna. Förändringar i deformation, istjockleksfördelning och isdrift bedöms ha en hög osäkerhet eftersom det saknas eller finns väldigt få observationer som kan styrka resultatet från modellscenarierna.

Utredningen begränsas delvis av att data för det lägre strålningsscenariot RCP2,6 och analys av eventuella förändringar i väder- och vindförhållanden saknas. En annan begränsande faktor som kan påverka resultatens tillförlitlighet är det låga antalet regionala klimatmodellsimuleringar med tillförlitliga isparametrar.

## Summary

SMHI has analysed how sea ice conditions in the Bothnian Bay, Bothnian Sea, Åland Sea and northern Baltic Proper may change in a 20 and 50 year perspective relative to 2020. The study is focused on seven indicators describing different aspects of sea ice change. The indicators were identified jointly with the Swedish Maritime Administration (SMA), and chosen based on available data and relevance to ice breaking.

The study is based on historical observations from SMHI, the Finnish Meteorological Institute (FMI) and SMA, and climate scenario data from previous projects.

Climate scenarios representing two different representative concentration pathways (RCP4.5 and RCP8.5) have been analysed based on a total of ten different climate model simulations. Scenarios based on the lower representative concentration pathway (RCP2.6) are absent because existing datasets for this pathway do not have sufficient quality for sea ice parameters. The time frame for this assignment did not allow for new climate scenario simulations to be produced.

The results show that future winters will gradually, on average, have a smaller maximum ice extent compared to the control period (1975-2004). Ice seasons will also get shorter, with the largest differences in the southern areas. None of the scenarios yield ice free winters, and at least Bothnian Bay is expected to become fully ice covered on average, also during future winters. However, in the RCP8.5 scenario, ice with an average thickness of 10 cm or more disappears from the southern Bothnian Bay.

In a 20-year perspective, changes in maximum ice extent are less distinct due to large inter-annual variations. In a 50-year perspective the change becomes more distinct and shows decreasing ice extents and smaller inter-annual variations.

Level ice is expected to get thinner on average in all analysed areas, and the presence of heavily deformed ice is expected to decrease. However, models lack the ability to simulate brash ice barriers, which are formed when thin ice is pressed against a thicker ice edge or land by wind and waves. These types of barriers can be problematic for ships even in mild winters, and are expected to occur also in the future. Thinner and less dense ice fields also lead to increased ice drift in the Bothnian Bay and Bothnian Sea.

The number of days with ice class based traffic restrictions for Swedish harbours are expected to decrease as sea ice thickness become thinner and ice seasons become shorter. The distribution of restrictions will also change, mainly in the Bothnian Bay where days with heavier ice classes (1A/B) decrease and days with lighter ice classes (1C/II) increase.

Changes in maximum ice extent, length of ice season and average level ice thickness are judged to have a low uncertainty as the results are supported by both historical observations, and by the fact that model simulations are relatively close to the observations during the historical period. Changes in ice deformation, ice thickness distribution, and ice drift are judged to have a higher degree of uncertainty as there are no or very few observations to support model results.

The study is partly limited by the lack of data for the lower RCP2.6 and by lacking analyses of possible changes in meteorological conditions. Another limiting factor is the relatively low number of regional climate model simulations with reliable ice parameters used in the study.

Denna sida är avsiktligt blank

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>UPPDRAGSBESKRIVNING .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>PROJEKTETS GENOMFÖRANDE .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>BAKGRUND .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>METODIK .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Indikatorer för havsisens förändring .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2</b>	<b>Dataunderlag .....</b>	<b>9</b>
4.2.1	Observationer .....	9
4.2.2	Klimatscenarier .....	9
4.2.3	Utsläppsscenarier .....	12
<b>4.3</b>	<b>Tidsperioder .....</b>	<b>12</b>
<b>4.4</b>	<b>Delområden och hamnar .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b>Maximal isutbredning .....</b>	<b>14</b>
<b>5.2</b>	<b>Issäsongens längd .....</b>	<b>15</b>
<b>5.3</b>	<b>Istjocklek och utbredning av jämn is .....</b>	<b>18</b>
<b>5.4</b>	<b>Iskoncentration deformerad is .....</b>	<b>20</b>
<b>5.5</b>	<b>Istjockleksfördelning .....</b>	<b>21</b>
<b>5.6</b>	<b>Isdrift .....</b>	<b>21</b>
<b>5.7</b>	<b>Isklassbaserad trafikrestriktion .....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>STUDIENS BEGRÄNSNINGAR .....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>BILAGOR .....</b>	<b>0</b>
<b>9.1</b>	<b>Bilaga 1: Sammanfattning av möte med Sjöfartsverket 20210319 .....</b>	<b>0</b>



Denna sida är avsiktligt blank

## 1 Uppdragsbeskrivning

Denna rapport är en slutredovisning av följande uppdragsbeskrivning från SMHIs regleringsbrev för 2021:

SMHI ska analysera hur isutbredningen i Bottenviken, Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön kan komma att utvecklas i ett perspektiv på 20 respektive 50 år. SMHI ska även analysera hur havsisens beskaffenhet påverkas när klimatet förändras. Underlaget ska bland annat ligga till grund för beslut om återinvesteringar i den svenska isbrytarflottan som i dagsläget är ålderstigen. SMHI ska inhämta synpunkter från Sjöfartsverket och det Meteorologiska Institutet i Finland (FMI) under arbetets gång. Uppdraget ska redovisas till regeringen (Infrastrukturdepartementet) senast den 30 september 2021.

## 2 Projektets genomförande

Arbetet har letts och utförts av SMHIs oceanografiska forskningsenhet men även den operativa istjänsten på myndigheten har medverkat. I projektets början upprättades en projektplan innehållande bakgrundsstudier, datainsamling och metodutveckling samt förslag på indikatorer för havsisens förändring. Dataunderlag, metodik och föreslagna indikatorer diskuterades med representanter från Sjöfartsverkets isbrytarverksamhet (se bilaga 1 för en kort sammanfattning av mötet). Därefter togs analysunderlag fram från insamlade data och sammanställdes i denna rapport. Kommentarer från Sjöfartsverket och FMI på en tidigare version av rapporten är inarbetade i denna slutversion.

## 3 Bakgrund

Vintertid täcks främst de norra delarna av Östersjön med havsis, och issäsongen sträcker sig vanligtvis från november till maj. En normal isvinter är cirka 40% av Östersjöns yta<sup>1</sup> istäckt, men variationerna år till år är stora på grund av de naturliga variationerna i vintervädret.

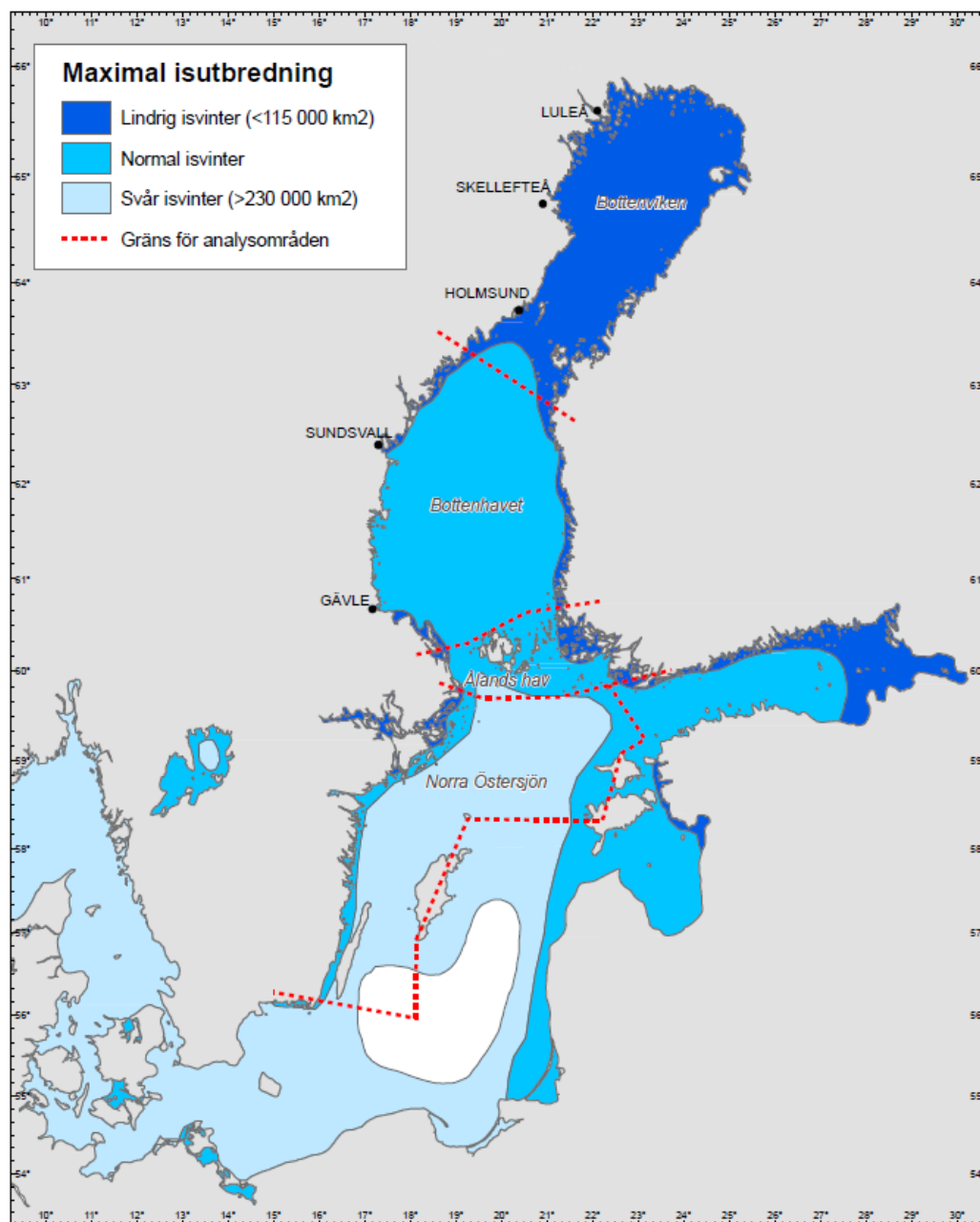
Isvintrars svårighetsgrad klassificeras utifrån hur stor den maximala isutbredningen är (se figur 1). En lindrig vinter täcks upp till 27% av Östersjöns totala yta, vilket ofta utgör hela Bottenviken och delar av Bottenhavet och Finska Viken. En svår vinter är mer än 55% istäckt och extremt svåra isvintrar når isutbredningen mer än 82% av Östersjöns totala yta. Den hittills lägst uppmätta isutbredningen inträffade vintern 2019/2020 då endast delar av Bottenviken frös till (ca 9% av Östersjöns totala yta).

Globalt sett är Östersjön relativt kraftigt trafikerad med en kommersiell sjöfart som utgör ungefär 15% av den globala trafiken (HELCOM, 2009). Isutbredningen till trots så hålls den kommersiella sjöfarten igång vintertid. Det möjliggörs genom att Sjöfartsverket, i samarbete med den finska motsvarigheten tillhandahåller isbrytarassistans och utfärdar restriktioner över vilka fartygstyper som är lämpade att trafikera istäckta områden. Isförhållandena kartläggs dagligen av SMHI (i samarbete med FMI) under en issäsong där satellitdata, fartygsobservationer och prognosmodeller ligger till grund för de dagliga iskartorna.

Istäckets tillväxt sker vanligtvis från norr till söder där Bottenviken fryser först följt av Bottenhavet och sedan sydligare delområden. I grunda områden närmast land bildas ett heltäckande istäcke som är stationärt, så kallad fastis. Utanför fastisen samlas drivis som är all sorts is som förflyttas av havsströmmar och vindar. Drivisen kan ha varierande kompaktet, det vill säga hur tätt packade de individuella isflaken är.

---

<sup>1</sup> Östersjöns totala area är 422 000 km<sup>2</sup> inklusive Skagerrak och Kattegatt.

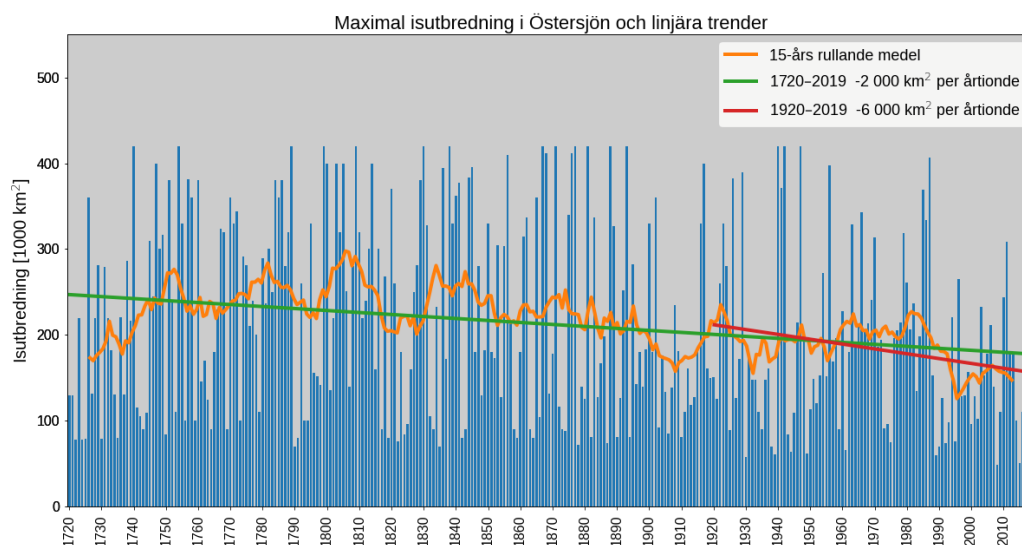


Figur 1. En karta som visar ungefärlig maximal isutbredning en lindrig, normal och svår isvinter. De röstreckade linjerna visar gränserna för analysområden och de svarta punkterna svenska hamnområden som analyserats.

Isens tjocklek styrs av två olika typer av processer. Dels är det termodynamiska processer där isen växer till då värme avges från havet till atmosfären så att vatten övergår från flytande till fast form. Dels är det dynamiska processer där isen deformeras på olika sätt av de krafter som vindar och havsströmmar påför istäcket. Vid kraftig deformation kan områden med 5–30 meter tjocka isvallar bildas. Dessa områden är speciellt svårforcerade för sjöfarten och kräver oftast någon form av isbrytarassistans. En annan aspekt av drivisens dynamik, som också kan kräva isbrytarassistans, är de kraftiga spänningar som kan byggas upp i isen. Ett istryck kan då bildas mot fartygens skrov, vilket i värsta fall kan sänka ett fartyg.

Förändringar i havsisutbredning utgör en viktig klimatindikator eftersom isens tillväxt och avsmältning är starkt kopplat till klimatet. Det aktuella kunskapsläget finns sammanfattat i BALTEX Assessment of Climate Change (BACC) rapporter I och II (BACC Author Team, 2008 samt BACC II Author Team, 2015) samt den pågående uppdateringen av BACC-rapporterna BEAR (Baltic Earth Assessment Reports) (Meier *et al.*, 2021).

Observationer av havsis i Östersjön har pågått i flera århundraden och långa tidsserier för isens utbredning och issäsongens längd har kunnat återskapats från loggböcker från hamnar, fyrar och fartyg, gamla nyhetsartiklar och på senare tid från fartygsobservationer och satellitobservationer. De långa tidsserierna visar en svag minskning i maximal årlig isutbredning, men det tydligaste inslaget är den kraftiga naturliga variabiliteten år till år, se figur 2.



Figur 2. Observerad årlig maximal isutbredning baserat på data från FMI (blå staplar), dess rullande medelvärde med ett 15-års intervall (orange) samt den linjära trenden för hela tidsperioden (grön) och de sista 100 åren (röd).

Den naturliga variabiliteten i isutbredning är starkt kopplad till den storskaliga atmosfärcirkulationen över Östersjöområdet. Den storskaliga atmosfärcirkulationen kan i sin tur delvis beskrivas av till exempel NAO-index<sup>2</sup>. Vid kraftigt negativt index är det mycket kallare än normalt i norra Europa och svåra isvintrar i Östersjön, medan kraftigt positivt index ger milda vintrar med lägre isutbredning. Dock kan det förekomma vintrar då NAO-index är positivt men isutbredningen ändå är relativt stor. Detta sker när en vinter har en eller flera perioder med högtrycksblockering öster om Skandinavien, vilket ger kallt väder över Östersjön.

#### 4 Metodik

För att få en samlad bild av hur den framtida isutbredningen kan komma att se ut behövs både ett historiskt och ett framtida perspektiv. Från historiska data, som utgör både observationer och modellsimuleringar, kan man se hur klimatet har ändrats de senaste århundradena. Vidare kan även modellosäkerheten uppskattas genom att jämföra

<sup>2</sup> North Atlantic Oscillation index beräknas vanligen som skillnaden i marktryck mellan en station på Island och en station på Azorerna. Indexet varierar med tiden men har ingen bestämd periodicitet.

observationer och modelldata. Detta utgör sedan underlag för bedömningen av hur klimatscenerierna ska tolkas.

Huvuddelen i analysen består i att jämföra havsisklimatet i en historisk kontrollperiod med havsisklimatet i två framtida tidsperioder för att studera havsisens förändring över tid. Analysens fokus ligger på en rad olika indikatorer som representerar förändringar i isens utbredning och beskaffenhet.

#### 4.1 Indikatorer för havsisens förändring

För att beskriva havsisens förändring valdes sju indikatorer som finns listade i tabell 1. Valet av indikatorer baserades på tidigare vetenskapliga studier samt vad som bedömdes relevant ur ett isbrytningsperspektiv. De olika indikatorerna representerar egenskaper och aspekter av havsisprocesser som anses viktiga för att fånga effekterna av klimatförändringar. Indikatorerna är i viss mån begränsade av vilka data som finns tillgängliga från klimatmodellerna och som observationer.

Tabell 1. Lista över använda indikatorer.

Indikator	Osäkerhet	Beskrivning [enhet]
Maximal isutbredning	Låg	Totala arean [km <sup>2</sup> ] för maximala isutbredningen under en issäsong. Integrerar i viss mån hela säsongens istillväxt.
Issäsongens längd	Låg	Antal [dagar] från första isläggning till isfritt.
Istjocklek och utbredning av jämn is	Låg/Medel	Tjockleken [cm] på is som vuxit endast till följd av frys- och smältprocesser.
Iskoncentration deformerad is	Hög	Andelen av isen [%] där isens tjocklek vuxit till genom isdeformation (isvallning och ihopskjutning) till en tjocklek större än 1,5 m.
Istjockleksfördelning	Hög	Areala fördelningen [%] av is i ett visst tjockleksintervall. Ett mått som inkluderar både deformerad och jämn is.
Isdrift	Hög	Isens rörlighet [cm/s].
Isklassbaserad trafikrestriktion	Låg/Medel	Tidsperioden [dagar] då olika finsk-svenska isklassbaserade trafikrestriktioner råder i hamnar.

Indikatorernas osäkerhet är grovt klassificerade dels med hänsyn till hur mycket observationer av indikatorn som finns tillgängligt, och dels genom att skatta hur mycket modellerna skiljer sig gentemot observationerna för en given indikator. Till exempel så bedöms en indikator ha låg osäkerhet om det finns gott om observationer och skillnaden mellan modelldata och observationer är liten. Indikatorer där observationer helt saknas bedöms på liknande sätt ha hög osäkerhet. Analysen av indikatorernas osäkerhet diskuteras inte i denna rapport. Den bedömda osäkerheten listas istället kort i tabell 1 med skalan låg, medel och hög osäkerhet.

## 4.2 Dataunderlag

I början av utredningen gjordes en sammanställning av tillgängliga datakällor och deras osäkerhet uppskattades. Det olika datakällorna består i huvudsak av två olika typer: observationsdata och modelldata. Tabell 2 och 3 sammanfattar de data som används för vidare analys, samt de som ansågs ha för stor osäkerhet. Tabell 3 innehåller därför också information om två ytterligare dataset som undersöktes men slutligen inte användes i denna analys på grund av en systematisk underskattning av isutbredningen. Nedan följer en kort beskrivning av de olika datatyperna.

### 4.2.1 Observationer

Uppskattningar av maximala havsisutbredningen med start 1720 finns tillgängligt från FMI. Observationer av havsis finns även tillgängligt i SMHIs arkiv i form av iskartor och istjockleksobservationer längs den svenska kusten, samt som data från olika forskningsprojekt. Osäkerheten i de olika observationsparametrarna är svår att uppskatta. Generellt bedöms uppskattningen av isutbredningen ha större osäkerhet före 1900. Efter 1900 ökade fartygstrafiken i Östersjön och därmed även observationer av isutbredningen vilket reducerade osäkerheten. Efter 1970-talet tillkom även satellitdata vilket gav ytterligare lägre osäkerhet i observerad isutbredning.

Istjockleksobservationer har dels gjorts genom mätningar på isen, främst i fastisområdena, och dels genom uppskattningar från fartyg som går genom isen. Osäkerheten i framförallt fartygsobservationerna får anses relativt hög.

Tabell 2. Tillgängliga observationer från olika källor.

Datakälla	Parameter	Tidsperiod
FMI	Maximal isutbredning	1720–2019
SMHIs iskartor	Digitaliserade iskartor med iskoncentration, tjocklek och istyp.	1960–2021
SMHIs databas WISKI	Istjocklek från SMHIs mätstationer i fastisen längs med svenska kusten i Bottenviken och Bottenhavet.	Varierar beroende på station, tidigaste 1941. En del stationer har avslutats
Sjöfartsverket	Perioder då olika isklassrestriktioner utfärdats i svenska hamnar.	1999–2020

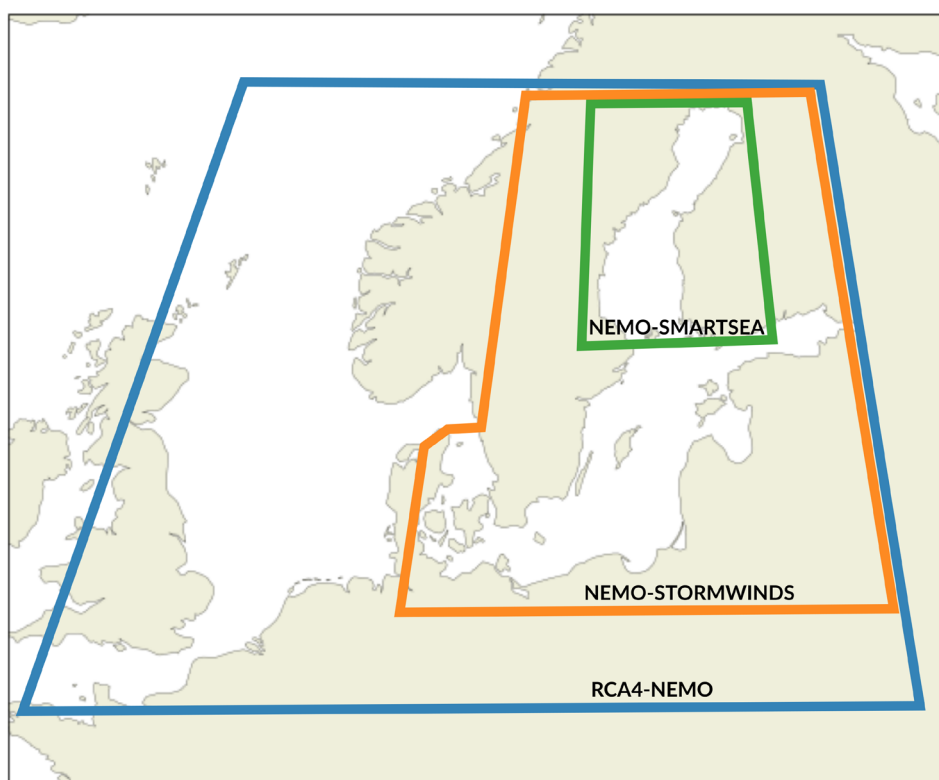
### 4.2.2 Klimatscenarier

Modellsimuleringar av Östersjöns klimat, så kallade klimatscenarier, finns framtagna i en rad olika forskningsprojekt på SMHI. Att ta fram klimatscenarier är en process som är både tids- och beräkningsresurskrävande. Inom tidsramen för detta uppdrag var det inte möjligt att ta fram nya klimatscenarier av Östersjöns is. Därför baseras utredningen enbart på redan befintliga klimatscenarier.

Ett klimatscenario är en uppskattning av hur klimatet kan komma att bli i framtiden. Resultatet, det simulerade klimatet, är en kombination av valt utsläppsscenario (se beskrivning i 4.2.3), val av klimatmodeller och vilken tidsperiod som simuleras. För ett

begränsat havsområde som Östersjön har det visat sig nödvändigt att skapa en beräkningskedja där beräkningen från en global klimatmodell kopplas samman med beräkningen i en regional klimatmodell. I en slutlig fas av kedjan kopplas sedan beräkningarna från den regionala klimatmodellen till en högupplöst kopplad hav-havsis modell, se överst i figur 3. Det är resultat från denna sista fas som är analyserade här.

	Global klimatmodell (strålningsscenario)	→	Regional klimatmodell	→	Högupplöst hav-havsis modell
1	EC-Earth (RCP4,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-STORMWINDS
2	EC-Earth (RCP8,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-STORMWINDS
3	MPI (RCP4,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-STORMWINDS
4	MPI (RCP8,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-STORMWINDS
5	EC-Earth (RCP4,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-SMARTSEA
6	EC-Earth (RCP8,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-SMARTSEA
7	MPI (RCP4,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-SMARTSEA
8	MPI (RCP8,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-SMARTSEA
9	HadGEM2 (RCP4,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-SMARTSEA
10	HadGEM2 (RCP8,5)	→	RCA4-NEMO	→	NEMO-SMARTSEA



Figur 3. Överst: Beräkningskedjan från global, till regional klimatmodell och vidare till högupplöst hav-havsis modell, samt de 10 olika klimatscenerierna där de olika kombinationerna av global klimatmodell inklusive utsläppsscenario, regional modell och högupplöst hav-havsis modell listats.

Nederst: Ungefärliga områden för den regionala klimatmodellen RCA4-NEMO (blå), och de två olika högupplösta hav-havsis modellerna NEMO-STORMWINDS (orange) och NEMO-SMARTSEA (grön). Notera att modellnamnen i listan givits samma färg som linjerna i områdeskartan.

Eftersom en modell har begränsningar i hur exakt den kan simulera en klimatutveckling är det bra att använda flera olika klimatmodeller och titta på den sammantagna utvecklingen. Om flera klimatmodeller visar överensstämmande signal så ger det ett mer robust resultat. Därtill är klimatmodellernas spridning sinsemellan även ett mått på osäkerheten i resultaten. På kort sikt, ett till två årtionden, är det främst skillnaden mellan klimatmodellerna samt naturlig klimatvariabilitet som ger en spridning av klimatscenerierna. På längre sikt är det däremot utsläppsscenerierna som ger upphov till spridning.

Tabell 3. Lista över tillgängliga modelldata, rödmarkerade rader indikerar att data ej använts. Antal GCMs (Global Climate Model) avser antalet globala klimatmodeller som nedskalats och RCP antalet olika utsläppsscenerier.

Datakälla	Modell (upplösning)	Antal GCM och RCP	Tidsperiod	Kommentar om kvalitet
Klimatscenerier producerade av SMHI inom BONUS STORMWINDS-projektet <sup>3</sup>	NEMO3.6-LIM3 (3,7 km)	2 GCM x 2 RCP (4,5 och 8,5)	1961–2099 (historisk period fram till 2005)	Isparametrar är undersökta i två publikationer. Resultaten är bra förutom en överskattning av isutbredningen i Kattegatt. Huvudreferenser: Pemberton <i>et al.</i> (2017), Höglund <i>et al.</i> (2017)
Klimatscenerier producerade av SMHI inom SMARTSEA-projektet <sup>4</sup>	NEMO3.6-LIM3 GoB (1,9 km)	3 GCM x 2 RCP (4,5 och 8,5),	1975–2099 (historisk period fram till 2005)	Projektet införde en förbättrad fastisberäkning. Modellen täcker endast Bottenviken, Bottenhavet och delar av Ålands hav.
Klimatscenerier först producerade internt av SMHI (kallade SUMMER scenarios) och sedan utökade inom CLIMSEA-projektet.	RCA4-NEMO3.3-LIM3 (3,7 km)	9 GCM x 3 RCP (2,6; 4,5; 8,5), totalt 24 scenarier.	1961–2099	Dessa scenarier togs fram med huvudfokus på andra aspekter av klimatförändringarna än förändringen i havsis (tex övergödning). Havsismodellerna har därför inte kalibrerats lika detaljerat här som inom projekten ovan, och visar en systematisk underskattning av isutbredningen. Av den anledningen ansågs dessa data inte lämpliga för vidare analys och har således inte använts i denna utredning.
Klimatscenerier producerade av SMHI inom BalticAPP-projektet	RCO	4 GCM x 2 RCP (4,5 och 8,5),	1975–2099	

<sup>3</sup> Stormwinds finansierades av BONUS (Art 185), tillsammans med EU och FORMAS.

<sup>4</sup> SmartSea projektet finansierade av the Strategic Research Council of Academy of Finland, grant No: 292 985.



I det här uppdraget har vi använt två olika regionala högupplösta hav–havs is modeller. Modellerna täcker två olika områden. Den ena täcker bara Bottenviken och Bottenhavet medan den andra täcker hela Östersjön, se nedre del av figur 3. När vi analyserar delområdena Bottenviken och Bottenhavet använder vi därför resultat från båda modellerna, medan analysen för de andra delområden endast använder resultat från en högupplöst hav–havs is modell.

Till varje högupplöst hav–havs is modell har olika globala klimatmodeller och olika utsläppsscenarioer använts. För modellen som bara täcker Bottenviken och Bottenhavet fanns simuleringar som använder tre olika globala klimatmodeller och två olika utsläppsscenarioer (tabell 3 och figur 3), vilket ger sex olika klimatscenarioer. För modellen som täcker hela Östersjön finns simuleringar som använder två olika globala klimatmodeller och två olika utsläppsscenarioer vilket ger fyra olika klimatscenarioer. Totalt är det alltså tio olika klimatscenarioer som ligger till grund för analysen av indikatorernas förändring i Bottenviken och Bottenhavet, och fyra olika klimatscenarioer för analysen av de andra delområdena.

### 4.2.3 Utsläppsscenarioer

På lång sikt (flera årtionden), kommer den huvudsakliga variationen i resultaten främst från vilket utsläppsscenario ett klimatscenario baseras på. Ett utsläppsscenario, även kallat RCP (Representative Concentration Pathways)<sup>5</sup>, består kortfattat av olika antaganden om hur växthusgasutsläpp, landutnyttjande och samhällsutveckling kommer ske i framtiden. Något förenklat kan man säga att RCP:n beskriver hur kraftig den långsiktiga globala uppvärmningen kommer att bli. Scenariot beskriver hur strålningsdrivningen för jorden ändras och siffran som följer RCP:n anger nivån av strålningsdrivningen i slutet av det 21:a århundradet (2001–2100). Ju högre siffra desto kraftigare uppvärmning i scenariot.

I tillgängliga klimatmodelldata för det här uppdraget fanns två olika RCP:er representerade; RCP4,5 och RCP8,5. I RCP8,5 antas att växthusgasutsläppen är fortsatt höga fram till 2100 och den globala uppvärmningen är kraftig. I RCP4,5 antas att växthusgasutsläppen kulminera runt 2040, vilket ger en lägre global uppvärmning än RCP8,5. Skillnaderna mellan RCP4,5 och RCP8,5 väntas vara som tydligast under andra halvan av det 21:a århundradet.

Klimatscenarioer baserade på utsläppsscenarioet RCP2,6, som har ännu lägre global uppvärmning och ligger närmast ambitionerna i klimatavtalet från Paris, fanns tyvärr inte tillgängligt. Ur ett isbrytningsperspektiv får RCP2,6 anses som det mest resurskrävande scenariot.

### 4.3 Tidsperioder

En klimatsimulering innehåller vanligtvis en historisk tidsperiod följt av en framtida klimatscenarioperiod. Den historiska perioden, som ofta är på 30–40 år, används för att beräkna referensvärden med förhållanden som liknar det nutida klimatet. För den högupplösta hav–havs is modellen som täcker hela Östersjön är totala simuleringsperioden 1961–2099, inkluderat en historisk period mellan 1961–2005. För den andra högupplösta hav–havs is modellen är totala simuleringsperioden 1975–2099, inkluderat en historisk period mellan 1975–2005.

---

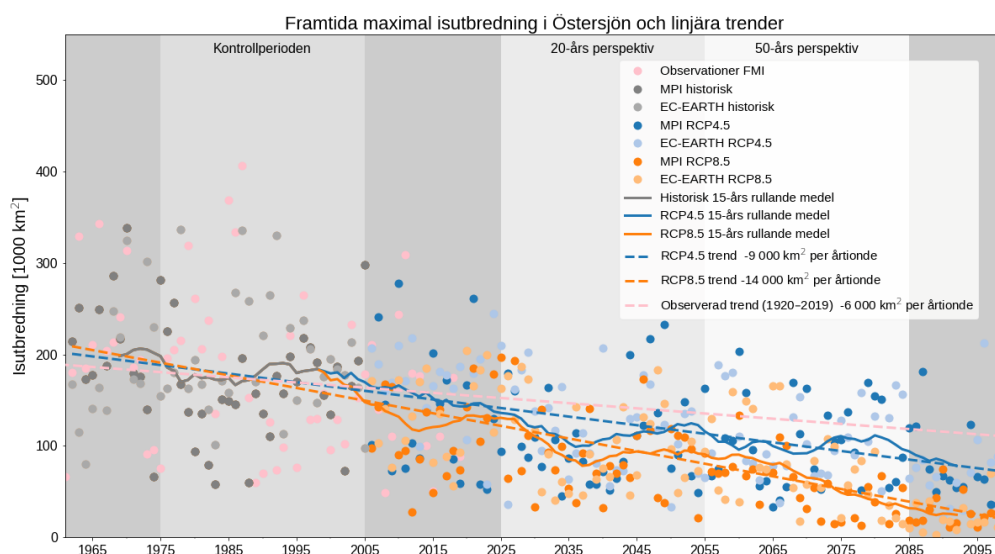
<sup>5</sup> En vidare vägledning till de olika RCP:erna finns här <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/vagledning-klimatscenarioer/vad-ar-rcp-1.80271>

Uppdraget infattar att analysera hur isförhållandena förändras i ett perspektiv på 20 respektive 50 år från idag, dvs runt år 2040 och 2070. För att beskriva förändringar i havsisklimatet på ett statistiskt robust sätt krävs att man jämför förändringen mellan två längre perioder. I klimatstudier används typiskt 30-årsperioder för att definiera klimatet under en viss tidsperiod. Här har vi valt att definiera tre 30-årsperioder. En kontrollperiod, 1975–2004, som täcker båda hav–havs is modellerernas historiska perioder, och två framtida perioder 2025–2054 och 2055–2084 som är centrerade 20 respektive 50 år framåt i tiden relativt år 2020. Relativt kontrollperioden innebär det i ett perspektiv på 50 respektive 80 år.

Eftersom studien bygger på redan befintliga klimatscenarier beskriver klimatsceniernas historiska del inte hela utvecklingen fram till idag utan framtidsscenierna tar vid redan år 2005. Det har inte gått att definiera en mer närliggande kontrollperiod utifrån de data som använts i analysen. Den förändring i isens utbredning som skett mellan 2005-2021 har inte inkluderats men kan studeras utifrån årlig maximal isutbredning i figur 4 där observationer fram till 2019 är inkluderade som rosa prickar.

Förskjutning av kontrollperioden 16 år bakåt i tiden bedöms främst påverka det kortare 20-årsperspektivet där en stor del av förändringen relativt kontrollperioden redan har skett. Indikatorernas beräknade medelvärden för perioderna 20- och 50-år fram i tiden påverkas dock inte.

Här bör nämnas att ett perspektiv på 20 år i sig är ovanligt i klimatstudier. På så kort sikt är det generellt svårt att separera signalen som kommer från den naturliga variabiliteten i klimatet med den som kommer från själva globala uppvärmningen (utsläppsscenario).



Figur 4. Klimatscenarier och observationer för maximal isutbredning. Prickarna visar de årliga maximala värdena från de olika datakällorna, de heldragna linjerna rullande medelvärden med ett 15-årsintervall och de streckade linjerna de linjära trenderna. Den historiska kontrollperioden och de två olika framtidsperioderna har en bakgrund färgad med ljusare nyanser av grått.

#### 4.4 Delområden och hamnar

Analysen av indikatorernas förändring fokuseras på fyra områden: Bottenviken, Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön. I denna utredning inkluderar delområdet

för Ålands hav även Skärgårdshavet, och Norra Östersjön inkluderar delar av mellersta Östersjön (se karta i figur 1). Indikatorn maximal isutbredning avser hela Östersjön.

För vissa indikatorer har även isförhållandena i området närmast ett antal svenska hamnar analyserats. Följande hamnar (föreslagna av Sjöfartsverket) analyserades: Luleå, Skellefteå, Holmsund, Sundsvall och Gävle (se figur 1). Även hamnarna Norvik, Norrköping och Oskarshamn föreslogs av Sjöfartsverket men analys av dessa hamnar bortprioriterades då resultaten ansågs alltför osäkra i dessa kustområdena.

## 5 Resultat

Nedan följer en sammanfattning av resultaten från den analys som gjorts av de olika indikatorernas förändring. Förändringen uppskattas relativt den historiska kontrollperioden och beskrivs i de flesta fall i ett perspektiv på 20 respektive 50 år relativt 2020 och 50 respektive 80 år relativt kontrollperioden. Inom varje tidsperspektiv så presenteras ett intervall som anger spridningen mellan de två olika RCP:erna (4,5 och 8,5). Måttet beräknas genom att medelvärdesbilda över alla klimatscenarier för ett visst RCP.

Spridningen mellan olika modeller presenteras inte men har analyserats. Generellt är spridningen inte så stor, främst på grund av det låga antalet olika modeller.

### 5.1 Maximal isutbredning

Östersjöns maximala isutbredning är en viktig klimatindikator och dess linjära trend har undersökts i flera tidigare studier och finns sammanfattat i BACC Author Team (2008) samt BACC II Author Team (2015). Därför analyserar vi här även trenden för både observationerna och klimatscenedata, i tillägg till analysen av förändringen mellan kontrollperioden och framtidsperioderna.

FMIs observationer av årlig maximal isutbredning visar att kontrollperiodens (1975–2004) utbredning i medeltal är 181 000 km<sup>2</sup>, och att sex vintrar klassificeras som svåra och två som extremt svåra. Motsvarande medelisutbredning för det sista 30 åren (1990–2019) är betydligt lägre (142 000 km<sup>2</sup>) och perioden innehöll endast fyra svåra samt inga extremt svåra vintrar. Liknande resultat med en förskjutning mot lindrigare isvintrar de senaste årtiondena har även rapporterats i Meier *et al.*, 2021.

Maximala isutbredningens linjära trend över hela observationsperioden (1720–2019) visar på en svag men statistiskt signifikant<sup>6</sup> minskning med 2 000 km<sup>2</sup> per årtionde, vilket motsvarar ungefär 1% minskning av kontrollperiodens medelutbredning per årtionde, se figur 2. Tittar man på trenden för endast de sista hundra åren (1920–2019) är minskningen kraftigare (6 000 km<sup>2</sup> eller 3% per årtionde), men inte statistiskt signifikant. Det är också tydligt att det är en kraftig variation från år till år, s.k. naturlig variabilitet, i den maximala isutbredningen, vilket också är en bidragande orsak till att minskningen de senaste åren inte är statistiskt signifikant.

Klimatsceniernas historiska del har en maximal isutbredning under kontrollperioden som är väldigt nära observationerna (179 000 km<sup>2</sup>). Trenden för klimatscenierna räknat på hela simuleringsperioden (1961–2099) varierar mellan 9 000–14 000 km<sup>2</sup> per årtionde beroende på RCP (figur 4 och tabell 4).

---

<sup>6</sup> Här har vi föreskrivit en signifikansnivå på 5% för att urskilja om trenden är skild ifrån noll.

Tabell 4. Medelvärden och standardavvikelser i kvadratkilometer under respektive period samt förändringar i procent för indikatorn maximal isutbredning i Östersjön. Gränsen mellan en lindrig och normal isvinter går vid 115 000 km<sup>2</sup> och mellan en normal och svår isvinter vid 230 000 km<sup>2</sup>.

Maximal isutbredning	Kontrollperiod (1975–2004)	Om 20 år (2025–2054)		Om 50 år (2055–2084)	
		RCP4,5	RCP8,5	RCP4,5	RCP8,5
Östersjön medelvärde	179 000 km <sup>2</sup>	114 000 km <sup>2</sup> (36% minskning)	97 000 km <sup>2</sup> (46% minskning)	106 000 km <sup>2</sup> (41% minskning)	67 000 km <sup>2</sup> (63% minskning)
Maximal isutbredning	Kontrollperiod (1975–2004)	Om 20 år (2025–2054)		Om 50 år (2055–2084)	
		RCP4,5	RCP8,5	RCP4,5	RCP8,5
Östersjön standardavvikelse	61 000 km <sup>2</sup>	50 000 km <sup>2</sup> (17% minskning)	46 000 km <sup>2</sup> (24% minskning)	44 000 km <sup>2</sup> (27% minskning)	40 000 km <sup>2</sup> (34% minskning)

De olika klimatscenarierna visar en förskjutning av vintrar som klassificeras som normala mot vintrar som klassificeras som lindriga, där medelutbredningen minskar med 36–46% respektive 41–63% relativt kontrollperioden i ett perspektiv på 20 respektive 50 år från idag. Svåra isvintrar blir sällsynta redan om 20 år och obefintliga om 50 år. Däremot kommer isvintrar som klassificeras som normala fortfarande förekomma under RCP4,5, både om 20 och 50 år (figur 4).

Inga helt isfria vintrar förekommer i något av de analyserade klimatscenarierna under det 21:a århundradet, och de naturliga variationerna från år till år kommer att vara fortsatt relativt stora. Om man använder standardavvikelsen av maximala isutbredningen inom varje period som ett mått på den naturliga variabiliteten ser man (tabell 4) att den avtar successivt med tiden, samt att klimatscenarier inom RCP8,5 har lägre variabilitet än klimatscenarier inom RCP4,5.

## 5.2 Issäsöngens längd

Issäsöngens längd varierar över de olika delområden i Östersjön. Generellt är issäsöngen som längst i norr där isbildningen börjar tidigt och isen växer sig som tjockast. För den här indikatorn analyserar vi både de observationsbaserade iskartorna och klimatscenedata.

Under kontrollperioden uppskattas issäsöngens längd baserat på SMHIs iskartläggningsdata (klimatscenedatas historiska del) i Bottenviken i medeltal vara 177 (204) dagar. För Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön blir den successivt kortare med 123 (179), 101 (142) och 67 (111) dagar för iskartläggningsdata (klimatscenedata). Det är tydligt att klimatscenedata uppskattar en något längre issäsöng än iskartläggningsdata främst i de södra delområdena. Dock kan det antas att uppskattningen från iskartorna innehåller en viss osäkerhet främst i de kustnära områdena där isen ligger som längst.

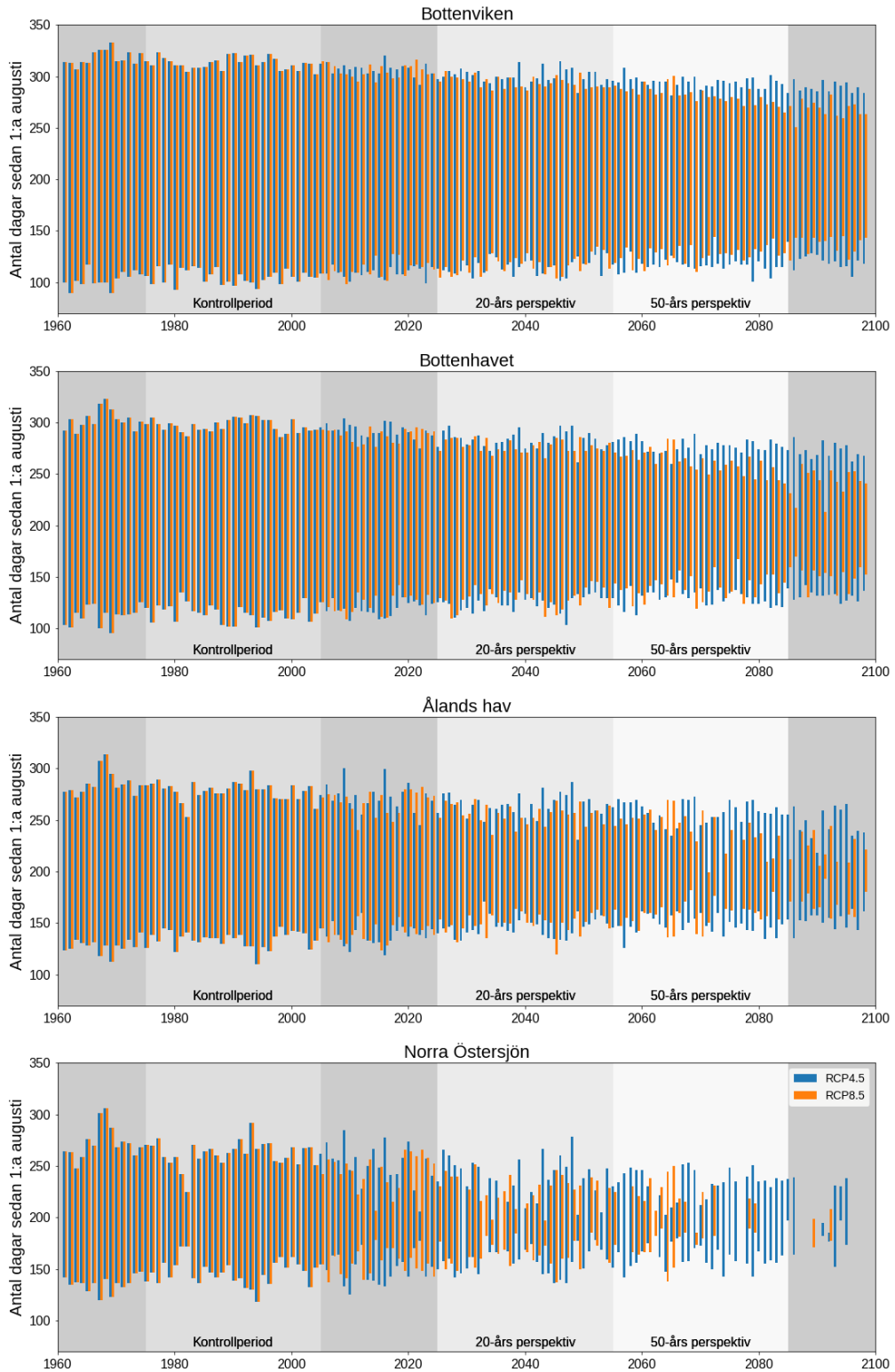
De olika klimatscenarierna visar att minskningen av issäsongens längd är som störst i de södra delområdena (figur 5 och tabell 5). I Bottenviken blir säsongen 22–28 respektive 26–48 dagar kortare relativt kontrollperioden i ett perspektiv på 20 respektive 50 år framåt i tiden. Inga isfria vintrar väntas förekomma under de analyserade tidsperioderna.

Tabell 5. Förändringar för indikatorn issäsongens längd i de olika havsområdena.

Issäsongens längd	Kontrollperiod (1975-2004)	Om 20 år (2025-2054)		Om 50 år (2055-2084)	
		RCP4,5	RCP8,5	RCP4,5	RCP8,5
Bottenviken	204 dagar	21 dagar kortare	28 dagar kortare	26 dagar kortare	48 dagar kortare
Bottenhavet	179 dagar	23 dagar kortare	33 dagar kortare	33 dagar kortare	57 dagar kortare
Ålands hav	142 dagar	25 dagar kortare	37 dagar kortare	34 dagar kortare	60 dagar kortare
Norra Östersjön	111 dagar	33 dagar kortare	49 dagar kortare	42 dagar kortare	65 dagar kortare

I Norra Östersjön är motsvarande minskning 33–49 respektive 42–65 dagar, där antalet helt isfria vintrar är 2–4 av 30 vintrar om 20 år och 2–14 av 30 vintrar om 50 år. De vintrar som inte räknas som isfria är det endast tunn, kustnära is som förekommer (se avsnitt 5.3).

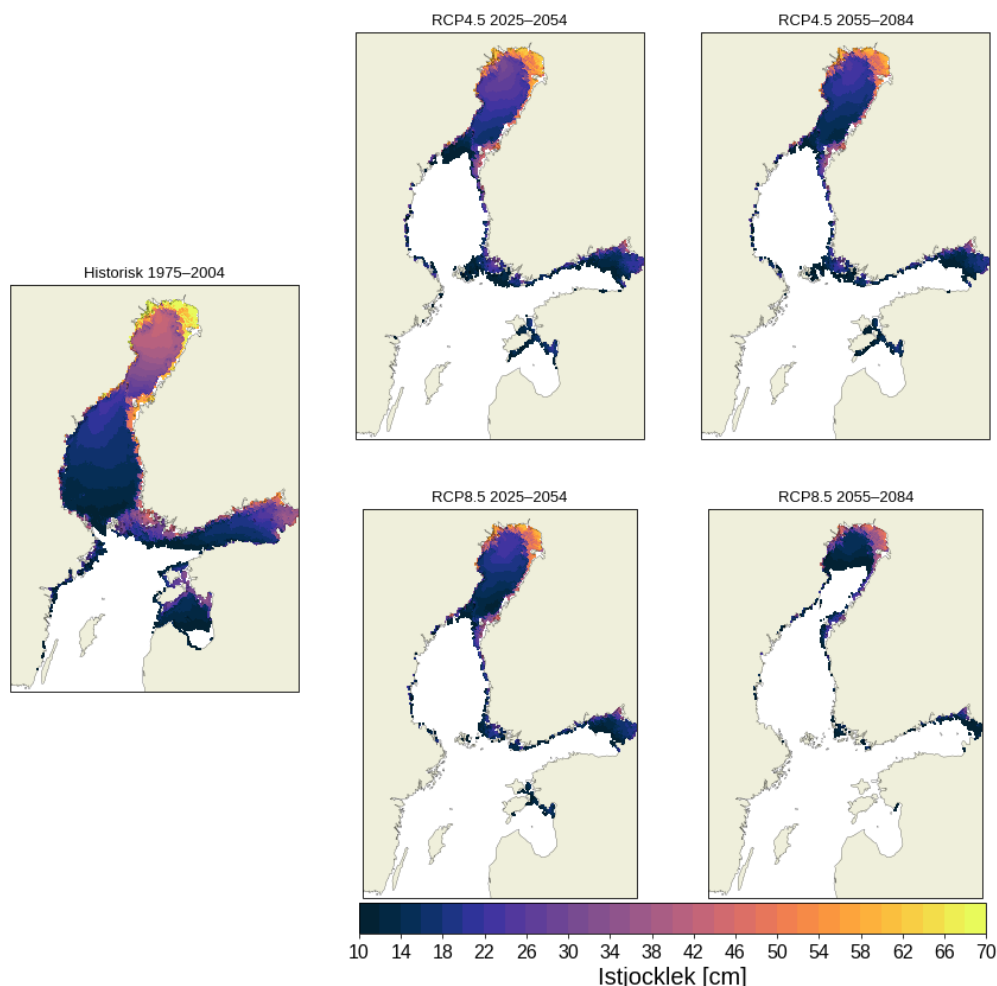
Se förändringar i övriga delområden i tabell 5.



Figur 5. Klimatscenarier för issäsongens längd baserad på RCP4,5 (blå) och RCP8,5 (orange), för de olika delområdena Bottenviken, Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön. För den historiska kontrollperioden och de två olika framtidsperioderna är bakgrunden färgad med ljusare nyanser av grått.

### 5.3 Istjocklek och utbredning av jämn is

Eftersom behovet av isbrytare blir relevant först vid ca 20 cm tjock is har vi valt att begränsa analysen av tjocklek och utbredning av jämn is till is med en medeltjocklek över 10 cm. Utbredningen av det egentliga istäcket är alltså större än vad som presenteras i figur 6.



Figur 6. Klimatscenarier för jämnisens medeltjocklek och utbredning under perioden februari–april. Den historiska kontrollperioden visas i vänstra kolumnen, 20-års perspektiv i mittenkolumnen och 50-års perspektiv i högra kolumnen. För de två framtidsperioderna visas RCP4,5 i översta raden och RCP8,5 i understa raden. Endast is med en medeltjocklek över 10 cm visas.

Det är generellt en viss nord-sydlig förskjutning (tidigare i söder) då maximal tjockleken uppnås. Därtill finns det även en viss förskjutning mellan olika år eftersom issäsongens längd varierar, och mellan kontrollperioden och framtidsperioderna eftersom issäsongen blir kortare i framtiden. För att ta hänsyn till dessa tidsskillnader i maximal tjocklek har vi valt att medelvärdesbilda över perioden februari–april då isen vanligtvis är som tjockast.

Den jämna isen är som tjockast i kustområden, framförallt i norr, där isen är landfast (se den historiska perioden i figur 6). I Bottenviken kan jämnistäcket i kustnära områden (fastisen) bli upp till 1 meter tjockt en svår isvinter. I drivisområdena centralt i Bottenviken och Bottenhavet är isen generellt tunnare (20–50 cm). I Ålands hav och Norra Östersjön finns det bara is med en medeltjocklek över 10 cm i kustområdena under kontrollperioden.

De olika klimatscenarierna visar att Bottenviken förblir helt istäckt i medel om 20 år för båda RCP:erna. Om 50 år däremot är det endast för RCP4,5 som Bottenviken förblir helt istäckt medan istäcket försvinner även i södra Bottenviken för RCP8,5. Medeltjockleken i de olika klimatscenarierna minskar med 26–33% respektive 33–40 %, relativt kontrollperiodens medeltjocklek (tabell 6).

Tabell 6. Medeltjockleken för jämn is i cm samt förändring i procent i Bottenviken för respektive tidsperiod. I övriga delområden är utbredningen av is med en medeltjocklek över 10 cm i scenarierna så liten att ingen analys av tjockleksförändringen kunnat göras på bassängnivå.

Medeltjockleken på jämn is för hela delområdet	Kontrollperiod (1975–2004)	Om 20 år (2025–2054)		Om 50 år (2055–2084)	
		RCP4,5	RCP8,5	RCP4,5	RCP8,5
Bottenviken	42 cm	31 cm (26% minskning)	28 cm (33% minskning)	28 cm (33% minskning)	25 cm (40% minskning)

I Bottenhavet och Ålands hav minskar isutbredningen så kraftigt att det om 50 år enbart finns is längs vissa kustområden för båda RCP:erna. I Norra Östersjön, som en normal isvinter under kontrollperioden i medeltal endast har kustnära is, minskar isutbredningen kraftigt redan i ett 20-årsperspektiv, framförallt under RCP8,5. Om 50 år är isen i medeltal i princip helt borta från den svenska kusten i Norra Östersjön (figur 6).

Tabell 7. Jämnisens maximala tjocklek i cm samt förändringen i procent i utvalda hamnar i Bottenviken och Bottenhavet. Tabellen visar medelvärdet för den maximala istjockleken för respektive tidsperiod.

Årlig maximal tjocklek på jämn is i hamnar	Kontrollperioden (1975–2004)	Om 20 år (2025–2054)		Om 50 år (2055–2084)	
		RCP4,5	RCP8,5	RCP4,5	RCP8,5
Luleå	75 cm	62 cm (17% minskning)	58 cm (23% minskning)	57 cm (24% minskning)	45 cm (40% minskning)
Skellefteå	56 cm	40 cm (29% minskning)	36 cm (36% minskning)	35 cm (28% minskning)	25 cm (55% minskning)
Holmsund	52 cm	32 cm (38% minskning)	26 cm (50% minskning)	27 cm (48% minskning)	16 cm (69% minskning)
Sundsvall	48 cm	31 cm (25% minskning)	27 cm (44% minskning)	27 cm (44% minskning)	17 cm (65% minskning)
Gävle	26 cm	9 cm (65% minskning)	7 cm (73% minskning)	7 cm (73% minskning)	3 cm (88% minskning)

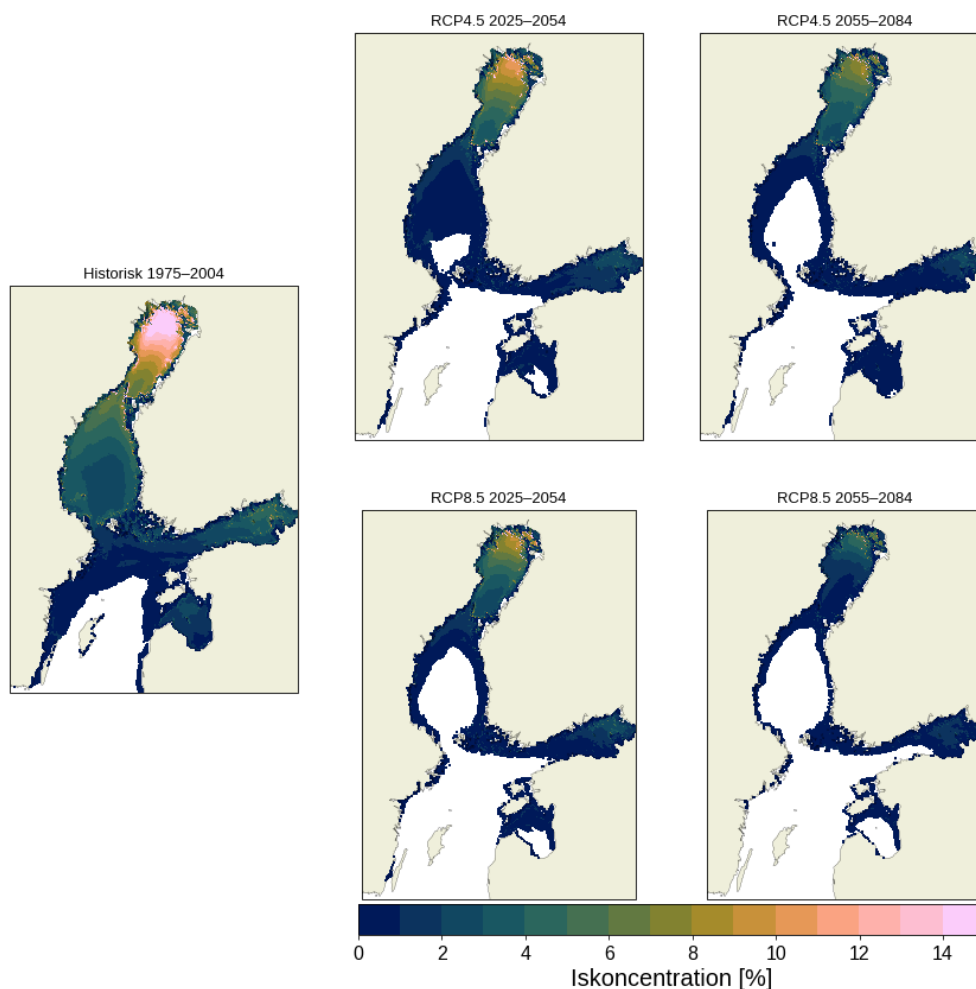


Det är värt att poängtera att medelbilden av isutbredningen påverkas något av den tre månader långa perioden vi valt (februari–april). Tittar man på kortare perioder (tex bara i februari eller mars månad) så får man något större utbredning framförallt i de södra delområden där issäsongen är kortare. Dock kvarstår det generella mönstret med endast kustnära is i de södra delområdena.

Trots att isutbredningen minskar kraftigt i bassängerna kan den kustnära isen fortsatt påverka sjöfartstrafiken till och från hamnar. Därför har även den årliga maximala istjockleken analyserats för utvalda hamnar i Bottenviken och Bottenhavet (tabell 7). Alla hamnar visar en successiv minskning med tiden av den årliga maximala tjockleken. Minskningen är störst för RCP8,5. En viss nord-sydlig skillnad ses även där exempelvis Luleå (i norra Bottenviken) har svagare minskning än Gävle (i södra Bottenhavet).

#### 5.4 Iskoncentration deformerad is

Då istäcket utsätts för sammanpressande krafter från vågor, havsströmmar och vind bildas olika former av deformerad is som till exempel hopskjuten is och isvallar. Den deformerade isen utgör ofta ett hinder för sjöfarten där speciellt de tjockare isvallarna kan vara svårforcerade.



Figur 7. Klimatscenarier för iskoncentrationen under perioden februari–april i modellernas högsta iskategori (is tjockare än 1,5 m) som används som skattning av deformerad is. Den historiska kontrollperioden visas i vänstra kolumnen, 20-års perspektiv i mittenkolumnen och 50-års perspektiv i högra kolumnen. För de två framtidsperioderna visas RCP4,5 i översta raden och RCP8,5 i understa raden.

Förenklade deformationsprocesser simuleras av beräkningsmodellerna med hjälp av olika tjockleksbaserade iskategorier. Tyvärr har modellerna ingen specifik kategori för deformerad is. För att analysera deformerad is har vi (baserat på tidigare studier Pemberton *et al*, 2017) valt att titta på iskoncentration i den största tjocklekskategorin i modellerna (is tjockare än 1,5 m). Indikatorn ska tolkas med försiktighet och är mer deskriptiv än kvantitativ.

Figur 7 visar förändringarna mellan kontrollperioden och de framtida perioderna för de olika klimatscenerierna. För kontrollperioden är det framförallt tydligt att den högsta koncentrationen av riktigt tjock deformerad is finns centralt i norra Bottenviken. I Bottenhavet är det däremot högre koncentration längs med kusterna och lägre centralt i bassängen. I Ålands hav och Norra Östersjön förekommer generellt låga koncentrationer av tjock deformerad is. Liknande fördelning av deformerad is kan även ses i SMHIs iskator (Pemberton *et al*, 2017).

I takt med att isutbredningen minskar och isen blir tunnare i de två framtidsperioderna ser man att koncentrationen av tjock deformerad is avtar. I Bottenviken kvarstår samma mönster med högre koncentration centralt medan Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön endast har kustnära is med mycket låga koncentrationer av tjock deformerad is.

Vi noterar här att modellerna saknar förmågan att simulera stampisvallar – isvallar som bildas då olika typer av tunnare is (t.ex. sönderbruten nyis och issörja) pressas upp mot en landfast iskant eller land vid kraftiga vind- och vågförhållanden. Stampisvallar är något som även under lindriga isvintrar kan utgöra ett problem för sjöfarten.

## 5.5 Istjockleksfördelning

Istjockleksfördelningen anger hur mycket is som finns inom ett visst tjockleksintervall, här analyserat för 10 centimeters delintervall. Förändringar i istjockleksfördelningen ger information om hur andelen jämn och deformerad is förändras under de olika klimatscenerierna.

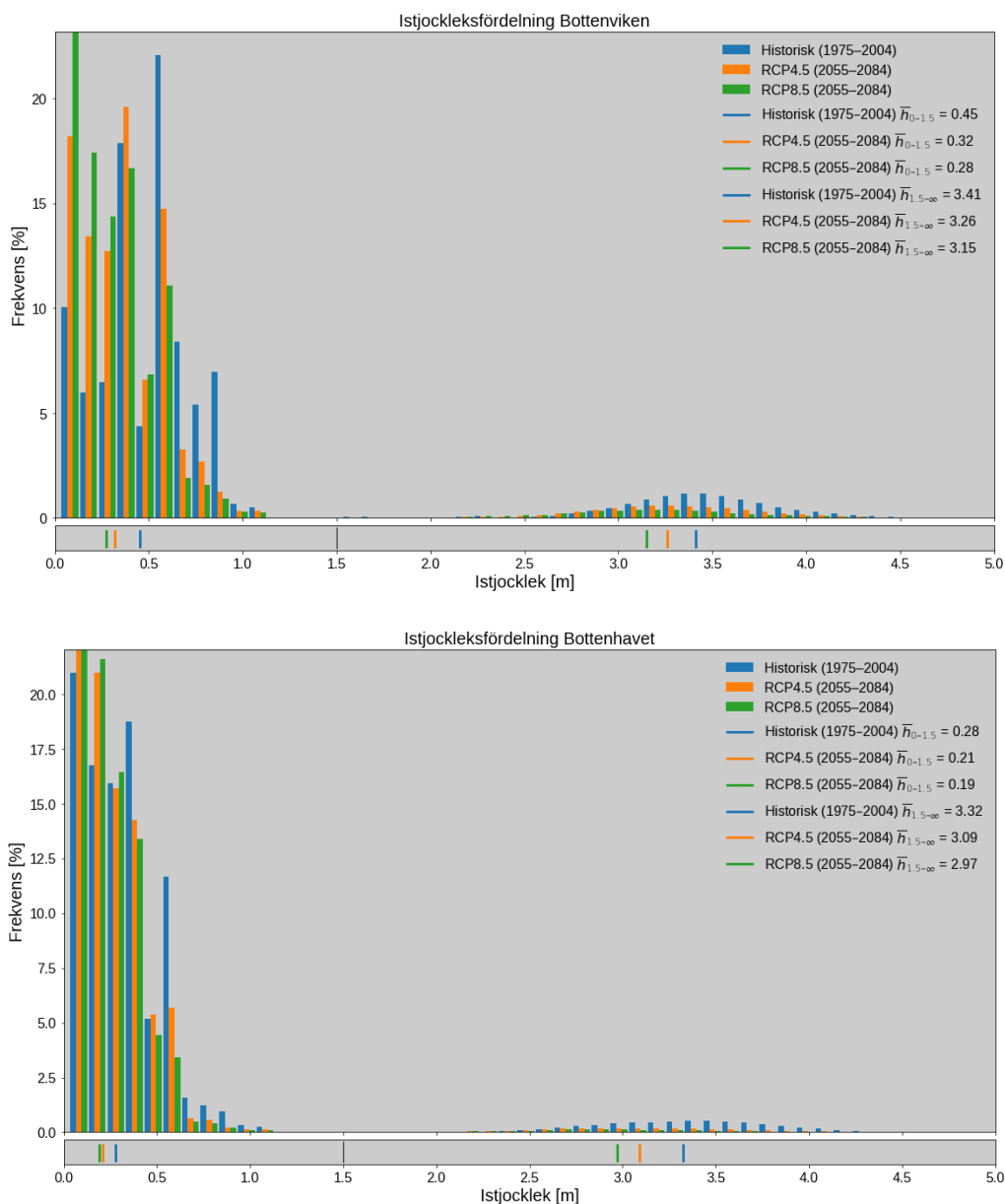
I analysen uppskattades endast istjockleksfördelningen för Bottenviken och Bottenhavet i februari–april när isen är som tjockast. Båda områden visar en generell förskjutning mot tunnare is både för jämn och deformerad is, samt att andelen jämn is ökar och andelen tjock deformerad is minskar (figur 8).

För Bottenviken minskar medeltjockleken av tjock deformerad is (här definierad som is tjockare än 1,5 m) från 3,4 m till 3,2–3,3 m i ett perspektiv på 50 år. För Bottenhavet är motsvarande förskjutning från 3,3 m till 3,0–3,1 m. I ett perspektiv på 20 år erhålls en liknande men svagare förskjutning. Tidigare studier (Pemberton *et al*, 2017, Höglund *et al*, 2017) har visat att ismodeller av den typ som är inkluderat i de två havs–havsmodellerna vi analyserat här främst producerar tjockare is vid deformation. Istjocklekar i intervallet 1–3 m underskattas kraftigt av den typen av ismodeller. Att förhållandet mellan jämn och deformerad is förändras mot mindre deformerad is och mer jämn is då istjockleken minskar och isdriften ökar i ett framtida perspektiv ska också tolkas med försiktighet.

## 5.6 Isdrift

Isens förmåga att röra sig är starkt knuten till hur tätt packad och hur tjock isen är. När istäcket är gles kan isen röra sig fritt till följd av de krafter som vindar och havsströmmar utsätter den för. När istäcket istället är tätt uppstår ett inre motstånd i istäcket som motverkar rörelse.

För att uppskatta isens rörelse har vi tittat på hur fördelningen mellan olika intervall av isdriftshastigheter förändras mellan kontrollperioden och framtidsperioderna. Fördelningen är beräknad för de olika delområdena och representerar all is som är i rörelse under issäsongen. Figur 9 visar förändringen av isdriften i ett perspektiv på 50 år. Liknande förändring erhålls även för det kortare 20-årsperspektivet.



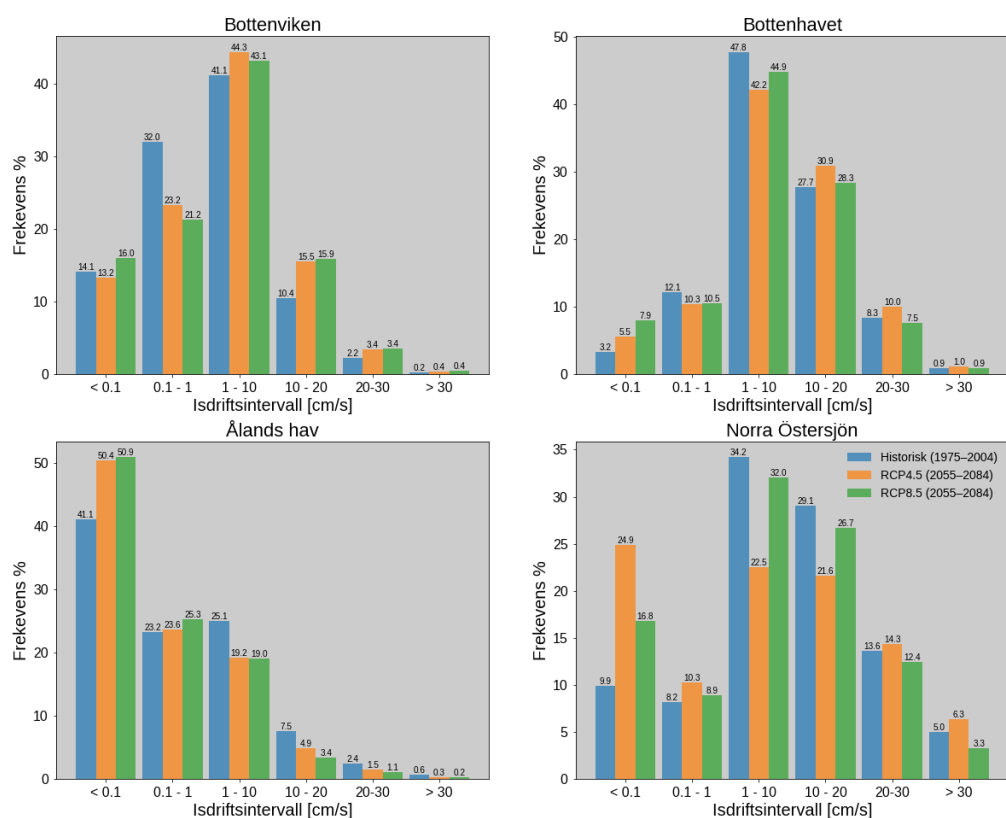
Figur 8. Klimatscenarier för istjockleksfördelning under perioden februari–april i Bottenviken (överst) och Bottenhavet (nederst). Istjockleksfördelningen beskriver procentuella fördelningen av isen för olika istjocklekar, här beräknat från modelldata för kontrollperioden (blå staplar) och i ett 50-årsperspektiv för RCP4,5 (orangea staplar) och RCP8,5 (gröna staplar). De färgade strecken i panelen under staplarna visar beräknad medeltjocklek för jämn is (istjocklek mindre än 1,5 m) och tjock deformerad is (istjocklek större än 1,5 m).

För Bottenviken, som förblir helt istäckt mellan kontrollperioden och de framtida perioderna, ökar isens rörlighet redan i isdriftsintervallet större än 1 cm/s. Ingen tydlig

skillnad syns mellan RCP4,5 och RCP8,5. För Bottenhavet, som går från att var istäckt till att endast ha kustnära is, sker en liknande ökning men främst för isdrift större än 10 cm/s.

Förändringen i Ålands hav är motsatt den i norr med en svag ökning i det lägsta intervallet. Då Ålands hav i denna studie inkluderar även Skärgårdshavet består området till stor del av en arkipelag där isen är landfast. Figuren representerar därför en förhållandevis liten andel av drivis och resultaten ska tolkas med försiktighet.

Även resultaten för Norra Östersjön ska tolkas med försiktighet då området endast har kustnära is i medeltal både under kontrollperioden och de framtida perioderna. Detta ger en svårtolkad signal med oregelbundna förändringar mellan höga och låga isdriftsintervall.



Figur 9. Klimatscenarier över hur isdriften är fördelad inom olika hastighetsintervall för den historiska perioden (blå) samt RCP4,5 (orange) och RCP8,5 (grön) i ett 50-årsperspektiv. Histogrammen visas för respektive havsområde Bottenviken, Bottenhavet, Ålands hav och Norra Östersjön.

## 5.7 Isklassbaserad trafikrestriktion

De finsk-svenska isklassbeteckningarna tillämpas för att utfärda restriktioner för vilken isklass ett fartyg minst måste ha för att trafikera ett visst område. Isklassbeteckningarna (II, 1C, 1B, 1A och 1A Super) bygger på en indelning där istjockleken definierar de olika beteckningarna (tabell 8).

Här har vi analyserat istjockleken i klimatscenerierna för att se hur antalet dagar per issäsong för en viss isklass ändras mellan kontrollperioden och framtidsperioderna. Vi har fokuserat på ett antal svenska hamnar i Bottenviken och Bottenhavet och analyserat

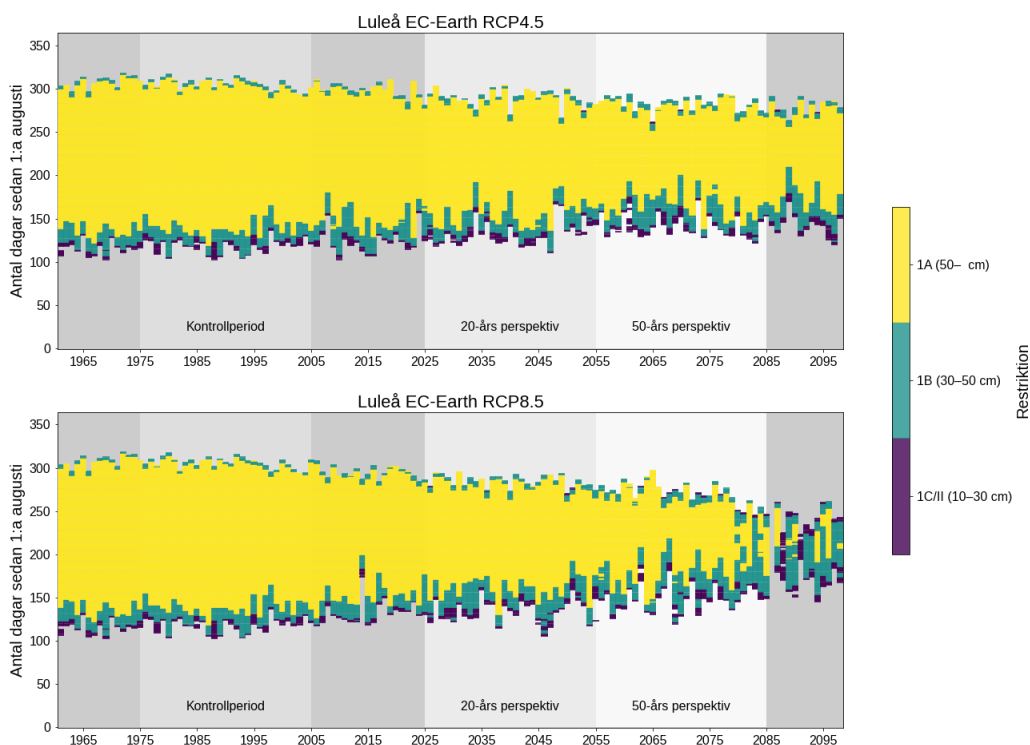
förändringen i antalet dagar då de olika isklasserna skulle tillämpas. I resultatet är 1C/II en sammanslagning av klasserna 1C och II (dvs istjocklek 10–30 cm).

I takt med att issäsongen blir kortare och istjockleken tunnare är det tydligt att det uppskattade totala antalet dagar per säsong då restriktioner skulle utfärdas minskar, se till exempel förändringen i området nära Luleå i figur 10.

Tabell 8. De finsk-svenska isklassbeteckningarna från TraFi, 2010.

Isklass	För trafik i	Istjocklek [cm]
II	mycket lätta isförhållanden	10–15
1C	lätta isförhållanden	15–30
1B	medelsvåra isförhållanden	30–50
1A	svåra isförhållanden	> 50
1A Super	extrema isförhållanden	> 100

Tittar man på de individuella isklasserna ser man för hamnarna i Bottenhavet en minskning av alla isklasser, medan hamnarna i Bottenviken visar en förskjutning mellan isklasserna. I Bottenviken sker en minskning i antalet dagar av restriktioner för de högre isklasserna 1A (och även 1B för Skellefteå) och en ökning av de lägre isklasserna 1C och II. Tabell 9 presenterar förändringen i ett 50-årsperspektiv. Liknande förändring ses även i ett 20-årsperspektiv men med färre antal dagars minskning (tabellen presenteras ej här).



Figur 10. Tidsperioder för området nära Luleå hamn då de olika finsk-svenska isklassrestriktionerna råder varje år. Y-axeln visar tidsperioden i dagar räknat från 1 augusti, x-axeln visar respektive år och färgkoderna visar respektive isklass.

Tabell 9. Antal dagar per issäsong för isklasserna 1C/II, 1B och 1A. Värdena i fet stil anger kontrollperiodens antal dagar och värden inom parentes ger antal dagar för RCP4,5/RCP8,5 i klimatscenerierna beräknat i ett 50-årsperspektiv. Röd bakgrund anger ökning och vit minskning relativt kontrollperioden.

Isklass	Luleå	Skellefteå	Holmsund	Sundsvall	Gävle
1C/II	<b>24</b> ( 32/ 42)	<b>40</b> ( 47/ 43)	<b>34</b> ( 28/ 17)	<b>42</b> ( 35/ 23)	<b>40</b> ( 9/ 4)
1B	<b>38</b> ( 48/ 44)	<b>58</b> ( 41/ 16)	<b>43</b> ( 22/ 9)	<b>32</b> ( 13/ 6)	<b>16</b> ( 0/ 0)
1A	<b>113</b> ( 58/ 23)	<b>50</b> ( 6/ 1)	<b>41</b> ( 7/ 2)	<b>48</b> ( 13/ 5)	<b>2</b> ( 0/ 0)
<b>Total</b>	<b>175</b> (138/109)	<b>148</b> ( 94/ 60)	<b>118</b> ( 57/ 28)	<b>122</b> ( 61/ 34)	<b>58</b> ( 9/ 4)

## 6 Slutsatser

SMHI har analyserat hur havsisens utbredning och beskaffenhet kan komma att ändras i ett perspektiv på 20 respektive 50 år räknat från år 2020. Analysen utgår från sju olika indikatorer. Förändringarna redovisas relativt en kontrollperiod som ligger 30 år tillbaka i tiden vilket innebär att en del av förändringarna redan kan ha skett. Till grund för analysen ligger både historiska observationer och modellberäknade klimatscenerier för framtida klimatutvecklingar. Totalt analyserades tio olika klimatmodellsimuleringar varav fem baseras på utsläppsscenarioet RCP8,5 med fortsatt höga utsläpp av koldioxid och fem på RCP4,5 där koldioxidutsläppen ökar fram till år 2040.

Slutsatserna ur analysen är:

- Issäsongens längd minskar i samtliga områden med den största förändringen i de södra områdena under RCP8,5. Helt isfria vintrar, sett till hela Östersjöområdet, förekommer dock inte i någon av RCP:erna på 50 års sikt.
- Den maximala isutbredningen varierar kraftigt från år till år, och kommer även i framtiden att variera. Dock påvisas i framtiden en förskjutning av vintrar klassificerade som normala mot vintrar klassificerade som lindriga. I båda RCP:erna blir svåra isvintrar sällsynta redan om 20 år och i princip obefintliga om 50 år. Normala isvintrar förekommer i RCP4,5 både på 20 och 50 års sikt.
- Bottenviken förblir helt istäckt i medel både om 20 och 50 år för båda RCP:erna. Medeltjockleken av istäcket minskar dock markant och för RCP8,5 finns ingen is med medeltjocklek över 10 cm i södra Bottenviken.
- I Bottenhavet och Ålands hav förekommer främst kustnära is om 50 år, och längs den svenska kusten i norra Östersjön är havsis i princip icke förekommande om 50 år. Detta gäller för båda RCP:erna.
- Förekomsten av tjock deformerad is minskar som ett resultat av ett generellt tunnare istäcke. Det går däremot inte att dra några slutsatser kring förekomsten av mindre vallar eller stampisvallar. Dessa typer av vallar bör antas fortsatt förekommande både om 20 och 50 år för båda RCP:erna, åtminstone i Bottenviken.
- Det totala antalet dagar med isklassbaserade fartygsrestriktioner till svenska hamnar minskar både ur ett 20-års och ett 50-års perspektiv. Till de nordligaste hamnarna sker en förskjutning mot ökat antal dagar inom de lägre isklasserna (1B och 1C/II) på 50 års sikt. Detta gäller för båda RCP:erna.
- Isdriften i Bottenviken och Bottenhavet ökar i samband med att iskoncentration och tjocklek minskar. Detta gör att isen lättare rör sig med vind och ytström. För

Ålandshav och Norra Östersjön finns för lite drivis i modellerna för att dra några slutsatser.

- Att underlag för strålnings scenariot RCP2,6 saknas i analysen bör tas i beaktande, eftersom detta scenario ur ett isbrytningsperspektiv torde vara den mest resurskrävande. Det är också detta scenario som ligger närmast ambitionerna i Parisavtalet.

## 7 Studiens begränsningar

Den främsta begränsningen i utredningen är avsaknaden av klimatscenarioer för RCP2,6. Att inkludera RCP2,6 väntas inte göra så mycket för resultatspridningen i ett perspektiv på 20 år eftersom skillnaden i global uppvärmning mellan RCP:erna är relativt liten på den korta tidsskalan. På 50 års sikt skulle dock RCP2,6 påverka resultatet och ge en markant större spridning. Att utöka studien till att inkludera även RCP2,6 skulle därför stärka slutsatserna avsevärt.

Tillgången till långa tidsserier av observationer saknas för flera av indikatorerna. Det är egentligen bara för maximal isutbredning, issäsongens längd och tjockleken av jämn is som längre tidsserier finns. Det begränsar främst förmågan att uppskatta hur förändringen av indikatorerna har sett ut historiskt, men också möjligheten att utvärdera de modellberäknade indikatorernas osäkerhet.

Klimatmodeller har många olika, ofta individuella, begränsningar. En modell kanske simulerar en parameter, tex vind, med god tillförlitlighet; medan en annan har bättre nederbörd eller temperatur. I klimatstudier har det visat sig att det är viktigt att ha med så många olika modeller som möjligt i en så kallad ensemble. En större ensemble med fler globala och regionala modeller skulle alltså stärka slutsatserna. I tillgängliga data fanns till exempel endast två liknande regionala hav-havs is modeller vars ismodeller endast skiljer sig åt i hur de hanterar fastisområdet. Klimatmodellsimuleringar med flera olika typer av ismodeller vore önskvärt.

Våra indikatorer fokuserar uteslutande på havsisparametrar. Eftersom förändringar i havet och havsisen till viss mån styrs av förändringar i atmosfären som påverkar vädret skulle förändringen i storskaliga atmosfärsindex som till exempel NAO och blockeringsindex stödja utredningens slutsatser ytterligare. En viss förskjutning mot fler år med positivt NAO-index i framtiden (vilket ger fler milda vintrar) har rapporterats (Meier *et al.*, 2021).

Att inkludera analyser av förändringar i väderparametrar såsom vindstyrka och riktning skulle eventuellt ge bättre förutsättningar att dra slutsatser om isens rörelser och deformation, utöver det som klimatmodellerna simulerar. Tidigare studier (Meier *et al.*, 2021) har visat på en svag men signifikant ökning i vindstyrka och antalet stormar. Dock anses resultaten osäkra. I de klimatscenerierna som analyserats här har en tidigare studie (Höglund *et al.*, 2017) också visat en svag ökning i vindstyrka (generellt mindre än 10%) och endast små förändringar i vindriktning.

## 8 Referenser

BACC Author Team, 2008. Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin. Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg, 473 sidor.

BACC II Author Team, 2015. Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer, Cham, 501 sidor.

HELCOM, 2009. Ensuring safe shipping in the Baltic Sea. <https://www.helcom.fi/wp-content/uploads/2019/10/Ensuring-safe-shipping-in-the-Baltic.pdf>. Hämtad 2021-09-15.

Höglund A, Pemberton P, Hordoir R, Schimanke S, 2017. Ice conditions for maritime traffic in the Baltic Sea in future climate. *Boreal Environ. Res.*, 22, 245–265.

- Meier H.E.M. *et al.*, 2021. Climate Change in the Baltic Sea Region: A Summary. *Earth System Dynamics Discussions*, 1-205. doi:10.5194/esd-2021-67.
- Pemberton P, Löptien U, Hordoir R, Höglund A, Schimanke S, Axell L, Haapala J, 2017. Sea-ice evaluation of NEMO-Nordic 1.0: a NEMO–LIM3.6-based ocean–sea-ice model setup for the North Sea and Baltic Sea. *Geosci. Model Dev.*, 10, 3105–3123.
- TraFi, 2010. Ice class regulations 2010: Finnish–Swedish Ice Class Rules 2010. Finnish Transport Safety Agency, Helsingfors, Finland.  
[https://www.finlex.fi/data/normit/36441/Jaaluokkamaaraykset\\_TRAFI\\_31298\\_03\\_04\\_01\\_00\\_2010\\_EN\\_corr\\_20\\_Dec\\_2010.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/36441/Jaaluokkamaaraykset_TRAFI_31298_03_04_01_00_2010_EN_corr_20_Dec_2010.pdf) Hämtad 2021-09-15.



## **9 Bilagor**

### **9.1 Bilaga 1: Sammanfattning av möte med Sjöfartsverket 20210319**

- SMHI presenterar metodik och föreslagna indikatorerna.
- Sjöfartsverket inkommer med synpunkter om vilka parametrar och aspekter av förändringar i isförhållanden som är viktiga utifrån isbrytningsperspektiv. Utöver isutbredning är istjocklek, isdrift och istyp (främst andelen deformerad is) viktig.
- Sjöfartsverket föreslår aktuella hamnar och områden som är viktiga för deras verksamhet, och erbjuder data innehållande hamnanlöp och perioder då olika isklassbaserade restriktioner utfärdats.
- Mötet godkänner SMHIs metodik och val av indikatorer.

## 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 - Kylvattenspridning 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 kustzonmodellerna (Exemplet södra Östergötland)
80. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson (2005) Integrerat Kustzonssystem för Hallandskusten
81. Tobias Strömberg (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) Fyrskottsdata. Resultat och bearbetningsmetoder 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. Sjøiland 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 Sehested 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-authors<sup>1</sup>  
Bertil Håkansson<sup>1</sup>, Johan Håkansson<sup>1</sup>, Elisabeth Sahlsten<sup>1</sup>, Jonathan Havenhand<sup>2</sup>, Mike Thorndyke<sup>2</sup>, Sam Dupont<sup>2</sup> *Swedish Meteorological and Hydrological Institute<sup>1</sup> Gothenburg University, Sven Lovén, Centre of Marine Sciences<sup>2</sup>* (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 djupvattenombländning i Östersjön – en modellstudie
95. Ingemar Cato<sup>1</sup>, Bertil Håkansson<sup>2</sup>, Ola Hallberg<sup>1</sup>, Bernt Kjellin<sup>1</sup>, Pia Andersson<sup>2</sup>, Cecilia Erlandsson<sup>1</sup>, Johan Nyberg<sup>1</sup>, Philip Axe<sup>2</sup> (2008)  
<sup>1</sup>*Geological Survey of Sweden (SGU)*  
<sup>2</sup>*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 21<sup>st</sup> century

109. Ulrike Löptien, H.E. Markus Meier (2011)  
Simulated distribution of colored dissolved organic matter in the Baltic Sea
110. K. Eilola<sup>1</sup>, J. Hansen<sup>4</sup>, H. E. M. Meier<sup>1</sup>, K. Myrberg<sup>5</sup>, V. A. Ryabchenko<sup>3</sup> and M. D. Skogen<sup>2</sup> (2011)  
<sup>1</sup>Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden, <sup>2</sup>Institute of Marine Research, Norway, <sup>3</sup>St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia, <sup>4</sup>National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, <sup>5</sup>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, Anastasia<sup>1</sup>. Chubarenko, Boris<sup>1</sup> (2012) *Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia.*<sup>1</sup>  
“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. Eilola<sup>1</sup>, J.L.S. Hansen<sup>4</sup>, H.E.M. Meier<sup>1</sup>, M.S. Molchanov<sup>3</sup>, V.A. Ryabchenko<sup>3</sup> and M.D. Skogen<sup>2</sup> (2013)  
<sup>1</sup>Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden. <sup>2</sup>Institute of Marine Research, Norway. <sup>3</sup>St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia. <sup>4</sup>Department 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
117. Kari Eilola<sup>1</sup>, Elin Almroth-Rosell<sup>1</sup>, Moa Edman<sup>1</sup>, Tatjana Eremina<sup>3</sup>, Janus Larsen<sup>4</sup>, Urszula Janas<sup>2</sup>, Arturas Razinkovas-Basiukas<sup>6</sup>, Karen Timmermann<sup>4</sup>, Letizia Tedesco<sup>5</sup>, Ekaterina Voloshchuk<sup>3</sup> (2015)  
<sup>1</sup>Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden. <sup>2</sup>Institute of Oceanography, Gdansk University, Poland. <sup>3</sup>Russian State hydrometeorological University, Sankt-Petersburg, Russia. <sup>4</sup>Aarhus University, Roskilde, Denmark. <sup>5</sup>Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. <sup>6</sup>Coastal 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  
”Datavårdskapet 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 Källberg, Helma Lindow, Signild Nerheim, Semjon Schimanke, Johan Södling och Lennart Wern (2017)  
Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

116. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*

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)



Denna sida är avsiktligt blank

**SMHI**

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

ISSN 0283-7714 © SMHI