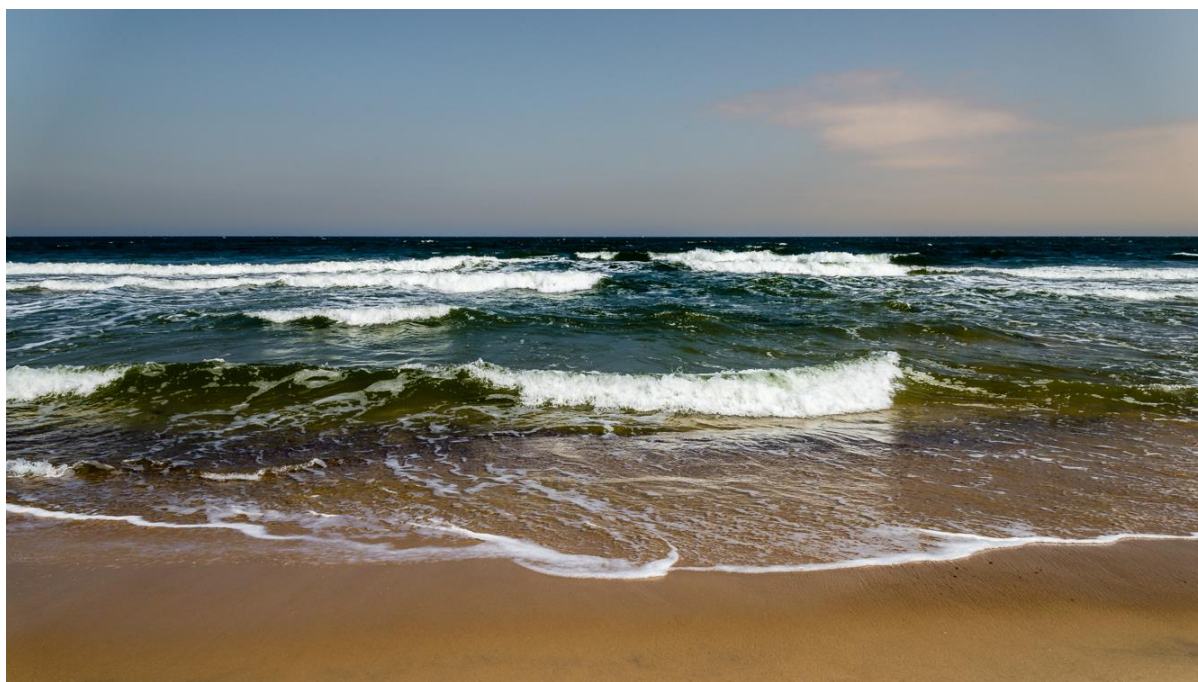


Möjliga klimatrefugier i Östersjön baserat på två olika scenarier

Kunskapsunderlag för havsplanering



Detta är en rapport som har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten och innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

Havs- och vattenmyndigheten
Datum: 2017-12-22

Omslagsfoto: Medins Havs och Vattenkonsulter AB
ISBN 978-91-87967-86-3

Havs- och vattenmyndigheten
Box 11 930, 404 39 Göteborg
www.havochvatten.se

Möjliga klimatrefugier i Östersjön baserat på två olika scenarier

Kunskapsunderlag för havsplanering

Jonatan Hammar
Martin Mattsson

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2017:37

Förord

Havs- och vattenmyndigheten har i uppdrag att ta fram förslag på statliga havsplaner som ska visa den mest lämpliga användningen i olika havsområden. Planering är att ta fram en riktning för framtiden. Klimatförändringar är ett omfattande hot mot havets ekosystem, särskilt i Östersjön. Därför bör både förebyggande av och anpassning till klimatförändringarna återspeglas i havsplaneringen. Inledningsvis tog Göteborgs Universitet fram en utredning av hur klimatförändringar kan hanteras i havsplaneringen. En av flera slutsatser var att klimatrefugier behöver identifieras och i möjlig mån skyddas. Detta arbete, av Medins Havs och Vattenkonsulter, är en initial inventering utifrån befintligt material med syfte att identifiera områden som kan komma att bli viktiga klimatrefugier i en inte alltför avlägsen framtid.

Göteborg 22 december,

Björn Sjöberg

UPPDRAGSBESKRIVNING	7
INLEDNING	8
FÖRSLAG PÅ KLIMATREFUGIER FÖR UTVALDA ARTER.....	10
Vikare, <i>Pusa hispida botnica</i>	10
Metod vikare	10
Vikare resultat	11
Ålgräs, <i>Zostera marina</i>	12
Metod ålgräs	12
Ålgräs resultat.....	13
Blåmussla, <i>Mytilus edulis/trossulus</i>	15
Metod blåmussla.....	15
Blåmussla resultat	16
Östersjösill, <i>Clupea harengus membras</i>	18
Metod sill	18
Sill resultat.....	19
Torsk, <i>Gadus morhua</i>	20
Metod torsk.....	20
Torsk resultat.....	21
Skorv, <i>Saduria entomon</i>	22
Metod skorv	22
Skorv resultat.....	23
Fucus spp.	24
Metod fucus	24
Fucus resultat	25
DISKUSSION	26

Uppdragsbeskrivning

Medins Havs och Vattenkonsulter AB har fått i uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten att identifiera områden inom Östersjön som kan väntas bli viktiga klimatrefugier i ett framtida förändrat klimat. Uppdraget utfördes genom GIS-analys baserat på en rapport av Göteborgs Universitet (Havenhand och Dahlgren 2017) och befintligt GIS-underlag, inklusive data från bedömningsmetoden Symphony som används av Havs- och vattenmyndigheten inom havsplaneringen.

Medins Havs och Vattenkonsulter AB är ackrediterat av SWEDAC i enlighet med ISO 17025 (ackrediteringsnummer 1646) samt ISO 9001 certifierat av SP (certifieringsnummer 4609 M). Medins är också miljöcertifierat av SP enligt ISO 14001 (certifieringsnummer 4609 M).

Inledning

De globala klimatförändringarna tar sig olika uttryck beroende på vilken skala och geografiskt område man väljer att titta på. De förändringar som man har uppmätt och förutspår för framtiden kommer få kaskadeffekter som på grund av naturens oerhörda komplexitet är omöjliga att förutse i detalj. Det finns i dag stor kunskap baserat på enorma mängder data och modeller om hur våra hav kommer att förändras de närmaste 100 åren. Vi kan med hög säkerhet säga att stora förändringar kommer att äga rum i Östersjön, med sänkt pH, reducerad salinitet, ökad havsvattentemperatur, minskad havsisbildning och förändringar av bottenvattnets syreförhållanden.

Dessa faktorer kommer att ha stor inverkan på Östersjöns ekosystem på alla nivåer, där påverkan på en art har en direkt effekt på associerade arter och en dominoeffekt av påverkan flödar genom ekosystemet. Som konsekvens av detta riskerar många arter att försvinna medan andra arter är redo kliva in i dess ställe. För att reducera effekterna av en sådan påverkan på Östersjöns ekosystem har Havs- och vattenmyndigheten i havsplaneringen haft för avsikt att beakta konsekvenserna av framtida klimatförändringar.

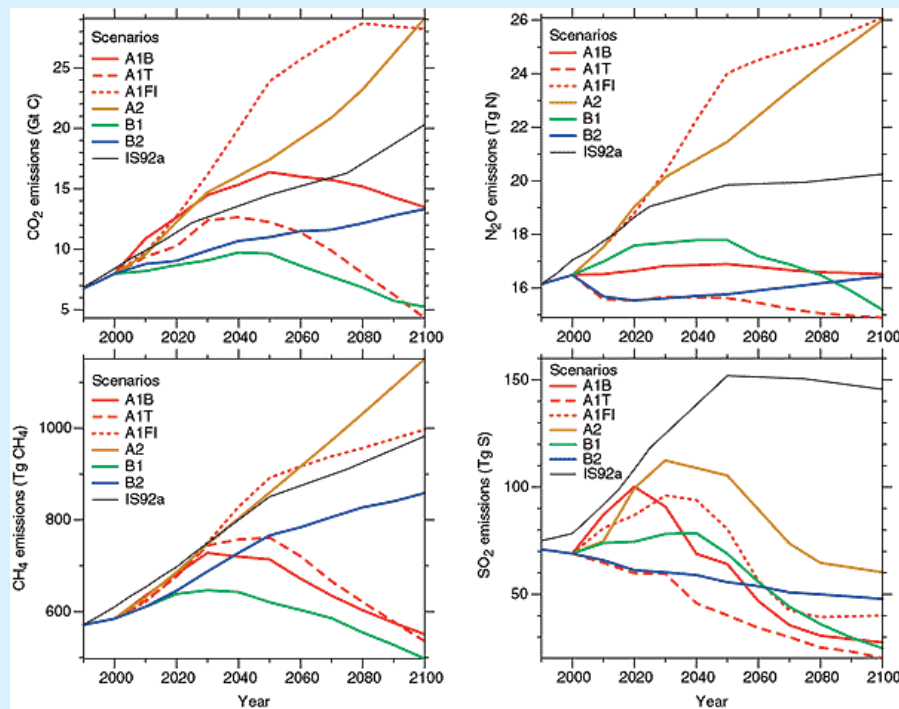
En utredning av Göteborgs universitet (Havenhand och Dahlgren 2017) visar att upprättandet av klimatrefugier är ett av flera lämpliga sätt att ta höjd för klimatförändringarna i havsplaneringen. Med klimatrefugier avses områden där effekten av klimatförändringen är liten i förhållande till omgivande livsmiljö (Havenhand och Dahlgren 2017). Arter inom ett sådant klimatrefugium kan genom bland annat planktonisk spridning bidra till att öka diversitet och genetisk variation inom mer påverkade områden. Klimatrefugier bidrar därmed till att bevara arter och den biologiska mångfalden och höjer på så sätt även omgivande områdets motståndskraft.

För att med hög säkerhet kunna identifiera områden som lämpliga klimatrefugier bör hänsyn tas till ett enormt stort antal faktorer vilket inte är ekonomiskt och praktiskt möjligt. Istället har ett antal faktorer som anses särskilt viktiga valts ut i ett första skede för att representera Östersjöns situation år 2099. De faktorer som här valts ut är förändringar i salthalt, förändringar i temperatur och förändringar i havsisens utbredning. Ett flertal arter har identifierats för att representera en för ekosystemet viktig art som kan påverkas av de valda faktorerna. De arter som identifierats är vikare, torsk, sill, skorv, ålgräs, fucus (olika tångarter) och blåmussla.

Med hjälp av dataunderlag från främst bedömningsverktyget Symphony har arters framtida utbredning modellerats baserat på ovanstående faktorer samt utifrån två olika klimatscenarion (faktaruta). Ett flertal områden i Östersjön har identifierats som lämpliga klimatrefugier med hänsyn till Östersjöns situation år 2099.

Faktaruta

De två klimatscenarion som har använts (figur 1) är baserade på IPCC:s specialrapport om olika utsläpps-scenarion (IPCC 2000). Av de olika scenarion som där presenteras har scenario A1B och A2 valts för att representera två möjliga utfall. Av dessa två utfall innebär A1B i korthet en framtida utveckling med sjunkande befolkningssiffror och en balans mellan fossila bränslen och miljövänlig teknologi samt en snabb ekonomisk tillväxt. Utfall A2 innebär i korthet en mindre positiv utveckling mot en heterogen värld med ökande befolkningssiffror och en långsam och mer fragmenterad övergång mot miljövänlig teknologi. Utifrån dessa scenarion har SMHI modellerat fram Östersjöns situation år 2099 med avsikt på bla salthalt, temperatur och istäckning. För utförligare beskrivning om SMHI:s modell se (Meier, 2011).



Förslag på klimatrefugier för utvalda arter

Vikare, *Pusa hispida botnica*

Det finns tre delpopulationer av vikaresäl i Östersjön. De är ej genetiskt åtskilda och studier har visat att individer kan vandra mellan de olika delpopulationerna (Ukkonen m.fl. 2014, Oksanen m.fl. 2015). I Sverige förekommer vikaren i den norra delen av Östersjön och tillhör den delpopulation som påträffas i Bottniska viken. Beståndet i våra svenska vatten beräknas uppgå till 4 500 individer (år 2012) varav 1 500 antas vara könsmogna honor. Av dessa förväntas ca 30% vara infertila p.g.a. påverkan från miljögifter (Artdatabanken 2017).

Vikaren är beroende av kalla vintrar med stabil havsis för sin reproduktion. På havsisen föder honorna sina kutar i skyddande snögrottor under perioden februari – mars. Under kutens första 3–8 veckor är den beroende av att vara uppe ur vattnet då kutens päls inte isolerar från det kalla vattnet. Även adulta (vuxna) vikare är beroende av stabila isar under våren då vikaren byter päls under slutet av april till början av maj. Det faktum att arten är starkt beroende av stabil havsis under vintern och våren gör den känslig för temperaturförändringar som kan leda till kortare eller uteblivna perioder med havsis. Det har dokumenterats att adulta vikare, vid avsaknad av stabil havsis, kan genomgå pälsbyte även på land.

Som en sekundär effekt av mildare vintrar med kortare perioder av is kan en ökad dödlighet uppstå genom att drivgarn för lax kan sättas ut tidigare på året. Drivgarnen kan utgöra ett kraftigt hot för kutarna vilket särskilt noterats i Finska viken (Artdatabanken 2017).

Arten vikare har valts inom denna studie på grund av sin roll som toppredator i Östersjöns ekosystem så väl som artens starka koppling till förekomsten av stabil havsis. På grund av artens fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av vikare baserats på förändringar av Östersjöns temperatur.

Metod vikare

Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för vikares reproduktion har raster med modellerad istäckning (år 2099) från SMHI använts, nuvarande utbredning av vikare och raster med buller från båttrafik använts (tabell 1). Rastret med istäckning anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Framtida reproduktionsområden beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 1.

Tabell 1. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för vikare.

Vikare		
GIS-skikt	Villkor	Källa
Vikare förekomst	> 0	SYMPHONY (Vikare_symphony_ejNorm_v1_20)
Istäckning (%) A1B år 2099	> 0,1	SMHI (A1B_bsap_2099_V_IceConcentration1)
Båttrafik (vinter)	< 105	SYMPHONY (Winter_cargo_125)

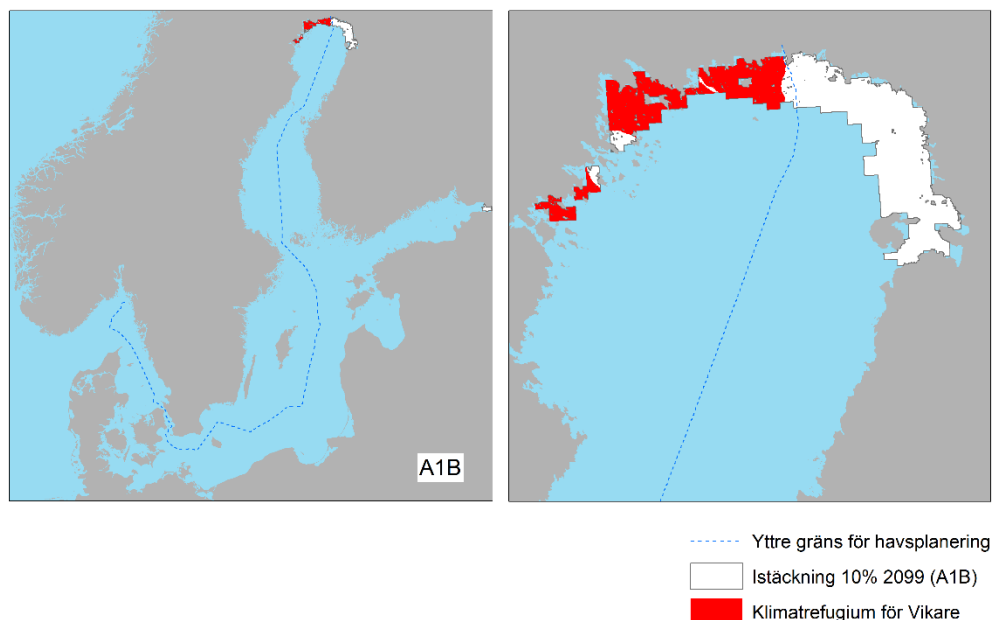
Vikare resultat

Vikarens utbredning (figur 1) kommer i scenario A1B att tryckas upp i allra nordligaste Bottenviken. Det vita och röda området i figur 1. utgörs av 10% täckning av havsis vilket ger att vissa delar av området kommer att ha mer is medan andra delar kommer att ha mindre is. Troligen kommer det förekomma flera år där isen är för tunn för vikaren att ha en lyckad reproduktion och risk finns att vikaren helt kommer att försvinna från Bottenviken.

Enligt scenario A2 kommer havsisen att försvinna även från nordligaste Bottenviken och därav har analys enligt A2 uteblivit för vikaren.

Vid val av område identifierat som potentiellt klimatrefugium har hänsyn tagits till buller från fartygstrafik. Då både havsisens utbredning och vikarpopulationen sträcker sig över gränsen mot Finland är det önskvärt med gränsöverskridande skyddade områden för att öka områdets funktion som klimatrefug.

Figur 1



Figur 1. Karta över havsisutbredning för scenario A1B där röd markering visar havsis identifierad som potentiellt klimatrefugium för vikare. Högra bilden är en förstoring av norra Östersjön.

Ålgräs, *Zostera marina*

Ålgräsängar tillhör ett av våra vattens mest skyddsvärda habitat och innehåller ett flertal viktiga ekosystemtjänster. Ålgräsängen har hög primär- och sekundärproduktion och ålgräsets rhizom (underjordisk jordstam) binder sedimentet och förhindrar erosion, bladen reducerar vågenergin och ackumulerar organiska ämnen i sedimentet. Ängens tredimensionella struktur utgör ett viktigt habitat för ett flertal arter och fungerar som yngelkammare och födosöksområde för



Ålgräsäng, *Zostera marina*.
Bilden är från västra Hanöbukten.

ett flertal viktiga kommersiella fiskarter (Länsstyrelserna 2009). Historiskt sett har arealen av ålgräs minskat kraftigt med upp till 58% de senaste decennierna (Moksnes m.fl. 2016) där övergödning anses utgöra en starkt bidragande orsak till minskningen (Baden m.fl. 2003). Studier har visat att ålgräset lokalt har minskat med upp till 90% längst västkusten, medan data från Östersjön har visat på att övergödningen inte har haft samma påverkan på ålgräset som på västkusten (Länsstyrelserna 2009).

Den nedre salthaltsgränsen för ålgräsets utbredning är 5 promille (Järvekylg A. 1979) och en utsötning av Östersjöns vatten utgör ett starkt hot mot arten i framtiden. En lägre salthalt bidrar även till en minskad förmåga för arten att föröka sig sexuellt vilket leder till en ökad förökning genom klonbildning i takt med den sjunkande salthalten (Länsstyrelserna 2009). Detta kan på sikt försvåra för arten att kolonisera nya områden.

Utöver ovannämnda hot mot ålgräset har ett flertal andra faktorer identifierats som kraftigt kan påverka ålgräsets utbredning. Däribland minskat ljusinsläpp i vattnet, kustexploatering och muddring.

Arten ålgräs har valts inom denna studie på grund av sin viktiga roll i Östersjöns ekosystem. På grund av artens fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av ålgräs baserats på förändringar av Östersjöns salthalt.

Metod ålgräs

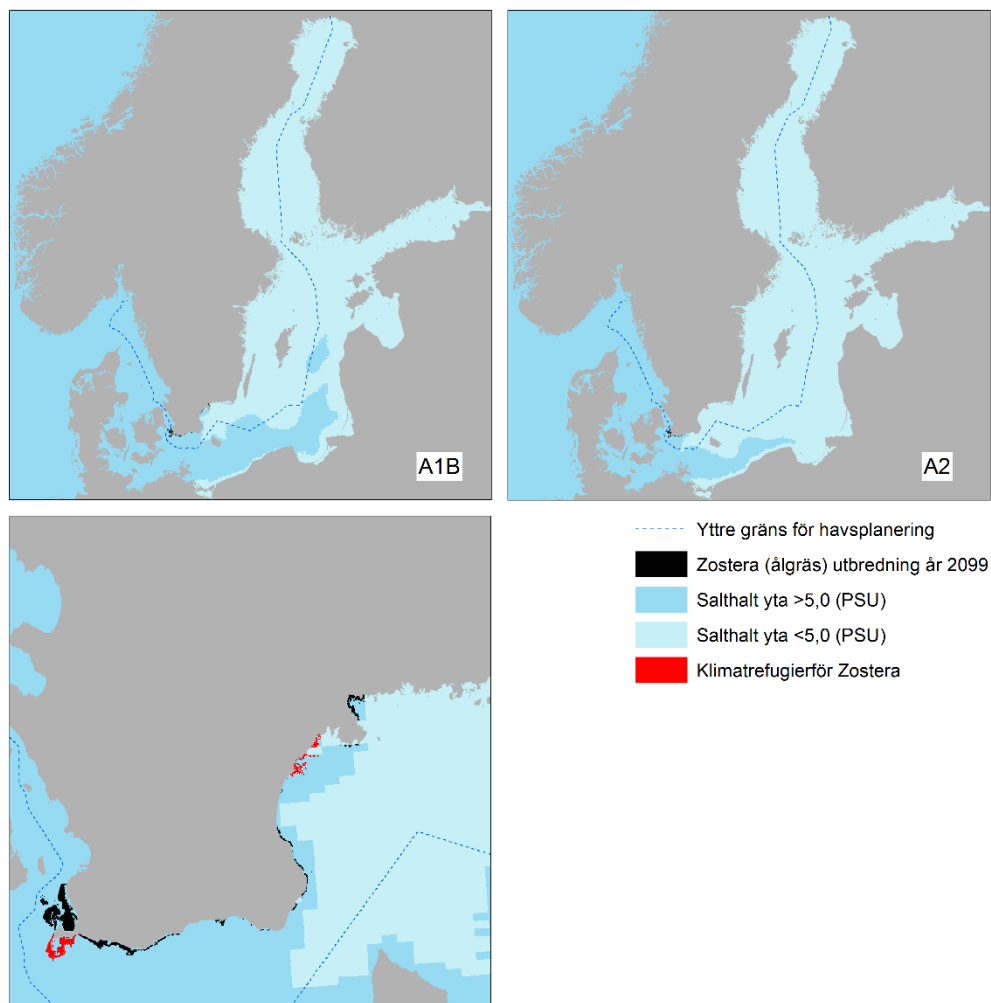
Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för ålgräs har raster med modellerad salthalt (yta, A1B och A2, år 2099) från SMHI använts och nuvarande utbredning av ålgräs (tabell 2). Rastren med salthalt anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Framtida ålgräsutbredningar för scenario A1B och A2 beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 2.

Tabell 2. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för ålgräs.

Ålgräs		
GIS-skikt	Villkor	Källa
Zostera förekomst	> 0	SYMPHONY (Zostera_final_raw2)
Salthalt (PSU) A1B, A2 yta 2099	> 5	SMHI (x_x_2099_S_Salt1)

Ålgräs resultat

Ålgräsets utbredning (figur 2) kommer att tryckas söderut längs salthaltsgradienten och ha sin nordligaste utbredning i sydvästra Blekinge för att sedan följa skånska kusten söderut. Då den nordligaste utbredningen varierar i storlek mellan de olika scenarierna, med endast enstaka lokala förekomster enligt A2 på skånska östkusten och sydvästra Blekinge, så har två olika potentiella klimatrefugier identifierats. Klimatrefugen som identifierats i skånska Hanöbukten anses viktig då den befinner sig nära toleransgränsen för vad arten anses tåla och kan därifrån sprida sig och fungera som ett refugium för associerade arter. Den andra klimatrefugen som identifierats ligger i sydvästra Skåne och anses kunna finnas kvar enligt båda scenarierna. Det är ett större område som har goda möjligheter att bidra med spridning österut samt fungera som viktigt habitat för associerade arter.



Figur 2. De övre kartorna visar ålgräsets utbredning för scenario A1B och A2. Förstorad karta (nedre) visar ålgräsets utbredning enligt scenario A1B där röd markering visar identifierade områden för potentiella klimatrefugier för ålgräs.

Blåmussla, *Mytilus edulis/trossulus*

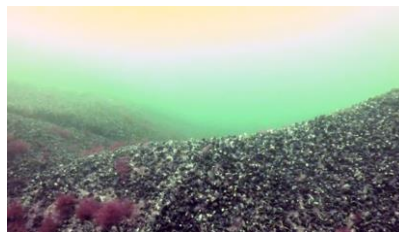
Blåmusslan är den vanligaste arten i Östersjön och utgör 70% av biomassan inom kustzonen. Blåmusslan i Östersjön skiljer sig från den på västkusten genom att den troligen är en hybrid mellan två olika arter av blåmussla.

Musslan fyller en viktig funktion i Östersjön då den bidrar till en komplex bottenstruktur som utnyttjas av flera olika arter och substrat såväl som skydd och födokälla vilket bidrar till en ökad artdiversitet och biomassa av associerade

arter. Ett flertal utsjöbankar finns utpekade i Östersjön där musslan utgör en viktig födokälla för fåglar så som ejder och alfågel.

Blåmusslan påträffas idag upp till Kvarken som innehar en salthalt på 4 promille vilket ses som en lägre gräns för artens salthaltstolerans (Kautsky m.fl. 1992). Den lägre salthalten uppe i norr påverkar musslans fysiologi och det sker en minskning av musslans storlek längs med salthaltsgradienten. Den lägre salthalten bidrar till att byssustrådarna hos musslor i Östersjön är svagare än hos musslor på västkusten vilket får som effekt att musslorna i Östersjön är mer känsliga för vågor och exponerade områden. Redan vid salthalter under 18 promille utsätts musslan för fysiologisk stress vilket påverkar musslans tillväxthastighet och känslighet för störningar som exempelvis föroreningar.

Arten blåmussla har enligt denna studie valts på grund av sin viktiga roll i Östersjöns ekosystem och som habitatbyggande organism och födokälla. På grund av artens fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av blåmussla baserats på förändringar av Östersjöns salthalt.



Blåmusselbank, *Mytilus edulis/trossulus*. Bilden är från Svenska Högarna.

Metod blåmussla

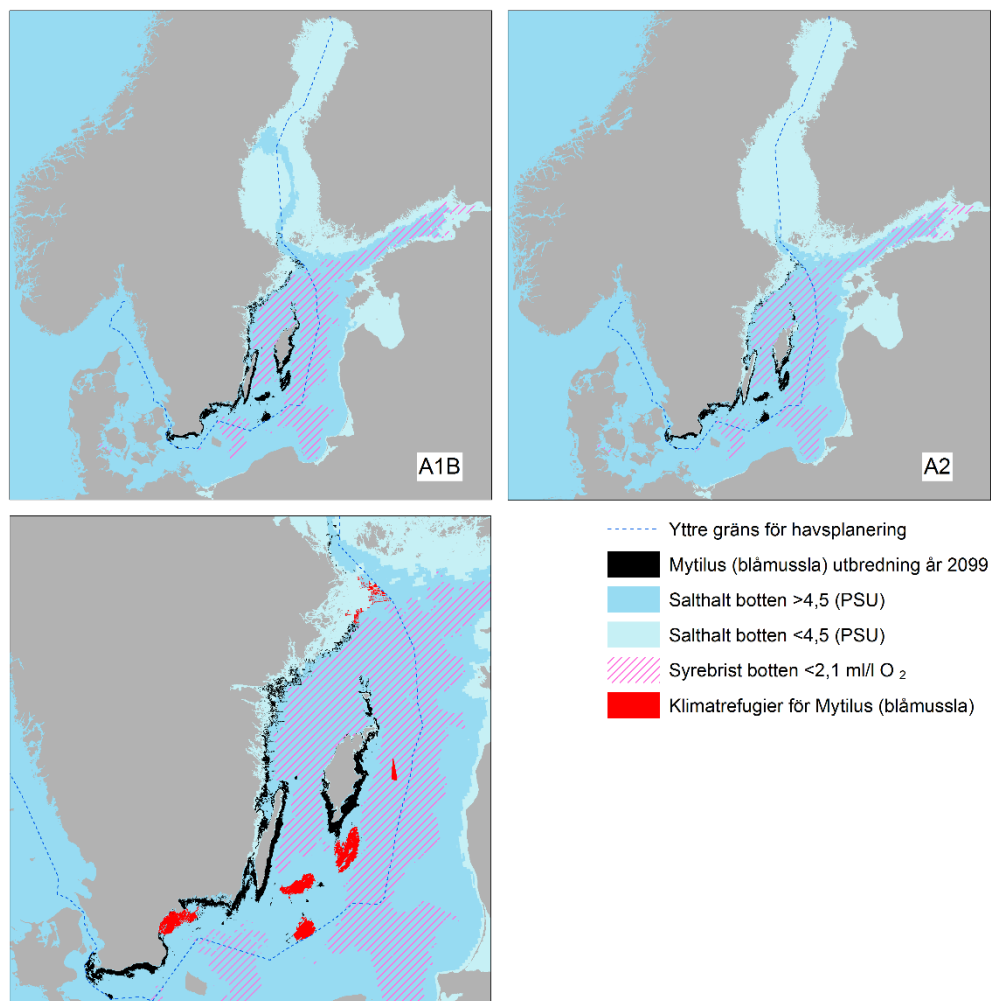
Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för blåmussla har raster (tabell 3) med modellerad salthalt (botten, A1B och A2, år 2099) beräknats genom att ta fram förändringen av salthalten i ytan mellan 2029 och 2099. Salthaltsminskningen i ytvatten har sedan använts tillsammans med dagens värden för bottenvattnet för att beräkna salthalt botten år 2099. Den framtida förändringen av salthalt i bottenvattnet följer i stort sett samma förändring som i ytvattnet (Meier 2006). Till rastret musselutbredning har data från Symphony (prediktionslager), data från SHARK och en nyligen funnen lokal på Klintsbank använts. I rastret med syrgas valdes <2,1 ml/l som gränsvärde vilket indikerar akut syrgasbrist. Alla raster anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Framtida musselutbredningar för scenario A1B och A2 beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 3.

Tabell 3. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för blåmussla.

Blåmussla		
GIS-skikt	Villkor	Källa
Mytilus förekomst		SYMPHONY (myt_10_prediction_v2)
		SMHI (SHARK)
		SGU (KlintsBank_UV-Obs_SGU_20170627)
Salthalt (PSU) A1B, A2 botten 2099	> 4,5	SYMPHONY (SAL_bott_yr_medel_2016-08-22)
		SMHI (x_x_2029_S_Salt1)
		SMHI (x_x_2099_S_Salt1)
Syrgas (ml/l) botten	> 2,1	SYMPHONY (O2_bott_summer_medel_2016-08-22)

Blåmussla resultat

Blåmusslans utbredning (figur 3) kommer att tryckas söderut längst med salthaltsgradienten och ha sin nordligaste utbredning öster om Stockholm. Längs med artens framtida utbredning har sex områden identifierats som potentiella klimatrefugier. Områdena är i Hanöbukten, Hoburgs bank, Södra och Norra Midsjöbanken, Klints bank samt ett område i närhet av Svenska Högarna. Området runt Svenska Högarna är valt för att täcka in artens nordligaste utbredning och där fungera som klimatrefugium för omkringliggande områden där det potentiellt skulle kunna finnas lokaler för musslorna att etablera sig. Övriga områden är viktiga för att upprätthålla en hög genetisk variation samt musslornas funktion som habitatbildande art och födokälla.



Figur 3. De övre kartorna visar blåmusslans utbredning för scenario A1B och A2. Förstorad karta (nedre) visar blåmusslans utbredning enligt scenario A1B där röd markering visar identifierade områden för potentiella klimatrefugier för blåmussla.

Östersjösill, *Clupea harengus membras*

Östersjösillen är i huvudsak vårlekande och delas in i fem olika bestånd, Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön, Rigabukten och sydvästra Östersjön. Sillen förekommer i pelagialen (den fria vattenmassan) ner till 200 m djup och har en dygnsstyrd migration där arten går djupare under dagen och upp mot ytan under natten. Leken i Östersjön sker över grunda vatten, 0–10 meter, i vegetation och på botten bestående av sand, grus eller sten. För att befruktning och äggets utveckling ska vara lyckad krävs en salthalt på 3–4 promille (Ojaveer E. 1981, Klinkhardt M. 1984, Griffin m.fl. 1998).



Sillstim, *Clupea harengus*. Bilden är från Hanöbukten.

Studier har visat på en förändring i sillens diet i Bottenhavet som troligen är kopplat till en ökad förekomst av copepoden *Limnocalanus macrurus*. Den ökade förekomsten har bidragit till ökad lekframgång för sillen i förhållande till andra bestånd i Östersjön (Rajasilta m.fl. 2014). Förekomsten av *Limnocalanus* är starkt kopplat till salthaltsgradienten i Östersjön.

Arten östersjösill har valts inom denna studie på grund av sin viktiga roll i Östersjöns ekosystem såväl som sitt ekonomiska värde som kommersiell fisk. På grund av artens fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av sill baserats på förändringar av Östersjöns salthalt.

Metod sill

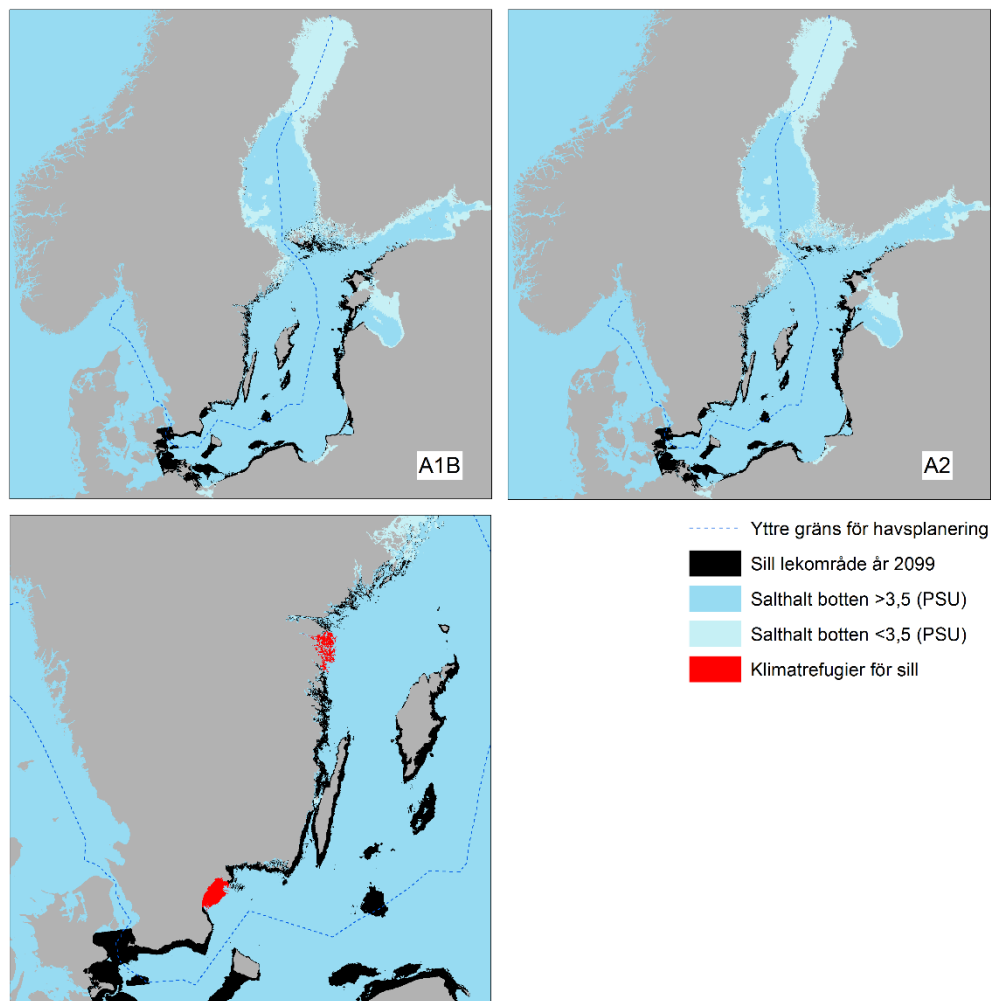
Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för sill har raster (tabell 4) med modellerad salthalt (botten, A1B och A2, år 2099) använts (se metodiken för blåmussla). Inget skikt på dagens lekområde har tagits fram utan den bedöms leka kring i stort sett hela östersjökusten. Syrebrist har satts till < 2,1 ml/l. Raster med fotisk zon och ej gyttja representerar förmodade områden lämpliga för lek. Alla raster anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Framtida lekområden för scenario A1B och A2 beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 4.

Tabell 4. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för sillens lekområden.

Sill		
GIS-skikt	Villkor	Källa
Salthalt (PSU) A1B, A2 botten 2099	> 3,5	SYMPHONY (SAL_bott_yr_medel_2016-08-22)
		SMHI (x_x_2029_S_Salt1)
		SMHI (x_x_2099_S_Salt1)
Syrgas (ml/l) botten	> 2,1	SYMPHONY (O2_bott_summer_medel_2016-08-22)
Ej Gyttjebotten	Ej Gyttja	SYMPHONY (SGU_Gyttja)
Fotisk zon		SYMPHONY (Fotisk_zon)

Sill resultat

Sillens kustnära lekområden (figur 4) kommer att tryckas söderut längst med salthaltsgradienten och potentiella kustnära lekområden sträcker sig norrut tills strax söder om Stockholm. Baserat på bland annat potentiella klimatrefugier för fucus samt skillnaden mellan de olika scenarierna identifierades området söder om Norrköping som den nordligaste klimatrefugen. Hanöbukten identifierades som ett potentiellt klimatrefugium genom bland annat sin topografi samt sammanfallandet med potentiella klimatrefugier för ålgräs och fucus.



Figur 4. De övre kartorna visar sillens potentiella kustnära lekområden för scenario A1B och A2. Förstorad karta (nedre) visar potentiella kustnära lekområden enligt scenario A1B där röd markering visar identifierade områden för potentiella klimatrefugier för sillens lek.

Torsk, *Gadus morhua*

Torsken är en av Östersjöns viktigaste rovfiskar så väl som en kommersiellt viktig art och förekommer i stora delar av Östersjön med lekområde i Egentliga Östersjön. Arten är huvudsakligen bottenlevande (demersal) och förekommer på djup ned till 600 m. Historiskt sett har det funnits flera lekområden för torsk i egentliga Östersjön, men på grund av försämrade syreförhållanden i bottenvattnet anses nu



Torsk, *Gadus morhua*. Källa: Wikimedia Commons

djupområdet vid Bornholm vara det enda kvarstående lekområdet. Torsken i Östersjön leker huvudsakligen under sommarhalvåret. Under leken i Östersjön sjunker de pelagiska äggen ner mot botten tills äggen påträffar det saltare bottenvattnet som innehåller en högre densitet än den övre vattenmassan. För att reproduktionen ska lyckas måste det omgivande vattnet ha en salthalt på över 11 promille vilket aktiverar torskens spermier. De befruktade äggen sjunker sedan tills de når en salthalt på över 14 promille (Nissling och Westin 1997). Som ett led i att denna salthalt ofta sammanfaller med stora djup inom Östersjön blir arten väldigt känslig för dåliga syreförhållanden i bottenvattnet.

Arten torsk har valts inom denna studie på grund av sin viktiga roll i Östersjöns ekosystem såväl som sitt ekonomiska värde som kommersiell fisk. På grund av artens fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av torsk baserats på förändringar av Östersjöns salthalt.

Metod torsk

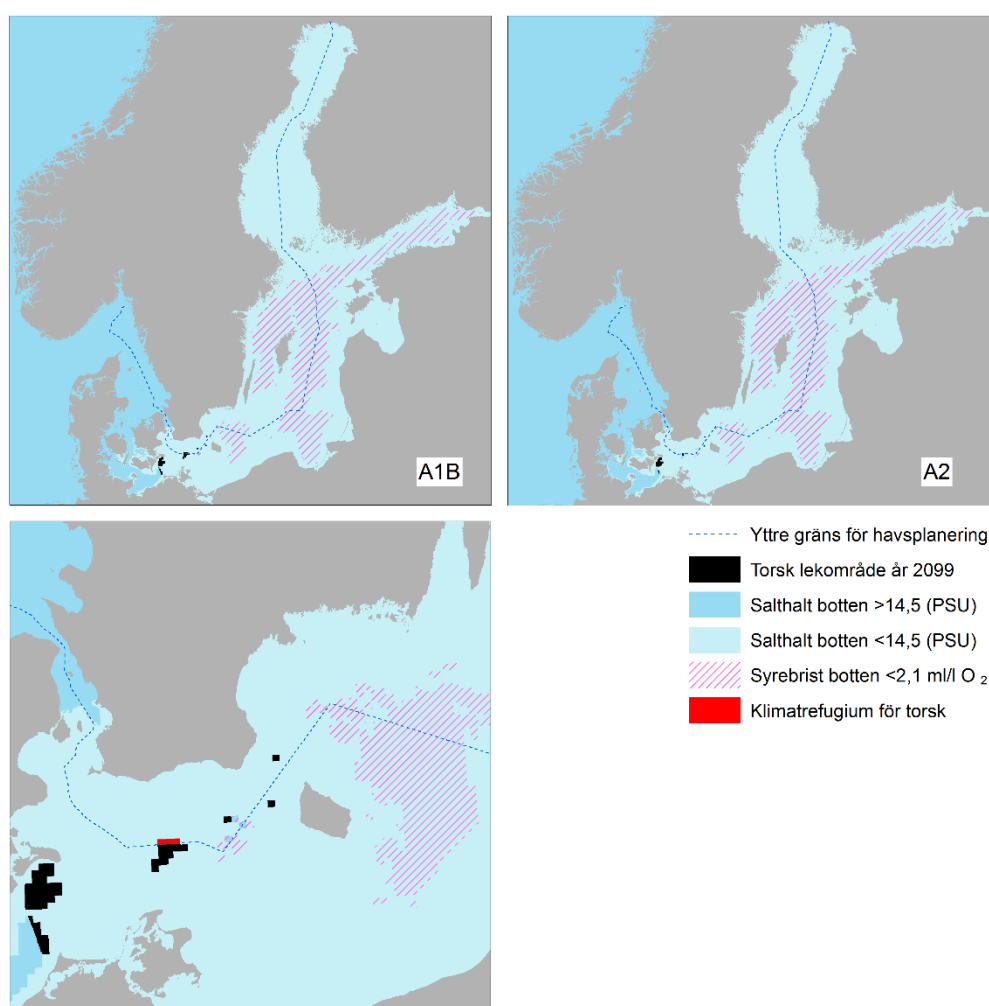
Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för torsk har raster (tabell 5) med modellerad salthalt (botten, A1B och A2, år 2099) använts (se metodiken för blåmussla). Inget skikt på dagens lekområde har tagits fram. Syrebrist har satts till < 2,1 ml/l. Alla raster anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Framtida lekområden för scenario A1B och A2 beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 5.

Tabell 5. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för torsken.

Torsk		
GIS-skikt	Villkor	Källa
Salthalt (PSU) A1B, A2 botten 2099	> 14,5	SYMPHONY (SAL_bott_yr_medel_2016-08-22)
		SMHI (x_x_2029_S_Salt1)
		SMHI (x_x_2099_S_Salt1)
Syrgas (ml/l) botten	> 2,1	SYMPHONY (O2_bott_summer_medel_2016-08-22)

Torsk resultat

Torskens lekområden är redan idag under stort hot och framtida scenarion sätter ännu större tryck på torskens reproduktion. Kartorna bygger på medelvärden och potentiella större inflöden av vatten kan under vissa år bättra på möjligheterna för torskens reproduktion. Enligt scenario A2 (figur 5) är dock områdena i Östersjön som kan anses möjliga för en fungerande torsklek så pass små att det är tveksamt om klimatrefugier går att upprätthålla för torsken och under detta scenario kommer troligen torsken att försvinna. Enligt scenario A1B visar resultaten på något större möjlighet att upprätta klimatrefugier för torsken och ett område har identifierats som till största del överlappar den svenska gränsen.



Figur 5. De övre kartorna visar torskens potentiella lekområden för scenario A1B och A2. Förstorad karta (nedre) visar det potentiella lekområdet som identifierats enligt scenario A1B där röd markering visar förhållanden som uppfyller kriterier för klimatrefugium för torsklek. Området är dock väldigt litet.

Skorv, *Saduria entomon*

Skorven är en istidsrelikt inom gruppen kräftdjur och påträffas i stora delar av Östersjön. Arten är bottenlevande ned till 290 m djup på botten av varierande substrat t.ex. grus, sand, silt och lera och innehar en viktig roll i Östersjöns ekosystem både som rovdjur och asätare samtidigt som den fyller en viktig funktion som föda åt flera arter av fisk, däribland den kommersiellt och ekologiskt viktiga torsken. Skorven är relativt stationär inom sitt område under sitt liv och därmed känslig för förändringar i miljön som exempelvis försämrade syreförhållanden eller förhöjda temperaturer. Dock sker en viss migration i djupled under året, där skorven vandrar djupare under sommarmånaderna för att undgå höjd temperatur. Studier har visat att arten föredrar temperaturer på 5–10 grader och visar på en tydlig negativ respons vid temperaturer överstigande 15 grader (Radenbaugh T.A. 2013, Borecka och Janas 2016), vid temperaturer på 20 grader överlever arten bara några få timmar (Radenbaugh T.A. 2013).



Skorv, *Saduria entomon*, från Östersjön.

Arten skorv har valts inom denna studie på grund av sin viktiga roll i Östersjöns ekosystem som rovdjur och asätare så väl som sin roll som föda åt flera arter. På grund av artens fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av skorv baserats på förändringar av Östersjöns temperatur.

Metod skorv

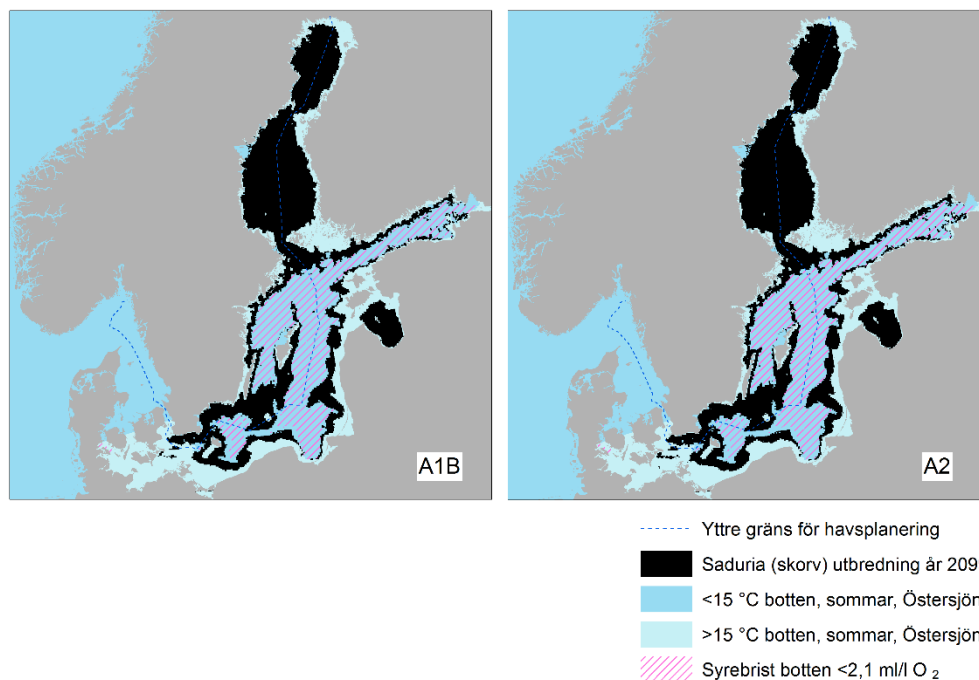
Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för skorv har raster (tabell 6) med modellerad temperatur (botten, sommar, A1B och A2, år 2099) beräknats genom att ta fram förändringen av temperatur i ytan mellan 2029 och 2099. Den ytliga temperaturökningen har sedan använts tillsammans med dagens värden och standardavvikelse för botten för att beräkna temperaturen i bottenvattnet år 2099. Standardavvikelsen har lagts till för att få värden representerande de varmare sommarförhållandena. I rastret med syrgas valdes <2,1 ml/l som gränsvärde vilket indikerar akut syrgasbrist. Alla raster anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Skorvens framtida utbredning för scenario A1B och A2 beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 6.

Tabell 6. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för skorv.

Saduria		
GIS-skikt	Villkor	Källa
Temperatur (°) botten 2099	< 15	SYMPHONY (TEMP_bott_summer_medel_2016-08-22)
		SYMPHONY (TEMP_bott_summer_std_2016-08-22)
		SMHI (x_x_2029_S_Temp1)
		SMHI (x_x_2099_S_Temp1)
Syrgas (ml/l) botten	> 2,1 ml/l	SYMPHONY (O2_bott_summer_medel_2016-08-22)

Skorv resultat

Skorven kommer att fortsätta att breda ut sig över stora delar av Östersjön (figur 6), men en ökad temperatur i ytvattnet kan trycka ner arten i djupled sommartid samtidigt som eventuellt låga syrenivåer i bottenvattnet kan trycka upp skorven i djupled. Detta kan påverka skorvens utbredning främst i djupled men troligen inte ur ett geografiskt nord-sydperspektiv. Dessa resultat visar på att behovet av klimatrefugier baserat på skorv inte är aktuellt i dagsläget.



Figur 6. Kartorna visar skorvens utbredning för scenario A1B och A2. Inga klimatrefugier har identifierats för skorv.

Fucus spp.

I Östersjön förekommer tre arter av Fucus: sågtång, blåstång och smaltång. De olika arterna har artspecifika gränser för salttolerans där sågtången har sin lägsta gräns vid 7 promille, blåstången och smaltången tål något lägre salinitet och har sina gränser vid 4 respektive 3 promille och påträffas upp till Bottenhavet (Bergström m.fl. 2005, marbipp 2017). Fucusbältet i Östersjön

har en vertikal utbredning på ett djup av 0,5 – 10 m beroende av vattenkvalitet. Som hårbottenväxande organismer utgör de tillsammans grunden för ett produktivt habitat med hög primärproduktion som fyller en viktig funktion som yngelkammare och födosöksområde för flera fiskarter samtidigt som dess struktur och ekologiska egenskaper bidrar till en hög biologisk mångfald. Fucusbältet i Östersjön används bland annat av östersjösillen under sillens lek. Fucusplantorna fyller en viktig funktion som underlag för fastsittande organismer som i sin tur fungerar som föda för ett flertal organismer.

Blåstången i Östersjön har genomgått en anpassning till både lägre salinitet och lägre fotosyntes vilket har bidragit till en lägre tillväxthastighet hos plantan men även en ökad djuputbredning. Som konsekvens av detta är blåstången från Bottenhavet mer känslig för UV-strålning. Den låga saliniteten bidrar även till en höjd fysiologisk stress hos fucusplantorna vilket ökar känsligheten för yttre störningar så som exempelvis miljögifter.

Gruppen fucus har valts inom denna studie på grund av sin viktiga roll i Östersjöns ekosystem. På grund av arternas fysiologiska och ekologiska egenskaper har analysen av fucus baserats på förändringar av Östersjöns salthalt.



Blåstång, *Fucus vesiculosus*.

Bilden är från Utlängan, Karlskrona.

Metod fucus

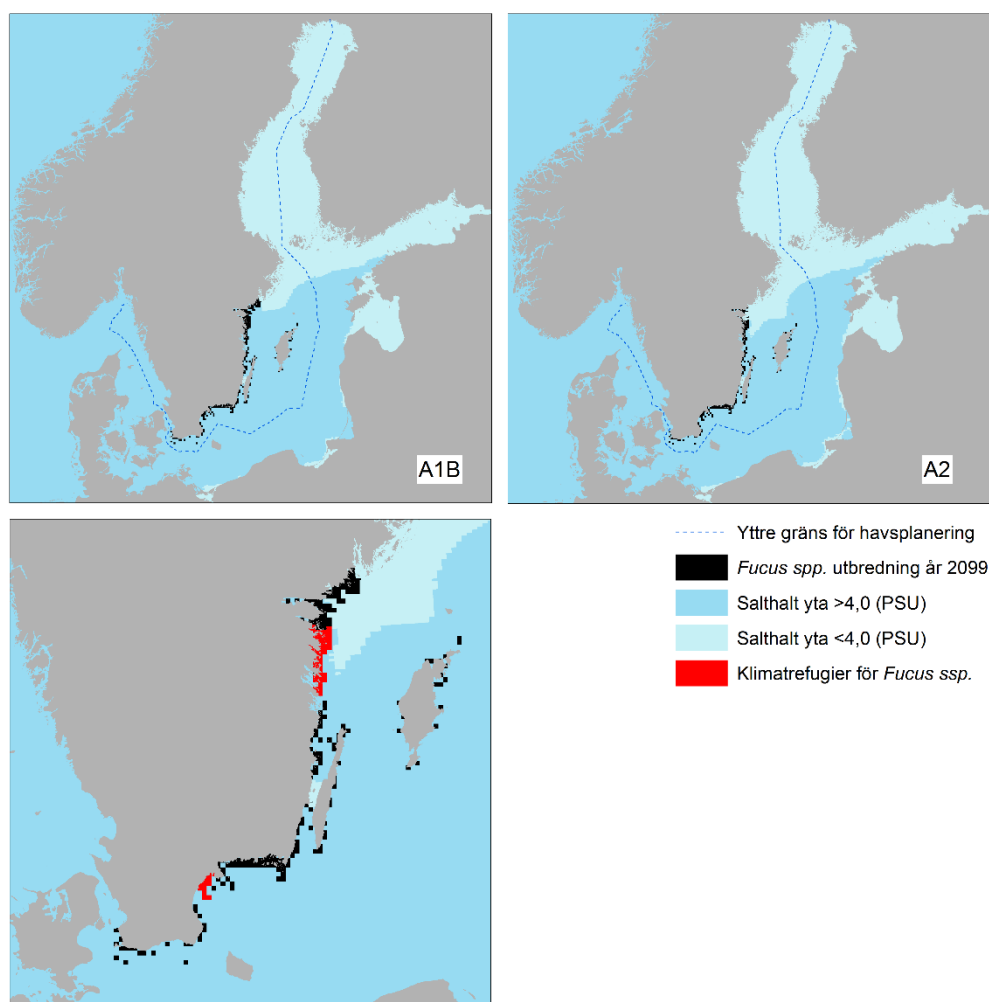
Analysen är gjord i GIS. För att ta fram klimatrefugier för Fucus spp. har raster med modellerad salthalt (yta, A1B och A2, år 2099) från SMHI använts och nuvarande utbredning av fucus (tabell 7). Rastren med salthalt anpassades till Symphony-projektets gridstorlek och datum (ETRS89). Framtida fucusutbredningar för scenario A1Boch A2 beräknades med rasterkalkylator i QGIS med villkor enligt tabell 7.

Tabell 7. Tabellen visar GIS-skikten och villkoren som ingått i analysen för att ta fram klimatrefugier för Fucus spp.

Fucus spp.		
GIS-skikt	Villkor	HELCOM (fucus_final2)
Fucus spp. förekomst		SYMPHONY (Zostera_final_raw2)
Salthalt (PSU) A1B, A2 yta 2099	> 4	SMHI (x_x_2099_S_Salt1)

Fucus resultat

Fucus utbredning (figur 7) kommer att tryckas söderut längst salthaltsgradienten och ha sin nordligaste utbredning vid Trosa, söder om Stockholm för att sedan följa svenska kusten söderut. Då den nordligaste utbredningen varierar i storlek mellan de olika scenarierna, med endast enstaka lokala förekomster enligt A2 norr om Norrköping, så har två olika potentiella klimatrefigier identifierats. Klimatrefigen som identifierats söder om Valdemarsvik anses viktig då den befinner sig nära toleransgränsen för vad arten anses tåla och kan därifrån sprida sig och fungera som refugium för associerade arter. Området sammanfaller även med den potentiella klimatrefigen för sill. Den andra klimatrefigen som identifierats ligger i Hanöbukten och anses kunna finnas kvar enligt båda scenarierna. Området är ett större område och har goda möjligheter att bidra med spridning österut samt fungera som viktigt habitat för associerade arter. Området sammanfaller även med potentiella klimatrefigier för sill, blåmussla och ålgräs.



Figur 7. De övre kartorna visar fucus utbredning för scenario A1B och A2. Förstorad karta (nedre) visar fucus utbredning enligt scenario A1B där röd markering visar identifierade områden för potentiella klimatrefigier för fucus.

Diskussion

Generellt framträder en trend där utbredningen för saltvattenberoende arter vandrar söderut medan arter beroende av kallt vatten vandrar norrut och ner i djupled. Den generella bilden av Östersjön baserat på de olika scenarierna visar på ett hav under snabb förändring och stora skillnader kommer att kunna ses i Östersjöns ekosystem framöver. Detta kommer att ske gradvis och troligen resultera i att Egentliga Östersjön sakta kommer att förlora stora delar av sin marina vegetation och möjligen övergå till mer sötvattenassocierade arter. I takt med att olika bestånd pressas norrut och söderut minskar arealen där skyddsområden kan upprättas. I flera fall kommer identifierade områden att överlappa nationsgränser och vikten av en förvaltningsplan i samarbete med grannländerna är hög för att kunna upprätthålla fungerande klimatrefugier. Exempel på sådana arter är torsken vars lekområde sträcker sig över den svenska gränsen samt området i norr för vikare där stora delar av havsisen sträcker sig längs med finska kusten.

Det är viktigt att betona att underlaget för analysen är baserad på modellering och den framtida situationen kan se annorlunda ut i Östersjön än vad som görs gällande inom denna analys. Detta till trots anses underlaget tillräckligt gott för att utgöra en fullgod grund för analysen. Det som inte omfattas av denna analys och kan ha stor påverkan på Östersjöns ekosystem är vilken effekt invandrandet av nya sötvattenassocierade arter har på de befintliga arterna i Östersjön. Där ålgräset försvinner kommer troligen mer sötvattenassocierade växter ta över på många områden. Där fucus försvinner kommer troligen helt nya habitat etableras med andra ekosystemfunktioner. Detta på grund av bristen på hårdbottenassocierade höga strukturbildande makroalger associerade till sötare vatten. De förväntat ökande vindförhållandena kommer leda till mer utsatta stränder vilket ofta har en negativ påverkan på flera sötvattenassocierade växter.

Rapporten har identifierat ett flertal områden som potentiella klimatrefugier kopplat till specifika arter och som ett led i detta arbete bör utpekade områden följas upp av en grundlig inventering av respektive områden för att kontrollera att de framarbetade områdena fyller sin funktion som klimatrefug. De bör även utföras återkommande undersökningar inom varje klimatrefugium för att kontrollera att området upprätthåller sin funktion som klimatrefug.

Det bör poängteras att denna analys är utförd på enstaka arter och faktorer och för att öka kvalitén på resultaten är det önskvärt med en utvidgad studie som tar hänsyn till fler arter och faktorer och även interaktionen mellan olika arter. En sådan utvidgad studie innebär ett omfattande arbete men bedöms vara av stor vikt för Östersjöns framtid.

Referenslista

- Baden S., Gullström M., Lundén B., Pihl L., Rosenberg R., 2003. Vanishing Seagrass (*Zostera marina*, L.) in Swedish Coastal Waters. 2003. Ambio Vol. 32 No 5. 2003
- Bergström L., Tatarenkov A., Johannesson K., Jönsson R.B., Kautsky L., 2005. Genetic and morphological identification of *Fucus radicans* sp. nov. (Fucales, Phaeophyceae) in the brackish Baltic Sea. J. Phycol. 41, 1025–1038
- Borecka A. och Janas U., 2016. The combined effect of temperature and salinity changes on osmoregulation and haemocyanin concentration in *Saduria entomon* (Linnaeus, 1758). Department of Experimental Ecology of Marine Organisms, Institute of Oceanography, University of Gdańsk, Gdynia, Poland & Halina Kendzierska. p. 316-322
- Griffin, F.J., Pillai, M.C., Vines, C.A., Kääriä, J., Hibbard-Robins, T., 1998. Effects of salinity on sperm motility, fertilization and development in the *Pacific herring*, *Clupea pallasii*. Biol. Bull. 194, 25–35
- Havenhand J. och Dahlgren T., 2017. An Assessment of the Theoretical Basis, and Practical Options, for Incorporating the Effects of Projected Climate Change in Marine Spatial Planning of Swedish Waters. Göteborgs universitet. Havs- och vattenmyndigheten. Rapport 2017:26
- IPCC 2000. Emissions scenarios. Summary for policymakers. A special report of IPCC working group III. Published for the intergovernmental panel on climate change.
- Järvekülg, A., 1979. Donnaia Fauna Vostochno ij Chasti Balti iskogo Morya. Valgus, Tallinn, pp. 382
- Kautsky, H., Kautsky, L., Kautsky, N., Kautsky, U., Lindblad, C., 1992. Studies on the *Fucus vesiculosus* community in the Baltic Sea. Acta Phytogeogr. Suec. 78, 33–48
- Klinkhardt, M., 1984. Zum einfluss des salzgehaltes auf die befruchtungsfähigkeit des laiches der rügenschens frühjahrsheringe fischerei-forschung. Wissenschaftliche Schriftenreihe 22, 73–75
- Länsstyrelserna Västra Götaland, Halland, Skåne. 2009. Restaurera ålgräsängar. Rapport 2009:26
- Meier H.E.M. 2006. Baltic sea climate in the late twenty-first century: a dynamical downscaling approach using two global models and two emission scenarios. Climate Dynamics 2006. 27:39-68
- Meier H.E.M. 2011. Transient scenario simulations for the Baltic Sea Region during the 21st century. SMHI OCEANOGRAPHI Nr 108, 2011. 27:39-68

- Moksnes P-O, Gipperth L, Eriander L, Laas K, Cole S, Infantes E., 2016. Handbok för restaurering av ålgräs i Sverige – Vägledning. Havs och Vattenmyndigheten, Rapport nummer 2016:9
- Nissling, A. och Westin, L., 1997. Salinity requirements for successful spawning of Baltic and Belt Sea cod and the potential for cod stock interactions in the Baltic Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 152, 261–271
- Ojaveer, E., 1981. Influence of temperature, salinity, and reproductive mixing of Baltic herring groups on its embryonal development. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil Int. Pour l'Exploration de la Mer 178, 409–415.
- Oksanen S.M., Niemi M., Ahola M.P., Kunasranta M., 2015. Identifying foraging habitats of Baltic ringed seals using movement data. Movement Ecology. 2015. 3:33
- Radenbaugh T.A., 2013. Temperature Tolerance of the Isopod *Saduria entomon* in South-west Alaska. University of Alaska Fairbanks, Bristol Bay Campus, Bristol Bay Environmental Science Lab, Dillingham, Alaska, USA. Responses of Arctic Marine Ecosystems to Climate Change. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks. doi:10.4027/ramecc.2013.06
- Rajasilta M., Hänninen J., Vuorinen I., 2014. Decreasing salinity improves the feeding conditions of the Baltic herring (*Clupea harengus membras*) during spring in the Bothnian Sea, northern Baltic
- Ukkonen P., Aaris-Sørensen K., Arppe L., Daugnora L., Halkka A., Lõugas L., Oinonen M.J., Pilot M., Storå J., 2014. An Arctic seal in temperate waters: History of the ringed seal (*Pusa hispida*) in the Baltic Sea and its adaptation to the changing environment. The Holocene. 2014
- Internetkälla
<http://www.marbipp.tmbl.gu.se/2biotop/5tang/1intro/1.html> 2017-10-23
<https://artfakta.artdatabanken.se/taxon/100104> 2017-10-19

Möjliga klimatrefugier i Östersjön baserat på två olika scenarier

Underlag för havsplanering

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2017:37
ISBN 978-91-87967-86-3

Havs- och vattenmyndigheten
Postadress: Box 11 930, 404 39 Göteborg
Besök: Gullbergs strandgata 15, 411 04 Göteborg

www.havochvatten.se

**Havs
och Vatten
myndigheten**
